

UNIVERSITÄT LEIPZIG

**Institut für Produktionswirtschaft
und Industrielle Informationswirtschaft**

Marschnerstraße 31, 04109 Leipzig
Tel.: 0341/4941-182, Fax: -125

Arbeitsbericht Nr. 6

**Petrinetzbasierte Modellierung
komplexer Produktionssysteme**

Band 2: Bezugsrahmen

von

Univ.-Prof. Dr. Stephan Zelewski

<zelewski@hpswifa.wifa.uni-leipzig.de>

Leipzig 1995

Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis zu Band 2

	Seite
2	Ein terminologisch-konzeptioneller Bezugsrahmen 1
2.1	Überblick 1
2.2	Der modelltheoretische Rahmen 15
2.3	Der systemtheoretische Rahmen 49
2.3.1	Überblick 49
2.3.2	Objektorientierte Systemstrukturierung 55
2.3.3	Konzeptualisierung der dynamischen Systemstruktur 99
2.4	Der entscheidungstheoretische Rahmen 137
2.4.1	Konzeptualisierung von Entscheidungsproblemen auf der Grundlage von lokalen Spielräumen 137
2.4.2	Problematisierungen und Verfeinerungen 171
2.4.2.1	Anmerkungen zur Praxisrelevanz 171
2.4.2.2	Das Problem der Selbstaufhebung 175
2.4.2.3	Flexibilitätsaspekte 199
2.4.2.3.1	Schwierigkeiten konventioneller Koordinierungskonzepte 199
2.4.2.3.2	Flexibilitätsorientierte Koordinierungsansätze 230
2.4.2.3.2.1	Überblick 230
2.4.2.3.2.2	Das Postulat anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierung 246
2.4.2.3.2.3	Das Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließung 261
2.4.2.3.2.4	Ein Ausblick auf das opportunistische Koordinierungskonzept 296
2.5	Der kybernetische Rahmen 313
2.6	Der problemtheoretische Rahmen 340
2.7	Der semiotische Rahmen 348
	Literaturverzeichnis zu Band 2 371

2 Ein terminologisch-konzeptioneller Bezugsrahmen

2.1 Überblick

Die anschließenden Ausführungen widmen sich der Entfaltung eines Bezugsrahmens, in den die späteren Erläuterungen des Petrinetz-Konzepts eingebettet werden¹⁾. Er erfüllt lediglich die Funktion, das terminologische und konzeptionelle Hintergrundwissen offenzulegen²⁾, das in den späteren Kapiteln als bekannt und akzeptiert vorausgesetzt wird³⁾. Sofern die dabei präsupponierten Sachverhalte als "trivial", "unproblematisch", "hinlänglich bekannt" oder ähnlich empfunden werden, können die Ausführungen dieses zweiten Bandes übergangen werden. Oftmals wird jedoch der Erörterung eines Bezugsrahmens⁴⁾ und der damit verknüpften Offenbarung von Hintergrundwissen⁵⁾ große Bedeutung zugemessen. Einem entsprechenden Explizierungswunsch⁶⁾ kommen die nachfolgenden Erläuterungen entgegen.

Zumeist werden homogene Bezugsrahmen vorgelegt, die jeweils nur auf einem Paradigma⁷⁾ für die Strukturierung (Konzeptualisierung)⁸⁾ des Untersuchungsobjekts beruhen. Statt dessen wird hier für die Ausgestaltung des Bezugsrahmens ein multiparadigmatischer Ansatz gewählt⁹⁾. Aufgrund seiner Verwurzelung in verschiedenen Strukturierungsparadigmen¹⁰⁾ fällt er notwendig heterogen aus. Die Rahmenheterogenität überbrückt dabei ein Spannungsverhältnis zwischen zwei tendenziell gegenläufigen¹¹⁾ Forderungen:

- Einerseits wird im Interesse einer pluralistischen Erkenntnisposition¹²⁾, einer perspektivischen Wirklichkeitswahrnehmung¹³⁾ oder einer ganzheitlichen Problembehandlung¹⁴⁾ angestrebt, Erkenntnisobjekte aus möglichst vielfältigen Perspektiven zu konzeptualisieren. Dies zieht den Anspruch nach sich, im Hintergrundwissen ein weit gespanntes Spektrum verschiedenartiger Strukturierungsparadigmen einzubeziehen¹⁵⁾.
- Andererseits teilt der Verf. grundsätzlich die kohärentistische Erkenntniseinstellung¹⁶⁾. Ihr zufolge wird eine Argumentation nur solange als "sinnvoll" akzeptiert, wie sie als Ganzes einen in sich stimmigen¹⁷⁾, zumindest widerspruchsfreien¹⁸⁾ Argumentationszusammenhang bildet¹⁹⁾. Daraus folgt, daß nur solche Strukturierungsparadigmen in das Hintergrundwissen von Argumentationen einfließen dürfen, die insgesamt noch einen kohärenten Wissens- und Argumentationszusammenhang zulassen²⁰⁾.

Um beiden Ansprüchen gerecht zu werden, berücksichtigt²¹⁾ der Bezugsrahmen dieser Arbeit zwar mehrere²²⁾ Strukturierungsparadigmen²³⁾. Doch es werden nur solche einbezogen, die ein kohärentes Hintergrundwissen konstituieren. Als Hauptparadigmen, auf welche die Ausführungen dieser Arbeit immer wieder zurückgreifen, werden dabei in den nächsten Kapiteln angesprochen²⁴⁾:

- das modelltheoretische Paradigma;
- das systemtheoretische Paradigma;
- das entscheidungstheoretische Paradigma;
- das kybernetische (regelungstheoretische) Paradigma;
- das problemtheoretische Paradigma;
- das semiotische (zeichentheoretische) Paradigma.

Darüber hinaus gehören zum hier vorausgesetzten Hintergrundwissen weitere Strukturierungsparadigmen, die nur punktuelle Relevanz besitzen. Aufgrund ihrer geringeren Bedeutung werden sie nachfolgend nicht besonders herausgestellt²⁵⁾. Zu diesen Nebenparadigmen gehört vor allem das handlungstheoretische Paradigma²⁶⁾.

Ein Bezugsrahmen, der *alle* Strukturierungsoptionen in sich aufnähme, würde inhaltsleer sein. Denn jede inhaltliche Position bedeutet stets die Ausgrenzung alternativer Ansätze²⁷. Daher ist in den hier zugrundegelegten Bezugsrahmen eine Reihe denkmöglicher Strukturierungsparadigmen nicht eingeflossen. Dazu gehören beispielsweise²⁸) die Vielfalt organisations- oder planungstheoretisch ausgerichteter Paradigmen²⁹), das bekennend-normative Paradigma³⁰), das verhaltens-³¹) und das arbeitsorientierte Paradigma. Von ihnen erwartet der Verf. keine Befruchtung hinsichtlich der Konstruktion eines Bezugsrahmens für die Anwendung des Petrinetz-Konzepts auf Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen³²).

Ebenso bleibt das kontrolltheoretische Paradigma³³) ausgeschlossen, obwohl es sich durchaus zur Modellierung von Prozeßkoordinierungen anbietet³⁴). Seine Erfassungsweise von Koordinierungsproblemen widerspricht aber den hier zugrundegelegten entscheidungs- und handlungstheoretisch motivierten Voraussetzungen³⁵). Daher wird es nicht weiter beachtet, um der oben eingeführten Konsistenzforderung gerecht zu werden.

Schließlich wird auch das empirische Paradigma³⁶) ausgeklammert. Seine Ausrichtung an der empirischen Überprüfung von theoretisch gewonnenen Hypothesen über betriebswirtschaftliche Sachverhalte liegt außerhalb des hier verfolgten Interesses, ein Modellierungskonzept hinsichtlich seiner grundsätzlichen Stärken und Schwächen auszuloten³⁷).

Dagegen wird das produktionswirtschaftliche Paradigma³⁸), zu dem hier auch der faktor-kombinative Ansatz gerechnet wird, keineswegs vollkommen außer acht gelassen. Es könnte seine terminologische und konzeptionelle Kraft insbesondere dann entfalten, wenn das vorgestellte Modellierungskonzept für Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen hinsichtlich einer systematischen Realproblembeschreibung ausgebaut würde. Darauf wurde jedoch in den einführenden thematischen Festlegungen zugunsten einer einfachen Fallstudie verzichtet³⁹). Daher wird der produktionswirtschaftlich-faktorkombinative Strukturierungsansatz nur am Rande gestreift.

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Bezugsrahmen und Hintergrundwissen werden zumeist nicht explizit aufeinander bezogen. Eine Charakterisierung von Bezugsrahmen, die der wissensbezogenen Auffassung des Verf. bereits recht nahe kommt, findet sich aber bei MALIK (1986), S. 21: "Als Bezugsrahmen wird ... ein System von Prämissen verstanden, das ein ... 'Bild' einer Realität entstehen lässt, ... das bestimmt, was als relevant angesehen wird, auf welche Weise ... Aussagen ... zu interpretieren sind, welche Art von Fragen 'zulässig' ist ...". Häufiger werden Bezugsrahmen dagegen als "Interpretationsmuster" thematisiert; vgl. z.B. THOM (1980), S. 15. Solche Interpretationsmuster lassen sich jedoch ebenso als spezielle Wahrnehmung des allgemeinen Sachverhalts "Hintergrundwissen" auffassen.

2) Diese Wissensoffenlegung kann nur partiell geschehen. Denn jede Explizierung von Hintergrundwissen erfolgt mit der Hilfe von Begriffen, die ihrerseits weiteres Hintergrundwissen assoziieren. Eine Forderung nach vollständiger Wissensoffenlegung würde sich daher stets in einem unendlichen Regreß verfangen. Besonders deutlich wird von SIKORA, K. (1986), S. 10; SIKORA, K. (1989), Sp. 1957f., herausgestellt, daß sich Hintergrundwissen grundsätzlich nicht vollständig explizieren läßt. Vgl. darüber hinaus zu der Fragwürdigkeit des Unterfangens, nicht expliziertes Hintergrundwissen vollständig eliminieren zu wollen, HELMER (1959), S. 39; POLANYI (1962), S. 250f. u. 294f.; TOULMIN (1975), S. 97.

Da konzidiert wird, daß die Offenbarung des relevanten Hintergrundwissens immer unvollständig ist, drängt sich die Frage nach der Grenzziehung zwischen expliziertem und weiterhin implizit unterstelltem Hintergrundwissen auf. Der Verf. betrachtet es jedoch als verfehlt, diese Frage beantworten zu wollen. Denn jede Antwort setzte einen Rechtfertigungszusammenhang voraus, der seinerseits auf Hintergrundwissen beruht. Dieses wäre abermals - partiell - zu explizieren. Daher würde auf der Metaebene erneut die Frage nach der Abgrenzung zwischen expliziertem und implizit vorausgesetztem Hintergrundwissen aufgeworfen usw. ad infinitum. Um diesem unendlichen Regreß zu entgehen, muß die Explizierungsgrenze irgendwann ohne weitere Rechtfertigung festgelegt werden. Dies entspricht inhaltlich der Unmöglichkeit, die Optimalkomplexion von Modellen im strengen Sinne zu begründen. Vgl. dazu HAX, H. (1972), S. 329; MITROFF (1972), S. 14; BITZ (1977), S. 427f.; BRETZKE (1980), S. 200, Fn. 10; BALLWIESER (1983), S. 14; HOLTHOFF (1988), S. 36f.; BAUERLE, P. (1989), S. 175; LAUX (1990b), S. 59. Vgl. darüber hinaus zur kontroversen Thematisierung optimaler Modellkomplexion, die hier als bekannt vorausgesetzt wird, KERN, W. (1962b), S. 169ff., insbesondere S. 178f.; HAX, H. (1972), S. 328ff.; TEICHMANN (1972), S. 519ff., insbesondere S. 532ff.; SIEGEL, T. (1974), S. 57; ZENTES (1976), S. 3(ff.), 39ff., 45ff., 85ff., 91ff. u. 228ff.; BITZ (1977), S. 400ff., mit detaillierten weiterführenden Quellenangaben; BRETZKE (1978b), S. 136ff.; BRETZKE (1980), S. 200ff. u. 235ff.; JÜNGER (1980), S. 11ff.; TRISCHLER (1982), S. 62ff.; BALLWIESER (1983), S. 13ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 349; HOLTHOFF (1988), S. 33ff.

3) Das offengelegte Hintergrundwissen besitzt somit eine Demarkationsfunktion: Es steckt denjenigen Wissensbereich ab, der von Rezipienten der späteren Ausführungen bereits geteilt werden muß, um jene Ausführungen in terminologischer oder konzeptioneller Hinsicht so einordnen zu können, wie es vom Verf. intendiert wird. Vgl. zu dieser Demarkationsfunktion auch SPINNER, H. (1987), S. 19. Allerdings definiert er sie enger im Sinne eines "methodologischen Demarkationismus" zwischen wissenschaftlicher und unwissenschaftlicher Erkenntnis.

Es könnte die Forderung erhoben werden zu rechtfertigen, warum genau dieses demarkierende Hintergrundwissen und nicht ein anderes vorausgesetzt werde. Ein solches Postulat könnte an zahlreichen Stellen der hier vorgelegten Untersuchung auftreten, wenn etwa - wiederum in demarkativer Weise - von "wesentlichen" Aspekten eines Koordinierungsproblems die Rede sein wird. Daher wird seine Berechtigung hier einmal grundsätzlich mit Gültigkeit für alle späteren Ausführungen abgewiesen: Jedes Ansinnen, demarkierende *Setzungen* (Prämissen) zu rechtfertigen, verfängt sich im MÜNCHHAUSEN-Trilemma. Denn ein solcher Rechtfertigungsversuch kann anscheinend nur einen von drei alternativen Argumentationssträngen wählen: die regressive, die reflexive oder die dogmatische Argumentationsvariante.

Bei der *regressiven* Variante wird versucht, die Prämissenauswahl in einen erweiterten Argumentationszusammenhang (1. Stufe) einzubetten. Er behandelt die thematisierten Prämissen nicht mehr in ihrer Eigenschaft als argumentationseinleitende Prämissen, sondern als Argumentationsalternativen, über deren Auswahl ein begründetes Urteil gefällt werden kann. Diese Urteilsbegründung beruht aber ihrerseits auf den nunmehr neu eingeführten Prämissen des erweiterten Argumentationszusammenhangs. Jene neuen Prämissen müßten hinsichtlich ihrer Auswahl in einen abermals erweiterten Argumentationszusammenhang 2. Stufe eingebettet werden usw. ad infinitum. Dadurch entsteht ein potentiell unendlicher Regreß, der sich in immer höheren Argumentationsstufen verfängt. Es existiert kein endliches Argumentationsverfahren, das auf diesem Weg zu einer vollständigen Prämissenrechtfertigung führen kann.

Bei der *reflexiven* Variante wird versucht, ausschließlich auf der Grundlage der ausgewählten Prämissen ein Urteil abzuleiten, das die Auswahl dieser Prämissen - und die Ausgrenzung aller alternativen denkmöglichen Prämissen - rechtfertigt. Eine solche Selbstbezüglichkeit der Argumentation auf ihre eigenen Prämissen stellt einen fragwürdigen Zirkelschluß dar. Seine Gültigkeit wird durch jedes Infragestellen seiner Prämissen aufgehoben. Gleiches trifft auf die intendierte Prämissenrechtfertigung zu. Daher kann auch diese zirkuläre Rechtfertigung nicht zufriedenstellen. Dies gilt zumindest dann, wenn eine Argumentationsposition bezogen wird, die nicht schon von vornherein

die Prämissenauswahl akzeptiert. Andernfalls wäre aber eine Rechtfertigung der bereits anerkannten Prämissen auch nicht erforderlich.

Bei der *dogmatischen* Variante wird die "Tauglichkeit" oder "Bewährung" der Prämissenauswahl ohne weitere Argumente behauptet. Eine solche Behauptung suspendiert aber jede intersubjektiv nachvollziehbare Rechtfertigung. Sie widerspricht dem Ausgangspunkt der Argumentation, die Prämissenauswahl rechtfertigen zu wollen. Daher scheidet auch sie als Argumentationsweg für eine Prämissenrechtfertigung aus.

Der Verf. setzt - abermals in demarkativer Weise - voraus, daß jede akzeptable Argumentation mindestens drei Anforderungen gerecht werden soll: Endlichkeit der Argumentationsführung, keine a priori-Anerkenntnis des erst noch zu rechtfertigenden Sujets und Verzicht auf dogmatischen Behauptungen. Wer diese Argumentationskriterien akzeptiert, muß aufgrund des o.a. MÜNCHHAUSEN-Trilemmas zugeben, daß eine Rechtfertigung von Argumentationsprämissen nicht möglich ist. Daher erweist sich das Rechtfertigungspostulat auf der Grundlage der drei Argumentationskriterien als in sich widersprüchlich. Also kann es nicht aufrechterhalten werden, wenn als viertes Argumentationskriterium noch hinzugenommen wird, alle selbstwidersprüchlichen Argumentationen auszugrenzen. Da sich der Verf. zu allen vier voranstehenden Argumentationskriterien bekennt, lehnt er jedes Ansinnen ab, das darauf abzielt, Argumentationsprämissen zu rechtfertigen. Folglich klafft eine epistemische Lücke zwischen dem Setzen von Argumentationsprämissen und dem Postulat, diese Setzung zu rechtfertigen. Diese Rechtfertigungslücke läßt sich unter der Voraussetzung der vier Argumentationskriterien prinzipiell nicht schließen. Da die Auszeichnung von demarkativem Hintergrundwissen aus argumentationstheoretischer Sicht mit dem Offenlegen von Argumentationsprämissen zusammenfällt, gilt ebenso: Die Forderung, Hintergrundwissen mit Demarkationsfunktion als solches zu rechtfertigen, kann aufgrund der Rechtfertigungslücke, die aus dem MÜNCHHAUSEN-Trilemma und den vier zuvor angeführten Argumentationskriterien folgt, *grundsätzlich* nicht eingelöst werden.

Vgl. zur ausführlicheren Darlegung des MÜNCHHAUSEN-Trilemmas, das auf ALBERT, H. (1968), S. 13, zurückreicht: SCHANZ (1972), S. 387; LENK (1973), S. 94f., 97 u. 100ff.; KRAFT, V. (1973a), S. 11f.; BACKHAUSEN (1974), S. 27ff.; JANICH (1974), S. 35f.; HALLER, R. (1974), S. 114f.; ALBERT, H. (1975b), S. 100ff., insbesondere S. 101; KAMBARTEL (1975), S. 176; APEL (1976a), S. 55ff.; KAMBARTEL (1976), S. 79f.; GETHMANN (1977), S. 342 u. 361ff.; SPINNER, H. (1977), S. 169 u. 202ff.; ABEL, B. (1978), S. 166f.; WIESEN (1978), S. 96f.; GETHMANN (1979), S. 31ff.; KERN, M. (1979), S. 17ff., insbesondere S. 18; ALBERT, H. (1980a), S. 11ff., insbesondere S. 13 (mit weiterführenden Hinweisen auf historische Vorläufer in Fn. 7), u. S. 183ff.; KUHLMANN (1981), S. 5; ALBERT, H. (1982), S. 58ff., insbesondere S. 61; RESCHER (1982a), S. 323f. (ohne Verwendung der Trilemma-Bezeichnung); FRIEDMANN (1983), S. 329ff.; ALBERT, H. (1985), S. 342ff.; BRAUN, W. (1985), S. 5f.; KUHLMANN (1985a), S. 53 u. 63; ALBERT, H. (1987), S. 15f. u. 23ff.; HÖSLE (1987), S. 245ff.; SCHANZ (1988b), S. 41; ZACHARIAS (1988), S. 28ff.; KUHLMANN (1989), S. 10f.

Epistemische Lücken, die der oben gefolgerten Rechtfertigungslücke entsprechen, allerdings des öfteren nicht mit dem MÜNCHHAUSEN-Trilemma in Zusammenhang gebracht werden, werden auch als Garantie- oder Evidenzlücken diskutiert. Vgl. RESCHER (1977b), S. 90 u. 93; RESCHER (1980a), S. 24ff., 42f., 61, 64, 76, 122, 137f. u. 248f., insbesondere S. 28; RESCHER (1982b), S. 10f., 14f., 110 u. 208f.; COOMANN (1983), S. 187ff. u. 192; SIKORA, K. (1986), S. 7ff.; RESCHER (1987a), S. 156ff.; ZACHARIAS (1988), S. 38ff. u. 84; WENKEL (1988), S. 85 u. 96f.; SIKORA, K. (1989), Sp. 1956ff.; KLEIN, S. (1989), S. 8, 90f., 119f. u. 125; ZELEWSKI (1989b), S. 4 u. 24.

Das MÜNCHHAUSEN-Trilemma und seine Konsequenzen sind mitunter auf Widerspruch gestoßen; vgl. HABERMAS (1973b), S. 144f., insbesondere Fn. 151 auf S. 145; APEL (1973b), S. 220 u. 405f.; KRAFT, V. (1973a), S. 11f.; JANICH (1974), S. 36ff.; HALLER, R. (1974), S. 121f. u. 126f.; MITTELSTRAß (1974), S. 57; KAMBARTEL (1975), S. 177ff.; APEL (1976a), S. 57ff.; KAMBARTEL (1976), S. 80ff.; GETHMANN (1977), S. 342ff., insbesondere Fn. 2 auf S. 343 u. S. 346ff. (distanziert); KUHLMANN (1981), S. 5f.; BERLICH (1982), S. 251f. u. 259ff. (distanziert); SEEL, G. (1983), S. 609ff.; MITTELSTRAß (1984a), S. 122 u. 135; MITTELSTRAß (1984b), S. 19ff.; KUHLMANN (1985a), S. 63ff., 74f. u. 78; BRAUN, W. (1985), S. 6f.; KUHLMANN (1989), S. 11ff. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, auf diese kritischen Beiträge im einzelnen einzugehen. Vgl. statt dessen die detaillierte und überzeugende Metakritik von ALBERT, H. (1975b), S. 100ff.; ALBERT, H. (1980a), S. 190ff.; ALBERT, H. (1982), S. 58ff., und ALBERT, H. (1985), S. 341ff. Vgl. darüber hinaus die subtile epistemologische Analyse und Destruktion von Positionen, die sich gegen das MÜNCHHAUSEN-Trilemma wehren, durch GETHMANN (1977), S. 347ff., und GETHMANN (1987), S. 271ff., insbesondere S. 284ff. u. 299. Vgl. auch die ähnliche Metakritik bei BERLICH (1982), S. 261ff., insbesondere S. 276ff. Neuerdings wird sogar von mindestens einem der oben angeführten Kritiker die Unhaltbarkeit von Letztbegründungsansprüchen - und damit indirekt auch das MÜNCHHAUSEN-Trilemma - anerkannt. Vgl. MITTELSTRAß (1984a), S. 131; MITTELSTRAß (1984b), S. 26ff., insbesondere S. 28f.

Der Verf. beschränkt sich hier auf zwei globale Anmerkungen. Erstens kann das MÜNCHHAUSEN-Trilemma selbst widerlegt werden, indem aufgezeigt wird, daß neben seinen drei Argumentationsvarianten mindestens eine weitere, unabhängige Argumentationsform existiert. Ein *überzeugender* Nachweis eines solchen "vierten Weges" ist dem Verf. allerdings noch nicht bekannt geworden. Zwar behaupten vor allem die Vertreter von reflexiven oder transzendentalpragmatischen Argumentationsweisen, eben diesen "vierten Weg" aufgezeigt zu haben. Vgl. dazu von den Quellen, die oben aus den Reihen der Trilemma-Kritiker angeführt wurden, vor allem die Beiträge von KUHLMANN. Aber die mangelhafte Stringenz dieses Argumentationsansatzes wurde bereits durch die vorgenannte Metakritik von ALBERT und GETHMANN aufgezeigt. Zweitens läßt sich jedes einzelne der oben vorausgesetzten vier Argumenta-

tionskriterien in Zweifel ziehen. Wer dies möchte, den vermag der Verf. nicht daran zu hindern. Denn diese Argumentationskriterien rechtfertigen zu wollen, führte abermals in die Verstrickungen des MÜNCHHAUSEN-Trilemmas. Auch SPINNER, H. (1977), S. 203, weist darauf hin, daß solche Argumentationskriterien normative Setzungen darstellen und keineswegs unproblematisch sind. Immerhin kann sich der Verf. auf eine breite Akzeptanz der Argumentationskriterien in der Literatur berufen. Vgl. zur gemeinsamen Ablehnung von regressiven, reflexiven und dogmatischen Argumentationsweisen POPPER (1972a), S. 30; LENK (1973), S. 94f.; KAMBARTEL (1976), S. 79; GETHMANN (1977), S. 361ff.; SPINNER, H. (1977), S. 169ff. u. 203; GETHMANN (1979), S. 34ff.; KERN, M. (1979), S. 18; ALBERT, H. (1980a), S. 13; FRIEDMANN (1983), S. 329; ALBERT, H. (1987), S. 15f., Fn. 12; SCHANZ (1988b), S. 41 u. 59f. Die Ausgrenzung regressiver Argumentationsformen wird später nochmals aus anderer Perspektive belegt: Es handelt sich um die Präferenz endlicher (finiter) Konstrukte. Sie impliziert, alle unendlichen Argumentationsführungen abzulehnen. Vgl. zur speziellen Ablehnung von Argumentationsfiguren, die das zu rechtfertigende Sujet in reflexiver Weise schon von vornherein voraussetzen (Zirkelschluß, *petitio principii* u.ä), WHITEHEAD (1925), S. 37f.; LENK (1973), S. 93f. u. 107. Die Zurückweisung dogmatischer Behauptungen erfreut sich so breiter Akzeptanz, daß sie kaum jemals explizit erwähnt wird. Vgl. als seltene Ausnahme ALBERT, H. (1987), *passim*, insbesondere S. 23f. Auf die Ablehnung selbstwidersprüchlicher (inkonsistenter) Argumentationen wird in Kürze zurückgekommen. Der Verf. konzidiert jedoch, daß die zuvor nachgewiesene Akzeptanz der Argumentationskriterien keine inhaltliche Rechtfertigung der Kriterien zu ersetzen vermag.

4) Vgl. zur erheblichen Beachtung, die der Entfaltung von Bezugsrahmen in der betriebswirtschaftlichen Literatur zukommt, HEINEN (1969), S. 208; GROCHLA (1975b), S. 17ff.; GROCHLA (1975c), Sp. 2913; KUBICEK (1975), S. 38f.; WOLLNIK (1976), S. 505, der allerdings von einem Vergleichsrahmen spricht; KIRSCH (1977c), S. 25f., 128 u. 254; KUBICEK (1977), S. 3 u. 16ff.; WOLLNIK (1977), S. 44ff.; STAEHLE (1977), S. 108f., 111 u. 113; KÖHLER, R. (1977b), S. 302; GROCHLA (1978a), S. 61ff., der das Konzept der Bezugsrahmen detailliert und differenziert entfaltet; KIRSCH (1978), *passim*, z.B. S. 124; KRÜGER, W. (1979), S. 382 u. 384; KOUBEK (1979), S. 399; GROCHLA (1980b), Sp. 1796f.; THOM (1980), S. 13ff. u. 63(ff.); WERHAHN (1980), S. 4; KIRSCH (1981a), S. 662; KIRSCH (1981b), S. 69; KIRSCH (1984), *passim*, z.B. S. 118, 123, 133ff., 341, 751ff. u. 1081ff., insbesondere S. 752f. u. 761f.; KURRAS (1984), S. 25, 153, 187 u. 189; WOLLNIK (1986), implizit auf S. 13, 21ff. u. 121ff., insbesondere S. 23ff. u. 41ff., als "Perspektiven" der Wirklichkeitserfassung, explizit auf S. 11, 45 u. 237; MALIK (1986), S. 21; THOM (1987), S. 3f. u. 340; CHECKLAND (1987), S. 119; BRENNEN (1988), S. 19ff., insbesondere S. 21ff.; KLEIN, S. (1989), S. 18, 53f., 79f., 107, 114 u. S. 135 (insbesondere Fn. 3); WOHLGEMUTH (1989a), S. 96; VON ECKARDSTEIN (1991), S. 217ff.; GEIBEL (1992), S. 54, 57ff. u. 285. Vgl. auch zum außerbetriebwirtschaftlichen Rekurs auf Bezugsrahmen KAMBARTEL (1975), S. 180 u. 182; ALBERT, H. (1978a), S. 23f. (Seine Ansicht, daß der Bezugsrahmen sich auch auf nicht offengelegte Problemaspekte - den impliziten Problemkontext - erstreckt, wird hier nicht weiter verfolgt. Statt dessen werden hier Bezugsrahmen ausschließlich als Explizierung von argumentationsrelevantem Hintergrundwissen behandelt.) Im weiten Sinne lassen sich auch die Orientierungshypothesen, die von OPP, K. (1976), S. 294ff., skizziert werden, als Bezugsrahmen auffassen. Gleiches gilt für die konzeptuellen Schemata ("conceptual schemes"), die von RESCHER (1982b), S. 28ff., ausführlich behandelt werden.

5) Vgl. zur Bedeutung von Hintergrundwissen, das oftmals auch unter den Aspekten von Hintergrundtheorien, -erwägungen, -informationen o.ä. thematisiert wird, HELMER (1959), S. 37ff.; OPP, K. (1976), S. 387ff. u. 404; HABERMAS (1981b), S. 589f.; COOMANN (1983), S. 242; POPPER (1984b), S. 72; RESCHER (1985a), S. 117; TAYLOR, C. (1986), S. 38ff.; MALIK (1986), S. 21; HABERMAS (1986), S. 369f.; RESCHER (1987a), S. 25, 33, 47, 50, 56 u. 62; HABERMAS (1988), S. 182f.; WENKEL (1988), S. 84f. Besonders hervorzuheben ist darunter das Konzept der argumentationsstützenden Hintergrundinformationen (backings) bei TOULMIN (1975), S. 93ff.; TOULMIN (1979), S. 26 u. 57ff.; ULRICH, W. (1983), S. 137ff.; HABERMAS (1984a), S. 163ff. Vgl. ebenso die Bezugnahme auf "begleitendes", aber nicht als solches thematisiertes Wissen, das Argumentationszusammenhängen zugrundeliegt, bei KUHLMANN (1981), S. 13f. Vgl. zur fundamentalen epistemischen Bedeutung von Hintergrundwissen ferner die deutlichen Anmerkungen, die allerdings nicht auf Argumentationszusammenhänge beschränkt sind, bei POPPER (1965a), S. 238ff.; QUINE (1975b), S. 74, 119f. u. 122; ALBERT, H. (1978a), S. 20f.; POPPER (1984b), S. 72ff., 171, 358ff. u. 368; STEGMÜLLER (1986a), S. 266f. u. 310f.; SCHANZ (1988b), S. 42f. Vgl. schließlich auch die Ausführungen zur Erklärungsrelevanz der "Wissenssituation" bei STEGMÜLLER (1983), S. 6ff., 952 u. 958ff., und zur Bedeutung von Hintergrundannahmen für die Konzeptualisierung von Problemen bei ALBERT, H. (1978a), S. 23.

Die vorgenannten Quellen beziehen sich inhaltlich nur auf Hintergrundwissen konzeptioneller Art. Darüber hinaus umschließt Hintergrundwissen aber auch immer terminologische Vereinbarungen. Ihre Bedeutung wird nur selten herausgestellt. Vgl. zu den wenigen Ausnahmen etwa die Erarbeitung eines begrifflichen Konstitutionssystems mit phänomenalistischer Ausrichtung bei CARNAP (1961), S. 1ff., und die Vorstellung einer wissenschaftlichen Einheitssprache mit physikalistischer Orientierung bei NEURATH (1931a), S. 395 u. 397ff., insbesondere S. 398ff. Vgl. zu den beiden vorgenannten Ansätzen auch HEGSELMANN (1979a), S. 17 u. 38f. Vgl. ebenso AJDUKIEWICZ (1934), S. 259ff., und ALBERT, H. (1964), S. 22 u. 43ff. Beide heben die Bedeutung von Begriffsapparaten für die Art der Wirklichkeitserfassung durch sprachlich verfaßte Theorien hervor. Vgl. auch WHITEHEAD (1925), S. 11f., zur herausragenden Funktion, die Begriffsdefinitionen zukommt: Sie sollen diejenigen Konzepte offenlegen, die von ihren Urhebern für besonders wichtig gehalten werden. Vgl. ebenso HUTCHISON (1964), S. 276f., der den konven-

tionalistischen Aspekt terminologischer Prämissen in ökonomischen Theorien akzentuiert. Vgl. schließlich auch die erheblichen Anstrengungen, die seitens der KI-Forschung bei der Erstellung begrifflicher Taxonomien aufgewendet werden, so z.B. von BRACHMAN (1983b), S. 30ff.; ATTARDI (1987), S. 277ff.

6) Das Begehren nach Explizierung wird später im Kontext des semiotischen Bezugsrahmens nochmals motiviert. Hier mag zunächst die treffende Äußerung von HAX,H. (1972), S. 325, reichen, in der lediglich die Wendung 'Implikationen (einer Prämisse)' durch die Formulierung 'Voraussetzungen (einer Argumentation)' ersetzt zu werden braucht: "Nun kann die Feststellung, eine bestimmte Aussage sei trivial, nur subjektiv sein; dem Genie, das alle Implikationen einer Prämisse in Sekundenschnelle durchschaut, ist jede durch logische Deduktion gewonnene Aussage trivial. Die Erfahrung zeigt aber, daß die logischen Implikationen ... durchaus nicht immer jedem ohne weiteres einsichtig sind und deswegen der Erläuterung bedürfen." Dem ist nichts hinzuzufügen.

7) Unter einem Strukturierungsparadigma wird hier ein in sich geschlossenes, homogenes Denk- und Formulierungsmuster verstanden, das einem Ausschnitt aus dem terminologischen oder konzeptionellen Hintergrundwissen in einheitlicher Weise zugrundeliegt. Vgl. auch MALIK (1986), S. 21, der eine Entsprechung zwischen dem Paradigmbegriff und dem hier besonders interessierenden Konzept des Bezugsrahmens herstellt, sowie WERHAHN (1980), S. 23, der Paradigma und Bezugsrahmen sogar miteinander identifiziert. Vgl. darüber hinaus RESCHER (1985b), S. 138f., der sich in ähnlichem Zusammenhang auf "Denkrahmen" bezieht. Ebenso ähneln die Ausführungen von RESCHER (1985a), S. 105ff., 123 u. 125ff., zu kognitiven Orientierungen dem hier verwendeten Begriff des Strukturierungsparadigmas weitgehend. Gleiches gilt für den Perspektivenbegriff von WOLLNIK (1986), S. 13, 23ff., 41ff. u. 124.

Der Begriff "Paradigma" wird in diesem Zusammenhang nicht in seiner fundamentalen wissenschaftstheoretischen und -soziologischen Bedeutung benutzt, die vor allem von KUHN vertreten, maßgeblich von LAKATOS zum Konzept der Erkenntnis- oder Forschungsprogramme ausgebaut sowie insbesondere von SNEED, STEGMÜLLER, BALZER und MOULINES in das strukturalistische Theorienkonzept präzisierend eingebettet wurde. Ihr zufolge wird ein Paradigma als ein in sich geschlossenes erkenntnisleitendes Konzept aufgefaßt, das von einer "relativ großen" Anzahl erkenntnissuchender Subjekte (Verbreitungsaspekt) über einen "relativ langen" Zeitraum hinweg unverändert angewendet wird (Stabilitätsaspekt) und als solches an konzeptspezifischen Charakteristika der Erkenntniserzielung leicht identifiziert werden kann (Identifikationsaspekt).

Statt dessen wird der Begriff des Paradigmas hier nur in der bescheidenen Variante eines Denk- und Formulierungsmusters bei der Wissensexpression verwendet. Der Verf. lehnt sich dabei an HERRMANN,T. (1976), S. 26, an. Dieser Autor bezieht sich auf ein "*quasiparadigmatisches Forschungsprogramm ...*, in dem es um die Anwendung eines invarianten, selbst nicht infrage gestellten *Beschreibungs- und Erklärungs-Modells ...* geht." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Vgl. dazu auch HERRMANN,T. (1979), S. 200 u. 202f. Ähnlich kann auf den Begriff des nicht-universellen sozialwissenschaftlichen Paradigmas von SCHREYÖGG (1984), S. 143, Fn. 10, verwiesen werden. Die Einengung des Paradigmbegriffs auf ein Muster der Wissensstrukturierung läßt sich auch dadurch rechtfertigen, daß sich der Paradigmbegriff immer mehr zu einem Oberbegriff für beliebige konzeptionelle Konstrukte entwickelt hat, die wissenschaftlichen Argumentationszusammenhängen als Denkfiguren zugrundeliegen; vgl. z.B. TOULMIN (1975), S. 128, 135 u. 156. Abweichender Ansicht ist allerdings CHMIELEWICZ (1979), S. 137f., der sich von der häufigen Verwendung des Paradigmbegriffs als einer "inflationären Modevokabel" (S. 138; im Original Fettdruck) distanziert. Ähnlich warnt auch WEDEKIND (1980), S. 662, vor "einem modischen oder gar leichtfertigen Gebrauch des Wortes 'Paradigma'". In diesem Sinne äußert sich ebenfalls HERRMANN,T. (1976), S. 161f. Dagegen moniert OPP,K. (1977), S. 122, zwar die Mehrdeutigkeit und mangelhafte Präzision des Paradigmbegriffs. Doch entschließt er sich, diesen Begriff als etablierte "Kurzformel" weiterhin zu verwenden. Dieser letztgenannten Einstellung schließt sich der Verf. an.

Vgl. zur - inhaltlich facettenreichen und zumeist unscharfen - Ausdeutung des Paradigmbegriffs, zu seiner betriebswirtschaftlichen Rezeption und zur zugrundeliegenden wissenschaftssoziologischen Konzeption die Ausführungen von KUHN,T. (1973a), insbesondere S. 28ff., 44ff., 58ff. u. 68ff., vor allem S. 28 u. 142; STEGMÜLLER (1973b), S. 153ff.; JEHL (1973), S. 1, 20f., 72ff., 83ff. u. 135ff.; KUHN,T. (1974d), S. 798ff.; WISDOM (1974a), S. 820ff., insbesondere S. 832ff.; STEGMÜLLER (1975), S. 85ff.; HERRMANN,T. (1976), S. 24f. u. 161f.; SNEED (1977), S. 257ff.; STEGMÜLLER (1977), S. 274f.; KIRSCH (1977e), S. 72ff.; TOULMIN (1978), S. 122ff., 144ff. u. 376ff.; KIRSCH (1978), S. 116ff.; STEGMÜLLER (1979a), S. 111ff. u. 131ff.; STEGMÜLLER (1979b), S. 55ff.; CHMIELEWICZ (1979), S. 136ff.; ULRICH,P. (1979), S. 169f.; MATTESSICH (1979), S. 255ff. u. 262ff.; STEGMÜLLER (1980), passim, z.B. S. 27ff., 40ff., 104ff., 146ff. u. 160f.; WEDEKIND (1980), S. 662f.; PUTNAM,H. (1982a), S. 154ff.; BRAUN,W. (1982), S. 5ff.; ZIMAN (1982), S. 73ff.; WEBER,N. (1983), S. 614ff.; KIRSCH (1984), S. 257, 305ff., 1072ff.; STRÖKER (1984a), S. 53ff.; KURRAS (1984), S. 51f., 54 u. 57f.; STEGMÜLLER (1986a), S. 34 u. 511f., insbesondere S. 512; STEGMÜLLER (1986b), S. 279f., 286f., 290ff., insbesondere S. 292ff. (auf S. 293 bezeichnet er ein Paradigma als "eine gemeinsame intuitive Grundeinstellung gegenüber einem Bereich von Phänomenen"; kursive Hervorhebungen im Original hier unterlassen); CHALMERS (1986), S. 105ff. u. 127ff.; BALZER,W. (1987a), S. XXVf., 206ff. u. 222f.; SCHANZ (1988a), S. 19ff.; SCHANZ (1988b), S. 1, 86 u. 92; ALBACH (1988b), S. 118ff.; SCHANZ (1988c), S. 56; sowie die (weiteren) Beiträge in dem Sammelwerk FISCHER-WINKELMANN (1983). Vgl. zu betont kritischen Auseinandersetzungen mit dem Paradigmbegriff aus betriebswirtschaftlicher Perspektive SCHNEIDER,D.

(1982), S. 849ff.; STOLL (1983), S. 545ff. Eine prägnante und zugleich komprimierte Darstellung des Paradigmenbegriffs KUHN's und seiner historischen Verwurzelung im Spielbegriff WITTGENSTEIN's findet sich bei STEGMÜLLER (1986b), S. 292f. Der zugrundeliegende sprachanalytische Paradigmenbegriff findet sich bei WITTGENSTEIN (1977), S. 47f., 51f., 132 u. 159.

Vgl. zur Fortentwicklung des Paradigmenbegriffs im Konzept der Erkenntnis- und Forschungsprogramme LAKATOS (1974b), S. 128ff.; LAKATOS (1974c), S. 279ff.; LAKATOS (1974d), S. 318ff.; LAKATOS (1975), S. 109ff.; LAKATOS (1982), S. 170ff. Vgl. auch die Würdigungen von LAKATOS' Ansatz bei STEGMÜLLER (1973b), S. 215ff, 254ff. u. 287ff. (kritisch distanziert); SCHANZ (1973), S. 138ff.; JEHL (1973), S. 82ff., 100, 125f., 133ff. u. 139ff.; BOHNEN (1975), S. 4ff.; SCHANZ (1975a), S. 328f(f); MUSGRAVE, A. (1976), S. 457ff.; PETRI, K. (1976), S. 288ff.; HERRMANN, T. (1976), S. 13 u. 25ff.; ALBERT, H. (1976a), Sp. 4680f., 4686 u. 4688ff.; SCHANZ (1977b), S. 11ff.; ESSER, H. (1977a), S. 241ff.; KIRSCH (1978), S. 119f.; STEGMÜLLER (1979a), S. 148ff.; STEGMÜLLER (1979b), S. 60ff.; CHMIELEWICZ (1979), S. 139f.; SCHMID, M. (1979a), S. 24ff.; HERRMANN, T. (1979), S. 199ff.; STEGMÜLLER (1980), S. 83, 117ff., 159f. u. 170f.; KIRSCH (1984), S. 31ff.; CHALMERS (1986), S. 94ff., 123ff., 141f. u. 145f.; ALBERT, H. (1987), S. 102ff.; NICKLES (1987), S. 181ff.; STACHOWIAK (1987a), S. 136ff.; SCHNEIDER, D. (1987a), S. 188 (nur sehr knapp); SCHANZ (1988a), S. 19 u. 22ff.; SCHANZ (1988b), S. 85ff., insbesondere S. 86ff.; SCHANZ (1988c), S. 55ff.; KRETSCHMANN (1990), S. 23f.

Vgl. schließlich zum oben erwähnten strukturalistischen Theorienkonzept STEGMÜLLER (1973b), S. 12ff. u. 120ff., insbesondere S. 135ff.; STEGMÜLLER (1974), S. 177ff.; STEGMÜLLER (1975), S. 75ff.; MOULINES (1975a), S. 2ff. u. 48ff., insbesondere S. 70ff.; MOULINES (1975b), S. 101ff.; SNEED (1977), S. 249ff.; STEGMÜLLER (1977), S. 272ff.; KUHN, T. (1977), S. 289ff.; STEGMÜLLER (1978), S. 41ff.; KIRSCH (1978), S. 121ff.; SNEED (1979a), S. 165ff. u. 259ff., insbesondere S. 171 u. 183ff.; STEGMÜLLER (1979a), S. 16f., 114ff. u. 133ff., insbesondere S. 138ff.; STEGMÜLLER (1979b), S. 25ff., 63ff. u. 90ff.; MATTESSICH (1979), S. 258ff. u. 265ff.; STEGMÜLLER (1980), S. 2ff., 32ff., 109ff., 137ff. u. 175ff., insbesondere S. 95ff.; KÖTTER (1983), S. 327ff.; KÜTTNER (1983), S. 349ff.; WEBER, N. (1983), S. 617ff.; KIRSCH (1984), S. 1072ff.; STEGMÜLLER (1986a), S. 468, 473ff. u. 489ff.; STEGMÜLLER (1986b), S. 304ff., insbesondere S. 306ff.; BALZER, W. (1987a), insbesondere S. XXff., 15ff., 36ff. u. 79ff. (eine umfassende Präsentation des gegenwärtigen Entwicklungsstands des strukturalistischen Theorienkonzepts); STACHOWIAK (1988), S. 6ff.; LAUTH (1988), S. 1ff.; DIEDERICH (1989b), S. 363ff.; DIEDERICH (1989c), S. 387ff.; DIEDERICH (1989d), S. 4f. u. 8ff.; FORGE (1990), S. 376ff.; MOULINES (1990), S. 124; ROTT (1991), S. 19ff.; SCHNEIDER, M. A. (1991), S. 99ff.; ZELEWSKI (1993), S. 94ff. (mit weiteren Literaturhinweisen in Anmk. 1) auf S. 98f.).

8) Als Strukturierung (i.w.S.) oder Konzeptualisierung eines Untersuchungsobjekts wird in dieser Arbeit jede Form der Beschreibung komplexer Sachverhalte verstanden, die den zu beschreibenden Sachverhalt zunächst auf weniger komplexe Sachverhaltsaspekte zurückführt und danach aus diesen Komponenten wieder schrittweise zusammensetzt. Die strukturierende Konzeptualisierung eines Untersuchungsobjekts besitzt daher sowohl eine analytisch-reduktive als auch eine synthetisch-integrative Seite. Ihr Ergebnis wird als die Struktur des untersuchten Objekts bezeichnet. Sie besteht aus den identifizierten Objektbestandteilen und deren zusammensetzungsbedingten wechselseitigen Beziehungen. Die Objektstruktur legt die Art und Weise fest, in der ein komplexes Objekt aus seinen weniger komplexen Komponenten aufgebaut ist.

Der weit gefaßte Strukturierungsbegriff und der daraus abgeleitete Strukturbegriff sind nicht an die systemtheoretische Betrachtungsweise gebunden, auch wenn sie sich an deren Konzept und Terminologie anlehnen. Vgl. zu ähnlich weit ausgelegten Strukturierungs- und Strukturbegriffen WITTGENSTEIN (1921), S. 201, Ziffer 2.032 ("Die Art und Weise, wie die Gegenstände im Sachverhalt zusammenhängen, ist die Struktur des Sachverhaltes."), sowie S. 202, Ziffer 2.15; RUSSELL, B. (1952), S. 249ff., 450f. u. 458f.; CARNAP (1961), S. 7 u. 13ff.; STEFFENS (1969), S. 25ff. (S. 25: "Struktur ... ist ... ein komplexes Beziehungsgefüge zwischen Objekten"; allerdings mit einer formalen Verengung auf S. 28ff., insbesondere S. 30); BRAUN, W. (1973), S. 38; CHMIELEWICZ (1979), S. 45 i.V.m. S. 43ff. (wenn von den dort mitunter vorgenommenen Einschränkungen auf formale Strukturierungen abgesehen wird); LUHMANN (1988), S. 382ff. Ähnlich wird bei RAMAKRISHNA (1986), S. 86f., die Problemidentifikation als Prozeß der Problemformulierung charakterisiert, der von einem unstrukturierten Problemempfinden ausgeht und mit einer (strukturierten) Problemdefinition endet. Auch hier erfüllt der Identifikationsprozeß - allerdings ohne expliziten Bezug auf Modellierungsprozesse - eine Erfassungs- und Strukturierungsaufgabe. Vgl. auch KUBICEK (1977), S. 18f., der eine konzise Auflistung von Identifikationsaufgaben für empirisch-explorative Forschungsvorhaben unterbreitet. Eine Strukturierung i.e.S. liegt dagegen vor, wenn die systemtheoretisch ausgerichtete Konzeptualisierung eines Untersuchungsobjekts gemeint ist. Dabei wird die Struktur eines Objekts, das als System interpretiert wird, mit den wohldefinierten Begriffen der statischen und dynamischen Systemstruktur beschrieben (Näheres dazu später). In systemtheoretischen Argumentationskontexten wird der Strukturierungsbegriff - auch ohne präzisierenden Zusatz - immer in diesem engeren Sinn verstanden. Sonst zielt der Strukturierungsbegriff in dieser Arbeit auf die eingangs erläuterte, weit gefaßte Begriffsvariante ab, sofern nicht ausdrücklich auf die Strukturierung i.e.S. Bezug genommen wird.

9) Damit wird der Forderung nach multiparadigmatischer Forschung entsprochen, wie sie von KIRSCH (1981a), S. 661; KIRSCH (1984), S. 306ff., 339, 396f., 559 u. 811; SIKORA, K. (1986), S. 12 u. 16; WENKEL (1988), S. 83, 93,

99ff., 103 u. 118f.; und SIKORA, K. (1989), Sp. 1958, erhoben wird. Ähnlich postuliert KLEIN, S. (1989), S. 135, Fn. 3, für Bezugsrahmen eine "Integration verschiedener Theorienkonstrukte". Am treffendsten wird das Anliegen multiparadigmatischer Bezugsrahmen durch jene Auffassung charakterisiert, die HERRMANN als heterogene Forschungsprogramme für invariante Gegenstandsbereiche thematisiert hat. Er spricht von einem solchen Forschungsprogramm, wenn "ein problematisierter (invarianter) Gegenstandsbereich in vielfältiger Weise (auch mit heterogenen theoretischen Mitteln) erforscht ... [wird. Dabei] handelt es sich um die wissenschaftliche Aufklärung eines komplexen Gegenstandsgebiets (Problemfeldes) mit Hilfe recht heterogener Erfassungs-, Beschreibungs- und Erklärungsmittel." (HERRMANN, T. (1976), S. 27; Zusatz [...] durch den Verf.; kursive Hervorhebungen im Original hier fortgelassen).

10) KUHN, T. (1973a), S. 28, bildet den abweichenden, heute jedoch weniger üblichen Plural "Paradigmata".

11) Diese Tendenz resultiert aus dem Sachverhalt, daß alternative Strukturierungsparadigmen oftmals - z.B. auf terminologischer Ebene - einander widersprechende Konzeptkomponenten enthalten. Daher steigt das Inkonsistenzrisiko - in einer groben Annäherung - mit der Paradigmenanzahl. Vgl. zu solchen paradigmatischen Widerspruchsmöglichkeiten die Ausführungen von ALBACH und KUBICEK in der nächsten Anmerkung. Vgl. auch RESCHER (1985a), S. 125 u. 236 (allerdings argumentiert RESCHER mitunter auch entgegengesetzt; siehe die nachstehende Anmerkung). Vgl. ebenso die analoge Konstatierung jeweils "sinnvoll begründbarer", aber untereinander widersprüchlicher "Wertsynonyme" im Basisbereich betriebswirtschaftlicher Argumentationszusammenhänge bei WALTER-BUSCH (1977a), S. 339; WERHAHN (1980), S. 381.

12) ALBACH (1988b), S. 115, empfiehlt "einen Pluralismus ... [von] Erkenntnisperspektiven, die soweit eingestellt sind, daß in ihrem Rahmen unterschiedliche und, wenn möglich, widerstreitende Paradigmen Platz finden" (Zusatz [...] durch den Verf.; anstelle von "soweit" im Original ist vermutlich "so weit" gemeint). Auch KUBICEK (1977), S. 20, unterstreicht die Erkenntniskraft pluralistischer Ansätze: "Ein Bezugsrahmen, der ... nur eine einzige Theorie zugrundelegt ..., ist in seinem heuristischen Potential von vornherein begrenzter als ein Bezugsrahmen, dessen Elemente aus mehreren, sich u.U. sogar widersprechenden Theorien stammen. Geschlossenheit und Konsistenz der Annahmen sind daher vor allem im Anfangsstadium grundsätzlich verdächtig. Ein heuristischer Bezugsrahmen sollte tendenziell pluralistisch und eklektisch sein, d.h. er sollte Annahmen und Fragen aus möglichst unterschiedlichen Richtungen, Ansätzen und Disziplinen gegenüberstellen. ... Konkret kann das heuristische Potential daher erhöht werden, indem ... alternative Interpretationsmuster formuliert ... werden" (kursive Hervorhebungen des Originals hier unterlassen).

Vgl. zu weiteren pluralistischen Erkenntnispositionen NEURATH (1966), S. 14; SPINNER, H. (1968), S. 189ff.; SPINNER, H. (1971), S. 30ff.; SCHANZ (1973), S. 134ff., 147ff. u. 151ff.; JEHL (1973), S. 126, 163 u. 169; LENK (1973), S. 102f.; SPINNER, H. (1974), passim, insbesondere S. 89ff. u. 223; FEYERABEND (1976a), passim, insbesondere S. 53 u. S. 68; PETRI, K. (1976), S. 284ff.; WOSSIDLO (1976), S. 469f.; HERRMANN, T. (1976), S. 37f. u. 62; KUBICEK (1977), S. 20f.; SPINNER, H. (1977), S. 190f.; SCHANZ (1978), S. 295ff., 311ff., 316ff. u. 322f.; VON BRENTANO (1978), S. 329ff.; CHMIELEWICZ (1979), S. 138ff.; ALBERT, H. (1980a), S. 47f. (S. 47: "Theoretischer Pluralismus"); KIRSCH (1981a), S. 656ff., insbesondere S. 565 u. 662; PUTNAM, H. (1982a), S. 105 u. 200; COOMANN (1983), S. 146; KIRSCH (1984), S. 98, 332ff., 561ff., 994f., 1000f. u. 1004ff., insbesondere S. 332f. u. 341; KURRAS (1984), S. 54f. u. 70ff.; POPPER (1984b), S. 307 u. 313f.; RESCHER (1985a), S. 123, 125, 135ff., 145ff., 151ff., 165ff., 177ff., 221ff., 238ff., 265ff. u. 271ff.; SPINNER, H. (1987), S. 16ff.; RESCHER (1987a), S. 179ff.; SCHANZ (1988a), S. 16ff.; SCHANZ (1988b), S. 54 u. 84; STEINLE (1988), S. 252; SCHANZ (1990a), S. 85, 92f., 102ff., 117ff. u. 121ff. Vgl. des weiteren - ohne explizite Verwendung des Pluralismusbegriffs, aber implizit eine pluralistische Position beziehend - BACKHAUSEN (1974), S. 30ff.; WOLLNIK (1986), S. 122f. u. 152f.

Allerdings lehnt RESCHER (1982a), S. 70 u. 84f., die pluralistische Interpretation der kohärentistischen Position ab, um am Ideal der "Einheit der Wahrheit" festhalten zu können. Gegen einen (weit gefaßten) Erkenntnispluralismus wendet sich ebenso RESCHER (1977a), S. 110ff., insbesondere S. 113. Dies erstaunt jedoch angesichts sonst publizierter, in pluralistische Richtung weisender Äußerungen RESCHER's. Vgl. zu einem Beispiel dafür das Zitat in der nachfolgenden Anmerkung. Vgl. auch die explizit pluralistische Ausdeutung kohärentistisch fundierter Wissenszusammenhänge bei RESCHER (1987a), S. 179ff.

13) Vgl. WOLLNIK (1986), S. 41ff. Er legt in einem informationswirtschaftlichen Argumentationskontext dar, daß "von den unterschiedlichen Perspektiven eine wirklichkeitskonstituierende oder -modellierende Kraft ausgeht" (S. 42). Daher erfordere "die perspektivische Konstruktion multipler ... Wirklichkeiten ... Betrachtung in jeweils wechselnden Bezugsrahmen" (S. 44f.). Dabei sind unter den multiplen "Wirklichkeiten" jeweils diejenigen Strukturierungen der Wirklichkeit zu verstehen, die durch die Perspektive eines Paradigmas für die Wirklichkeitswahrnehmung vermittelt werden. Die Gesamtheit der denkmöglichen Wirklichkeitswahrnehmungen bildet einen offenen "perspektivischen Spielraum" (S. 61 u. 67). Vgl. auch eine ähnliche Argumentation desselben Autors zugunsten einer Strategie des bewußten Perspektivenwechsels in WOLLNIK (1977), S. 55f. Noch weiter geht RESCHER (1979), S. 23ff., indem er Perspektivismus und Ganzheitlichkeit miteinander verknüpft: "We do not comprehend *adequately* what we do not comprehend from *all the appropriate perspectives* taken in their proper interrelationship. The achievement of adequacy ... is a matter of combining points of view and synthesizing them into a unified whole. ...

Adequacy lies in wholeness: it is only achievable through comprehensive synthesis of diverse aspects" (S. 24, kursive Hervorhebungen im Original). Vgl. zur Verknüpfung von holistischer und perspektivistischer Erkenntnisposition auch MITROFF (1973), S. 339ff., insbesondere S. 345 ("Disparate views are required."). Vgl. darüber hinaus zu weiteren Proponenten des Perspektivismus GOMEZ, P. (1975), S. 187 u. 192, und RESCHER (1985a), S. 173ff. u. 178 (bezüglich seines "Multifaceted Reality View"). Darüber hinaus entspricht der perspektivistische Ansatz der Forderung nach einer mehrdimensionalen Erfassung betrieblicher Wirklichkeit, wie sie etwa von ULRICH, H. (1970), S. 49f. u. 225ff., und RAFFEE (1974), S. 56f., erhoben wird. Vgl. dazu auch STEINLE (1982), S. 85ff., und STEINLE (1988), S. 252ff., der das Konzept der Mehrebenenanalyse propagiert.

14) Vgl. zur Anforderung ganzheitlichen (holistischen) Denkens, das nicht nur in jüngster Zeit zunehmende Beachtung erfährt, sondern auch auf eine längere, vor allem systemtheoretisch fundierte Tradition zurückblicken kann, HAX, K. (1959), S. 610; HASENACK (1963), S. 257ff.; RAFFEE (1974), S. 89; GOMEZ, P. (1975), S. 188ff.; KUBICEK (1977), S. 20; KAPPLER (1977), S. 171f.; RESCHER (1979), S. 10 u. 24; NAGEL, E. (1980), S. 241ff.; SIKORA, K. (1984c), S. 24 u. 27; BÜHNER (1986b), S. 535f.; SCHWEMMER (1987), S. 214ff.; ULRICH, H. (1988a), passim, insbesondere S. 109ff. i.V.m. Abb. 47 auf S. 110, S. 233ff. u. 255ff.; ULRICH, P. (1988), S. 303ff.; SCHÖNE, I. (1988), S. 11 u. 232ff.; BUTTERY (1988), S. 42f.; ZEH (1988a), S. 215; KLEIN, S. (1989), S. 79, 239f. u. 246; MÜLLER, A. R. (1989), S. 46 u. 49f.; ULRICH, H. (1989a), S. 52ff.; WOHLGEMUTH (1989a), S. 93; HANSSMANN (1990), S. 259; STAHL (1990), S. 55f.; VOIGT, J. (1990), S. 59f. u. 63; STEINBERG (1990), S. 77f. u. 81; DYCKHOFF (1990), S. 11; DYCKHOFF (1991a), S. 278. Besonders deutlich wird die Verknüpfung ganzheitlichen Denkens mit den hier thematisierten Bezugsrahmen bei ULRICH, H. (1989a), S. 54: "Ganzheitliches Denken ... heisst ..., dass es die Untersuchung von Teilen stets *im Rahmen* eines grösseren Ganzen vornimmt" (kursive Hervorhebung durch den Verf.).

15) Vgl. dazu die pointierte Kritik von WOLLNIK (1986), S. 64ff., 122f. u. 152ff., insbesondere S. 64 u. 122f. Er wendet sich gegen das "Auffassungsmanagement" (S. 62) in seiner Variante der Perspektivendurchsetzung, bei dem Konzeptualisierungen von Sachverhalten frühzeitig auf nur eine, jeweils interessenbedingte und lediglich scheinbar objektive Konzeptualisierungsperspektive eingeschränkt werden. Hierdurch erfolge eine "Verdrängung von interpretativer Relativität und mangelnder Objektivität" (S. 122). Vgl. auch KUBICEK (1977), S. 20.

16) Vgl. zu Überblicken über das kohärentistische Erkenntnis-konzept (Kohärentismus), das oftmals auch unter den Aspekten der Kohärenztheorie der Wahrheit oder der systematischen Ordnung (Systematisierung) von Wissenszusammenhängen thematisiert wird, BRADLEY, F. (1962), S. 202ff.; RESCHER (1974), S. 695ff.; RESCHER (1977a), S. 105ff. u. 259ff.; PUNTEL (1978), S. 172ff.; RESCHER (1979), S. 1ff., insbesondere S. 67ff.; RESCHER (1982a), passim, insbesondere S. 9f., 12ff., 23ff., 31ff., 72ff., 88ff. u. 168ff.; COOMANN (1983), S. 16ff., 68ff., 86ff. u. 219ff.; DAVIDSON (1983), S. 423ff.; RESCHER (1987c), S. 284ff.; ROHS (1987), S. 384 u. 386f.; BALZER, W. (1987a), S. XXX u. 418ff. Vgl. auch RESCHER (1987a), S. 43ff., 61ff. u. 100ff. Dort wird das kohärentistische Gedankengut zwar unter dem Etikett der Induktion aufbereitet. Doch lassen sich Induktion und Kohärentismus miteinander identifizieren. Vgl. RESCHER (1979), S. 80 ("inductive reasoning ... or its coherentist functional equivalent") u. 82ff.; RESCHER (1982a), S. 206f., 220ff., 225ff. u. 334; PUNTEL (1985), S. 17fff.; RESCHER (1987c), S. 296. Vgl. ebenso NEURATH (1931a), S. 403f.; NEURATH (1932), S. 208ff.; NEURATH (1934), S. 348f. u. 354ff.; NEURATH (1966), S. 13. Zwar hat NEURATH selbst den Begriff der Kohärenz nicht für sich in Anspruch genommen, sich in NEURATH (1934), S. 347, sogar implizit davon distanziert. Doch entspricht seine logisch-empiristische Erkenntnisposition genau der des Kohärentismus. Vgl. HALLER, R. (1974), S. 117ff.; HEGSELMANN (1979a), S. 40f.; SCHNITZLER (1980), S. 24f.; COOMANN (1983), S. 72ff., insbesondere Fn. 13 auf S. 72f. Gleiches gilt für die Ausführungen von RUSSELL, B. (1926), S. 18f. Einen Kohärenzgedanken könnte auch PFOHL (1977), S. 278f., verfolgt haben, wenn er von Entscheidungsmethoden einen "logischen Aufbau" einfordert.

Neuerdings wird die kohärentistische Position - vor allem im Anschluß an die Arbeiten RESCHER's, der die kohärentistische Erkenntnisposition in der aktuellen philosophischen Diskussion wiederbelebt und maßgeblich geprägt hat, - zunehmend in betriebswirtschaftlich ausgerichteten Kontexten rezipiert. Vgl. KNAPP (1978a), S. 301ff.; MASON, R. (1981), S. 229ff.; SIKORA, K. (1984b), S. 6f.; SIKORA, K. (1984c), S. 18ff. u. 27; BRAUN, W. (1985), S. 61 (allerdings ohne explizite Nennung RESCHER's); SIKORA, K. (1986), S. 22; ZACHARIAS (1988), S. 9, 14f. u. 53ff., insbesondere S. 68ff.; WENKEL (1988), S. 98f.; KLEIN, S. (1989), S. 10, 74, 77f., 81f., 90ff., 120f., 123ff. u. 152ff.; SIKORA, K. (1989), Sp. 1964. Vgl. des weiteren die intensive Würdigung von RESCHER's Gedankenwelt im erkenntnis- oder wissenschaftstheoretischen Kontext durch PUNTEL (1978), S. 182ff., insbesondere S. 182 u. 204; COOMANN (1983), S. 18f., 86ff. u. 203ff., insbesondere S. 86, 203f. u. 246f.; PUNTEL (1985), S. 8ff.; am Rande auch STEGMÜLLER (1983), S. 366ff. Vgl. schließlich auch die Andeutungen von kohärentistischen Positionen bei PERELMAN (1979), S. 156 u. 237f. (im juristischen Kontext), und PUTNAM, H. (1982a), S. 167 u. 182f.

Eine Konsequenz der kohärentistischen Erkenntniseinstellung ist in dieser Arbeit die Verwendung expliziter Querverweise (textendogener Verweiszusammenhang) und argumentbelegender Quellenangaben (textexogener Verweiszusammenhang). Vor allem die Intensität des textexogenen Verweiszusammenhangs könnte Ziel von Kritik sein. Vgl. dazu BEHRENS, C. (1989), S. 95 (distanziert). Der Verweiszusammenhang stellt aber - weit entfernt von einem Vollständigkeitsanspruch - einzelne Beziehungen desjenigen Argumentationsgeflechts heraus, in das die Ausführungen des Verf. eingebettet sind. Dadurch werden die explizit vorgetragenen Argumente in einen Argumentationszusammenhang eingebettet, der einen Ausschnitt aus dem bereits oben angesprochenen Hintergrundwissen bildet.

Dabei gehören die textendogenen Verweise zum explizierten, die textexogenen dagegen zum impliziten Hintergrundwissen. (Darüber hinaus existiert weiteres Hintergrundwissen, daß auch durch die belegenden Quellenangaben noch nicht abgedeckt ist.) Die Vielfalt bestätigender Quellenangaben stellt also keine isolierte Verweisanhäufung dar. Vielmehr wird das jeweils literarisch belegte Argument in kohärentistischer Weise in einen Kontext sich gegenseitig stützender, untersuchungsexterner Argumente eingebettet. Vgl. dazu auch die - popularisierende, aber inhaltlich zutreffende - Darstellung von Quellenangaben als eine Verankerung von Argumenten im Kontext thematisch verwandter Literatur durch BEHRENS, C. (1989), S. 96.

Eine andere Konsequenz folgt daraus, daß eine Argumentation trotz ihrer immanenten Kohärenz nur so lange überzeugen kann, wie sich auch ihr Rezipient innerhalb des involvierten Argumentationsgeflechts bewegt. Der Rezipient muß in der Lage sein, den Argumentationszusammenhang in sein eigenes Hintergrundwissen kohärent einzuordnen. Die Erfüllung dieser Voraussetzung ist jedoch keineswegs zwingend. Daher werden nicht nur argumentationsbelegende Quellenangaben verwendet, sondern auch Hinweise auf abweichende Ansichten Dritter. Hiermit wird die Möglichkeit anderslautender Argumentationen eingeräumt, die mit gleicher epistemischer Berechtigung immanente Kohärenz für ihre abweichenden Standpunkte beanspruchen (können). Auf diese Weise wird versucht, der Kritik zu begegnen, Publikationen führten nur solche Belege an, die ihre eigene Position stützen. Vgl. dazu KUHN, T. (1973a), S. 183, und CHMIELEWICZ (1979), S. 137. PERELMAN (1979), S. 11, behauptet sogar: "[Man] legt seiner Argumentation nur diejenigen [Prämissen] zugrunde, die wahrscheinlich sind oder einleuchten." (Zusätze [...] durch den Verf.). Diese Position unterstellt, daß in praktischen Argumentationen nur die Prämissen offengelegt werden, die infolge ihrer großen Wahrscheinlichkeit oder Evidenz ohnehin kaum problematisch sind.

Schließlich läßt sich die Basiskonzeption dieser Arbeit, in ihrer Langversion u.a. einen umfangreichen Bezugsrahmen zu entfalten, ebenfalls aus kohärentistischer Perspektive rechtfertigen: Die Lang- und die Kurzversion geben zwei Argumentationszusammenhänge wieder, die jeweils in sich kohärent sind, aber mit unterschiedlichem Hintergrundwissen operieren. Vgl. dazu auch PERELMAN (1979), S. 154, der beschreibt, wie stark Argumentationszusammenhänge vom Hintergrundwissen der jeweils angesprochenen Rezipienten abhängen. Die Kurzversion beruht auf einer Vielzahl impliziter Voraussetzungen, deren Offenlegung so lange nicht notwendig erscheint, wie sie vom Rezipienten aufgrund seines entsprechenden Hintergrundwissens akzeptiert - oder zumindest nicht als problematisch wahrgenommen werden. Da diese Voraussetzung eines "geeigneten" Hintergrundwissens jedoch keineswegs erfüllt sein muß, bietet der Verf. eine Langversion an, in der eine größere Anzahl der Präsuppositionen aus der Kurzversion offengelegt und partiell gerechtfertigt wird. Dazu dient vor allem der Bezugsrahmen des 2. Bandes. Aber auch die Langversion kann niemals beanspruchen, das Hintergrundwissen vollständig expliziert zu haben. Sie basiert ihrerseits ebenso auf impliziten Voraussetzungen. Daher besitzt sie nur exemplarischen Charakter der vertieften Problembehandlung.

An dieser Stelle ließe sich einwenden, die Behandlungsweise der Langversion sei "unnötig kompliziert". Der Verf. teilt diese Auffassung in ihrer kategorischen Form nicht. Denn sie unterstellt implizit jenes rechtfertigende Hintergrundwissen, das der Kurzversion zugrundeliegt. Eine solche Übereinstimmung in Präsuppositionen vereinfacht zwar die Argumentation, ist aber keineswegs notwendig. Denn sie entspringt dem kontingenten Hintergrundwissen des Rezipienten, aber nicht der behandelten Thematik selbst. Statt dessen setzt der Verf. voraus, Prozeßkoordinationen bei Produktionssystemen und Petrinetze stellten so komplexe Sachverhalte dar, daß ihre "adäquate" Behandlung nicht einfach ausfallen kann. Dies gilt zumindest so lange, wie sich nicht "wesentliche" Aspekte stillschweigend in ein präsupponiertes, vom Rezipienten bereits akzeptiertes Hintergrundwissen auslagern lassen.

Es könnte aber immer noch entgegnet werden, daß sich eine hohe Problemkomplexität und eine einfache, aber adäquate Problembehandlung keineswegs ausschließen müßten. Der Verf. sieht in der hier vorgelegten Ausarbeitung keinen Raum, sich mit dieser Ansicht grundsätzlich auseinanderzusetzen. Aber er folgt in dieser Hinsicht CHMIELEWICZ (1979), S. 38, aus dessen Äußerungen sich ein Dilemma zwischen Einfachheit und Adäquanz (Exaktheit) folgern läßt: "Allerdings weiß jeder, ... wie schwer es ist, komplizierte Sachverhalte exakt und einfach zugleich auszudrücken. Schmalenbach z.B. hat zwar einfach, aber ... nicht exakt formuliert ... Kosiol ist ... insofern ein Gegensatz zu Schmalenbach, als er in genauer Umkehrung zwar für die Exaktheit seiner Ausführungen bekannt, aber nicht immer einfach zu lesen ist. Die Zielsetzungen Exaktheit und Einfachheit liegen insofern in Konflikt ..." (kursive Hervorhebungen und partieller Fettdruck des Originals hier nicht wiedergegeben). Angesichts dieser Unvereinbarkeit hat sich der Verf. in der Langversion zugunsten einer "exakten" Darstellungsform entschieden, die entsprechend komplex und umfangreich ausfällt. Eine ähnliche Einstellung legt VON WEIZSÄCKER (1985), S. 18, seinem Werk zugrunde: "Eine Schwäche ist sein Umfang. Anscheinend habe ich die Darstellung vieler Einzelheiten und das Beschreiten mehrerer alternativer Wege gebraucht, um die Klarheit über das Ganze zu gewinnen, ... es mag sein, daß bei neuartigen Gedanken die Ausführlichkeit der Darstellung dem Leser zum Verständnis hilft. Jedenfalls habe ich niemals die hermetisch-abweisende Knappheit gesucht, die in der Mathematik verbreitet ist."

17) Die immanente "Stimmigkeit" wird seitens der Kohärenztheorie - insbesondere durch die Werke RESCHER's - durch eine Vielzahl von Kohärenzkriterien konkretisiert. Es würde jedoch für die Ausführungen dieser Arbeit keinen Erkenntnisgewinn bedeuten, diese Kriterien im einzelnen zu erläutern, zumal hierbei auf einige Fragwürdigkeiten näher eingegangen werden müßte. Vgl. statt dessen die Diskussion solcher Kohärenzkriterien bei PUNTEL (1978), S. 192ff.; RESCHER (1982a), S. 32f., 35ff., 72ff. u. - vor allem - 169ff.; COOMANN (1983), S. 105f. u. 121ff.; PUNTEL (1985), S. 14ff.; ZACHARIAS (1988), S. 61ff. Vgl. darüber hinaus auch die Kataloge von "Parametern" für

die Systematisierung von Wissenszusammenhängen bei RESCHER (1979), S. 10f. u. 16f.; RESCHER (1980b), S. 136; RESCHER (1982a), S. 226ff.; RESCHER (1982b), S. 234f.; COOMANN (1983), S. 167f.; SIKORA, K. (1984c), S. 20; PUNTEL (1985), S. 13 u. 17; RESCHER (1987a), S. 44; ZACHARIAS (1988), S. 68ff. Kohärenzkriterien und Systematisierungsparameter werden zwar von RESCHER unterschieden. Doch sind sie inhaltlich so eng miteinander verzahnt, daß es unklar bleibt, worin ihre Funktionen innerhalb des kohärentistischen Erkenntniskonzepts überhaupt abweichen. Diese enge Verwandtschaft äußert sich z.B. darin, daß manche Kohärenzkriterien und Systematisierungsparameter - wie z.B. die Widerspruchsfreiheit (Konsistenz) und die Zusammenhängigkeit (cohesiveness) - mitunter identisch formuliert werden. Vgl. zur gegenseitigen Abhängigkeit von kohärentistischer Wahrheitsauffassung und Wissenssystematisierung auch RESCHER (1979), S. 30ff. (die Kohärenz wird dort durch Beziehungen zwischen den Komponenten eines systematisierten Wissensbestands umschrieben), 44ff. (i.V.m. S. 52), 67ff. u. 78f.; RESCHER (1982a), S. 41f., 44 u. 168f.

18) Die grundsätzliche Forderung nach Widerspruchsfreiheit oder (logischer) Konsistenz findet breite Übereinstimmung. Vgl. etwa CARNAP (1960a), S. 175; LORENZEN, P. (1962), S. 61; ALBERT, H. (1964), S. 54f.; POPPER (1965b), S. 266f., 269f. u. 272; KÖRNER, S. (1968), S. 86ff.; STEGMÜLLER (1970a), S. 373; RESCHER (1970), S. 181; PERELMAN (1971), S. 195ff.; LENK (1973), S. 89f. u. 105f.; GÄFGEN (1974), S. 462; BACKHAUSEN (1974), S. 28f.; TOULMIN (1975), S. 151ff.; OPP, K. (1976), S. 352f. u. 375f.; ALBERT, H. (1976a), Sp. 4680; REICHENBACH (1977), S. 333; ARISTOTELES (1978), S. 136ff.; PUNTEL (1978), S. 183 u. 193; CHMIELEWICZ (1979), S. 93 u. 286; EICHORN (1979), S. 83f.; ALBERT, H. (1980a), S. 200f.; RESCHER (1980b), *passim*, insbesondere S. 1f., 136 u. 140; RESCHER (1982a), S. 31f., 40, 44, 52, 70f., 74, 172 u. 235f.; PRESSMAR (1982), S. 343; RESCHER (1985a), S. 22, 24f., 38ff., 64ff. u. 153; KUHLMANN (1985a), S. 44, 82, 91ff. u. 195; BRAUN, W. (1985), S. 25; ALBERT, H. (1987), S. 97; APEL (1987), S. 187ff.; HÖSLE (1987), S. 258; GETHMANN (1987), S. 275; RESCHER (1987a), S. 44 u. 181; HOLTHOFF (1988), S. 22f.; SCHANZ (1988b), S. 31; BAMBERG (1989), S. 3; WEDEKIND (1989c), S. 21f.; DITTRICH, G. (1989b), S. 1; HORACEK (1989), S. 329; SCHWEITZER, M. (1990a), S. 57; FRESE (1991), S. 4. Vgl. insbesondere auch zur Ausformung der Konsistenzforderung als ein Kohärenzkriterium PUNTEL (1978), S. 193, und RESCHER (1982a), S. 172.

Die Konsistenzforderung ist keineswegs in dem Sinne trivial, daß sie für jede denkmögliche Argumentationsführung gilt. Vielmehr grenzt sie Argumentationsverständnisse, wie sie im Rahmen einer "dialektischen Logik" oder einer "Logik der Inkonsistenz" vertreten werden, grundsätzlich aus. Denn aus einer in sich widersprüchlichen Argumentemenge kann mit der Stringenz deduktiver Inferenz *jedes beliebige* Argument gefolgt (begründet) werden. Vgl. zu diesem "ex falso (sequitur) quodlibet" ALBERT, H. (1964), S. 54; POPPER (1965b), S. 267ff., insbesondere S. 269ff.; ESSLER (1971), S. 103, insbesondere S. 98f.; BACKHAUSEN (1974), S. 28, Fn. 2; OPP, K. (1976), S. 319 u. 352; TOPITSCH (1978), S. 360ff.; EICHORN (1979), S. 83f.; ALBERT, H. (1980a), S. 12 u. 201; RESCHER (1982a), S. 82; COOMANN (1983), S. 107; POPPER (1984a), S. 58; ALBERT, H. (1987), S. 81; SCHANZ (1988b), S. 31. Die Argumentationswillkür, die von widersprüchlichen Argumentemengen eröffnet wird, empfindet der Verf. grundsätzlich als inakzeptabel. Vgl. zu ähnlichen, aber inhaltlich nicht identischen Rechtfertigungen der Konsistenznorm HÖSLE (1987), S. 258; GETHMANN (1987), S. 275. Vgl. auch zum Postulat dialektikfreier Argumentation POPPER (1965a), S. 355; POPPER (1965b), S. 274; TOPITSCH (1978), S. 373.

Aufgrund der Voraussetzung konsistenter Argumentationszusammenhänge kann sich der Verf. der bereits zitierten Ansicht von ALBACH (1988b), S. 115, in der einen Hinsicht nicht anschließen, daß in einer pluralistischen Erkenntnisposition auch "widerstrebende Paradigmen Platz finden" sollten. Dies gilt zumindest dann, wenn ALBACH unter "Widerstreit" ein logisch widerspruchsvolles Argumentationsverhältnis versteht. Aus dem gleichen Grund vermag der Verf. dem Argument von KUBICEK (1977), S. 20, nicht zu folgen, Pluralismus werde durch bewußte Inkaufnahme mangelhafter Konsistenz befruchtet (vgl. eine der voranstehenden Anmerkungen). Allerdings insistiert der Verf. auf der Konsistenz von Bezugsrahmen nur innerhalb eines Argumentationszusammenhangs mit Rechtfertigungscharakter, wie er in dieser Arbeit ausgeführt wird. Im Entdeckungszusammenhang, der hier nicht dokumentiert ist, erkennt er hingegen den befruchtenden Impuls widersprüchlicher Strukturierungsoptionen durchaus an. Falls sich ALBACH und KUBICEK *nur* auf einen solchen Entdeckungszusammenhang bezogen haben - ihre Diktion bleibt diesbezüglich unbestimmt - entfallen die vorgenannten Vorbehalte.

Nähere Darstellungen und Problematisierungen dialektischer Argumentationsfiguren finden sich bei POPPER (1965a), S. 312ff.; POPPER (1965b), S. 265ff.; ESSLER (1971), S. 96ff., insbesondere S. 98f.; TOPITSCH (1978), S. 353ff.; ROUTLEY (1979), S. 301ff.; VAN BENTHEM (1979), S. 333ff.; RAUTENBERG (1979), S. 178f.; SACHSSE (1983), S. 103ff.; PATZIG (1988), S. 213ff. Vgl. auch zu Arbeiten über "Logik der Inkonsistenz" (RESCHER), "parakonsistente Logik" (DA COSTA), "Ultralogik" (ROUTLEY) usw. RESCHER (1970), S. 180ff.; DA COSTA (1974), S. 497ff.; RESCHER (1980b), insbesondere S. 24ff. u. 56ff.; ROUTLEY (1980), S. 297 u. 893ff.; ARRUDA (1980), S. 1ff.; DA COSTA (1982), S. 1ff.; Darüber hinaus plädiert auch MARCH (1990b), S. 310ff., 314, 318 u. 321, zugunsten von inkonsistenten Verhaltensweisen.

19) Vgl. RESCHER (1985a), S. 236ff. u. 252ff., der sich deutlich gegen die synkretistische Auffassung wendet, alle Denkmuster könnten in einem "Übermuster" integriert werden.

20) Vgl. zur Bedeutung des Hintergrundwissens in kohärentistischen Kontexten, das dort auch in der Gestalt von Hintergrunderwägungen oder Hintergrundinformationen angesprochen wird, RESCHER (1987a), *passim*, z.B. S. 25, 33, 47, 50, 56 u. 62.

21) Die Strukturierungsparadigmen werden in dieser Arbeit nicht umfassend dargestellt. Statt dessen wird auf die jeweils angeführten Quellenangaben mit Überblickscharakter verwiesen. Es werden nur diejenigen Aspekte explizit hervorgehoben, die entweder für den Argumentationszusammenhang dieser Untersuchungen wesentliche Bedeutung erlangen oder abweichend von der vorherrschenden, in den angeführten Quellen dokumentierten Ansicht dargestellt werden.

22) Es liegt außerhalb des hier verfolgten Erkenntnisinteresses festzustellen, ob es sich um eine maximale Menge von Strukturierungsparadigmen derart handelt, daß jede Ausdehnung um ein weiteres Paradigma zu einem inkohärenten Hintergrundwissen führte.

23) Es besteht eine begriffliche Unschärfe, welche erkenntnisleitenden Konzepte als so reichhaltig angesehen werden, daß ihnen die Qualität eines Strukturierungsparadigmas zugesprochen wird. Der Verf. rechtfertigt hier die Grenzziehung hinsichtlich der paradigmaerforderlichen Reichhaltigkeit nicht näher (vgl. dazu die frühere Anmerkung zur Problematik von Grenzziehungen). Statt dessen beschränkt sich der Verf. auf folgende - letztlich willkürliche - Festlegung: Alle Strukturierungsansätze, die in den anschließend angesprochenen Paradigmen nicht enthalten sind, aber dennoch in dieser Arbeit verwendet werden, rechtfertigen nach Einschätzung des Verf. noch nicht den Paradigmabegriff. Dazu zählen beispielsweise die objekt-, funktions-, daten-, zustands-, aktions- und ereignisbezogenen Strukturierungsansätze, auf die später zurückgekommen wird. Sie ergänzen die Strukturierungsparadigmen, so z.B. der objektorientierte Ansatz das systemtheoretische Paradigma.

24) Gegenüber der nachfolgend unterstellten Systematik lassen sich auch abweichende Einteilungen für betriebswirtschaftlich ausgerichtete Strukturierungsparadigmen vorstellen. Vgl. zu abweichenden Auflistungen sozial- oder betriebswirtschaftlicher Paradigmen RAFFEE (1974), S. 79; OPP,K. (1976), S. 374; WERHAHN (1980), S. 1f.; SINZIG (1983), S. 4f.; KURRAS (1984), S. 177ff.; Beispielsweise kann das kybernetische Paradigma als eine spezielle Ausformung des systemtheoretischen Paradigmas aufgefaßt werden. Vgl. ULRICH,H. (1970), S. 102; MALIK (1986), S. 77. Eine Systematisierung der denkmöglichen Erkenntnismuster für betriebswirtschaftliche Problemstellungen wird im Erkenntnisrahmen dieser Arbeit jedoch nicht angestrebt.

Vgl. zu Übersichten über paradigmatische Erkenntnismuster, Forschungsprogramme u.ä. für betriebswirtschaftliche Problemstellungen SCHANZ (1973), S. 139ff.; RAFFEE (1974), S. 79ff.; GROCHLA (1975c), Sp. 2897ff.; SCHANZ (1978), S. 302ff. u. 320ff.; SCHWEITZER,M. (1978b), S. 13f.; ULRICH,P. (1979), S. 170ff.; CHMIELEWICZ (1984), S. 148ff.; BRAUN,W. (1985), S. 1ff.; SCHANZ (1988b), S. 89ff.; SCHANZ (1988c), S. 61ff.; ALBACH (1988b), S. 118ff.; NIENHÜSER (1989), S. 20ff.; SCHANZ (1990a), S. 85ff., 91ff. u. 107ff. Vgl. auch die (weiteren) Beiträge in den Sammelwerken VON KORTZFLEISCH (1971); DLUGOS (1972a); KÖHLER,R. (1977a); SCHWEITZER,M. (1978a); RAFFEE (1979a); KAPPLER (1983); WUNDERER (1988), insbesondere Teil III (S. 97ff.).

25) Statt dessen werden sie jeweils dort offengelegt, wo sie spezielle Bedeutung erlangen. Vgl. dazu die Hinweise in den anschließenden Anmerkungen.

26) Vgl. dazu die handlungstheoretische Rechtfertigung von Entscheidungsmodellen ohne Optimierungsanspruch, die an späterer Stelle vorgetragen wird. Ausführlichere Darstellungen des handlungstheoretischen Paradigmas finden sich bei KOCH,H. (1971), S. 61ff.; KOCH,H. (1973), S. 217ff.; SCHANZ (1973), S. 143ff. u. 149; KOCH,H. (1975), S. 38ff.; KOCH,H. (1977a), S. 283ff.; PICOT (1977), S. 143ff.; BRAUN,W. (1977), S. 189ff.; ULRICH,P. (1979), S. 178ff.; BRAUN,W. (1985), S. 7ff., 21 u. 27ff.; SCHWEMMER (1987), S. 191ff. u. 268ff.; STÜDEMANN (1988), S. 3ff.; BORRIES (1988), S. 10ff. u. 49ff.; SCHANZ (1990a), S. 113f. (in kritischer Distanz); FRESE (1991), S. 2f. u. 69ff.; vgl. auch weitere Beiträge in dem Sammelwerk KÖHLER,R. (1977a), S. 129ff.

27) Vgl. zu diesem Grundsatz des "omnis affirmatio est negatio" RESCHER (1985a), S. 38. In die gleiche Richtung weist das engagierte Plädoyer von SCHANZ (1990a), S. 91f., zugunsten eines Pluralismus, der kein "unverbindliches Nebeneinander" von Erkenntnismustern bedeutet, sondern deren Konkurrenz durch wechselseitigen Widerspruch fordert.

28) Darüber hinaus ließe sich eine Vielzahl von Paradigmen anführen, die für sich einen paradigmatischen Anspruch erheben, aber sich noch nicht als Paradigma im originären Begriffsverständnis KUHN's durchzusetzen vermochten. Vgl. dazu - als *pars pro toto* - das parabiologische Paradigma, das von SCHÖNE,I. (1988), S. 330ff., 351ff. u. 379ff., skizziert wird.

29) Vgl. dazu die paradigmatisch ausgerichteten Beschreibungen (und Analysen) von Managementstrategien bei ALLISON (1971), S. 3ff.; ALLISON (1976), S. 466ff.; SCHREYÖGG (1984), S. 147ff.

30) Vgl. zum bekenntend-normativen Paradigma NICKLISCH (1920), S. 49ff., insbesondere S. 69ff.; NICKLISCH (1932), *passim* und nur mittelbar, z.B. durch Rekurs auf eine "Betriebsgemeinschaft" (S. 28, 294, 296ff., 301 u. 700); NICKLISCH (1934), S. 7ff. (mit problematischer nationalsozialistischer Tendenz); KALVERAM (1949), S. 9ff.;

SCHÖNPFLUG (1954), S. 76ff.; LOITLSBERGER (1971), S. 84ff., insbesondere S. 96ff.; STAEBLE (1973), S. 184ff.; RAFFEE (1974), S. 59ff.; HASENACK (1977), S. 35ff.; STEINMANN, H. (1978b), S. 73ff., insbesondere S. 83ff. u. 97; BRAUN, W. (1978), S. 193ff.; SCHÖNE, I. (1988), S. 62ff.; sowie die Beiträge im Sammelwerk SCHWEITZER, M. (1978a), S. 48ff. Vgl. auch - in kritischer Distanz - SCHANZ (1972), S. 379 u. 382ff.; SCHANZ (1973), S. 145f.; FISCHER-WINKELMANN (1974), S. 53ff.; SCHANZ (1978), S. 308ff. u. 321; CHMIELEWICZ (1979), S. 296ff.; SCHANZ (1988b), S. 90f.; SCHANZ (1988c), S. 68ff.; SCHANZ (1990a), S. 115f.

31) Vgl. zum verhaltenstheoretischen Paradigma CYERT (1963), insbesondere S. 18ff. u. 115ff.; KIRSCH (1977a), S. 76ff. u. 127ff.; KIRSCH (1977c), S. 52ff., 99ff. u. 161ff.; SCHANZ (1977b), S. 4ff., 56ff., 66ff. u. 179ff.; GROCHLA (1978a), S. 130ff.; KIRSCH (1979), S. 105ff.; BRAUN, G. (1979), S. 476f.; KIRSCH (1984), S. 91ff. u. 270ff., insbesondere S. 103ff.; SCHANZ (1988a), S. 49ff.; SCHANZ (1988b), S. 94f.; SCHANZ (1988c), S. 102ff.; SCHANZ (1988d), S. 221ff.; SCHANZ (1990a), S. 31ff., 94f. u. 187ff.; HILL, W. (1991), S. 6ff.; FRESE (1991), S. 46ff.; vgl. auch die Beiträge in den Sammelwerken GROCHLA (1975a), Teil C (S. 89ff.); GROCHLA (1976a), Teil D II (S. 359ff.).

32) Dabei konzidiert der Verf., daß sich solche Ausgrenzungen von Optionen, die als "unfruchtbar" erscheinen, aufgrund des Relevanzdilemmas niemals überzeugend rechtfertigen lassen. KUBICEK (1977), S. 21, spricht im Hinblick auf solche Ausgrenzungen plastisch von "Gewissensentscheidungen" (im Original kursiv). Das Relevanzdilemma besteht darin, daß es unmöglich ist, die Bedeutungslosigkeit von Konzepten, die aus einem Argumentationszusammenhang ausgegrenzt werden, innerhalb desselben Argumentationszusammenhangs nachzuweisen. Denn zum Nachweis seiner Bedeutungslosigkeit müßte das Konzept zum Objekt einer entsprechenden Argumentation werden. Dies widerspräche aber der vorausgesetzten Ausgrenzung des Konzepts aus dem Argumentationszusammenhang. Wegen dieses Relevanzdilemmas steht die o.a. Paradigmenausgrenzung infolge vermuteter Unfruchtbarkeit der Widerlegung offen. Die Irrelevanz eines Beschreibungsparadigmas ließe sich allenfalls innerhalb eines Metabezugsrahmens rechtfertigen, der den Bezugsrahmen dieser Arbeit um jenes Beschreibungsparadigma erweitert. Dies korrespondiert mit der Argumentation zur Grenzziehung des explizierten Hintergrundwissens und zur optimalen Modellkomplexion, die weiter oben erfolgte.

33) Vgl. zum kontrolltheoretischen Paradigma BELLMAN (1967), passim, insbesondere S. 24ff. u. 32ff.; NEUMANN, K. (1968), S. 55ff.; DORFMAN (1969), S. 817ff.; STEPAN (1977), S. 5ff., insbesondere S. 30ff.; SIEBERT, H. (1980), S. 11ff.; KAMIEN (1981), S. 111ff.; FEICHTINGER (1981), S. 213ff.; FEICHTINGER (1982a), S. 172ff., mit einer ausführlichen Bibliographie; FEICHTINGER (1982b), S. 195ff.; SCHIEMENZ (1982), S. 76ff., der sich allerdings nicht explizit auf die Kontrolltheorie, sondern auf die dynamische Prozeßoptimierung bezieht; ROSKI (1984), S. 515ff.; SIEBERT, H. (1984), S. 337ff.; TOUSSAINT, S. (1984), S. 653ff.; BENSOUSSAN (1985), S. 77ff.; ROSKI (1985), S. 15ff.; SIEBERT, H. (1985), S. 6ff.; FEICHTINGER (1986), S. 3ff. u. 16ff.; STEPAN (1988), S. 175ff., insbesondere S. 207ff.; DYCKE (1988), S. 27 u. 46ff.; WACKER, H. (1989), S. 226ff. Der kontrolltheoretische Ansatz wird hierbei so weit gefaßt, daß er die dynamische Programmierung umgreift. Denn die letztgenannte stellt nur eine spezielle Formulierung allgemeiner kontrolltheoretischer Probleme dar.

34) Vgl. z.B. STEPAN (1977), S. 92ff.; FEICHTINGER (1981), S. 215ff., insbesondere S. 223ff.; LEIVISKA (1982), S. 13ff.; FEICHTINGER (1982a), S. 173; FEICHTINGER (1982b), S. 196ff., 205ff. u. 208; SCHIEMENZ (1982), S. 97f.; BENSOUSSAN (1985), S. 82ff. u. 97ff.; ROSKI (1985), S. 17ff.; FEICHTINGER (1986), S. 5ff. u. 237ff.; VICKSON (1986), S. 1336ff.; ROSKI (1987), S. 531ff.; POPPLEWELL (1987), S. 46ff.; KÜPPER, H. (1988), S. 399ff.; STEPAN (1988), S. 80ff. u. 217ff.; KÜPPER, H. (1989a), S. 49ff. u. 53; VILLA (1989a), S. 261ff.

35) Die Problemkonzeptualisierung erfolgt im Rahmen der Kontrolltheorie stets mit der Hilfe eines Zielfunktionalen. Hierin beschreiben zeitabhängige Funktionen, wie sich alternative Kontrollpolitiken und die politikdeterminierte zeitliche Entwicklung des kontrollierten Objekts auf ein *monodimensionales* Kontrollziel auswirken würden. Ohne die Kenntnis solcher Funktionale lassen sich die kontrollspezifischen Lösungskonzepte - vor allem das rekursive Optimalprinzip nach BELLMAN und das Maximumprinzip nach PONTRJAGIN - nicht anwenden. Eine entscheidungstheoretische Konzeptualisierungsprämisse dieser Arbeit besteht aber in der Unterstellung, daß Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen einer Mannigfaltigkeit von unterschiedlichen Entscheidungszielen und heterogen zusammengesetzten Entscheidungsträgern unterliegen. Dieser Perspektive einer Pluralität von Entscheidungszielen und -trägern widerspricht das monodimensionale Funktional für das eine Kontrollziel im kontrolltheoretischen Ansatz. Schon aus diesem Grund erscheint die kontrolltheoretische Problemstrukturierung ungeeignet. Darüber hinaus bestehen erhebliche Zweifel, ob der mathematische Kalkül der Kontrolltheorie, der auf den beiden o.a. Optimal- und Maximumprinzipien beruht, für die *vielfältigen*, oftmals *qualitativen* Einflußgrößen überhaupt noch gehandhabt werden kann, die bei Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen relevant sein können. Vgl. dazu die Fallstudie im 5. Band dieses Projektberichts. Der Verf. wagt die Prognose, daß ihre Reformulierung als kontrolltheoretisches Extremierungsproblem praktisch scheitern wird. Schließlich widerspricht das kontrolltheoretische Paradigma der später erläuterten, entscheidungs- und handlungstheoretisch motivierten Forderung, daß für die Prozeßkoordinierung komplexer Produktionssysteme neben optimierenden auch projektive und komparative Analysen möglich sein sollen. Denn der kontrolltheoretische Kalkül ist als Erweiterung der klassischen Variationsrechnung (Differentialrechnung) grundsätzlich im Optimierungsdenken verhaftet. Vgl. dazu etwa STEPAN (1988), S. 177ff. Daher scheidet der kontrolltheoretische Ansatz auch aus dieser Perspektive als Strukturie-

rungsparadigma aus. Dies gilt zumindest so lange, wie keine reinen Optimierungsprobleme untersucht werden. Zwar wird das kontrolltheoretische Paradigma an späterer Stelle hinsichtlich BELLMAN's Optimalprinzip reflektiert. Dort geht es jedoch nicht mehr um eine allgemeine Strukturierung von Koordinierungsproblemen, sondern um die spezielle Aufgabe der Netzoptimierung.

Alle vorgenannten Argumente zeigen, daß sich das kontrolltheoretische Paradigma nicht kohärent in den Bezugsrahmen einbetten läßt, der in dieser Arbeit entfaltet wird. Vgl. darüber hinaus zur Definition des kontrolltheoretischen Funktional-Begriffs, der oben vorausgesetzt wurde, BELLMAN (1954), S. 505; BELLMAN (1956), S. 68; BELLMAN (1957a), S. 8, 39f., 63 u. 245; BELLMAN (1967), S. 24f., 44, 97f., 103f. u. 285ff.; PONTRJAGIN (1967), S. 8, 19 u. 230f.; NEUMANN,K. (1968), S. 56f.; STEPAN (1977), S. 5; FEICHTINGER (1982a), S. 172; ROSKI (1984), S. 518; ROSKI (1985), S. 16. Auf BELLMAN's Optimalprinzip wird später zurückgekommen. Vgl. zum Maximumprinzip, das im folgenden keine Rolle mehr spielen wird, PONTRJAGIN (1967), S. 23ff., 80ff. u. 100ff., insbesondere S. 25ff.; NEUMANN,K. (1968), S. 63ff. u. 68ff., insbesondere S. 65; BECKMANN,M. (1968), S. 132ff.; DORFMAN (1969), S. 821ff.; STEPAN (1977), S. 18ff. u. 42ff.; BAETGE (1980), Sp. 1093; KAMIEN (1981), S. 201ff.; FEICHTINGER (1982a), S. 171f. u. 174ff., insbesondere S. 175 u. 178; SCHIEMENZ (1982), S. 94ff.; ROSKI (1984), S. 516 u. 517ff.; ROSKI (1985), S. 16; FEICHTINGER (1986), S. 18ff. u. 506ff.; ROSKI (1987), S. 533f.; STEPAN (1988), S. 208ff.

36) Vgl. zum empirischen Paradigma ALBACH (1971), S. 133ff.; SCHANZ (1990a), S. 116f.

37) Die kritische Überprüfung dieser Erfolgshypothese ließe sich erst dann in das empirische Paradigma einbetten, wenn das Modellierungskonzept zur Lösung *konkreter* Koordinierungsprobleme praktisch eingesetzt und dabei die Hypothese vertreten würde, es handele sich um ein "praktisch erfolgreiches" Konzept. In den einleitenden Ausführungen wurde jedoch bereits festgelegt, daß in dieser Arbeit die Lösung *konkreter* Koordinierungsprobleme nicht thematisiert wird.

38) Es wurde bereits zu Beginn dieser Arbeit als produktionswirtschaftlicher Forschungsansatz genannt.

39) Allerdings liegt der Fallstudie das produktionswirtschaftliche Strukturierungsparadigma implizit zugrunde.

2.2 Der modelltheoretische Rahmen

Unter der Modellierung¹⁾ eines Objekts²⁾ wird hier ein Prozeß³⁾ verstanden, der sich in einer ersten Annäherung in zwei Hauptphasen⁴⁾ gliedern läßt⁵⁾: die Phase der Modellkonstruktion und die Phase der Modellösung⁶⁾. Während der ersten Phase wird ein objektrepräsentierendes Modell⁷⁾ konstruiert. Im Rahmen der zweiten Phase wird das Objektmodell zweckbezogen ausgewertet.

Der Auswertungszweck hängt von der Interessenlage des Modellierungsträgers⁸⁾ ab. Da in dieser Arbeit die Modellierung von Koordinierungsproblemen interessiert⁹⁾, zielt die Modellauswertung auf eine Lösung¹⁰⁾ des jeweils modellierten Koordinierungsproblems ab. Deshalb wird die Auswertung eines Objektmodells¹¹⁾ fortan als Modellösung¹²⁾ thematisiert. Sofern zwischen der Konstruktion und der Auswertung eines Objektmodells nicht näher unterschieden werden soll, kann in beiden Fällen von einer Gestaltung des Objektmodells gesprochen werden¹³⁾.

Der modelltheoretische Rahmen wird für die spätere Entfaltung des Petrinetz-Konzepts ausgefüllt, indem die Aufgabe der Modellgestaltung präzisiert wird. Hierbei wird die Gestaltungsaufgabe inhaltlich strukturiert und zugleich auf diejenigen Gestaltungsaspekte eingeschränkt, die in dieser Arbeit vorrangig interessieren.

Zunächst wird der zeitliche Ablauf der Modellgestaltung durch ein Phasenschema gegliedert¹⁴⁾. Es weist Gestaltungsphasen aus, die durch phasenspezifische Modellierungsaktivitäten charakterisiert werden. Hinzu kommen die phasenbegrenzenden Voraussetzungen und Resultate, die zu Beginn einer Modellierungsaktivität vorliegen müssen bzw. nach ihrem Abschluß zur Verfügung stehen sollen. Anhand dieses Ablaufrasters läßt sich später ein Schwerpunkt setzen, auf den sich der Modellierungsbeitrag von Petrinetzen in der hier vorgelegten Ausarbeitung konzentrieren wird.

Ausgangspunkt der Modellierung ist eine reale¹⁵⁾ Situation, die vom Modellierungsträger als problematisch empfunden wird. Sie konstituiert ein Realproblem¹⁶⁾. Die hier betrachteten Realprobleme erstrecken sich ausschließlich auf die Koordinierung von Produktionsprozessen in Produktionssystemen.

Jede nähere Auseinandersetzung mit einem Realproblem, die über die diffuse Empfindung einer problematischen Situation hinausgeht, beruht auf kognitiven Prozessen des Modellierungsträgers. Durch diese Prozesse überführt der Modellierungsträger seine ursprüngliche Problemempfindung in bewußt gestaltete Problemrepräsentationen¹⁷⁾. Ein vorläufiges Ende dieser kognitiven Problemtransformation stellt ein formalsprachlich konstruiertes Modell¹⁸⁾ des zugrundeliegenden Realproblems dar. Es handelt sich um ein Formal-¹⁹⁾ oder Idealproblem²⁰⁾, das zur Repräsentation des zugrundeliegenden Realproblems dient.

Die Modellierungsphase, die sich zwischen der initialen Problemempfindung und der abschließenden Präsentation eines formalen Modells erstreckt, bildet die Modellkonstruktion²¹⁾. Für die Positionierung der hier vorgelegten Ausarbeitung empfiehlt es sich, diese Konstruktionsphase in drei Teilphasen²²⁾ aufzuspalten.

Die erste Phase der mentalen Modellkonstruktion²³⁾ beginnt mit der diffusen, rational nicht faßbaren Problemempfindung. Das Empfindungsgemenge wird in eine bewußt gestaltete, kognitive Wahrnehmung des Realproblems transformiert. Diese Problemwahrnehmung wird hier als ein internes²⁴⁾ oder mentales²⁵⁾ Modell bezeichnet. Die mentale Modellkonstruktion stellt eine introvertierte Aktivität des Modellierungsträgers dar. Das dabei entworfene mentale Modell kann kein Gegenstand von Kommunikationsprozessen²⁶⁾ sein.

Die zweite Phase der natürlichsprachlichen Modellkonstruktion²⁷⁾ erstreckt sich auf die Aufgabe, das interne Modell in eine kommunikationsfähige natürlichsprachliche Form zu transformieren. Es handelt sich daher um eine extrovertierte Aktivität des Modellierungsträgers. Das Transformationsergebnis stellt eine natürlichsprachliche Problembeschreibung dar. Sie wird als ein externes²⁸⁾ informales²⁹⁾ oder als natürlichsprachliches Modell angesprochen.

Die beiden Phasen der mentalen und der natürlichsprachlichen Modellkonstruktion zusammen bilden die Konzeptualisierung des Realproblems³⁰⁾. Die Problemwahrnehmung und -beschreibung, die der Modellierungsträger während seiner Problemkonzeptualisierung hervorbringt, lassen sich als unterschiedliche Konzeptualisierungsformen des Realproblems begreifen³¹⁾. Mit der natürlichsprachlichen Problembeschreibung, die am Ende der zweiten Phase als externes informales Modell vorliegt, wird die Konzeptualisierung des Realproblems abgeschlossen. Das Modell, das bis dahin konstruiert wurde, wird auch als ein konzeptualisiertes Realproblem³²⁾ bezeichnet.

Die dritte Phase der formalen Modellkonstruktion³³⁾ dient dazu, die natürlichsprachliche Problembeschreibung in ein formales³⁴⁾ Modell des zugrundeliegenden Realproblems zu überführen³⁵⁾. Dies erfolgt in zwei Teilphasen. Zunächst wird die natürlichsprachliche Problembeschreibung während der Teilphase der Problemformalisierung in eine formalsprachliche Problemspezifizierung³⁶⁾ transformiert³⁷⁾. Die Problemspezifizierung erweist sich im allgemeinen als so abstrakt, daß sich mit ihrer Hilfe ein Problem nur ausdrücken, aber noch nicht lösen läßt³⁸⁾. Daher schließt sich die Teilphase der Problemoperationalisierung³⁹⁾ an. Sie endet mit der Vorlage eines operational formulierten, weiterhin formalsprachlich verfaßten Modells. Es handelt sich um das formale Modell, das als Resultat der Modellkonstruktion angestrebt wurde. Es wird fortan nur noch kurz als das Modell eines untersuchten Realproblems angesprochen⁴⁰⁾.

Das Modell eines Realproblems vereinigt in sich die konstruktiven Leistungen der voranstehend skizzierten Problemkonzeptualisierung, -formalisierung und -operationalisierung⁴¹⁾. Allerdings brauchen diese Leistungen nicht in der linearen Weise erbracht zu werden, die durch die Sequenz von mentaler, natürlichsprachlicher und formaler Modellkonstruktion nahegelegt wird. Vielmehr können zwischen diesen Phasen Rückkopplungsschleifen durchlaufen werden, die zu iterativen Überarbeitungen der Modellkonstruktion führen⁴²⁾. Solche Rückkopplungsschleifen treten vor allem bei der Verifizierung und Validierung von Modellkonstruktionen auf⁴³⁾.

In der Phase der Modellverifizierung⁴⁴⁾ wird überprüft, ob das formale Modell, das nach der Problemoperationalisierung vorliegt, der zugrundeliegenden formalen Problemspezifizierung gerecht wird. Falls dabei Unzulänglichkeiten des formalen Modells erkannt werden, kann die vorangehende Operationalisierungsphase erneut durchlaufen werden, um ein entsprechend verbessertes formales Modell zu konstruieren. Wenn ein formales Modell resultiert, das alle Verifizierungskriterien⁴⁵⁾ erfüllt, wird von einem korrekten Modell gesprochen⁴⁶⁾.

Im Rahmen der Modellvalidierung⁴⁷⁾ wird dagegen untersucht, ob das formale Modell der ursprünglichen Problemwahrnehmung oder der daraus hervorgegangenen natürlichsprachlichen Problembeschreibung entspricht⁴⁸⁾. Wenn der Modellierungsträger mit dem Ergebnis der Modellvalidierung nicht zufrieden ist, muß im günstigen Fall⁴⁹⁾ nur die formale Modellkonstruktion überarbeitet werden. Widrigenfalls⁵⁰⁾ kann auch die Revision der natürlichsprachlichen Modellkonstruktion erforderlich werden. Die Modellvalidierung läßt sich so oft wiederholen⁵¹⁾, bis sich der Modellierungsträger mit dem zuletzt überarbeiteten formalen Modell vor dem Hintergrund seiner Problemwahrnehmung und -beschreibung einverstanden erklärt. Das formale Modell stellt dann eine adäquate Repräsentation des zugrundeliegenden Realproblems⁵²⁾ dar⁵³⁾.

Die Phase der Modellkonstruktion ist abgeschlossen, wenn ein formales Modell vorliegt, das der Modellierungsträger - zumindest vorläufig⁵⁴⁾ - als Repräsentation des zugrundeliegenden Realproblems akzeptiert⁵⁵⁾. Die Problemrepräsentation durch ein formales Modell konstituiert

ein Formalproblem. Die anschließende Phase der Modellösung⁵⁶⁾ befaßt sich mit der Bewältigung dieses Formalproblems⁵⁷⁾. Wenn sie erfolgreich abgeschlossen wird, liegt eine Lösung des Formalproblems⁵⁸⁾ vor.

Schließlich kann der Modellierungsträger in der nachgeschalteten Phase der Lösungs-umsetzung⁵⁹⁾ noch zusätzliches Wissen einbeziehen. Dabei handelt es sich um Aspekte, die zwar nicht in die voranstehenden Phasen der Modellkonstruktion und -lösung eingeflossen sind⁶⁰⁾, die jedoch in der betrieblichen Praxis für die Bearbeitung eines Realproblems als relevant erachtet werden. Die Umsetzungsphase endet, wenn der Modellierungsträger über eine Lösung für das ursprünglich empfundene Realproblem verfügt, die er als "praktikabel" erachtet⁶¹⁾. Damit ist auch der Prozeß der Objektmodellierung abgeschlossen⁶²⁾.

In der hier vorgelegten Ausarbeitung wird nur ein kleiner Ausschnitt aus den voranstehend skizzierten Modellierungsphasen intensiv behandelt. Im wesentlichen findet lediglich die Phase der formalen Modellkonstruktion Berücksichtigung. Innerhalb dieser Phase wird die Gewinnung einer formalsprachlichen Problemspezifizierung nur am Rande gewürdigt⁶³⁾. Der Argumentationsfokus liegt daher auf der Transformation solcher Problemspezifizierungen in formale Modelle, die später die Gestalt von Petrinetzen annehmen werden. Daneben wird auch die nachgelagerte Phase der Modellösung beachtet, allerdings mit tendenziell geringerem Gewicht als die formale Modellkonstruktion. Dagegen bleiben die beiden frühen Phasen der mentalen und der natürlichsprachlichen Modellkonstruktion ausgeklammert⁶⁴⁾. Gleiches gilt für die beiden Rückkopplungsphasen der Modellverifizierung und -validierung. Die abschließende Phase der Lösungsumsetzung wird aus dem Argumentationszusammenhang dieser Arbeit ebenso ausgegrenzt.

Abb. 2 auf der nächsten Seite gibt das zuvor skizzierte Ablaufraster der Modellierung von Koordinierungsproblemen in der Gestalt eines Petrinetzes wieder⁶⁵⁾. Der vorgenannte thematische Schwerpunkt - die formale Modellkonstruktion - und der untergeordnete Aspekt der Modellösung sind entsprechend hervorgehoben.

Die voranstehenden Festlegungen präzisieren nicht nur die Modellierungsphasen, die in dieser Arbeit bei der Entfaltung des Petrinetz-Konzepts dominieren. Darüber hinaus tragen sie auch zu zwei Klarstellungen bei. Die erste betrifft die Realitätsadäquanz von Modellierungen. Die zweite erstreckt sich auf den Primat der Ausdrucksmächtigkeit von Modellierungskonzepten gegenüber ihrer Auswertungseffizienz. Zunächst wird auf den Aspekt der Realitätsadäquanz eingegangen.

Modellierungsobjekte dieser Arbeit sind Realprobleme, die bei der Koordinierung von Produktionsprozessen in realen Produktionssystemen auftreten. Die Modellierung dieser Koordinierungsprobleme setzt erst dann ein, wenn die Phase der Problemkonzeptualisierung bereits abgeschlossen ist⁶⁶⁾. Denn es wurde vorausgesetzt, daß die mentale und die natürlichsprachliche Modellkonstruktion schon erfolgt sind. Dadurch werden alle Modellierungsschwierigkeiten ausgeklammert, die aus unterschiedlichen Problemwahrnehmungen oder verschiedenartigen natürlichsprachlichen Problembeschreibungen resultieren können. Jeder Streit darüber, ob das jeweils zugrundeliegende Realproblem "richtig" wahrgenommen bzw. beschrieben worden sei, wird also von vornherein vermieden⁶⁷⁾. Statt dessen wird angenommen, daß sich der Modellierungsträger auf mentale und ein natürlichsprachliche Modelle berufen kann, die für die zu bewältigenden Koordinierungsprobleme schon vorliegen. Über die Angemessenheit *dieser* Modelle wird nicht weiter diskutiert. Es gilt die Konzeptualisierungsprämisse, daß der Modellierungsträger die mentalen und natürlichsprachlichen Modelle so, wie sie in dieser Arbeit behandelt werden⁶⁸⁾, bereits als "adäquate" Wahrnehmungen bzw. Beschreibungen der realen Koordinierungsprobleme akzeptiert hat⁶⁹⁾.

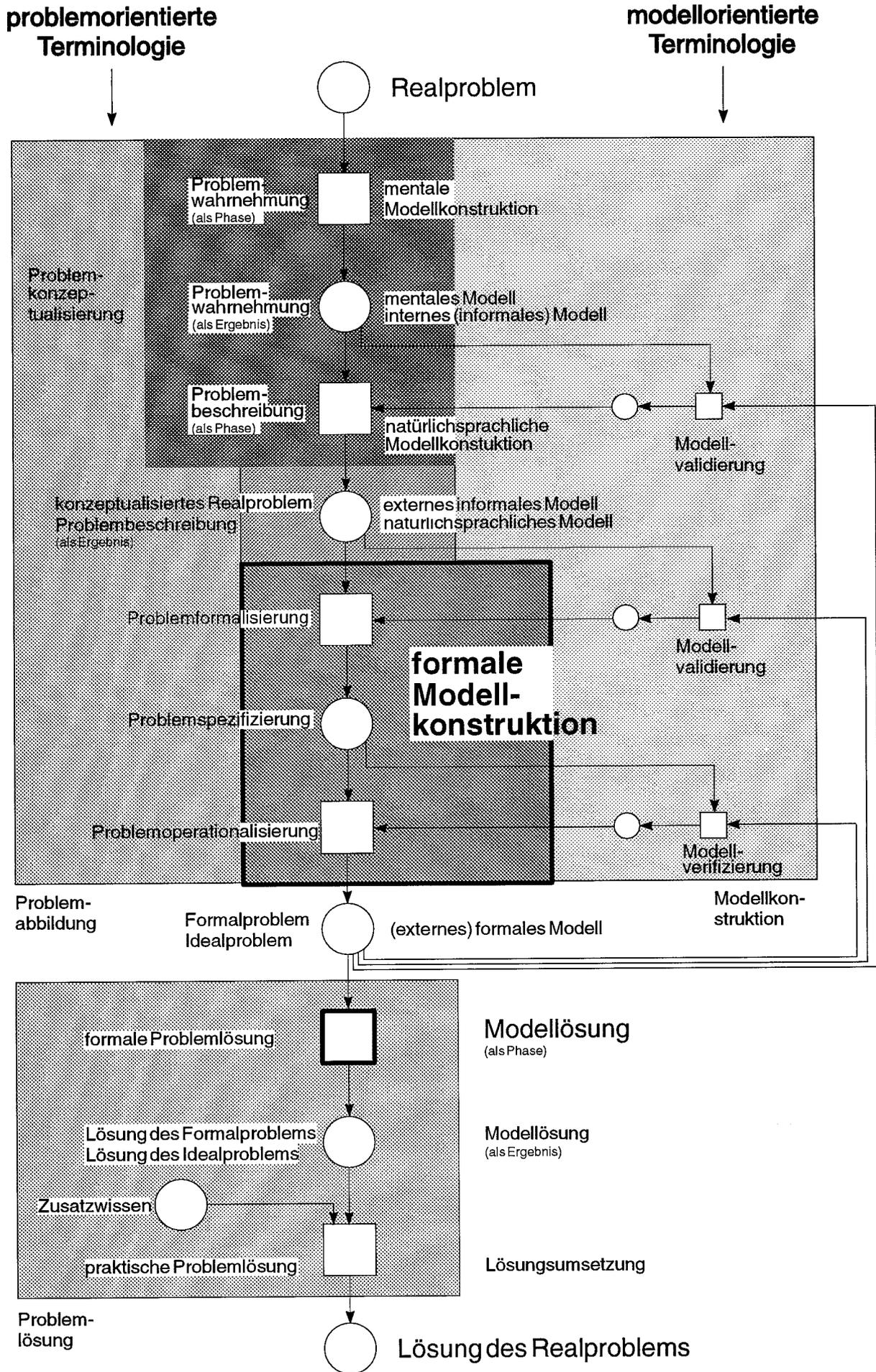


Abb. 2: Phasen und Ergebnisse von Modellierungsprozessen

Dennoch können formale Modelle von Koordinierungsproblemen unter mangelhafter Realitätsadäquanz leiden. Dies wäre aufgrund der oben getroffenen Vereinbarungen der Fall, wenn der Modellierungsträger im Rahmen einer Modellvalidierung feststellt, daß ein formales Koordinierungsmodell der akzeptierten Problemwahrnehmung und -beschreibung nicht gerecht wird. Aber die Validierungsphase wurde aus der thematischen Spannweite dieser Arbeit ausgeklammert⁷⁰). Daher wird hier nicht der Anspruch erhoben, die Realitätsadäquanz von Modellierungen im strengen Sinne nachzuweisen oder zu widerlegen. Wenn dennoch von realitätsadäquaten Modellierungen die Rede sein wird, so geschieht dies nur in verkürzender Weise: Ein formales Modell wird unter der Präsupposition als realitätsadäquat bezeichnet, daß ein Modellierungsträger das betrachtete Modell als eine adäquate Repräsentation des jeweils zugrundeliegenden Koordinierungsproblems akzeptieren würde, *falls* er sich mit einer Modellvalidierung befaßt⁷¹). Die unterstellten Validierungsüberlegungen werden in dieser Arbeit aber nicht näher ausgeführt.

Das oben präsentierte Phasenschema für Modellierungsprozesse diene nicht nur dazu, diejenigen Modellierungsaspekte zu identifizieren, die bei der hier vorgelegten Bearbeitung von Koordinierungsproblemen von vornherein unbeachtet bleiben. Vielmehr wurde auch ein Schwerpunkt gesetzt: Die Phase der formalen *Modellkonstruktion* wird gegenüber der Phase der *Modelllösung* deutlich vorgezogen⁷²). Dies entspricht der eingangs getroffenen Vereinbarung, die *Ausdrucksmächtigkeit*⁷³) eines Modellierungskonzepts zu Lasten seiner *Auswertungseffizienz* in den Vordergrund zu rücken⁷⁴). Denn die Ausdrucksmächtigkeit eines Modellierungskonzepts betrifft nur die Phase der Modellkonstruktion. Zugleich erstreckt sich die Auswertungseffizienz ausschließlich auf die Phase der Modelllösung⁷⁵).

Zu Beginn dieses Kapitels wurde als einziger Auswertungszweck von Objektmodellen identifiziert, die jeweils modellierten Koordinierungsprobleme zu lösen. Daher fällt die Auswertungseffizienz eines Modellierungskonzepts hier mit dessen *Lösungseffizienz*⁷⁶) zusammen⁷⁷). Es wird auch von einem *lösungsorientierten* Ansatz⁷⁸) geredet, solange die Modellierungsanstrengungen auf das effiziente Lösen von problemrepräsentierenden Modellen konzentriert werden. Dagegen zeichnet sich ein *problemorientierter* Ansatz⁷⁹) dadurch aus, daß sein Fokus auf der Konstruktion von problemrepräsentierenden Modellen liegt. In dieser Arbeit erhält die Problemorientierung den Vorrang gegenüber der Lösungsorientierung⁸⁰). Daher werden Effizienzmängel bei der Modelllösung bewußt in Kauf genommen. Statt dessen wird besonderer Wert darauf gelegt, die Komplexität⁸¹) von realen Koordinierungsproblemen bei ihrer Repräsentation durch Koordinierungsmodelle zu bewahren⁸²).

Eine solche Fokussierung mag auf Kritik stoßen⁸³). Es könnte ihr vorgehalten werden, der eigentliche Zweck von Modellierungen sei die Lösung von Problemen. Die Problemrepräsentation besitze nur dienenden Charakter. Sie sei nur in dem Ausmaß gerechtfertigt, wie sie die Lösungseffizienz von Modellierungen erhöhe⁸⁴). Eine weiterreichende Konzentration auf Aspekte der Problemrepräsentation könne nicht aus dem Modellierungszweck abgeleitet werden. Sie erweise sich sogar als zweckwidrig, falls die Modellkonstruktion zu so komplexen Problemrepräsentationen führt, daß hierunter die Effizienz der Modelllösung leidet. Daher sei eine Bevorzugung der Problem- gegenüber der Lösungsorientierung aus modelltheoretischer Sicht günstigenfalls nicht zu rechtfertigen, widrigenfalls sogar abzulehnen.

Die Basisentscheidung, sich auf Aspekte der Modellkonstruktion zu konzentrieren, bedarf angesichts solcher Kritikmöglichkeit einer näheren Rechtfertigung. Es wird darauf verzichtet, jene wohlfundierten Argumente zu wiederholen, die aus betriebswirtschaftlicher Perspektive bereits die herausragende Bedeutung unterstrichen haben, die der Modellkonstruktion für die Bewältigung von Realproblemen zukommt⁸⁵). Statt dessen wird hier die Präferenz der Problemorientierung nur noch aus der speziellen Perspektive von Koordinierungsproblemen bei komplexen Produktionssystemen beleuchtet. Dabei wird in zwei Stufen vorgegangen. Zunächst wird gezeigt, daß tatsächlich ein Auswahlproblem besteht, sich entweder zugunsten einer lösungs- oder aber zugunsten einer problemorientierten Modellierung entscheiden zu müssen⁸⁶). Danach wer-

den Argumente vorgetragen, die nahelegen, diesen Entscheidungskonflikt im Sinne der letztgenannten Alternative aufzulösen.

Lösungs- und Problemorientierung von Modellierungen stehen zueinander in Konflikt, weil sich die Lösungseffizienz und die Ausdrucksmächtigkeit von Modellierungskonzepten tendenziell gegenläufig verhalten. Es liegt außerhalb des Rahmens dieser Arbeit, die Gültigkeit dieser Tendenzbehauptung nachzuweisen. Aber es läßt sich eine Vielzahl von Belegen anführen, welche die Gegenläufigkeit von Ausdrucksmächtigkeit und Lösungseffizienz von Modellierungskonzepten bestätigen⁸⁷⁾. Dies gilt insbesondere auch für die hier interessierende Modellierung der Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen. Bei der Betrachtung hinreichend⁸⁸⁾ komplexer Koordinierungsprobleme folgt aus dem Auseinanderdriften von Ausdrucksmächtigkeit und Lösungseffizienz ein Modellierungsdilemma⁸⁹⁾:

- Einerseits erfordert die realitätsadäquate⁹⁰⁾ Repräsentation komplexer Koordinierungsprobleme Modellierungskonzepte mit großer Ausdrucksmächtigkeit.
- Andererseits sind im Interesse der Lösungseffizienz Modellierungskonzepte mit geringer Ausdrucksmächtigkeit vorzuziehen.

Daher besteht ein tendenzieller Widerspruch zwischen den beiden Wünschen, sowohl realitätsadäquate Modelle zu konstruieren als auch Modelle effizient zu lösen⁹¹⁾. Dieser Modellierungskonflikt läßt sich auch kurz als Unvereinbarkeit zwischen Konstruktionsadäquanz und Lösungseffizienz ansprechen⁹²⁾. Er begründet den oben erwähnten Entscheidungskonflikt, bei der Modellierung von Koordinierungsproblemen in komplexen Produktionssystemen entweder einen problem- oder aber einen lösungsorientierten Schwerpunkt setzen zu müssen⁹³⁾. Der Verf. hat sich im wesentlichen⁹⁴⁾ aus drei Gründen zugunsten eines problemorientierten Modellierungsansatzes⁹⁵⁾ entschlossen⁹⁶⁾.

Erstens herrscht zur Zeit bei der Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen noch die lösungsorientierte Modellierungsweise vor⁹⁷⁾. Aufgrund der voranstehenden Ausführungen reicht sie für die *realitätsadäquate* Repräsentation von *komplexen* Koordinierungsproblemen⁹⁸⁾ nicht aus⁹⁹⁾. Problemorientierte Modellierungskonzepte, die den Aspekt realitätsadäquater Modellkonstruktion intensiver würdigen, haben dagegen im Bereich der Koordinierung von Produktionsprozessen bisher noch wenig Beachtung gefunden¹⁰⁰⁾. Daher besteht ein Nachholbedarf in bezug auf problemorientierte Modellierungskonzepte¹⁰¹⁾. Das später entfaltete Modellierungskonzept auf der Basis von Petrinetzen kommt diesem Bedarf entgegen. Seine hohe Ausdrucksmächtigkeit rückt die Konstruktion von strukturreichen Modellen in den Vordergrund¹⁰²⁾. Auf diese Weise kann eine größere Realitätsadäquanz erzielt werden. Ob sie sich angesichts der tendenziellen Einbuße an Lösungseffizienz rechtfertigen läßt, braucht in dieser Arbeit nicht entschieden zu werden¹⁰³⁾. Denn schon in der einführenden Entfaltung des Untersuchungsobjekts wurde vereinbart, die Ausdrucksmächtigkeit eines Modellierungskonzepts gegenüber seiner Auswertungseffizienz zu bevorzugen.

Zweitens droht jeder lösungsorientierten Modellierung die Gefahr, daß sie einen Fehler 3. Art¹⁰⁴⁾ begeht. Ein solcher Fehler 3. Art liegt vor, wenn ein "falsches" Problem "richtig" gelöst wurde¹⁰⁵⁾. Dies bedeutet im hier thematisierten Kontext: Ein komplexes reales Koordinierungsproblem kann zwar auf der Basis eines ausdrucksarmen Modellierungskonzepts durch ein einfach strukturiertes Modell repräsentiert werden¹⁰⁶⁾. Dieses Koordinierungsmodell läßt sich als Formalproblem auch relativ¹⁰⁷⁾ effizient lösen¹⁰⁸⁾. Aber die einfache Modellstruktur weicht von der Struktur des ursprünglich vorgegebenen, komplexen Realproblems so stark ab, daß das Modell nicht mehr als eine adäquate Problemrepräsentation akzeptiert wird¹⁰⁹⁾. Dann liegt ein Modell vor, das zwar effizient gelöst werden kann¹¹⁰⁾, aber nicht realitätsadäquat ist¹¹¹⁾. Die Gestaltung solcher effizient lösbaren, jedoch inadäquaten Modelle läßt sich als ein Modellplatonismus¹¹²⁾ sui generis auffassen¹¹³⁾. Bei problemorientierten Modellierungen fällt die Gefahr, einen Fehlers 3. Art zu begehen, hingegen wesentlich geringer aus¹¹⁴⁾. Denn die realitätsadäquate Problemrepräsentation steht von vornherein im Vordergrund der Bemühungen¹¹⁵⁾. Erst

wenn ein solches Modell konstruiert worden ist, kann danach über seine Lösungsmöglichkeiten nachgedacht werden. Wegen der adäquaten, aber komplexen Problemrepräsentation muß damit gerechnet werden, daß sich bei der Modellösung erhebliche Effizienzmängel einstellen.

Drittens besitzen problemorientierte Modellierungen den Vorzug, an Fortschritten der Informationsverarbeitungstechnik ohne größere Schwierigkeiten partizipieren zu können. Denn zukünftig erwartete Erhöhungen der Verarbeitungsleistung¹¹⁶⁾ von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen legen es nahe, daß heute noch bestehende Effizienzdefizite von realitätsadäquaten Modellierungen in Zukunft eine immer geringere Rolle spielen werden. Daher verliert die heute noch unbefriedigende Lösungseffizienz eines problemorientierten Modellierungskonzepts angesichts künftig erwarteter Leistungssteigerungen der Automatischen Informationsverarbeitung um so mehr an Bedeutung, je weiter die Beurteilungsperspektive in die Zukunft ausgedehnt wird¹¹⁷⁾. Lösungsorientierte Modellierungen sind dagegen so ausgelegt, daß sie auf das Leistungsvermögen der heute vorhandenen Informationsverarbeitungstechnik zugeschnitten sind. Zukünftige Steigerungen der Verarbeitungsleistung kommen diesen Modellierungen nicht wesentlich zugute, da nur ihre - ohnehin schon zufriedenstellende - Lösungseffizienz ansteigt. Der entscheidende Mangel an realitätsadäquater Problemrepräsentation wird hierdurch aber nicht beseitigt¹¹⁸⁾.

Anmerkungen zum Kapitel:

- 1) Der Modellierung von Objekten liegt das modelltheoretische Paradigma zugrunde, das hier als bekannt vorausgesetzt wird. Überblicke darüber bieten KÖHLER, R. (1966), S. 47ff.; FISCHER-WINKELMANN (1971), S. 78ff.; STACHOWIAK (1973), S. 8ff. ("modellistische' Erkenntniskonzept"), insbesondere S. 128ff. u. 322ff.; ABEL, B. (1979a), S. 138ff.; EICHHORN (1979), S. 60ff.; ALBERT, H. (1987), S. 108ff.; STACHOWIAK (1987a), S. 86ff.; MÜLLER, N. (1987b), S. 325ff.; BAMBERG (1989), S. 12ff. Vgl. auch die weiteren Beiträge im Sammelwerk SCHMIDT, R.H. (1987a), das sich mit der Modelltheorie aus spezieller betriebswirtschaftlicher Perspektive befaßt.
- 2) Das Objekt, das einer Modellierung zugrundeliegt, wird auch als Modellierungsobjekt oder Original bezeichnet. Die Natur dieses Objekts wird nicht näher festgelegt. Daher läßt sich der modelltheoretische Ansatz mit allen später angesprochenen Strukturierungsparadigmen kombinieren. So ist es beispielsweise aus systemtheoretischer Perspektive möglich, das Modellierungsobjekt als ein darzustellendes Produktionssystem festzulegen. Statt dessen kann auch der entscheidungstheoretische Standpunkt eingenommen werden, ein Entscheidungsproblem als Modellierungsobjekt zu betrachten. Ebenso kommt aus problemtheoretischem Blickwinkel in Betracht, ein Koordinierungsproblem als Objekt der Modellierung anzusetzen. Aus modelltheoretischer Perspektive wird das modellierte Objekt zumeist als Realitätsausschnitt oder auch als Realproblem thematisiert. Es wird dann auch kurz von einem realen Objekt gesprochen. Vgl. zu einer näheren Bestimmung des Originals von Modellierungen STACHOWIAK (1973), S. 131.
- 3) In dieser Arbeit wird zwischen den Begriffen des Prozesses, der Methode, der Prozedur, des Verfahrens und des Algorithmus wie folgt differenziert: Ein Prozeß ist eine Anordnung von punktaktigen Ereignissen oder ausgedehnten Verrichtungen, die sich in der Anschauungsform "Zeit" oder in kausalen Termini beschreiben läßt. Ein Prozeß läuft ab, indem seine Ereignisse geschehen bzw. seine Verrichtungen ausgeführt werden. Der Prozeßbegriff wird später im Kontext von Produktionssystemen (Produktionsprozesse) und von Netzen (Schaltprozesse) präzisiert. Eine Methode ist eine abstrakte (konzeptionelle) Beschreibung der Vorgehensweise, in der eine Aufgabe grundsätzlich erfüllt werden kann. Die Beschreibungskomponenten brauchen weder zeitlich noch kausal geordnet zu sein. Ein ähnlicher Methodenbegriff findet sich z.B. bei THOME, R. (1990), Abschnitt K 1, S. 1f.
 Eine Prozedur ist eine zeitlich geordnete Menge von Verrichtungen. Aus dieser Perspektive stellt sie einen verrichtungsorientierten Unterfall des Prozeßbegriffs dar. Zugleich beschreibt eine Prozedur die Vorgehensweise bei der Erfüllung einer Aufgabe so konkret, daß sie durch ein Verrichtungssystem ausgeführt werden kann. Aus diesem Blickwinkel handelt es sich um eine Konkretisierung des Methodenbegriffs. Als Verrichtungssystem kommen beispielsweise Automatische Informationsverarbeitungssysteme für die Erfüllung von Informationsverarbeitungsaufgaben oder Bearbeitungsmaschinen für die Erfüllung von Produktionsaufgaben in Betracht. In beiden vorgenannten Fällen kann ebenso ein Mensch die Funktion eines "Verrichtungssystems" erfüllen. Jedes Verrichtungssystem läßt sich durch eine Menge von Verrichtungen kennzeichnen, zu deren Ausführung das System grundsätzlich in der Lage ist. Die zeitlich geordnete Verrichtungsmenge einer Prozedur ist dann eine Teilmenge der Verrichtungsmenge des - zumindest implizit zugrundeliegenden - Verrichtungssystems. Ob die prozedurspezifische Verrichtungsmenge zeitlich halb- oder vollgeordnet ist, bleibt hier offen. Daher umfaßt der Prozedurbegriff sowohl sequentiell als auch nebenläufig ausführbare Prozeduren. Prozeduren werden in synonyme Weise ebenso als Verfahren bezeichnet. Der Prozedurbegriff wird bevorzugt verwendet, wenn die Ausführung der Verrichtungen auf einem Automatischen Informationsverarbeitungssystem assoziiert werden soll. Mit dem Verfahrensbegriff werden dagegen keine spezifischen Vorstellungen assoziiert. Algorithmen stellen einen Sonderfall von Verfahren (Prozeduren) dar, der bestimmte Verfahrensqualitäten erfüllt. Dies wird später anhand der Unterscheidung zwischen Entscheidungsverfahren und -algorithmen näher dargelegt.
- 4) Aus der Phasenperspektive wird ein Prozeß als eine zeitliche Anordnung von Verrichtungen besonderer Art aufgefaßt: Die prozeßzugehörigen Verrichtungen sind in mindestens zwei disjunkten, jeweils nicht-leeren Verrichtungsteilmengen angeordnet. Die Verrichtungsteilmengen folgen als Ganzheiten sequentiell aufeinander. Der zeitliche Zusammenhang von Verrichtungen, die zur selben Verrichtungsteilmenge gehören, spielt keine Rolle. Jede Verrichtungsteilmenge, welche die voranstehenden Anforderungen erfüllt, heißt eine Phase des Prozesses. Durch unterschiedliche Zusammenfassungen der prozeßzugehörigen Verrichtungen zu Verrichtungsteilmengen der vorgenannten Art lassen sich verschiedene Phasengliederungen desselben Prozesses erzielen. So können Phasen durch Bilden von Vereinigungsmengen zu Hauptphasen aggregiert oder durch vollständige und disjunkte Zerlegung in Teilphasen aufgespalten werden.
- 5) Jedes Konzept, das mindestens eine der beiden Phasen des Modellierungsprozesses unterstützen soll, wird als ein Modellierungskonzept bezeichnet. Auch das Petrinetz-Konzept wird als ein solches Modellierungskonzept behandelt.
- 6) Die hier vorgenommene strenge Unterscheidung zwischen Modellkonstruktion und Modelllösung wird in der Literatur oftmals nicht geteilt. Statt dessen werden Konstruktions- und Lösungsaspekte entweder implizit miteinander vermengt. Oder es wird sogar explizit darauf bestanden, diese beiden Aspekte aufgrund angeblicher Interdependenzen miteinander zu verzahnen. Die letztgenannte Einstellung wird vor allem von Vertretern der inkremen-

tellen Planung verfochten. Auf diese Planungsvariante wird später noch zurückgekommen. Der Verf. verzichtet darauf, die Debatte um die Separation von Modellkonstruktion und Modelllösung zu vertiefen. Statt dessen verweist er auf die Darlegungen von SCHNEIDER, D. (1972), S. 460f., der das Konstruieren und das Lösen von Modellen besonders deutlich voneinander abgrenzt. Vgl. zu weiteren Beiträgen, welche die gleiche Differenzierung erkennen lassen, SZYPERSKI (1974), S. 85; GROCHLA (1974a), S. 51 u. 55; KIRSCH (1977d), S. 15 u. 18; ZELEWSKI (1986a), S. 636f.; KERN, W. (1987), S. 18 u. 20. In den vorgenannten Quellen werden vielfach variierende Formulierungen verwendet, wie z.B. die Unterscheidung zwischen problemabbildenden Modellen einerseits und problemlösenden Methoden andererseits. Diese Formulierungen entsprechen jedoch inhaltlich der hier vorgelegten Unterscheidung zwischen Modellkonstruktion und -lösung. Dazu gehören auch die Ausführungen von MEIBNER (1978), S. 8f. Sie konfrontieren die natürlichsprachliche Problemdefinition und die formalsprachliche Problemrepräsentation auf der einen Seite (Modellkonstruktion) mit der Problemlösung auf der anderen Seite (Modelllösung). Weiter entfernt liegt prima facie die Unterscheidung zwischen epistemischen und heuristischen Aspekten kognitiver Strukturen, die DÖRNER, D. (1979), S. 26ff., präsentiert. Doch auch sie läßt sich im Lichte der Dualität von Modellkonstruktion und -lösung interpretieren. Vgl. dazu MÜLLER-MERBACH (1981a), S. 146.

7) Das objektrepräsentierende Modell wird fortan auch kurz als Objektmodell angesprochen. Strenggenommen handelt es sich um ein Objektmodell i.w.S. Ein Objektmodell i.w.S. ist jedes Modell, das ein beliebiges Modellierungsobjekt repräsentiert. Die Eigenart des repräsentierten Objekts spielt dabei keine Rolle. Ein ähnlich weit gefaßtes Modellverständnis findet sich bei BANKS (1984), S. 9: "A model is defined as a representation of a system for the purpose of studying the system." (kursive Hervorhebung des Originals hier unterlassen; ähnlich auf S. 53). Von einem Objektmodell i.e.S. kann dagegen gesprochen werden, wenn ein Objekt auf mehreren Sprachebenen durch unterschiedliche Modelle repräsentiert wird. Dann wird jedes Modell, das auf einer unteren Sprachebene (Objektsprache) konstruiert ist, relativ zu einem anderen Modell desselben Objekts, das auf einer höheren Sprachebene (Metasprache) angesiedelt ist, als ein Objektmodell i.e.S. bezeichnet. In dieser Arbeit werden derart eng aufgefaßte Objektmodelle später als prädikatenlogische Formelsysteme eingeführt. Sie bilden auf einer unteren, prädikatenlogischen Sprachebene die Ausgangsbasis für die Konstruktion von Netzmodellen, die auf einer höheren Sprachebene in der Gestalt einer "Netzsprache" entworfen werden. Sowohl die prädikatenlogischen Objektmodelle als auch die Netzmodelle repräsentieren jeweils das gleiche Modellierungsobjekt (allerdings auf zwei verschiedenen Sprachebenen). Daher gehören beide zu den Objektmodellen i.w.S. In den anschließenden Ausführungen zum modelltheoretischen Rahmen werden ausschließlich Objektmodelle i.w.S. thematisiert. Daher wird auf den präzisierenden Zusatz "i.w.S." verzichtet. Auch später wird nur von Objektmodellen gesprochen, wenn aus dem jeweils aktuellen Argumentationskontext ersichtlich ist, ob es sich um Objektmodelle im entweder engeren oder aber weiteren Sinne handelt.

Eine weitere Klarstellung scheint hinsichtlich des Begriffs der *Repräsentation* eines modellierten Objekts erforderlich. Er vermeidet bewußt die naheliegende Formulierung, ein Objekt werde durch ein Modell *abgebildet*. Dieser Abbildungsbezug ist im modelltheoretischen Kontext durchaus üblich. Besonders krass fällt er aus, wenn Modelle als strukturgleiche (isomorphe) Abbildungen von Realitätsausschnitten betrachtet werden. Vgl. KOSIOL (1972), S. 220f.; STACHOWIAK (1973), S. 142f.; ZENTES (1976), S. 34f.; BAMBERG (1989), S. 12; HEINHOLD (1989), S. 693; BÄUERLE, P. (1989), S. 178 (distanziert); KLEINER, F. (1991), S. 105f. u. 113; MAY, E. (1992), S. 25. Zwar wird die inhaltlich höchst problematische Isomorphieforderung, die eine unfruchtbare strukturelle Weltverdopplung in sich birgt, oftmals durch das schwächere Postulat der Strukturähnlichkeit ersetzt. Dann wird ein Modell als das homomorphe Abbild eines Realitätsausschnitts definiert. Diese Ansicht vertreten z.B. - wenn variierende Bezeichnungen für die strukturähnliche (homomorphe) Abbildungsqualität unbeachtet bleiben - SCHNEIDER, D. (1972), S. 460f.; ZENTES (1976), S. 33; SCHUMACHER (1978), S. 38; VIEFHUES (1982), S. 67 (mehrere betriebswirtschaftliche Modelldefinitionen zitierend); KERN, W. (1987), S. 6, 9 u. 20; LEE, R. (1988a), S. 229f.; BAMBERG (1989), S. 12; BÄUERLE, P. (1989), S. 178 (distanziert). Vgl. in diesem Zusammenhang auch die ausführlicheren Diskussionen des modelltheoretischen Konzepts der strukturähnlichen (homomorphen) Realitätsabbildung bei LUHMANN (1968), S. 181ff.; STACHOWIAK (1973), S. 132f.; ZENTES (1976), S. 33f.; MILLING (1981), S. 97f.; GAL (1981), S. 17ff.; VIEFHUES (1982), S. 67ff. u. 81ff.; HERTZBERG (1985), S. 5f.; SCHNABL (1985), S. 484; ZELEWSKI (1986a), S. 648. Die Vorstellung einer homomorphen Abbildungsrelation zwischen Realitätsausschnitt (Modellierungsobjekt) und Modell erweist sich jedoch in mehrfacher Hinsicht als problematisch. Homomorphie ist zunächst nur als eine Relation zwischen formalsprachlichen Konstrukten wohldefiniert. Vgl. zur formalsprachlichen Definition von homomorphen Abbildungen (Homomorphismen) z.B. STACHOWIAK (1973), S. 246; ZENTES (1976), S. 34; LEE, R. (1988a), S. 230. Im Modellbegriff wird jedoch eine Strukturähnlichkeit zwischen dem Modell als einem (zumeist) formalsprachlichen Konstrukt auf der einen Seite und einem Realitätsausschnitt auf der anderen Seite gefordert. Eine solche Strukturähnlichkeit kann strenggenommen mit dem rein formalsprachlich definierten Homomorphiebegriff nicht vereinbart werden. Vgl. ZENTES (1976), S. 35. Daher läßt sich die Homomorphieforderung des Modellbegriffs allenfalls in metaphorischer Weise verstehen: Aus dieser Sicht wird eine strukturelle Ähnlichkeit zwischen Realitätsausschnitt und abbildendem Modell thematisiert, ohne an einer formalsprachlich präzisierten Abbildungsrelation zwischen Realität und Modell festzuhalten. Vgl. zu einer derart abgeschwächten, metaphorisch gewendeten Auslegung des modellbezogenen Homomorphiebegriffs DINKELBACH (1973), S. 161; MAZANEC (1975), S. 318; KIRSCH (1977b), S. 35; HIERONIMUS (1979), S. 17f.; MÜLLER-MERBACH (1981a), S. 150; GAL (1981), S. 16;

VIEFHUES (1982), S. 69f.; ZELEWSKI (1986a), S. 648; BÄUERLE, P. (1989), S. 179. Vgl. am Rande auch SCHUMACHER (1978), S. 38 (allerdings mit einer abweichenden Argumentationsweise).

Die metaphorische Verwendung des Homomorphiebegriffs stellt jedoch nur eine Scheinlösung des Abbildungsproblems dar. Eine erste Schwierigkeit bereitet seine Inoperationalität. Denn im Modellbegriff bleiben sowohl der Ähnlichkeitsmaßstab als auch das Ähnlichkeitsausmaß vollkommen unbestimmt. Maßstab und Ausmaß der Abbildungsähnlichkeit zwischen Realitätsausschnitt und Modell müßten aber konkret angegeben werden. Nur so wäre es möglich zu überprüfen, ob die Abbildungsähnlichkeit, die im Modellbegriff präsupponiert wird, tatsächlich vorliegt. Solange diese Konkretisierung von Ähnlichkeitsmaßstab und -ausmaß unterbleibt, kann jedes beliebige Konstrukt als "strukturähnliche" Abbildung eines Realitätsausschnitts - und somit als Modell - ausgegeben werden. Ein plastisches Beispiel dafür findet sich bei STEGMÜLLER (1986d), S. 55, der allerdings in einem anderen thematischen Zusammenhang argumentiert. Arbeiten, die sich mit der Modellierung von Realproblemen befassen, bleiben jedoch die Auskunft über Maßstab und Ausmaß der modellkonstituierenden Abbildungsähnlichkeit im allgemeinen schuldig. Daher lösen sie das Abbildungsproblem durch die metaphorische Verwendung des Homomorphiebegriffs nicht, sondern verschieben es nur auf einen diffusen, inoperationalen Ähnlichkeitsbegriff. Die Schwierigkeiten der Auffassung, Modelle bildeten reale Objekte in homomorpher Weise ab, reichen aber noch weiter. Dabei wird - kontrafaktisch - unterstellt, daß der Begriff der Strukturähnlichkeit nicht nur metaphorisch verschoben, sondern inhaltlich konkretisiert ist. Es geht nachfolgend also nicht mehr um Schwierigkeiten des Homomorphiebegriffs. Statt dessen werden nur noch die Probleme des Abbildungsbezugs im Modellbegriff thematisiert.

Der abbildungsbezogene Modellbegriff leidet grundsätzlich darunter, daß er sich in der naturalistischen Falle eines naiven Realismus verfängt. Denn der Definitionsansatz, der ein Modell als strukturähnliches Abbild eines Realitätsausschnitts konstituiert, beruht auf zwei Präsuppositionen. Erstens unterstellt er, daß eine subjektunabhängige Realität existiert (ontische Prämisse). Zweitens suggeriert er, diese Realität lasse sich in modellierungsrelevanten Ausschnitten ohne subjektabhängige Verzerrungen erkennen (epistemische Prämisse). Die ontische Prämisse wird hier nicht weiter diskutiert. Sie kennzeichnet jede realistische Erkenntnisposition, zu der sich auch der Verf. bekennt. Die wesentlichen Schwierigkeiten des abbildungsbezogenen Modellbegriffs liegen dagegen in seiner epistemischen Prämisse begründet. Sie verschärft die realistische GrundsatzEinstellung zur Erkenntnisposition eines naiven Realismus. Er wird oftmals auch als Naturalismus thematisiert. Vgl. zu Ausführungen, die auf einer naiv realistischen oder naturalistischen Einstellung beruhen, z.B. PETERSON, J. (1977), S. 245f. Die Verschärfung der realistischen GrundsatzEinstellung durch die epistemische Prämisse ist denknotwendig, weil das Abbildungskonzept des Modellbegriffs in sich zusammenfielen, sobald auf die naturalistische Attitüde verzichtet würde. Dies läßt sich leicht anhand einer hypothetischen Verletzung der epistemischen Prämisse veranschaulichen: Es wird angenommen, der zu modellierende Realitätsausschnitt existiere zwar subjektunabhängig, könne jedoch nicht subjektunabhängig erfahren werden. Dann läßt sich das Modell niemals mit dem Realitätsausschnitt selbst, sondern immer nur mit der subjektiven Wahrnehmung dieses Realitätsausschnitts durch einen Modellierungsträger vergleichen. Das wird besonders deutlich bei MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 133. Folglich ist es unmöglich zu überprüfen, ob ein strukturähnliches Abbild für einen Realitätsausschnitt vorliegt. Der abbildungsbezogene Modellbegriff kann daher grundsätzlich nicht mehr angewendet werden. Aus diesem Grund läßt sich an der Vorstellung einer Abbildungsrelation zwischen Modell und modellierten Objekt nur dann festhalten, wenn die o.a. epistemische Prämisse nicht verletzt ist. Deshalb impliziert der abbildungsbezogene Modellbegriff eine naturalistische Erkenntnisposition. Vgl. dazu auch die Ausführungen von STEGMÜLLER (1976b), S. 539 u. 543f. Er legt dar, daß die Vorstellung einer Abbildungsähnlichkeit immer mit der naturalistischen Position eines naiven Realismus verknüpft ist. Der Verf. möchte jedoch die naturalistische Erkenntnisposition des abbildungsbezogenen Modellbegriffs nicht teilen. Statt dessen vertritt er einen aufgeklärten Realismus, der sich ebenso - aus einem anderen, konstruktivistischen Blickwinkel - als ein gemäßiger Konstruktivismus bezeichnen läßt. Dieser aufgeklärte Realismus unterstellt zwar eine subjektabhängig existierende Realität, verneint aber deren subjektunabhängige Erkenntnismöglichkeit. Vielmehr wird angenommen, daß in jeden Erkenntnisakt konstruktive Leistungen des erkennenden Subjekts (Modellierungsträgers) eingehen, die im jeweils untersuchten Realitätsausschnitt nicht enthalten sind. Diese weiterhin realistische, aber dennoch anti-naturalistische Erkenntniseinstellung wird so häufig geteilt, daß der Verf. hier auf eine weiterreichende Rechtfertigung verzichtet. Vgl. statt dessen zu Positionen, die einen aufgeklärten Realismus unter variierenden Bezeichnungen vertreten, STACHOWIAK (1973), S. 287ff.; BACKHAUSEN (1974), S. 43; HERRMANN, T. (1979), S. 198f. u. 209f.; WOLLNIK (1986), S. 23ff. u. 41ff., insbesondere i.V.m. S. 52 (Perspektivismus); MALIK (1986), S. 20f. u. 302f.; ALBERT, H. (1987), insbesondere S. 3ff., 43ff. (Ausgrenzung des naiven Realismus), 49f., 57, 64f., 88 u. 94ff. (kritischer Realismus); ROTH, G. (1987a), S. 231f. (distanziert); ELLE (1989b), S. 3f. u. 14ff.

Sicherlich wäre es verfehlt, den Quellen, die oben zum abbildungsbezogenen Modellbegriff angeführt wurden, generell vorzuwerfen, sie verfolgten einen naiven Realismus. Es kommt dem Verf. hier nur darauf an, daß dieser Modellbegriff letztlich dazu zwingt, eine naturalistische Erkenntnisposition einzunehmen, wenn seine Implikationen konsequent zu Ende gedacht werden. Da auch in dieser Arbeit von *realitätsadäquaten* Modellierungen, Objekt- oder Problemabbildungen und Ähnlichem die Rede sein wird, könnte auch ihr eine naiv realistische Konzeption vorgehalten werden. Um diesem Vorwurf zu begegnen, hat der Verf. zuvor der Kritik des abbildungsbezogenen Modellbegriffs größere Beachtung gewidmet. Eine solche Kritik stellt aber nur eine negative Abgrenzung gegenüber naturalistischen Modellierungen dar. Eine positive Eingrenzung derjenigen Modellauffassung, die statt dessen präferiert

wird, ist damit aber noch nicht erfolgt. Es wurde jedoch schon oben dargelegt, daß hier ein Modell als die *Repräsentation* eines Objekts begriffen wird. Der Repräsentationsbegriff wird dabei so allgemein ausgelegt, daß damit keineswegs die Vorstellung einer naturalistischen Abbildung verbunden sein muß. Statt dessen handelt es sich um einen bewußt unbestimmten Grundbegriff. Er läßt als Repräsentation eines Objekts grundsätzlich jedes Konstrukt zu, daß ein Modellierungsträger als Objektrepräsentation *erklärt*. Der Repräsentationsbegriff stellt aus dieser Perspektive also einen Zuschreibungs- oder Imputationsbegriff dar. Er zeichnet sich dadurch aus, daß seine Erfüllung nicht anhand von Konstruktmerkmalen überprüft werden kann, sondern durch einen Modellierungsträger *festgesetzt* wird. Dies mag auf den ersten Blick befremden. Es überstiege den Erkenntnisrahmen dieser Arbeit, die epistemische Berechtigung solcher Imputationsbegriffe aufzuzeigen. Vgl. statt dessen zur Eigenart und Relevanz von Imputationsbegriffen ZELEWSKI (1990d), S. 4f. Vgl. auch die Diskussion von "Zuschreibungen" bei KRIPKE (1987), S. 144f., 167 u. 169ff.; NAKAYAMA (1989), S. 1; LAUTERBACH (1989), S. 27. Darüber hinaus wird nochmals auf STEGMÜLLER (1986d), S. 55ff., verwiesen. Dort wird für WITTGENSTEIN's Regelfolgen-Paradox demonstriert, daß die Behauptung, ein Mensch befolge eine Regel, sich niemals anhand von Verhaltensmerkmalen des Menschen streng überprüfen läßt. Vielmehr kann das Befolgen einer Regel dem beobachteten Menschen letztlich nur *zuge-schrieben* werden. Folglich handelt es sich beim Begriff des Regelfolgens um einen typischen Imputationsbegriff. An STEGMÜLLER's Argumentationsführung besonders interessant ist hier, daß er sich auf S. 55 mit dem Skizzieren (Modellieren) eines Würfels (realen Objekts) befaßt. Dabei wird deutlich, daß jede beliebige Skizze als eine Repräsentation des Objekts "Würfel" aufgefaßt werden kann. Dies gilt vollkommen unabhängig davon, welche naturalistisch aufgefaßte Abbildungsähnlichkeit jeweils erreicht wird. Es braucht nur eine "Nicht-Standard-Regel" (S. 55) zur Interpretation der Skizze herangezogen zu werden, um aufzuzeigen, daß ein Modellierungsträger sie "durchaus als das Bild eines Würfels auffassen kann." (S. 55). Dies unterstreicht die Zulässigkeit der oben getroffenen Vereinbarung, für die Modellierung eines Objekts jedes beliebige Konstrukt zuzulassen, sofern nur ein Modellierungsträger dieses Konstrukt zur Repräsentation des Objekts erklärt. Vgl. zur vertiefenden Behandlung des Regelfolgen-Paradoxes KENNY (1974), S. 203ff.; VON KUTSCHERA (1975), S. 153ff.; STEGMÜLLER (1976b), S. 651ff.; WITTGENSTEIN (1977), S. 88ff., insbesondere S. 126f.; PUTNAM, H. (1982a), S. 97ff.; BLACKBURN, S. (1984), S. 281ff.; MCDOWELL (1984), S. 325ff.; BAKER, G. (1984), S. 407ff.; STEGMÜLLER (1986d), S. 9ff.; TAIT (1986), S. 475ff.; KRIPKE (1987), S. 17ff. u. 89ff.; NAKAYAMA (1989), S. 1ff. (auf S. 1 klingt der oben erwähnte Imputationscharakter des Regelfolgens deutlich an); LAUTERBACH (1989), S. 27ff.; SCHULTE, J. (1989), S. 159ff.

Der hier vertretene Modellbegriff unterscheidet sich vom oben kritisierten abbildungsbezogenen Modellbegriff in zwei Aspekten wesentlich. Erstens wird an die Objektrepräsentation keine einschränkende Homomorphieforderung geknüpft. Damit werden alle oben erläuterten Schwierigkeiten des metaphorischen Homomorphiebegriffs ausgeschlossen. Sollte ein Modellierungsträger dennoch in der Lage sein, Ähnlichkeitsmaßstab und -ausmaß für seine Homomorphievorstellungen zu konkretisieren, so läßt sich ein zusätzliches, aber akzidentielles Qualitätsmerkmal von Modellen formulieren: Wenn ein Konstrukt ein Objekt in derart überprüfbarer Weise homomorph repräsentiert, dann handelt es sich um ein homomorphes Modell des Objekts. Aber auch ein anderes Konstrukt, das von einem Modellierungsträger ebenso als Repräsentation des gleichen Objekts betrachtet wird, stellt selbst dann noch ein Objektmodell dar, wenn es die Homomorphieanforderung nicht mehr erfüllt. In diesem Fall liegt ein nicht-homomorphes Modell des Objekts vor. Zweitens bezieht sich die Repräsentation, die ein Modell leistet, zunächst nur auf ein Modellierungsobjekt. Es wird keineswegs behauptet, daß es sich bei diesem Modellierungsobjekt um einen Realitätsausschnitt handeln müsse. Strenggenommen ist das Modellierungsobjekt stets ein Erkenntnisinhalt des Modellierungsträgers, der durch das jeweils konstruierte Modell repräsentiert wird. Der Erkenntnisinhalt stellt bereits das Ergebnis einer kognitiven Leistung des Modellierungsträgers dar. Damit wird die Möglichkeit subjektiver Erkenntniseinflüsse von vornherein konzipiert. Zugleich entfällt hierdurch die naturalistische Problematik des abbildungsbezogenen Modellbegriffs. Statt dessen wird lediglich eine metaphorische Bezugnahme auf reale Objekte - wie Realitätsausschnitte oder Realprobleme - zugelassen: Falls sich der Erkenntnisinhalt eines Modellierungsträgers auf ein solches reales Objekt erstreckt und eben dieser Erkenntnisinhalt durch ein Modell repräsentiert wird, so wird auch die *metaphorisch vereinfachte* Formulierung akzeptiert, das Modell repräsentiere das reale Objekt. Es handelt sich um eine Vereinfachung, weil vom dazwischen liegenden Erkenntnisinhalt des Modellierungsträgers als tatsächlicher Referenz der modellhaften Repräsentation abstrahiert wird. Diese Abstraktion liegt vor allem der späteren Diktion zugrunde, ein Modellierungsträger verfüge über ein mentales Modell eines Realproblems. Im übrigen wird aber die Bezugnahme von Modellen auf Erkenntnisinhalte im folgenden stets dadurch unterstrichen, daß nur solche Modelle behandelt werden, die Problemwahrnehmungen und -beschreibungen eines Modellierungsträgers repräsentieren. Die Homomorphie eines Modells kann sich daher aus dieser anti-naturalistischen Perspektive nicht auf die strukturelle Ähnlichkeit zwischen einem Modell und einem Realitätsausschnitt erstrecken. Vielmehr läßt sich eine solche Strukturähnlichkeit nur auf das Verhältnis zwischen einem Modell und einem repräsentierten Erkenntnisinhalt - einer Problemwahrnehmung oder -beschreibung etwa - beziehen. Gleiches gilt, wenn in dieser Arbeit in metaphorisch vereinfachter Weise von der "Realitätsadäquanz" eines Modells die Rede ist. Dann ist keine Beziehung zwischen dem Modell und einem abgebildeten Realitätsausschnitt gemeint. Statt dessen zeichnet diese Formulierung ein Modell als adäquat aus, wenn es einen realitätsbezogenen Erkenntnisinhalt des Modellierungsträgers in einer bestimmten Weise repräsentiert. Die Eigenart dieser Repräsentationsweise wird später anhand der Modellverifizierung und -validierung präzisiert.

Angesichts der voranstehend vereinbarten sprachlichen Vereinfachungen, die es gestatten, von der Repräsentation realer Objekte und von der Realitätsadäquanz eines Modells zu reden, liegt es nahe, auch die ursprüngliche Ablehnung des Abbildungsbegriffs aufzugeben. Unter Vorbehalt aller zuvor dargelegten Sachverhalte wird fortan in modellierungsbezogenen Argumentationszusammenhängen zwischen Abbildungs- und Repräsentationsbegriff nicht mehr unterschieden. Dabei wird vorausgesetzt, daß ein aufgeklärt realistisches Abbildungsdenken zugrundeliegt, das von allen naturalistischen Assoziationen befreit ist. Ein solcher anti-naturalistischer Abbildungsbegriff findet sich z.B. bei STACHOWIAK (1973), S. 132 i.V.m. S. 287ff. In die Richtung eines derart modifizierten Abbildungsverständnisses weist auch der Begriff des "Bildes" bei WITTGENSTEIN (1921), S. 202ff. (Ziffern 2.1ff, 2.2ff. u. 3), S. 212ff. (Ziffern 4.01, 4.013 bis 4.015, 4.023, 4.03ff. u. 4.06). Sein Abbildungsbegriff involviert nicht die Vorstellung eines naturalistischen Spiegelbilds realer Sachverhalte. Vielmehr versteht WITTGENSTEIN unter dem Bild eines Sachverhalts ein Konstrukt, das dem abgebildeten Sachverhalt eine kognitive Struktur aufprägt, die dem Sachverhalt keineswegs inhärieren muß. Vgl. zu vertiefenden, die o.a. Auslegung stützenden Interpretationen von WITTGENSTEIN'S Abbildungsbegriff KENNY (1974), S. 70ff., insbesondere S. 72f. u. 74; VON KUTSCHERA (1975), S. 51ff., insbesondere S. 53f.; STEGMÜLLER (1976b), S. 539ff., der auf S. 539 u. 543f. besonders deutlich herausstellt, daß WITTGENSTEIN *keinen* naturalistischen Abbildungsbegriff vertreten hat; STEGMÜLLER (1986d), S. 54ff., insbesondere S. 55; SCHULTE, J. (1989), S. 74ff., insbesondere S. 77f. Abweichender Ansicht scheinen dagegen HEGSELMANN (1979a), S. 16, und CONWAY, G. (1989a), S. 4 u. 7, zu sein. Sie legen WITTGENSTEIN'S Logisch-Philosophische Abhandlung von 1921 im Sinne eines naturalistischen Abbildungsbegriffs aus. Besonders deutlich wird dies bei HEGSELMANN, der das Abbildungsverständnis von WITTGENSTEIN der Korrespondenztheorie der Wahrheit zuordnet. Diese Wahrheitskonzeption liegt wiederum dem naturalistischen Abbildungsbegriff zugrunde. Vgl. STEGMÜLLER (1976b), S. 539 (dort wird die Korrespondenztheorie als "Abbildtheorie der Erkenntnis" angesprochen).

8) Der Modellierungsträger stellt eine einzelne Person oder eine Gruppe von Personen dar, die mit der Modellierung eines Objekts befaßt ist. Analog dazu werden später auch Koordinierungs- und Entscheidungsträger als solche Personen(gruppen) identifiziert, die an der Koordinierung von Produktionsprozessen bzw. an der Erfüllung von Entscheidungsaufgaben mitwirken. In dieser Arbeit wird grundsätzlich von einem homogenen Modellierungsträger ausgegangen. Falls es sich beim Modellierungsträger um eine Personengruppe handelt, wird daher die Gleichartigkeit der Modellierungsauffassungen aller beteiligten Personen unterstellt. Von allen Komplizierungen, die aus der Interaktion zwischen den Mitgliedern eines heterogen zusammengesetzten Modellierungsträgers resultieren können, wird abgesehen. Einen Überblick über solche Schwierigkeiten bietet MEYER ZU SELHAUSEN (1980a), S. 39ff. Vgl. auch am Rande MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 134.

9) Die relevanten Objekte von Modellierungen werden hier auf Koordinierungsprobleme eingeschränkt. Aus dieser Perspektive kann die Objektmodellierung ebenso als Problemmodellierung angesprochen werden.

10) Der Lösungsbegriff wird hier zunächst in einem intuitiven Vorverständnis verwendet. Er wird später im problemtheoretischen Kontext durch den Begriff der Problembewältigung präzisiert. Angesichts der dort getroffenen terminologischen Vereinbarungen stellt die Lösung eines Koordinierungsproblems nur eine mögliche, aber keineswegs zwingende Ausprägung der Problembewältigung dar. Daher müßte strenggenommen davon gesprochen werden, es werde eine Bewältigung von Koordinierungsproblemen bezweckt. Auf diese Präzisierung wird vorerst verzichtet, da sie im modelltheoretischen Rahmen keine beachtenswerte Rolle spielt. Statt dessen wird nur von einer Problemlösung geredet. Dabei kann der Lösungsbegriff sowohl in prozeß- als auch in ergebnisbezogener Weise gebraucht werden. Es ergibt sich aus dem jeweils aktuellen Argumentationskontext, welches Begriffsverständnis gemeint ist. Zunächst dominiert die Betrachtung von Lösungsprozessen.

11) Wegen der voranstehend erwähnten Voraussetzung, ausschließlich Koordinierungsprobleme zu modellieren, kann das Objektmodell fortan auch als Koordinierungsmodell bezeichnet werden. Sofern die Darstellung desjenigen Produktionssystems im Vordergrund steht, in dem die Ausführung von Produktionsprozessen koordiniert werden soll, läßt sich das Objektmodell ebenso als Produktionsmodell ansprechen.

12) Aufgrund der Erläuterung zur Problembewältigung, die kurz zuvor erfolgte, wäre ebenso von einer Modellbewältigung zu sprechen. Auf diese begriffliche Präzisierung wird jedoch grundsätzlich verzichtet, weil es sich bei der "Modelllösung" um einen weithin etablierten Sprachgebrauch handelt. Es wird an ihm festgehalten, dabei aber implizit unterstellt, daß die Lösung eines modellierten Koordinierungsproblems stets im Sinne der Problembewältigung verstanden wird.

13) Aus diesem Blickwinkel lassen sich die Modellkonstruktion und -auswertung auch als synthetische bzw. analytische Dimension der Modellgestaltung thematisieren.

14) Vgl. zu weiteren Phasenschemata für Modellierungsprozesse, die sich mit dem hier erörterten Schema inhaltlich grob decken, aber in manchen Detailspekten auch abweichen, ZENTES (1976), S. 30ff.; MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 132ff. (mit einem entsprechenden Literaturüberblick auf S. 131f.); KERN, W. (1987), S. 18ff. Vgl. aber auch zu inhaltlich stark abweichenden, hier nicht berücksichtigten Ansätzen, Phasen von Modellierungsprozessen zu identifizieren, ACKOFF (1970), S. 12; RIVETT (1974), S. 17ff.; ROBERTS, E.B. (1977), S. 26ff.; GUPTA, J. (1977), S.

84(ff.); RIVETT (1980), S. 7; HANSSMANN (1987), S. 25ff. (als "Phasen einer Systemstudie"); GASS (1990), S. 61ff., insbesondere S. 62ff.

Für das Phasenschema, das in diesem Kapitel diskutiert wird, wird kein Anspruch auf Vollständigkeit oder Allgemeingültigkeit erhoben. Statt dessen wird es nur so weit entfaltet, wie es für die thematische Eingrenzung der hier vorgelegten Ausarbeitung nützlich erscheint. In einer späteren Anmerkung wird explizit auf eine Vervollständigung des Phasenschemas hingewiesen, die durch Verfeinerung der Formalisierungsphase möglich wäre. Darüber hinaus läßt sich z.B. anhand der Phase der Modellkalibrierung (Modelladjustierung) verdeutlichen, daß das hier bevorzugte Phasenschema nicht allgemeingültig ist. Eine Modellkalibrierung wird immer dann erforderlich, wenn mit parametrisch formulierten Modellschemata gearbeitet wird. Dann müssen die Ausprägungen der Schemaparameter an ein konkret vorliegendes, konzeptualisiertes Realproblem angepaßt werden, um das Modellschema in ein problem-darstellendes Modell zu transformieren. Vgl. zu solchen Modellkalibrierungen für die Anpassung parametrischer Modellschemata an Realprobleme MÜLLER, A. (1987), S. 367f. Vgl. ebenso die Beschreibung eines parametrischen Modellschemas bei BRUCKER (1981), S. 20ff. Es dient der Sammlung und Klassifizierung von einfach strukturierten Maschinenbelegungsmodellen, die sich mit der Hilfe dieses Schemas durch die Ausprägungsvariation von nur 5 Parametern erzeugen lassen. Das Modellschema beruht auf einem frühen, noch auf 4 Parameter beschränkten Parametrisierungskonzept von CONWAY, R. (1967), S. 6ff. Eine neuere Variante parametrischer Modellierungen betrifft das Koordinierungskonzept der belastungsorientierten Auftragsfreigabe. Dort können die Einlastungsstrategien in parametrischer Form festgelegt werden. Dann lassen sich in entsprechend ausgelegten Koordinierungsmodellen die Zielwirkungen alternativer Parameterkalibrierungen untersuchen. Vgl. zu solchen parametrischen Einlastungsstrategien MISSBAUER (1987), S. 81f., 84 u. 87.

15) Der Realitätsbegriff wird in dieser Arbeit aus der Perspektive eines aufgeklärten Realismus (moderaten Konstruktivismus) verwendet. Darauf wurde bereits in einer voranstehenden Anmerkung ausführlicher eingegangen. Gleiches gilt für alle Komposita des Realitätsbegriffs, also z.B. auch für den Begriff des Realproblems.

16) Ob das Realproblem tatsächlich existiert, wird hier nicht weiter problematisiert. Es reicht aus, wenn es sich um eine Fiktion seitens des Modellierungsträgers handelt, der eine reale Situation als problematisch empfindet und hierdurch einen Modellierungsprozeß anstößt. Insofern kann das Präfix "Real-" im Sinne einer subjektiv wahrgenommenen "Realität" verstanden werden. Vgl. dazu die Erläuterungen, die sich in einer früheren Anmerkung mit den Schwierigkeiten der naturalistischen Modellauffassung und mit ihrem konstruktivistischen Widerpart befaßen.

17) Vgl. dazu die Erörterung zum hier verwendeten Repräsentationsbegriff in einer der voranstehenden Anmerkungen.

18) Das formalsprachlich konstruierte Modell wird fortan auch kurz als formales Modell bezeichnet. Der Begriff des formalen Modells schließt nicht aus, daß es informale Erweiterungen besitzen kann. Dies gilt insbesondere für semantische und pragmatische Modellbestandteile, die den Bezug des formalen Modellkerns zum modellierten Realproblem bzw. zu den Intentionen des Modellierungsträgers herstellen (Näheres dazu später). In dieser Arbeit interessieren ausschließlich Modelle, die in der Hauptsache mit formalsprachlichen Mitteln ausgedrückt werden. (Daneben werden auch graphische Visualisierungen der formalen Modelle thematisiert.) Daher werden hier nur formale Modelle als Ziel der Modellkonstruktion thematisiert. Dadurch wird aber nicht ausgeschlossen, daß Modelle anderer Art ebenso in Betracht gezogen werden können. Beispielsweise lassen sich ikonische oder technisch-physikalische Modelle konstruieren. Vgl. z.B. STACHOWIAK (1973), S. 163ff. bzw. 174ff. Die hier vorausgesetzte Präferenz formalsprachlicher Modellkonstruktionen wird später im semiotischen Rahmen näher gerechtfertigt.

19) Der Begriff des Formalproblems knüpft an der Konstruktion eines *formalsprachlichen* Modells an. Er überwiegt auch in der Literatur als Komplementbegriff zu dem oben eingeführten Begriff des Realproblems. Vgl. zur Gegenüberstellung von Real- und Formalproblemen MÜLLER-MERBACH (1973), S. 14f.; ZELEWSKI (1986a), S. 238f. (distanziert). Vgl. auch die analoge Gegenüberstellung von Real- und Formalstrukturen bei ZENTES (1976), S. 31f.

20) Der Begriff der Idealproblems kehrt das komplementäre Verhältnis zwischen *realer*, problemkonstituierender Situation und *idealer* Problemrepräsentation deutlicher heraus, als es bei der Bezugnahme auf Formalprobleme der Fall ist. Vgl. zur terminologischen Präferenz zugunsten von Idealproblemen ZELEWSKI (1986a), S. 239 u. 632. Vgl. dazu ebenso die Gegenüberstellung von Ideal- und Realtyp bei LEITHERER (1965), S. 657ff.; WEBER, M. (1985), S. 3f. u. 10 (mit Akzent auf dem Idealtyp).

21) In Kürze wird zwischen drei Teilphasen der Modellkonstruktion näher unterschieden. Im Vorgriff darauf liegt es nahe, die hier festgelegte Modellierungsphase als Modellkonstruktion i.w.S. zu bezeichnen. In dieser Arbeit wird unter der Konstruktion eines Modells stets diese weit gefaßte Begriffsvariante verstanden, sofern nicht ausdrücklich darauf hingewiesen wird, daß eine der nachfolgend vorgestellten, jeweils enger definierten Teilphasen der Modellkonstruktion gemeint ist.

22) Die Teilphasen werden fortan auch kurz als Phasen angesprochen, wenn sie als selbständige Modellierungsphasen thematisiert werden. Dann tritt der Aspekt in den Hintergrund, daß diese Phasen zwecks Ausdifferenzierung der umfassenderen Phase der Modellkonstruktion (i.w.S.) eingeführt werden.

23) Wenn die in Kürze angeführte Problemwahrnehmung nicht als Ergebnis, sondern als Prozeß aufgefaßt wird, läßt sich die Phase der mentalen Modellkonstruktion auch als Phase der Problemwahrnehmung thematisieren. Ebenso kann von einer Phase der mentalen Problemdurchdringung gesprochen werden.

24) Vgl. SIEBEN (1990), S. 179. Hinsichtlich des nachfolgend eingeführten externen informalen Modells kann hier auch von einem internen informalen Modell gesprochen werden. Da ein internes Modell aber immer informaler Art ist, wird auf diese aufwendigere Bezeichnungsweise verzichtet.

25) Vgl. TREDE (1990), S. 16 (als "logisches Modell im Kopf"; Unterstreichung des Originals hier unterlassen).

26) Solche Kommunikationsprozesse sind bei der Modellierung eines Objekts nicht unbedingt erforderlich. Insbesondere läßt sich eine einzelne Person als Modellierungsträger vorstellen, die während der Objektmodellierung mit keinen anderen Personen in Kontakt tritt. In dieser Arbeit werden jedoch als Regelfall multipersonal organisierte Modellierungsprozesse unterstellt. Dann erfordert die Koordinierung der einzelnen Modellierungsaktivitäten, daß die involvierten Personen miteinander über ihre Modellierungsvoraussetzungen und -resultate kommunizieren können. Daher bilden entsprechende Kommunikationsprozesse hier einen unverzichtbaren Bestandteil jedes Modellierungsprozesses. Dieser Aspekt wird später aufgegriffen, um zu beurteilen, ob ein Modellierungskonzept die Kommunikation über Modellierungsvoraussetzungen und -resultate zu unterstützen vermag. Die Bedeutung des Kommunikationsaspekts für die Modellierungspraxis des Operations Research wird von MEYER ZU SELHAUSEN (1980a), S. 41f. u. 57f., ausführlicher thematisiert. Auch die Präsentation von Modellierungsergebnissen, deren Wichtigkeit MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 137ff., würdigt, erfordert eine entsprechende Kommunikation zwischen den Beteiligten eines Modellierungsprozesses. Vgl. darüber hinaus die Vorstellungen über interaktive Modellierungsprozesse, die z.B. bei SHAKUN (1972), S. B-368ff. (als "situational normativism"); GUPTA, J. (1977), S. 86f.; MEYER ZU SELHAUSEN (1980a), S. 61ff. ("interactive strategy"), entfaltet werden. Die dort empfohlenen Interaktionen zwischen Personen, die an einem Modellierungsprozeß teilhaben, setzen eine entsprechende Kommunikation zwischen den Beteiligten notwendig voraus.

27) Vgl. zur natürlichsprachlichen Modellkonstruktion AYACHE (1979a), S. 1050; BUDDE (1981), S. 453; KERN, W. (1987), S. 18 (er spricht von einer "verbalen Problembeschreibung"); PAGNONI (1990), S. 1 (allerdings in bezug auf Projekte). Die Phase der natürlichsprachlichen Modellkonstruktion kann auch als Phase der Problembeschreibung bezeichnet werden. Dabei wird die Problembeschreibung nicht - wie nachfolgend - als Ergebnis, sondern als Prozeß aufgefaßt. Ebenso läßt sich von einer Phase der Problemversprachlichung reden.

28) Das Attribut "extern" grenzt das Modell vom voranstehenden mentalen oder *internen* Modell ab.

29) Das Attribut "informal" spielt auf die Natürlichsprachlichkeit der Problembeschreibung an. Zugleich dient es zur Abgrenzung vom nachstehend angeführten, ebenso externen, jedoch *formalen* Modell.

30) Es wird auch kurz von der Problemkonzeptualisierung geredet. Da die hierbei hervorgebrachten mentalen und natürlichsprachlichen Modelle stets bewußt gestaltete Strukturen aufweisen, kann ebenso von einer Problemstrukturierung gesprochen werden. Auf die synonyme Verwendung von Konzeptualisierungs- und Strukturierungsbegriff wurde schon hingewiesen. Vgl. zur Modellierungsphase der Problemkonzeptualisierung MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 123f. Vgl. darüber hinaus auch die späteren Anmerkungen und die zugehörigen Quellenverweise zur Bedeutung der Modellkonstruktion. Sie beziehen sich inhaltlich zumeist auf die Phase der Problemkonzeptualisierung. Die Konzeptualisierung eines Realproblems entspricht auch der "Identifikationsaufgabe", die von GROCHLA, LEHMANN und RENNER als zentrales Anliegen betriebswirtschaftlicher Modellierungsprozesse thematisiert wird. Vgl. GROCHLA (1984), insbesondere S. 3ff. Die Autoren beziehen sich zwar primär auf organisatorische Modellierungsprobleme. Doch besitzen ihre Ausführungen allgemeingültigen Charakter. Er äußert sich u.a. in der explizit generalisierenden Bezugnahme auf die "Gestaltung ... soziotechnischer Systeme" oder auf die "Gestaltung ... sozialwissenschaftlicher Sachverhalte" und die Ansprache "der betriebswirtschaftlichen ... Forschung" (GROCHLA (1984), S. 3f.). Für diesen weit gespannten Gestaltungsbereich wird die Identifikationsaufgabe als die "Erfassung und Strukturierung des Untersuchungsobjektes, auf das sich das Erklärungs- und Gestaltungsinteresse bezieht" (S. 3) definiert. Ähnlich faßt RAMAKRISHNA (1986), S. 86f., die Problemidentifikation als einen Prozeß der Problemformulierung auf, der von einem unstrukturierten Problemempfinden ausgeht und mit einer (strukturierten) Problemdefinition endet. Auch hier erfüllt der Identifikationsprozeß - allerdings ohne expliziten Bezug auf Modellierungsprozesse - eine Erfassungs- und Strukturierungsaufgabe. Vgl. ebenso KUBICEK (1977), S. 18f., der eine konzise Auflistung von Identifikationsaufgaben für empirisch-explorative Forschungsvorhaben unterbreitet.

31) In dieser Arbeit werden ausschließlich Realprobleme behandelt, deren Konzeptualisierung abgeschlossen ist. Dies folgt aus der Ausgrenzung der Phasen kognitiver und natürlichsprachlicher Konzeptualisierungsleistungen. Daher braucht zwischen verschiedenen Konzeptualisierungsformen eines Realproblems nicht weiter differenziert zu werden. Statt dessen reicht es aus, das eine konzeptualisierte Realproblem zu betrachten, das am Ende der Konzeptualisierungsphase vorliegt.

32) Es wird als sprachliche Vereinfachung zugelassen, nur kurz von einem Realproblem zu reden, wenn aus dem Argumentationskontext deutlich wird, daß ein konzeptualisiertes Realproblem gemeint ist.

33) Vgl. MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 133f. (dort einfach als "Modellbildung" thematisiert).

34) Es könnte auch von einem formalsprachlichen Modell die Rede sein, da es sich um ein formalsprachlich verfaßtes Modell handelt und dem natürlichsprachlichen Modell gegenübersteht. Der Verf. bevorzugt hier jedoch das Attribut "formal" aufgrund seiner Kürze.

35) Ein externes informales Modell eignet sich zwar aufgrund seiner natürlichsprachlichen Problembeschreibung gut für die Kommunikation über die Voraussetzungen oder Resultate von Modellierungsprozessen. Doch existieren keine leistungsfähigen Konzepte, die sich auf ein solches informales Modell zur Modellauswertung anwenden ließen. Statt dessen beziehen sich diese Auswertungskonzepte auf formalsprachlich verfaßte Modelle. Daher wird auch hier ein natürlichsprachliches Modell in ein formales Modell übersetzt.

36) Vgl. zu formal(sprachlich)en Problemspezifizierungen SCHNEIDER, H.-J. (1978), S. 51; AYACHE (1979a), S. 1050; BUDE (1981), S. 453; JÄHNICHEN (1990), S. 5f.; TREDE (1990), S. 9ff.; PAGNONI (1990), S. 1, die allerdings auch die natürlichsprachliche Problembeschreibung einbezieht. Sofern die Problemspezifizierung nicht als Ergebnis, sondern als Prozeß ausgelegt wird, läßt sich die Phase der Problemformalisierung auch als Phase der Problemspezifizierung bezeichnen.

37) Es wird hier der Übersichtlichkeit halber davon abgesehen, daß die natürlichsprachliche Problembeschreibung sukzessiv mit formalsprachlichen Konstrukten angereichert werden kann. Wäre dies der Fall, so ließe sich nicht mehr zwischen dem natürlichsprachlichen und dem formalen Modell streng unterscheiden. Statt dessen bestünde ein fließender Übergang zwischen natürlichsprachlicher Problembeschreibung und formalsprachlicher Problemspezifizierung. Entsprechend würde die Problemformalisierung eine Kette externer Modelle hervorbringen, deren Formalisierungsgrad schrittweise zunimmt. Auf diesen Aspekt wird später im Zusammenhang mit Kanal/Instanz-Netzen zurückgekommen.

38) Formale Problemspezifizierungen werden zumeist als formalsprachlich verfaßte, aber nonprozedurale Problembeschreibungen verstanden. Vgl. z.B. SCHNEIDER, H.-J. (1978), S. 51; BUDE (1981), S. 453; JÄHNICHEN (1990), S. 6; TREDE (1990), S. 9. Aufgrund ihrer Nonprozeduralität lassen es Problemspezifizierungen nicht zu, aus ihnen unmittelbar eine Problemlösung abzuleiten. Denn jeder Problemlösungsprozeß setzt prozedurale Instrumente für die Problembearbeitung voraus. Dies wird zumeist in der plakativen Formulierung ausgedrückt, daß eine Spezifizierung festlege, *was* eine Problemmodellierung leisten soll. Die Spezifizierung gebe aber nicht an, *wie* diese Leistung später durch eine Lösung des problemrepräsentierenden Modells erbracht werden kann. Vgl. zu dieser dichotomen Unterscheidung zwischen dem "Was" und dem "Wie" von Modellierungsaufgaben z.B. BOSSI (1989), S. 98; JÄHNICHEN (1990), S. 6; TREDE (1990), S. 9.

Der Verf. hat jedoch vorgezogen, nicht von einer nonprozeduralen, sondern von einer abstrakten Problembeschreibung zu sprechen. Die Abstraktheit von Spezifizierungen hebt auch TREDE (1990), S. 9, 15 u. 21, hervor. Mit der Betonung der Beschreibungsabstraktheit sollen hier Mißverständnisse vermieden werden, die aus dem Anwendungsbereich nonprozeduraler Modellierungen resultieren können. Denn es existieren konkrete Problemmodellierungen, die ebenso in nonprozeduraler Weise gestaltet worden sind. Das prozedurale Instrumentarium wird dort als separate, auf beliebige nonprozedurale Modelle anwendbare "Problemlösungskomponente" vorgehalten. Zu dieser Modellierungsweise rechnen z.B. die Logische Programmierung und die Expertensystemtechnik. Sie werden hier nicht näher erläutert, da sie in den späteren Ausführungen noch ausführlicher behandelt werden. Daher läßt sich anhand des Kriteriums "Nonprozeduralität" nicht trennscharf zwischen Problemspezifizierungen und problemrepräsentierenden Modellen unterscheiden. Darüber hinaus könnte bereits die formalsprachliche Problemspezifizierung als ein formales Modell des betrachteten Realproblems aufgefaßt werden. Denn auch die Problemspezifizierung leistet eine Repräsentation des untersuchten Problems.

Aufgrund der voranstehend skizzierten Abgrenzungsprobleme zwischen Problemspezifizierungen und Modellen sieht der Verf. nur ein überzeugendes, bereits oben angedeutetes Unterscheidungskriterium: die "Lösungsdistanz" der Problemrepräsentation. Ein problemrepräsentierendes formalsprachliches Konstrukt wird daher so lange als Problemspezifizierung bezeichnet, wie das Konstrukt nicht erkennen läßt, ob - und im positiven Fall: auf welche Weise ("wie") - sich das repräsentierte Problem lösen läßt. Es wird dann kurz von einer "abstrakten" Problemrepräsentation gesprochen. Abstraktheit einer Problemrepräsentation bedeutet daher Lösungsferne. Umgekehrt wird ein problemrepräsentierendes formalsprachliches Konstrukt als ein Modell des Problems behandelt, sobald das Konstrukt zuläßt zu beurteilen, ob - und im positiven Fall: wie - das repräsentierte Problem gelöst werden kann. In diesem Fall wird kurz von einer "konkreten" Problemrepräsentation geredet. Konkretheit einer Problemrepräsentation wird deshalb mit ihrer Lösungsnähe gleichgesetzt. Als weiteres Synonym für die Konkretheit oder Lösungsnähe einer Problemrepräsentation wird auch deren Operationalität eingeführt: Eine Problemrepräsentation gilt genau dann als operational, wenn sie erlaubt, das repräsentierte Problem entweder zu lösen oder aber dessen Unlösbarkeit festzustellen. Dies bedeutet inhaltlich das Gleiche wie die oben verwendete Formulierung, beurteilen zu können, ob - und im positiven Fall: wie - sich ein repräsentiertes Problem lösen läßt. Zugleich muß sich jede Problemspezifi-

zierung aufgrund ihrer Lösungsferne als inoperational erweisen. Der Prozeß, der eine abstrakte, lösungsferne Problemspezifizierung in ein konkretes, lösungsnahes Modell des Problems transformiert, wird fortan als Operationalisierung des Problems thematisiert.

Die Festlegungen für die Operationalität und die Operationalisierung von Problemrepräsentationen entsprechen inhaltlich weitgehend dem speziellen Operationalitätsverständnis von ZENTES (1976), S. 35. Ihm zufolge bezieht sich Operationalität auf die "Transformation der Realstruktur in eine Formalstruktur und auf die Lösbarkeit der Formalstruktur mit Hilfe formaler Methoden". Davon wird hier lediglich in zwei Aspekten abgewichen. Erstens wird vorausgesetzt, daß eine Formalisierung der natürlichsprachlichen Problembeschreibung bereits geleistet wurde. Denn es wird von einer formalsprachlichen Problemspezifizierung ausgegangen. Zweitens wird die Operationalität nicht auf den Normalfall der Lösbarkeit eines Problems eingeschränkt. Vielmehr gilt eine Problemrepräsentation ebenso als operational, wenn sie gestattet zu erkennen, daß sich das Problem grundsätzlich nicht lösen läßt. Daher werden die weitergehenden Ausführungen von ZENTES (1976), S. 35f., zu "Einflußfaktoren der Operationalität" nicht weiter beachtet. Sie beziehen sich nämlich immer auf die präsupponierte Lösbarkeit eines Problems. Dazu gehören z.B. die Determinanten wie "Quantifizierbarkeit" und "numerische Rechenbarkeit". Sie werden in dieser Arbeit nicht zur Operationalität, sondern - allenfalls - zur Effizienz eines Modellierungskonzepts gerechnet. Schließlich entspricht das hier verfolgte Operationalitätsverständnis auch der Anforderung operationaler Spezifizierung, wie sie TREDE (1990), S. 17, vertritt. Allerdings äußert sich TREDE in einem anderen Argumentationskontext (Softwarespezifizierung) mit abweichender Diktion.

Voranstehend wurde zwischen zwei unterschiedlichen Varianten der Problemrepräsentation unterschieden: den lösungsfernen Problemspezifizierungen und den lösungsnahen Modellen der Probleme. Zugleich wird in dieser Arbeit der Modellbegriff so weit ausgelegt, daß er letztlich alle Problemrepräsentationen umfaßt. Das wurde schon in einer der voranstehenden Anmerkungen erläutert. Um diese beiden terminologischen Festlegungen miteinander vereinbaren zu können, muß zwischen einem Modellbegriff i.w.S. und einem Modellbegriff i.e.S. differenziert werden. Der Modellbegriff i.w.S. erstreckt sich auf alle Problemrepräsentationen. Der Modellbegriff i.e.S. wird dagegen auf die lösungsnahen, operationalen Modelle von Problemen eingeschränkt. Auf den präzisierenden Zusätzen "i.w.S." und "i.e.S." wird fortan verzichtet, wenn aus dem jeweils thematisierten Kontext klar hervorgeht, welcher Modellbegriff gemeint ist.

Es würde die Zwecksetzung eines Bezugsrahmens übersteigen, die voranstehenden groben inhaltlichen Festlegungen der Abstraktheit, Konkretheit und Operationalität von Problemrepräsentationen detaillierter auszuführen. Statt dessen wird auf spätere Ausführungen zum Petrinetz-Konzept verwiesen. Dort wird zunächst eine formalsprachliche Problemspezifizierung vorausgesetzt. Sie nimmt die Gestalt eines abstrakten prädikatenlogischen Formelsystems an. Das Formelsystem wird auch als ein Objektmodell thematisiert. Dabei liegt der Modellbegriff i.w.S. zugrunde. Das problemspezifizierende Formelsystem wird anschließend in ein konkretes Netzmodell transformiert. Das Netzmodell stellt dasjenige formale Modell dar, das als operationales Ergebnis der Modellkonstruktion angestrebt wird. Zugleich erfüllt es den Modellbegriff i.e.S. Die Operationalität des Netzmodells manifestiert sich in den vielfältigen Auswertungsmöglichkeiten, die für Netzmodelle im Rahmen dieser Arbeit erörtert werden. Sie vermitteln einen Eindruck von der Operationalisierung prädikatenlogischer Formelsysteme, die sich durch den Übergang von abstrakten Objekt- zu konkreten Netzmodellen erzielen läßt.

39) Die Begriffe der ergebnisbezogenen Operationalität und der prozeßbezogenen Operationalisierung wurden bereits in der voranstehenden Anmerkung erläutert. Die dort erfolgten Begriffsfestlegungen sind speziell auf einen Argumentationskontext zugeschnitten, der sich auf die Modellierung von Problemrepräsentationen bezieht. Darüber hinaus bereiten sie spätere Ausführungen zur operationalen Dimension von prädikatenlogischen Modellierungskonzepten vor. Es wird aber nicht verkannt, daß in anderen Argumentationszusammenhängen durchaus Begriffsverständnisse gepflegt werden, die sich mit dem oben dargelegten nicht vereinbaren lassen. Dazu gehört insbesondere die Vorstellung von operationalen Begriffsdefinitionen, die eine präzise, intersubjektiv eindeutig Begriffsverwendung gestatten. Vgl. zu dieser inhaltlich abweichenden Begriffsoperationalität CARNAP (1961), S. 134 u. 137ff.; RAFFEE (1974), S. 29; OPP,K. (1976), S. 217ff. u. 239f.; KÖHLER,R. (1976), S. 27; ESSER,H. (1977a), S. 86ff.; SCHANZ (1988b), S. 21f. In dieser Arbeit werden beide Operationalitätsverständnisse nebeneinander verwendet. Aus dem jeweils aktuellen Kontext geht hervor, ob entweder operationale Problemrepräsentationen oder aber operationale Begriffsbildungen gemeint sind.

40) Dieses Modell läßt sich ebenso als problemrepräsentierendes, -darstellendes oder -abbildendes Modell bezeichnen. Diese Ausdrucksweisen knüpfen an die eingangs erfolgte Festlegung an, daß sich Modellierungen zunächst auf die Konstruktion von objekt-darstellenden Modellen erstrecken. Da die Modellierungsobjekte dieser Arbeit als Koordinierungsprobleme identifiziert wurden, handelt es sich bei den objekt- zugleich um problemrepräsentierende Modelle.

41) Die Phasen der Konzeptualisierung, der Spezifizierung und der Operationalisierung eines Realproblems fallen als Gesamtheit mit der Phase der Konstruktion eines problemrepräsentierenden Modells zusammen. Fortan wird dieser gesamte Modellierungsabschnitt auch als Problemabbildung bezeichnet. Dabei liegt der weit aufgefaßte Abbildungsbegriff zugrunde, der in einer früheren Anmerkung gegenüber dem naturalistisch verengten Abbildungsbegriff abgegrenzt und in das Abbildungsdenken des frühen WITTGENSTEIN eingeordnet wurde.

42) Diese Rückkopplungen begegnen der sonst oftmals üblichen Kritik, Phasenschemata suggerierten eine lineare Abfolge von Modellierungsphasen, die in der Modellierungspraxis kaum jemals durchgehalten würde. Vgl. zu solchen Vorbehalten gegenüber angeblich linearen Phasenschemata MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 131. Vgl. auch GASS (1990), S. 62, der auf Interdependenzen und Überschneidungen von Modellierungsphasen hinweist. Die hier aufgezeigten Rückkopplungen konkretisierten die Interdependenzen, die GASS nur cursorisch anspricht. Analoge Rückkopplungen spricht dagegen TREDE (1990), S. 15, 18 u. 20, unmittelbar an. Allerdings argumentiert er im anderen - jedoch inhaltlich eng verwandten - Kontext der Softwareerstellung.

43) Die Wichtigkeit solcher Rückkopplungsschleifen für die Gestaltung von Modellen hebt MORRIS, W.T. (1967), S. B-709f., hervor, ohne sich jedoch explizit auf Modellverifizierungen oder -validierungen zu beziehen.

44) Vgl. zur Verifizierung von Modellen BANKS (1984), S. 14 u. 376ff., insbesondere S. 378ff.; PAGNONI (1990), S. 2 (in bezug auf Pläne); GASS (1990), S. 61 u. 63; JÄHNICHEN (1990), S. 6 (allerdings nicht in bezug auf Modelle, sondern auf Softwareimplementierungen).

45) Eine Verifizierung "an sich" ist inhaltlich unterbestimmt. Denn es bleibt offen, bezüglich welcher Aspekte ein Modell der Problemspezifizierung "gerecht" werden soll. Daher läßt sich ein Modell erst dann verifizieren, wenn zusammen mit der Problemspezifizierung eine nicht-leere Menge von Verifizierungskriterien vorliegt. Diese Kriterien hängen jedoch von den Verifizierungszielen ab, die ein Modellierungsträger verfolgt. Sie lassen sich nicht allgemeingültig fixieren. Daher wird hier auf ihre inhaltliche Ausfüllung nicht weiter eingegangen. Vgl. statt dessen zur detaillierten Behandlung unterschiedlicher Verifizierungskriterien KELLER, R. (1978), S. 338ff.; PNUELI (1979), S. 4f.; SIFAKIS (1982), S. 227f.; YOELI (1983), S. 293.

46) Dieser Korrektheitsbegriff besitzt einen rein formalen Charakter. Denn er ist auf die Übereinstimmung zwischen formalem Modell und formaler Problemspezifizierung bezogen, die anhand von formalen Verifizierungskriterien überprüft wird. Daher kann der Deutlichkeit halber auch von einer *formalen* Modellkorrektheit geredet werden. Sie ist klar zu unterscheiden von der Modelladäquanz, die nachfolgend erläutert wird. Denn der Adäquanzbegriff nimmt auf informale Problemwahrnehmungen oder -beschreibungen Bezug. Um Verwechslungen mit der formalen Korrektheit eines verifizierten Modells zu vermeiden, läßt sich die Adäquanz einer Problemrepräsentation auch als *materiale* Modellkorrektheit thematisieren.

47) Vgl. zur Validierung von Modellen EILON (1974), S. 36f.; ROBERTS, E.B. (1977), S. 29f.; MÜLLER-MERBACH (1981a), S. 150 (distanziert); BANKS (1984), S. 14 u. 376ff., insbesondere S. 383ff.; HANSSMANN (1987), S. 92ff.; GASS (1990), S. 61 u. 63. Vgl. auch die Ansätze zu einer nicht-formalen, semantischen oder pragmatischen Prüfung der Modellkorrektheit bei VALETTE (1977b), S. 104, und VALETTE (1978b), S. 182. Ein abweichendes Validierungsverständnis vertritt dagegen PAGNONI (1990), S. 1 (Konsistenz und Machbarkeit).

Bei der Modellvalidierung gilt es zwei besondere Schwierigkeiten zu beachten. Erstens existiert für den Vergleich des formalen Modells mit dem mentalen Modell der Problemwahrnehmung oder mit dem natürlichsprachlichen Modell der Problembeschreibung kein wohldefinierter Vergleichsmaßstab. Denn ein formalsprachlich verfaßtes Modell erweist sich kategorial verschieden von einer natürlichsprachlichen Problembeschreibung oder gar einer rein kognitiven Problemwahrnehmung. Daher können Validitätsdefizite eines formalen Modells nicht in einem formalsprachlich strengen Sinne festgestellt werden. Statt dessen kommt nur eine intuitiv-informale Unzufriedenheit des Modellierungsträgers in Betracht. Diese Schwierigkeit besteht bei der Modellverifizierung dagegen nicht, weil dort ein formales Modell mit einer ebenso formalsprachlichen Problemspezifizierung verglichen wird. Zweitens lassen sich Validitätsmängel eines formalen Modells nur dann mit Sicherheit auf Unzulänglichkeiten der Problembeschreibung oder -formalisierung zurückführen, wenn zuvor die Modellverifizierung keinen Anlaß zur Klage geboten hat. Andernfalls könnten Validitätsmängel ebenso auf einer unzureichenden Problemoperationalisierung beruhen. Um den letztgenannten Fall auszuschließen, wird hier unterstellt, daß der Modellvalidierung stets eine erfolgreiche Modellverifizierung vorausgegangen ist. Diese Voraussetzung gilt allerdings nur dann, wenn zu Beginn der Konstruktion eines formalen Modells tatsächlich eine formalsprachliche Problemspezifizierung erarbeitet worden ist. Dies geschieht in der Modellierungspraxis oftmals nicht.

48) Das formale Modell wird nicht mit einem Realitätsausschnitt, sondern mit dessen Wahrnehmung oder Beschreibung durch einen Modellierungsträger verglichen. Daher kann sich der Verf. nicht der weit verbreiteten Auffassung anschließen, bei der Modellvalidierung werde beurteilt, in welchem Ausmaß ein formales Modell mit dem jeweils modellierten Realproblem übereinstimmt. Jene Ansicht findet sich z.B. bei GAITANIDES (1979b), S. 9, Abb. 1. Darüber hinaus erweist sich die Kritik von MÜLLER-MERBACH (1981a), S. 150, als belanglos. Er hält die Modellvalidierung für ein sinnloses Unterfangen, weil die modellierte Realität selbst keine Struktur besitze, bezüglich derer die Validität der Modellstrukturierung beurteilt werden könne. Der Verf. stimmt der Feststellung von MÜLLER-MERBACH hinsichtlich ihres Realitätsbezugs vollkommen zu (vgl. dazu die Kritik des naturalistischen Abbildungsdenkens in einer früheren Anmerkung). Aber die Prämisse, daß sich die Validierung eines Modells auf dessen Vergleich mit der Realität erstrecken müsse, vermag der Verf. nicht zu teilen (siehe oben).

49) Dieser Fall liegt vor, wenn das formale Modell nur von der natürlichsprachlichen Problembeschreibung abweicht, diese Problembeschreibung selbst aber nicht zur Disposition steht.

50) Ein widriger Validierungsfall tritt ein, wenn der Modellierungsträger das formale Modell angesichts der Problemwahrnehmung durch ein mentales Modell als unbefriedigend empfindet und dabei auch die Angemessenheit der früheren natürlichsprachlichen Problembeschreibung zur Disposition stellt.

51) Der iterative Charakter der Modellvalidierung wird besonders deutlich bei BANKS (1984), S. 14, 377 u. 383ff. Der Modellierungsträger kann auch auf jede Modellvalidierung verzichten. Dann akzeptiert er die Konstruktion des formalen Modells ohne weitere Prüfung. Die Realitätsadäquanz der Modellkonstruktion bleibt dann aber offen.

52) In verkürzter Weise wird fortan ebenso von realitätsadäquaten Modell(ier)ungen geredet.

53) Vgl. zur Verknüpfung von Adäquanz- und Validitätsbegriff z.B. ROBERTS, E.B. (1977), S. 29. Der Begriff der Realitätsadäquanz wurde als ein klassifikatorischer Begriff eingeführt, der nur zwischen adäquaten und inadäquaten Problemrepräsentationen unterscheidet. Diese enge Perspektive wird fortan in ordinaler Hinsicht erweitert. Infolgedessen kann auch in komparativer Weise davon gesprochen werden, daß sich eine Modellierungsweise realitätsadäquater als eine andere erweise. In diesem ordinalen Sinne wird des öfteren ebenso von einer mehr oder weniger realitätsnahen Modellierung gesprochen. Realitätsadäquanz und Realitätsnähe werden in dieser Arbeit als Synonyma behandelt.

Die Adäquanz der Repräsentation eines Realproblems durch ein formales Modell stellt keine "objektive" Modelleigenschaft dar. Vielmehr beruht die Realitätsadäquanz des Modells auf der *Entscheidung* des Modellierungsträgers, das zuletzt vorliegende formale Modell zu akzeptieren. Auf diese Modellierungsentscheidung können sich "subjektive" Determinanten des Modellierungsträgers auswirken. Es wurde schon in einer früheren Anmerkung verdeutlicht, daß die Suche nach Validitätsmängeln von intuitiv-informalen Momenten der Unzufriedenheit des Modellierungsträgers abhängt. Vgl. darüber hinaus zur subjektiven und dezisionistischen Qualität der Modellvalidierung BANKS (1984), S. 377 u. 385; HANSSMANN (1987), S. 93. Die Formulierung, die Realitätsadäquanz eines Modells hänge von Entscheidungen des Modellierungsträgers ab, könnte mit den Vorstellungen des radikalen Konstruktivismus assoziiert werden. Davon möchte sich der Verf. jedoch abgrenzen. Die Anhänger des radikalen Konstruktivismus teilen zwar die Auffassung des aufgeklärten Realismus, daß eine "objektive" Wirklichkeitskenntnis im Sinne einer naturalistischen Realitätsabbildung nicht möglich sei, weil jeder Erkenntnisakt von konstruktiven Leistungen des erkennenden Subjekts begleitet wird. Doch sie radikalisieren diese Einsicht derart, daß vordergründig jeder Bezug auf eine zu erkennende Wirklichkeit suspendiert wird. Sie zeigen vordergründig überhaupt kein Interesse mehr daran, *die Wirklichkeit* in irgendeiner Weise zu *erkennen*. Statt dessen geht es ihnen nur noch darum, *Wirklichkeiten* in sozialen Interaktionsprozessen zu *erschaffen*. Besonders deutlich wird dies z.B. bei HEJL (1982), S. 228; HEJL (1987), S. 303ff.; PROBST (1987a), S. 43. Vgl. zu weiteren Darstellungen des radikalen Konstruktivismus SCHMIDT, S. (1987b), S. 13ff.; RICHARDS (1987), S. 192ff., insbesondere S. 210ff.; ROTH, G. (1987a), S. 232ff., insbesondere S. 235 u. 240ff.; VON GLASERSFELD (1987), S. 402ff.; ELLE (1989b), S. 3ff. (distanziert). Vgl. auch die weiteren Beiträge in dem Sammelwerk SCHMIDT, S. (1987a). Der zuvor skizzierten Radikalisierung des konstruktiven Aspekts von Wirklichkeitserkenntnis schließt sich der Verf. jedoch nicht an. Es würde den thematischen Rahmen dieser Arbeit sprengen, dies im einzelnen zu begründen. Vgl. statt dessen die Kritik am radikalen Konstruktivismus bei WENDEL (1988), S. 2ff.; ELLE (1989b), S. 6f. u. 10ff., insbesondere S. 15; ZELEWSKI (1989b), S. 50ff. Nur vor dem Hintergrund dieser Ausgrenzung radikal-konstruktivistischer Auffassungen kann hier von "realitätsadäquaten" Modellierungen gesprochen werden. Dabei wird weiterhin die aufgeklärt-realistische Position eingenommen, daß reale Probleme durch Modelle nicht erschaffen, sondern repräsentiert werden sollen. Die Repräsentationsweise enthält zwar konstruktive Beiträge des problemkonzeptualisierenden Subjekts. Sie stehen zur Disposition des Modellierungsträgers. Doch wird an der grundsätzlich realistischen Einstellung festgehalten, daß ein "realer Kern" verbleibt, der es dem Modellierungsträger unmöglich macht, *jede beliebige* Repräsentation eines Realproblems als gleich adäquat zu beurteilen. Ähnlicher Ansicht ist WOLLNIK (1986), S. 52f., der in diesem Zusammenhang vom "Rohmaterial ... der Realität" (S. 52) spricht. Nur unter dieser Voraussetzung eines verbleibenden realen Kerns läßt sich in dieser Arbeit zwischen Modellierungen mit größerer und geringerer oder gar fehlender Realitätsadäquanz differenzieren. Ein radikaler Konstruktivist wie HEJL (1987), S. 303, muß dagegen erklären, daß sich "keine Realitätskonstruktion von einer anderen unterscheidet". Auch BÄUERLE, P. (1989), S. 179, lehnt es ab, Modellierungen hinsichtlich ihrer Realitätsnähe beurteilen, ohne sich jedoch explizit auf den radikalen Konstruktivismus zu berufen. Dieser Indifferenz gegenüber beliebig verschiedenen Realitätsrepräsentationen vermag sich der Verf. nicht anzuschließen. Allerdings räumt er ein, daß sich das Spannungsverhältnis zwischen dem realen Kern einer Problemrepräsentation auf der einen Seite und den konstruktiven Leistungen der Problemkonzeptualisierung auf der anderen Seite nicht auflösen löst. Er geht auf diese Schwierigkeit nicht weiter ein, da die Aspekte der Problemwahrnehmung und der natürlichsprachlichen Problembeschreibung aus dieser Arbeit ausgeschlossen wurden.

Die Realitätsadäquanz eines Modells läßt sich als ein Substitut für die Homomorphie eines Modells begreifen, die in einer früheren Anmerkung kritisiert wurde: Wenn ein Modellierungsträger ein formales Modell vor dem Hintergrund seiner eigenen Problemwahrnehmung oder -beschreibung als adäquat einstuft, so könnte er ebenso von einer hinreichenden Strukturähnlichkeit sprechen, die zwischen seiner Wahrnehmung oder Beschreibung des modellierten

Problems einerseits und dem Modell andererseits besteht. Der naturalistische Realitätsbezug, der dem Homomorphiebegriff des abbildungsbezogenen Modellbegriffs innewohnt, wird hier von vornherein vermieden. Denn der substitutive Begriff der Realitätsadäquanz bezieht sich nur noch auf die Problemwahrnehmung oder -beschreibung des Modellierungsträgers. Dagegen wird die Schwierigkeit, Maßstab und Ausmaß der erforderlichen Strukturähnlichkeit zu konkretisieren, auch seitens der Realitätsadäquanz nicht überwunden. Diesbezüglich wird auf den ersten Vorbehalt aus einer früheren Anmerkung hingewiesen, daß kein wohldefinierter Vergleichsmaßstab für die Gegenüberstellung von formalen Modellen einerseits und Problemwahrnehmung oder -beschreibungen andererseits zur Verfügung stehe. Da jedoch die Modellvalidierung in dieser Arbeit nicht näher interessiert, braucht auf die Schwierigkeit, die Strukturähnlichkeit zwischen Modell und konzeptualisiertem Realproblem zu messen, im Prinzip nicht weiter eingegangen zu werden.

Dennoch wird in einer groben, rein qualitativen Annäherung skizziert, wie sich die Vorstellung einer Strukturähnlichkeit konkretisieren läßt. Dieser kurze Exkurs zielt darauf ab, für die spätere Beurteilung der Realitätsadäquanz von Modellierungen, die im Rahmen des Petrinetz-Konzepts erfolgen, eine bescheidene Grundlage zu schaffen. Zu diesem Zweck wird die Realitätsadäquanz einer Problemrepräsentation in zwei Teilaspekte aufgespalten: die Wesentlichkeit und die Natürlichkeit. Dies geschieht mit der Hilfe von zwei Adäquanzpostulaten. Erstens wird als notwendige Bedingung für die adäquate Repräsentation eines Realproblems gefordert, daß es möglich sein muß, im problemrepräsentierenden Modell alle "wesentlichen" Determinanten des konzeptualisierten Realproblems zu erfassen (Vollständigkeitsgebot). Wie diese Repräsentation wesentlicher Problemdeterminanten im Detail aussehen und was mit den unwesentlichen Problemdeterminanten geschehen soll, bleibt zunächst offen. Diese Repräsentationsfreiheit wird jedoch nachträglich eingeschränkt. Denn es wird als zweite notwendige Bedingung für die Realitätsadäquanz einer Problemrepräsentation postuliert, daß die Darstellung aller wesentlichen Problemdeterminanten in "natürlicher" Weise möglich sein soll (Natürlichkeitsgebot). Es liegt in der Definitionsfreiheit des Modellierungsträgers, wie er in den beiden voranstehenden Adäquanzpostulaten die vagen Begriffe der "wesentlichen" Problemdeterminanten und der "natürlichen" Darstellungsweise inhaltlich füllt. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Wesentlichkeit von Problemdeterminanten im Sinne des Demarkationsarguments aus einer früheren Anmerkung geklärt. Dabei dient die später präsentierte Fallstudie als Demarkationsinstrument: Sie legt diejenigen Einflußgrößen offen, die der Verf. für die betrachteten Koordinierungsprobleme als wesentlich erachtet. Vgl. dazu die Entfaltung der Fallstudie im 5. Band dieses Projektberichts. Dort wird in einer Anmerkung auch auf die Demarkationsfunktion der Fallstudie eingegangen. Eine Modellierung wird dagegen als eine natürliche Repräsentation des zugrundeliegenden Realproblems bezeichnet, wenn sich das problemrepräsentierende Modell und das konzeptualisierte Realproblem so zerlegen lassen, daß zwei komplementäre Anforderungen erfüllt werden: Einerseits soll jede wesentliche Determinante des Realproblems durch genau eine Modellkomponente wiedergegeben werden, die auf die Repräsentation der Problemdeterminante spezifisch zugeschnitten ist (Spezifitätsgebot). Andererseits soll jede Modellkomponente dadurch gerechtfertigt werden können, daß sie die Repräsentation von genau einer wesentlichen Problemdeterminante leistet (Fundiertheitsgebot). Es ist offensichtlich, daß Spezifitäts- und Fundiertheitsgebot davon abhängen, wie die präsupponierte Wesentlichkeit von Problemdeterminanten ausgelegt wird. Dies wird hier nicht weiter vertieft, weil schon kurz zuvor darauf eingegangen wurde. Dagegen erscheint es angeraten, kurz auf eine Konsequenz des Fundiertheitsgebots hinzuweisen: Eine Modellkomponente, die sich nicht durch die Repräsentation einer wesentlichen Problemdeterminante rechtfertigen läßt, ist nicht nur - im neutralen Sinne - überflüssig, sondern sogar schädlich. Denn sie führt durch ihre Verletzung des Fundiertheitsgebots zu einer unnatürlichen Modellierung. Solche Modellkomponenten werden in dieser Arbeit noch mehrfach eine größere Rolle spielen. Sie werden dann als künstliche oder artifizielle Komponenten stigmatisiert. Die Ablehnung solcher Artefakte klingt auch an bei NOE (1975a), S. 5. Er fordert, eine Modellierung solle vom zu modellierenden Original nicht so weit abweichen, daß Struktur oder Verhalten des Originals verdeckt oder gar verzerrt werden.

Die Forderungen nach Realitätsadäquanz (Realitätsnähe), Vollständigkeit und Natürlichkeit werden zwar des öfteren erhoben. Aber sie werden selten inhaltlich präzisiert. Zu den wenigen Ausnahmen zählt PETERSON, J. (1977), S. 243. Er betrachtet die Modellierung eines Problems als realitätsnah, wenn sich alle Aktionsfolgen, die einerseits im Modell und andererseits im modellierten Realitätsausschnitt zulässig sind, in eindeutiger Weise einander zuordnen lassen. Diese Präzisierung ist in zweifacher Hinsicht aufschlußreich. Erstens erfüllt sie die Demarkationsfunktion. Denn sie legt fest, welche Art von Problemdeterminanten als wesentlich eingestuft werden. Es handelt sich um Aktionen und deren Abfolgen. Zweitens entspricht die eindeutige Zuordnung zwischen modellierten und realen Aktionen dem o.a. Paar aus Spezifitäts- und Fundiertheitspostulat. Dagegen vermag sich der Verf. der Einschränkung auf Aktionsfolgen nicht anzuschließen. Darin klingt eine Perspektivenverengung an, die ausschließlich auf sequentielle Prozesse Rücksicht nimmt. In dieser Arbeit wird jedoch die Zulässigkeit von nicht-sequentuellen Prozessen größere Bedeutung erlangen. Aus diesem - weiter gefaßten - Blickwinkel ist PETERSON nicht in der Lage, Probleme aus dem Bereich der Prozeßkoordinierung vollständig zu erfassen.

Ein weiterer Ansatz, die Realitätsnähe von Modellierungen inhaltlich zu bestimmen, findet sich bei VIEFHUES (1982), S. 7. Allerdings bleiben seine Ausführungen in unverbindlicher Abstraktheit verfangen. Denn er fordert, die Realitätsnähe anhand des Umfangs zu beurteilen, in dem die Formalsprache eines Modells mit Korrespondenzregeln auf Ausdrücke der Beobachtungssprache bezogen wird. Die Differenzierung zwischen zwei Sprachebenen, die über Korrespondenzregeln zusammenhängen, ist zwar in der Wissenschaftstheorie oftmals anzutreffen. Aber das Aus-

maß, in dem zwei Sprachebenen aufeinander bezogen sind, liefert keine Auskunft darüber, wie nahe ein Modell, das in einer Formalsprache verfaßt ist, einer Problemkonzeptualisierung kommt, die in einer Beobachtungssprache ausgedrückt ist. Darüber hinaus bleibt unklar, wie VIEFHUES den Umfang des wechselseitigen Sprachbezugs konkret beurteilen möchte. Zwar führt er an, dies solle anhand derjenigen Begründungen geschehen, mit denen die Korrespondenzen zwischen den beiden Sprachebenen eingeführt werden. Er verweist auf "Hypothesen, Plausibilitätsannahmen oder intuitive Annahmen", deren "Art und Umfang" zu bewerten sei. Aber dieser Vorschlag hilft inhaltlich überhaupt nicht weiter. Denn für *alle* Korrespondenzen lassen sich *irgendwelche* begründenden Hypothesen oder Annahmen anführen. Damit kann noch keine Unterscheidung zwischen realitätsnäheren oder realitätsferneren Modellierungen getroffen werden. Dies wäre erst dann möglich, wenn die Begründungen ihrer Art nach z.B. in realitätsnahe und realitätsferne Begründungen aufgespalten würden. Eine solche inhaltliche Konkretisierung der Begründungsart wird jedoch nicht geboten.

Schließlich läßt sich auch daran denken, die Realitätsadäquanz einer Modellierung an den realen Verwendungszusammenhang der Modellierungsergebnisse zu knüpfen. Aus dieser Perspektive zeichnet sich ein Modell durch eine realitätsadäquate Problemrepräsentation aus, wenn gilt: Modellintern ermittelte Erkenntnisse über den modellierten Realitätsausschnitt lassen sich so in reale Aktivitäten umsetzen, daß die realen Konsequenzen der Aktivitäten mit den zuvor modellierten Aktivitätswirkungen übereinstimmen. Diese Auffassung klingt z.B. an bei PFOHL (1977), S. 277 (dort als Zuverlässigkeit thematisiert); CZERANOWSKY (1980), S. 54. Der Verf. möchte diese verwendungsbezogene Ausdeutung des Adäquanzbegriffs keineswegs ablehnen. Beispielsweise zeichnet sie sich durch ihre Operationalität aus. Denn die Realitätsadäquanz einer Modellierung läßt sich leicht anhand des Ausmaßes beurteilen, in dem modellierte und reale Aktivitätswirkungen übereinstimmen - oder auch auseinanderfallen. Auch kann die Realitätsadäquanz auf eine anschauliche Kurzformel gebracht werden: Ein Modell erweist sich als realitätsadäquat, wenn es zuverlässige Wirkungsprognosen ermöglicht. Dennoch wird diese Variante der Realitätsadäquanz aus zwei Gründen nicht weiterverfolgt. Erstens leidet sie unter dem Mangel, daß die Übereinstimmung zwischen modellierten und realen Aktivitätswirkungen einseitig auf die Qualität der zugrundeliegenden Modellierung zurückgeführt wird. Das Ausmaß der Übereinstimmung kann aber ebenso von der Art der Aktivitätsrealisierung beeinflusst werden. Dieser potentielle, widrigenfalls verzerrende Realisierungseinfluß wird grundsätzlich übersehen. Zweitens wird der Adäquanzbegriff auf den prognostischen Erfolg, auf die Zuverlässigkeit der Verwendung von Modellierungsergebnissen reduziert. Dies ist durchaus zulässig. Dann muß aber in Kauf genommen werden, daß der Anschluß an intuitive Vorstellungen über die Strukturähnlichkeit oder Natürlichkeit von Modellierungen verloren geht. Denn diese Vorstellungen beruhen gemeinsam auf der Präsupposition, daß ein konzeptualisiertes Realproblem eine "natürliche Struktur" besitze. Diese Problemstruktur könne zwar durch den Konzeptualisierungsprozeß beeinflusst oder gar erschaffen werden, aber sie läge auf jeden Fall vor, *bevor* das konzeptualisierte Realproblem durch ein formales Modell repräsentiert wird. Erst recht gehe die konzeptualisierte Problemstruktur jeder späteren Modellverwendung sachlogisch und zeitlich voran. Infolgedessen wäre es möglich, die Adäquanz eines Modells in *verwendungsunabhängiger* Weise anhand der konzeptualisierten Problemstruktur zu beurteilen. Es überstiege den Rahmen dieser Arbeit, die Berechtigung dieser intuitiven Vorstellungen definitiv klären zu wollen. Statt dessen wird die Existenz dieser Vorstellung als ein Faktum behandelt, das bei jeder Beurteilung von Modellierungskonzepten zu beachten ist. Daher wird bei der späteren Beurteilung des Petrinetz-Konzepts auf die weithin akzeptierte, intuitive Vorstellung einer "natürlichen" Problemstruktur Bezug genommen, die spätestens nach der Konzeptualisierung des zugrundeliegenden Realproblems vorliegt. Dies bedeutet aber lediglich eine pragmatische Ausrichtung an einer allgemein vorherrschenden Modellierungsauffassung. Ein inhaltlich schlagendes Argument gegen die oben skizzierte, verwendungsbezogene Ausdeutung des Adäquanzbegriffs stellt es dagegen nicht dar. Falls jene Adäquanzinterpretation bevorzugt wird, muß in Kauf genommen werden, daß Modellierungen mit gleichem prognostischen Erfolg als gleich realitätsadäquat eingestuft werden. Dies gilt auch dann, wenn die Modellstrukturen erheblich auseinanderklaffen. Denn eine Bezugnahme auf Begriffe wie "Strukturähnlichkeit" oder "Natürlichkeit" wird durch die vorausgesetzte Deutung des Adäquanzbegriffs ausgeschlossen. Fälle, in denen vollkommen unterschiedliche Modellstrukturen zu gleichwertigen Wirkungsprognosen führen, sind vor allem im Bereich der Quantenmechanik bekannt. Dort geht es um die Konkurrenz zwischen HEISENBERG's Matrizenmechanik einerseits und SCHRÖDINGER's Wellenmechanik andererseits. Beide Varianten der Quantenmechanik unterscheiden sich durch ihre diskrete bzw. kontinuierliche Struktur fundamental. Dennoch erweisen sie sich als prognoseäquivalent. Vgl. zum Zusammenfallen von Matrizen- und Wellenmechanik VON WEIZSÄCKER (1985), S. 279; SCHEIBE (1989), S. 312; RÖSEBERG (1990), S. 58. Dieser Modellierungsbereich liegt jedoch von der hier interessierenden produktionswirtschaftlichen Thematik so weit entfernt, daß er hier nicht weiter vertieft wird. Er mag aber als Hinweis dienen, daß sich die intuitive Vorstellung, es könne auf eine "natürliche Struktur" von Problemen zurückgegriffen werden, mit wohlfundierten Argumenten attackieren läßt. Dagegen steht lediglich das oben erwähnte Motiv, den Anschluß an eine Modellierungsauffassung zu wahren, die im produktionswirtschaftlichen Bereich allgemein vorherrscht. Dies entspricht dem Kohärenzdenken, das schon in einer früheren Anmerkung ausführlicher gewürdigt wurde.

54) Es kann durchaus der Fall sein, daß der Modellierungsträger im Verlauf der Modellösung und während der späteren Lösungsumsetzung neue Einsichten in das modellierte Problem gewinnt: Sie können ihn dazu veranlassen, seine Modellkonstruktion zu überarbeiten. Daher muß stets damit gerechnet werden, daß das formale Modell nachträglich modifiziert wird. Solche Modellmodifizierungen werden keineswegs verkannt. Sie werden hier nur aus dem

Phasenschema für Modellierungsprozesse ausgeklammert, weil ihre Erfassung über entsprechende Rückkopplungsbeziehungen die Übersichtlichkeit des Schemas erheblich beeinträchtigen würde.

55) Es wird nicht vorausgesetzt, daß der Modellierungsträger das Modell als realitätsadäquat akzeptiert haben muß. Statt dessen kann er - wie bereits angedeutet wurde - auch darauf verzichten haben, die Realitätsadäquanz eines Modells durch dessen Validierung zu überprüfen.

56) Sie wird auch als Phase der formalen Problemlösung angesprochen.

57) Die Bewältigung eines Formalproblems kann auch zu der Erkenntnis führen, daß sich dieses Problem grundsätzlich nicht lösen läßt. Oder die Problembewältigung muß abgebrochen werden, weil mit den exogen vorgegebenen, beschränkten Informationsverarbeitungsressourcen weder eine gesuchte Problemlösung aufgefunden noch die Unlösbarkeit des Formalproblems erkannt werden konnte. Von beiden Sonderfällen wird hier und in der zusammenfassenden Abb. 2 abgesehen. Statt dessen werden diese Ausnahmen später ausführlicher diskutiert. Weil die beiden Sonderfälle vorerst keine Beachtung finden, kann die Problembewältigung vereinfachend mit der Problemlösung gleichgesetzt werden. Darauf wurde schon in einer früheren Anmerkung hingewiesen.

58) Die Lösung des Formalproblems wird auch als Modelllösung bezeichnet. Dabei wird der Begriff der Modelllösung im Sinne eines Modellierungsergebnisses verwendet, während er kurz zuvor als Bezeichnung einer Modellierungsphase benutzt wurde.

59) Vgl. KERN, W. (1987), S. 19 i.V.m. S. 18 (als Ergebnisprüfung und Entscheidungsvorlage); GASS (1990), S. 63 (dort als Implementation). Die Umsetzungsphase läßt sich auch als Phase der praktischen Problemlösung bezeichnen. Dabei wird auf das anschließend erwähnte Zusatzwissen Bezug genommen, das der Modellierungsträger für praxisrelevant erachtet.

60) Dieses Zusatzwissen kann bewußt ausgeklammert worden sein, um die Komplexität der Modellierung zu reduzieren. Ebenso mag es sich um Wissen handeln, das erst so spät bekannt wurde, daß es bei der Modellkonstruktion noch nicht berücksichtigt werden konnte. Vgl. dazu die Hinweise bei DIRUF (1984), S. 122.

61) Die Phasen der Modelllösung und der Lösungsumsetzung werden gemeinsam auch als Problemlösung angesprochen. Die Phase der Problemlösung ist abgeschlossen, wenn der Modellierungsträger eine Lösung für das Realproblem als praktikablen Lösungsvorschlag akzeptiert.

62) Der Modellierungsprozeß wird hier nur bis zur erstmals vorliegenden Lösung eines Realproblems betrachtet. Dies entspricht einer primär *problemorientierten* Einstellung. Aus einer vornehmlich *modellbezogenen* Perspektive heraus kann dagegen der Modellierungsprozeß zeitlich weiter ausgedehnt werden. Er umfaßt dann nach der Problemlösung auch noch die Modellverwaltung einschließlich späterer Modellanpassungen an sich verändernde Modellierungsbedürfnisse. Vgl. GASS (1990), S. 63. Hinzu kommen können auch noch nachträgliche periodische oder sporadische Modellbewertungen durch die Modellbenutzer oder außenstehende Dritte; vgl. abermals GASS (1990), S. 63f. Angesichts solcher Erweiterungen, die über die Bearbeitung eines einzelnen vorgegebenen Realproblems hinausreichen, wird mitunter von einem "Lebenszyklus-Konzept" für Modellierungsprozesse gesprochen. Vgl. GASS (1990), S. 62ff.

63) Die Teilphase der Problemformalisierung wird nur im Rahmen der Kanal/Instanz-Netze gestreift (Näheres dazu später).

64) Daher kann die formale Modellkonstruktion - trotz der zuvor erfolgten Differenzierung zwischen mentaler, natürlichsprachlicher und formaler Konstruktionsphase - in dieser Arbeit vereinfacht als "die" Modellkonstruktion angesprochen werden.

65) Die "Transitionen", die in der graphischen Netzrepräsentation als Rechtecke dargestellt werden, vertreten jeweils eine Modellierungsaktivität. Die "Stellen", die durch Kreise repräsentiert werden, stellen die Voraussetzungen und Resultate dieser Modellierungsaktivitäten dar.

66) Die erheblichen Schwierigkeiten, die bei der initialen Problemwahrnehmung und der natürlichsprachlichen Problembeschreibung auftreten können, bleiben also unbeachtet. Damit verkennt der Verf. jedoch keineswegs, daß die Problemkonzeptualisierung für den *gesamten* Prozeß der Modellierung eines Koordinierungsproblems herausragende Bedeutung besitzen kann. Dies wird vor allem in GROCHLA (1984), S. 4f., hinsichtlich der Identifikationsaufgabe herausgearbeitet, die bereits als Äquivalent der Problemkonzeptualisierung erwähnt wurde. Dort wird z.B. festgestellt: "Die Identifikationsaufgabe nimmt im Rahmen des Modellierungsprozesses eine zentrale Stellung ein. Von dem Einsatz geeigneter Identifikationsinstrumente hängt die Leistungsfähigkeit des Modells in Bezug auf Informativität, empirische Bestätigung, entscheidungstechnische Verwendbarkeit und Dauer des Modellierungsprozesses ab, in der ein vorgegebenes Anspruchsniveau hinsichtlich der Modellgüte erreicht werden kann." (S. 5; "in Bezug auf" im Original). Auf die Schwierigkeiten der Problemkonzeptualisierung wird ebenfalls hingewiesen: "Ein zentrales methodisches Problem besteht in der geeigneten Erfassung und Strukturierung des Untersuchungsobjektes, auf das sich das ... Gestaltungsinteresse bezieht." (S. 3). "Es fehlen jedoch bislang ... fundierte Aussagen zur opera-

tionalen Identifikation von Modellstruktur und Modellparametern ..." (S. 4f.). Ähnliche Ausführungen finden sich bei RAMAKRISHNA (1986), S. 86f. Auch dort wird zunächst hervorgehoben: "Problem ... formulation is the *critical* first step in problem solving." (S. 86; kursive Hervorhebung durch den Verf.). Anschließend folgt die ernüchternde Erkenntnis: "The problem formulation process has been generally ignored in the management science literature ..." (S. 87). Der Verf. schließt sich den voranstehenden Argumenten hinsichtlich der Wichtigkeit und Problematik der Konzeptualisierung (Identifikation) von Problemen ohne Einschränkungen an. Trotzdem wird er die Konstruktion mentaler und natürlichsprachlicher Modelle in dieser Arbeit nicht weiter behandeln. Denn es handelt sich hierbei um *allgemeine* Aspekte der Modellierung *beliebiger* Probleme. Die hier vorgelegte Ausarbeitung befaßt sich jedoch mit dem *speziellen* Beitrag des Petrinetz-Konzepts für die Modellierung von Problemen aus dem Bereich der *Prozeßkoordination*. Es ist nicht zu erwarten, daß die Auseinandersetzung mit den allgemeinen Schwierigkeiten der Problemkonzeptualisierung interessante Einsichten in den speziellen Modellierungsbeitrag des Petrinetz-Konzepts vermitteln könnte.

67) Der Verf. verkennt nicht, daß ein solcher Streit für die Modellierung realer Probleme höchst fruchtbar, oftmals sogar unvermeidlich sein kann.

68) Vgl. vor allem die system- und entscheidungstheoretische Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen sowie die spätere Fallstudie für Flexible Fertigungssysteme. Die dort vorgetragenen Problemkonzeptualisierungen besitzen eine Demarkationsfunktion: Sie drücken diejenigen Konzeptualisierungsprämissen aus, die ein Rezipient dieser Arbeit bereits teilen muß, damit er der darauf aufbauenden Modellierung von Koordinierungsproblemen mit Petrinetzen - wohlwollend oder auch kritisch - folgen kann.

69) Der Verf. räumt durchaus ein, daß die Prozeßkoordination in Produktionssystemen nicht so wahrgenommen und beschrieben werden muß, wie dies in der hier vorgelegten Ausarbeitung der Fall ist. Es erfolgt lediglich die ausgrenzende Feststellung, daß alle abweichenden Konzeptualisierungen von Koordinierungsproblemen keine Berücksichtigung finden. Insofern konzidiert der Verf. von vornherein, daß es grundsätzlich immer möglich sein wird, Außerachtgelassenes zu kritisieren. Allerdings läßt sich gegenüber solcher Kritik an demarkativen Ausgrenzungen auf die prägnante Feststellung NEIDHARDT's verweisen: "... es ist in der Wissenschaft die wohlfeilste Sorte von Kritik, sich mit dem zu beschäftigen, was nicht gemacht worden ist. Man kann jeder Forschungsarbeit nachweisen, daß nur Bestimmtes zur Sprache kommt und anderes nicht." (Wiedergabe eines Streitgesprächs zwischen NEIDHARDT und SCHEUCH in DOERRY (1990), S. 73).

70) Abermals möchte der Verf. die Wichtigkeit von Validierungsaktivitäten für die Modellierung realer Probleme in keiner Weise bestreiten. Ihre Außerachtlassung läßt sich jedoch in der gleichen Weise rechtfertigen, wie es bereits in einer früheren Anmerkung hinsichtlich der mentalen und natürlichsprachlichen Modellkonstruktion geschah.

71) Die Feststellung der Realitätsadäquanz eines Modellierungsaspekts erfüllt daher abermals eine Demarkationsfunktion: Sie drückt das *Ergebnis* von modellvalidierenden Überlegungen aus, die in dieser Arbeit selbst nicht expliziert werden. Solche Feststellungen legen daher nur die Vorstellungen des Verf. über realitätsadäquate Modellierungen offen, ohne sie jedoch argumentativ zu rechtfertigen.

72) Eine ähnliche Schwerpunktsetzung spricht auch SCHEER (1991e), S. 16, aus: "Es wird die Fachebene, in der die Problembeschreibung modelliert wird gegenüber dem Implementierungsebene an Bedeutung gewinnen ..." (Anmk. des Verf.: anstelle von "dem" ist vermutlich "der" gemeint; Zeichensetzung aus dem Original übernommen). Vgl. auch ZELEWSKI (1986a), S. 654f.

73) Unter der Ausdrucksmächtigkeit eines Modellierungskonzepts wird hier die Gesamtheit aller Aspekte von Modellierungsobjekten verstanden, die sich mit den sprachlichen Mitteln des Konzepts explizit repräsentieren lassen. Da in dieser Arbeit nur die formale Modellkonstruktion interessiert, die natürlichsprachliche Modellkonstruktion dagegen unbeachtet bleibt, betrifft die Ausdrucksmächtigkeit sogar nur die formalsprachlichen Ausdrucksmittel eines Modellierungskonzepts. In synonyme Weise wird die Ausdrucksmächtigkeit auch als Ausdruckskraft, Ausdrucksreichtum oder Modellierungsfähigkeit eines Konzepts angesprochen.

Modellierungskonzepte mit großer Ausdrucksmächtigkeit werden fortan auch als ausdrucksreiche oder -starke Konzepte bezeichnet. Entsprechend gelten Modellierungskonzepte mit kleiner Ausdrucksmächtigkeit als ausdrucksarme oder -schwache Konzepte. Ein Modell, das die Ausdrucksmächtigkeit eines ausdrucksreichen Modellierungskonzepts tatsächlich ausschöpft, wird als strukturreiches Modell bezeichnet. Ein strukturarmes Modell liegt dagegen vor, wenn zu seiner Konstruktion ein ausdrucksarmes Modellierungskonzept ausreicht oder wenn seine Konstruktion die Ausdrucksmächtigkeit eines ausdrucksreichen Modellierungskonzepts nur in bescheidenem Ausmaß in Anspruch nimmt. Probleme heißen strukturreich oder -arm je nachdem, ob sie mit der Hilfe von strukturreichen bzw. -armen Modellen konzeptualisiert worden sind. Die Reichhaltigkeit der Struktur eines Problems stellt also keine inhärente Problemeigenschaft dar, sondern eine Leistung der Problemkonzeptualisierung.

74) Eine ähnliche Schwerpunktsetzung findet sich bei HENNICKE (1991), S. 69 (Betonung einer "gesteigerten Abbildungsmächtigkeit und Realitätsnähe") u. S. 92 (Hervorhebung der "Abbildungsstärke").

75) Das gilt zumindest dann, wenn als einziger Auswertungszweck die Lösung von modellierten Problemen betrachtet wird. Diese Prämisse ist hier - wie noch dargelegt wird - erfüllt.

76) Dabei wird der Effizienzbegriff in einem sehr weit gefaßten Verständnis benutzt. Dies folgt aus dem Hinweis in einer früheren Anmerkung, daß die "Lösung" von Problemen in dieser Arbeit im weiten Sinne der Problembewältigung ausgelegt wird. Die Problembewältigung umfaßt auch die beiden Sonderfälle, daß sich entweder ein - prinzipiell lösbares - Problem mit beschränkten Ressourcen für die Informationsverarbeitung nicht lösen läßt oder daß die grundsätzliche Unlösbarkeit eines Problems erkannt wird. Angesichts dieser beiden Sonderfälle wird vereinbart: Die Lösungseffizienz i.w.S. umfaßt sowohl die Lösungseffizienz i.e.S. als auch die Lösungseffektivität. Die Untersuchung von Lösungseffizienz i.e.S. und Lösungseffektivität eines Modellierungskonzepts geschieht unter zwei Voraussetzungen. Erstens besitzt sie einen relationalen Charakter, weil sie stets auf eine Klasse von Problemen bezogen wird, bezüglich derer die Effizienz bzw. Effektivität der modellgestützten Problemlösung beurteilt werden soll. In dieser Arbeit handelt es sich um die Problemklasse der Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen. Zweitens wird unterstellt, daß die zu lösenden Probleme bereits in konzeptspezifischer Weise durch formale Modelle repräsentiert werden. Dadurch liegt schon fest, welche Probleme so modelliert worden sind, daß sie entweder gelöst werden können oder aber unlösbar sind. Dabei gilt ein Problem nur dann als unlösbar, wenn es - unabhängig von den speziellen Lösungstechniken des untersuchten Modellierungskonzepts - *grundsätzlich* unmöglich ist, die Problemlösungen zu bestimmen. Auf der Grundlage dieser Prämissen werden nunmehr die Effektivität und Effizienz der Problemlösung durch ein Modellierungskonzept präzisiert.

Die Lösungseffektivität eines Modellierungskonzepts ist um so größer, je mehr grundsätzlich lösbare Probleme sich mit den Lösungstechniken des Modellierungskonzepts tatsächlich lösen lassen. Die Lösungseffizienz i.e.S. des Modellierungskonzepts wird auf die Teilmenge jener Probleme beschränkt, die mit seinen Lösungstechniken tatsächlich gelöst werden können. Seine Lösungseffizienz i.e.S. fällt dann um so höher aus, je geringer der Ressourceneinsatz für Informationsverarbeitungsprozesse ist, die zur Ermittlung von Problemlösungen ausgeführt werden müssen. Auf Fragen, welche die konkrete Messung dieses Ressourceneinsatzes betreffen, wird später im Komplexitätstheoretischen Zusammenhang näher eingegangen. Vgl. zu inhaltlich ähnlichen Gegenüberstellungen von Effektivität (effectiveness) und Effizienz (efficiency) GZUK (1975), S. 14; HOFER (1978), S. 2; DE (1985b), S. 5f.; HOLTHOFF (1988), S. 65; GEIBEL (1992), S. 61 u. 65 (einschließlich Fn. 208) auf S. 65). In den vorgenannten Quellen wird der Effektivitätsbegriff so ausgelegt, daß Ist- mit Sollgrößen übereinstimmen sollen. Beispielsweise spricht HOLTHOFF (1988), S. 65, von einer "outputbezogenen Soll-Ist-Relation". Der Effektivitätsbegriff erstreckt sich somit auf den Erfüllungsgrad (Soll-Ist-Relation) eines Sachziels (Outputbezug). Mit dieser Begriffsfüllung stimmt das o.a. Verhältnis zwischen den grundsätzlich lösbaren und den tatsächlich gelösten Problemen inhaltlich überein: Die Lösungen der grundsätzlich lösbaren Probleme stellen den Solloutput von Lösungstechniken dar. Die Lösungen der tatsächlich gelösten Probleme bilden den entsprechenden Istoutput der Lösungstechniken. Der Effizienzbegriff wird dagegen im Sinne einer Formalzielverwirklichung ausgelegt. Dem entspricht oben die Bezugnahme des Lösungseffizienz i.e.S. auf das Formalziel, Problemlösungen mit möglichst geringem Ressourceneinsatz zu ermitteln. Vgl. zu vertieften und differenzierteren Erörterungen des Effizienzbegriffs GZUK (1975), S. 12ff.; ELLINGER (1985), S. 81; HOLTHOFF (1988), S. 64f. Fortan wird unter der Lösungseffizienz eines Modellierungskonzepts stets seine Lösungseffizienz i.w.S. verstanden, sofern nicht ausdrücklich darauf hingewiesen wird, daß nur entweder seine Lösungseffektivität oder aber nur seine Lösungseffizienz i.e.S. interessiert. Darüber hinaus ist zu beachten, daß Lösungseffektivität und Lösungseffizienz zunächst als komparative Begriffe definiert wurden. Zwecks Diktionsvereinfachung wird aber auch zugelassen, in absoluter Weise von (in)effektiven bzw. (in)effizienten Modellierungskonzepten zu sprechen. Dann wird jeweils ein Anspruchsniveau präsupponiert, daß der Modellierungsträger hinsichtlich des mindestens erwünschten Ausmaßes der Lösungseffektivität bzw. -effizienz verfolgt. Schließlich werden die Begriffe der Lösungseffektivität und -effizienz nicht nur auf Modellierungskonzepte, sondern auch auf deren Lösungstechniken angewandt. Es wird hier darauf verzichtet, die analogen Effektivitäts- und Effizienzdefinitionen für Lösungstechniken zu explizieren.

77) Die Aspekte der Auswertungs- und Lösungseffizienz werden später bei der Beurteilung von Stärken und Schwächen des Petrinetz-Konzepts verallgemeinert. Dort stellt das spezielle Effizienzkriterium nur einen kleinen Ausschnitt aus dem wesentlich breiter definierten Beurteilungsspektrum für die Modellierungsgüte eines Modellierungskonzepts dar.

78) Vgl. PFOHL (1977), S. 13. Anstatt von lösungsorientierten kann ebenso von effizienzbezogenen Modellierungskonzepten gesprochen werden.

79) Vgl. PFOHL (1977), S. 13. Die Problemorientierung eines Modellierungskonzepts kann ebenso als dessen Repräsentationsorientierung bezeichnet werden. Da nicht irgendeine, sondern eine realitätsadäquate Problemrepräsentation angestrebt ist, läßt sich auch von einer adäquanzbezogenen Modellierung reden.

80) Dies folgt unmittelbar daraus, daß die Modellkonstruktion zu Lasten der Modellösung in den Vordergrund gestellt wird.

81) Unter der Komplexität realer Koordinierungsprobleme ist hier stets die Komplexität derjenigen natürlich-sprachlichen Problembeschreibungen zu verstehen, die am Ende der Problemkonzeptualisierung vorliegen ("konzeptualisierte Komplexität"). Dies folgt aus der früheren Voraussetzung, in dieser Arbeit die Phasen der mentalen und natürlich-sprachlichen Modellkonstruktion als abgeschlossen vorauszusetzen.

82) Vgl. dazu auch die spätere Anmerkung zum Verzicht auf komplexitätsreduzierende Wahrscheinlichkeits-schätzungen.

83) Vgl. MATTHES, W. (1988b), S. 1ff., mit einer "massiven" (S. 2) Kritik an der Fokussierung auf Aspekte der Modellkonstruktion, wie sie im betriebswirtschaftlichen Bereich vor allem von BRETZKE vertreten worden ist.

84) Der dienende Charakter der Modellkonstruktion äußert sich oftmals in der Einstellung, die Repräsentationen komplexer Probleme zunächst so stark zu vereinfachen, daß die resultierenden Modelle später mit "vertretbarem" Aufwand gelöst werden können. Diese Vorgehensweise wird zumeist als Komplexitätsreduzierung, mitunter auch als Varietätsreduzierung thematisiert. Vgl. KRIEG, W. (1971), S. 63 u. 65; PROBST (1981), S. 170, 174 u. 179ff.; LUHMANN (1988), S. 47ff., 229, 262, 404, 460 u. 638, insbesondere S. 49f.; WARNECKE, G. (1988), S. 16; SCHWANINGER (1989), S. 158f.; BÄUERLE, P. (1989), S. 175 u. 187f.; DORN (1989), S. 9f. u. 30; KISTNER (1990c), S. 302; KRALLMANN (1990c), S. 60f. (dort als Komplexitätsbewältigung durch Aufbrechen komplexer Aufgaben in weniger komplexe Teilaufgaben); GAINES (1991), S. 210 (kritisch distanziert).

Strategien der Komplexitätsreduzierung liegen zahlreichen Konzepten für die Bewältigung von Problemen zugrunde, auch wenn sie dort nicht immer als solche ausdrücklich benannt werden. Im Rahmen der Produktionsplanung beruft sich KLEINER, F. (1991), S. 123f., explizit auf das Motiv der Komplexitätsreduzierung, um das Aufstellen von Teilplänen zu rechtfertigen. Im Kontext von Maschinenbelegungsproblemen klingt das Motiv der Komplexitätsreduzierung bei HINTZ (1987), S. 94, 100 u. 116, recht deutlich an. Implizit wird das komplexitätsreduzierende Denkmuster z.B. auch von WILDEMANN (1988f), vertreten. Er regt an, komplexe Produktionssysteme im Rahmen seines Konzepts der Fertigungssegmentierung in möglichst einfache, leicht übersichtliche Teilsysteme zu zerlegen, um deren Verhalten einfacher koordinieren zu können. Besonders deutlich wird dies auf S. 17: "Die Leitidee dabei ist es, einfache Strukturen zu schaffen, um mit Informations-...systemen geringerer Komplexität die Ziele zu erreichen." Vgl. ebenso die Hinweise auf die komplexitätsreduzierende Leitidee der Fertigungssegmentierung bei FRESE (1989c), S. 178; LOOS, U. (1989), S. 208 (Herausbildung von kleinen überschaubaren Fertigungseinheiten); KOTTKAMP (1989), S. 330 (kleine überschaubare Fertigungsbereiche); RIEDLINGER (1989), S. 373 i.V.m. S. 374; FRESE (1990a), S. 92 (es werde "kaum einer der denkbaren Ansatzpunkte zur Vereinfachung der Anforderungen an das Produktionssystem ausgelassen") u. 95; KARSTEN (1990), S. 17, und WILDEMANN (1991a), S. 19. Dagegen hat WILDEMANN (1990a), S. 621, das Konzept der Fertigungssegmentierung als "Komplexitätsbewältigung" von der Komplexitätsreduzierung explizit abgegrenzt. Der Verf. vermag diese Ansicht jedoch inhaltlich nicht nachzuvollziehen. Ausführlichere Darstellungen des Konzepts der Fertigungssegmentierung finden sich bei WILDEMANN (1988f), passim, insbesondere S. 54ff., 105ff. u. 225ff.; WILDEMANN (1988c), S. 57ff.; WILDEMANN (1988b), S. 12; URBAN (1988), S. 356 u. 358; WILDEMANN (1989a), S. 27ff., insbesondere S. 32ff.; WILDEMANN (1989b), S. 15ff., insbesondere S. 31ff.; WILDEMANN (1989c), S. 51ff.; WILDEMANN (1989e), S. 228ff.; WILDEMANN (1989f), S. 22ff.; FRESE (1989c), S. 180ff.; SCHMIDT, E. (1989), S. 26; WARNECKE, H. (1989a), S. 53; MALUCHE (1989), S. 366ff.; LOOS, U. (1989), S. 208ff.; KOTTKAMP (1989), S. 329ff.; WILDEMANN (1990a), S. 621ff. u. 626; FRESE (1990a), S. 91ff.; KARSTEN (1990), S. 17; WILDEMANN (1991a), S. 19.

Vgl. darüber hinaus zu inhaltlich verwandten Konzepten für die Organisation von Produktionssystemen, die sich durch komplexitätsreduzierende Vereinfachungen der Produktionsstrukturen auszeichnen; SKINNER (1974), S. 114ff. u. 119ff.; SKINNER (1978), S. 70ff., 75, 77 u. 80; SCHONBERGER (1982), S. VIIIff., 105ff., 199, 208f. u. 218, insbesondere S. 130 u. 218; SKINNER (1985), S. 72ff., 77, 79 u. 82; HALL, R. (1987), S. 28f. u. 82ff.; SCHONBERGER (1988), S. 211ff.; FRESE (1989c), S. 172f. Am Rande läßt sich auch auf das Konzept der "lean production" verweisen, das in jüngster Zeit größere Beachtung gefunden hat. Dort wird der komplexitätsreduzierende Vereinfachungs-gedanke zwar nur selten ausdrücklich angesprochen. Aber er liegt diesem Organisationskonzept inhaltlich zugrunde. Ausführliche Beschreibungen der "lean production" bieten KRAFCIK (1988), S. 41ff., und WOMACK (1990), S. 13f. u. 48ff. Daß derart "entschlackte" Produktionssysteme u.a. auch auf erheblichen Vereinfachungen der Produktionsorganisation beruhen, klingt an bei WOMACK (1990), S. 52, 62, 94 u. 98. Vgl. ebenso RIEDLINGER (1989), S. 374, der "schlanke ... fertigungstechnische Einheiten" unmittelbar mit dem Gedanken der Fertigungssegmentierung verknüpft.

Speziell für die Gestaltung von Produktionsplanungs- und Steuerungssystemen empfiehlt SAINIS (1982), S. 57ff., die Prozeßkoordinierung durch "Entflechtung von komplizierten Strukturen" (S. 57) und durch möglichst einfache Koordinierungsstrategien zu verbessern. Vgl. ebenso das Plädoyer von MALIK (1986), S. 41, zugunsten von (einfachen) Regeln für die Beherrschung komplexer Systemverhaltensweisen. Auf den Beitrag von Regeln für die Bewältigung von Koordinierungsproblemen wird später noch ausführlicher eingegangen. Die Komplexitätsreduzierung läßt sich allerdings - im negativen Sinne - auch so weit treiben, daß die Modelle "bis zum völligen Realitätsverlust vereinfacht und damit trivialisiert werden" (HEINHOLD (1989), S. 693). Es läge dann ein "Prokrustesbett"-Modellierung vor, auf die noch zurückgekommen wird.

85) Besonders intensiv hat sich BRETZKE mit dem Einfluß auseinandergesetzt, den die Modellkonstruktion auf die Bewältigung betriebswirtschaftlicher Probleme auszuüben vermag. Vgl. BRETZKE (1978a), S. 217ff.; BRETZKE (1978b), S. 135ff.; BRETZKE (1980), S. 35ff. Vgl. darüber hinaus zu weiteren Arbeiten, die sich vornehmlich der Konstruktion - nicht der Lösung - von Modellen widmen (wollen), MORRIS, W.T. (1967), S. B-707ff.; RIVETT (1968), S. 14ff.; RIVETT (1980), S. 6ff. u. 16ff.; JÄGER, P. (1982), S. 145ff. u. 173ff.; GERNERT (1984), S. 18ff.; GROCHLA (1984), S. 29ff.; WILLIAMS, H. (1985); FELTNER (1985), S. 67ff.; KÖTTER (1986), S. 41ff.; BÄUERLE, P. (1989), S. 175ff.; BRADLEY, G. (1989), S. 447ff.; FUTO (1990), S. 39ff.; HIRSHFELD, D. (1990), S. 159ff. Vgl. des weiteren MEYER ZU SELHAUSEN (1980a), S. 38f., zur Forderung, betriebswirtschaftliche Arbeiten im Bereich von Entscheidungstheorie und Operations Research sollten sich vermehrt um den Aspekt der Modellkonstruktion kümmern.

86) Andernfalls bestünde überhaupt kein Anlaß, die Gewichtsverteilung zwischen Modellkonstruktion und -lösung zu thematisieren.

87) Vgl. dazu vor allem die Belege in der übernächsten Anmerkung, die der Frage nachgeht, ob zwischen Ausdrucksmächtigkeit (oder Realitätsadäquanz) und Lösungseffizienz ein Dilemma besteht. Daneben hebt z.B. VALETTE (1978a), S. 378, hervor, daß sich ein Modell um so schwerer analysieren läßt, je universeller das zugrundeliegende Modellierungskonzept angelegt ist. Die Analyseschwierigkeit eines Modells läßt sich - wenn von Nuancen im Detail abgesehen wird - mit seiner Lösungseffizienz gleichsetzen. Ebenso kann die Universalität eines Modellierungskonzepts als Maßstab seiner Ausdrucksmächtigkeit angesehen werden. Daher verweist das Diktum von VALETTE inhaltlich auf die oben konstatierte Gegenläufigkeit zwischen Ausdrucksmächtigkeit und Lösungseffizienz. In einem anderen, aber inhaltlich analogen Kontext von logischen Kalkülen thematisiert HABEL (1983), S. 124ff., die Gegenläufigkeit zwischen Ausdrucksmächtigkeit und Inferenzstärke. Dabei läßt sich die Inferenzstärke von logischen Kalkülen in einer groben Annäherung mit der Lösungseffizienz (i.w.S.) von Modellierungskonzepten gleichsetzen.

88) Eine hinreichende Problemkomplexität muß vorausgesetzt werden, da sich andernfalls - bei trivialen Koordinierungsproblemen - die Gegenläufigkeit von Ausdrucksmächtigkeit und Lösungseffizienz nicht als Modellierungsdilemma auszuwirken vermag. Denn dann gilt bereits für Modellierungskonzepte mit geringer Ausdrucksmächtigkeit, aber hoher Lösungseffizienz: Sie gestatten sowohl die Konstruktion adäquater Modelle für die Koordinierungsprobleme als auch die effiziente Lösung dieser Koordinierungsmodelle. Erst wenn die Koordinierungsprobleme "hinreichend" komplex werden, müssen Modellierungskonzepte mit großer Ausdrucksmächtigkeit herangezogen werden, um realitätsadäquate Modellkonstruktionen zu erlauben. Derart komplexe Koordinierungsprobleme lassen sich in Anlehnung an eine frühere Anmerkung auch als strukturreiche Koordinierungsprobleme ansprechen. Zwar könnte untersucht werden, wann ein Koordinierungsproblem so komplex ist, daß die Koordinierungskomplexität für das Vorliegen des hier angesprochenen Modellierungsdilemmas "hinreicht". Dieser Frage wird hier nicht weiter nachgegangen. Statt dessen wird unterstellt, daß die betrachteten Koordinierungsprobleme - insbesondere vor dem Hintergrund Flexibler Fertigungssysteme - stets zu den strukturreichen Koordinierungsproblemen mit "hinreichender" Komplexität gehören. Vgl. dazu die spätere Präzisierung der Koordinierungskomplexität im systemtheoretischen Kontext.

89) Es wurde oben nur eine *tendenzielle* Gegenläufigkeit von Ausdrucksmächtigkeit und Lösungseffizienz behauptet. Darüber hinaus wurde die Gültigkeit der Behauptung nicht strikt nachgewiesen. Daher kann es sich bei dem hier gefolgerten "Dilemma" nur um einen ebenso tendenziellen und mutmaßlichen Zusammenhang zwischen Konstruktionsadäquanz und Lösungseffizienz handeln. Es liegt also kein Dilemma im etymologischen Wortsinn vor. Zumindest muß es offenbleiben, ob das Modellierungsdilemma ein Dilemma im strengen Sinn darstellt. Dennoch wird das faktische Zutreffen des Modellierungsdilemmas in der Modelltheorie und -praxis anerkannt, sofern der Zusammenhang zwischen Realitätsadäquanz und Lösungseffizienz überhaupt thematisiert wird. Besonders deutlich hat BLOHM (1988), S. 289, die Gegenläufigkeit von realitätsadäquater und effizienter Modellierung zum Ausdruck gebracht. Er spricht von einem "*Dilemma*, in welchem man sich beim Aufbau von Entscheidungsmodellen häufig befindet: Effizient lösbare Modelle sind oft nicht wirklichkeitsnah, während wirklichkeitsnah formulierte Modelle nicht mehr effizient gelöst werden können" (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Vgl. auch die Bezugnahme hierauf bei HEINHOLD (1989), S. 692f. Ebenso verweist LACZKOVICH (1990), S. 122, auf eine "... grundsätzliche *Dichotomie* von einerseits detaillierter Modellbildung, verbunden mit langen Verarbeitungszeiten, und andererseits kurzen Verarbeitungszeiten bei grober Modellbildung ..." (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Weitere Hinweise auf einen gegenläufigen Zusammenhang, der bei Modellierungskonzepten zwischen Ausdrucksmächtigkeit oder Realitätsadäquanz einerseits und Auswertungs- oder Lösungseffizienz andererseits besteht, finden sich bei KERN, W. (1962b), S. 177f.; NEWELL (1969), S. 372f. (mit einem produktionswirtschaftlich interessanten Seitenblick auf Lineare Programmierung und Simplex-Algorithmus); HOCH (1973), S. 35f.; BYRN (1974), S. III-46; PETERSON, J. (1977), S. 247; HURA (1982c), S. 436; FELDBRUGGE (1983), der sogar von einem "Quasi-Naturgesetz" spricht; DIRUF (1984), S. 120; BÄUERLE, P. (1989), S. 175; CAMM (1990), S. 61 ("the gap between successfully modeling a problem and successfully solving a model"). Das Modellierungsdilemma klingt auch - allerdings weniger deutlich ausformuliert - im Zusammenhang mit den TURING-Automaten an, die in dieser Arbeit noch des öfteren

eine Rolle spielen werden. TURING-Automaten gelten einerseits als das ausdrucksmächtigste formalsprachliche Modellierungskonzept. Vgl. z.B. HURA (1982c), S. 433. Andererseits führt ihre strukturelle Reichhaltigkeit zu so großer immanenter Komplexität, daß TURING-Automaten viel zu aufwendig ausfallen, um sie für die Konstruktion und Auswertung von praktisch relevanten Modellen einzusetzen. Vgl. VALETTE (1982c), S. 3. Damit hängt inhaltlich eng zusammen die Gegenläufigkeit von Ausdruckskraft und Ableitungsstärke, die LUSTI (1990), S. 259f., für alternative Logikkonzeptionen skizziert.

Der Komplexitätsaspekt steht ebenso im Vordergrund, wenn darauf hingewiesen wird, eine Erhöhung der Realitätsadäquanz von Modellen sei in der Regel mit einer zunehmenden Komplexität der Modellierung verknüpft. Vgl. zu den komplexitätssteigernden Nebenwirkungen, die Bemühungen um realitätsadäquatere - "homomorphe" - Modelle hervorrufen können, KERN,W. (1962b), S. 169, 172 u. 177; BRETZKE (1980), S. 235. Die hohe Modellkomplexität wirkt dann tendenziell der Effizienz von Modellösungen entgegen. So wird des öfteren beklagt, daß beim Übergang zu komplexeren Modellierungskonzepten nur noch weniger effiziente - oder auch: weniger präzise - Auswertungsalgorithmen zur Verfügung stehen, als es für einfachere Modellierungskonzepte der Fall ist. Vgl. dazu beispielsweise ROUCAIROL (1982a), S. 1. Mitunter wird auch herausgestellt, bei höherer Modellierungskomplexität müsse zunehmend von analytischen auf weniger leistungsfähige simulative Auswertungskonzepte zurückgeschritten werden; vgl. LOCKEMANN (1975), S. 10f. Auf diese Gegenüberstellung von simulativen und analytischen Konzepten wird an späterer Stelle ausführlicher eingegangen. MÜLLER-SILVA (1984a), S. 36, weist darauf hin, daß zunehmende "strukturelle Vielfalt" eines Modellierungskonzepts dessen "Handhabbarkeit" abnehmen lasse. Diese globale Einschätzung wird durch die Erfahrung bestätigt, daß mit zunehmender Modellierungskomplexität die Chancen sinken, die repräsentierten Probleme mit den verfügbaren Lösungstechniken zu bewältigen. Vgl. zu dieser tendenziellen Gegenläufigkeit zwischen Modellkomplexion und Problemlösbarkeit KERN,W. (1962b), S. 177f.; VIEFHUES (1982), S. 149. Im Kontext "optimaler" Modellkomplexion spricht ZENTES (1976), S. 37, davon, daß komplexere Modellierungen unter einer abnehmenden Operationalität leiden. Der Verf. schließt sich dieser Einschätzung an, sofern ein spezieller Operationalitätsbegriff zugrundeliegt, der ausschließlich an der Lösbarkeit von modellierten Realproblemen anknüpft. Denn zunehmend komplexere Modellierungskonzepte sind einem erhöhten Risiko ausgesetzt, daß sie die Repräsentation von Problemen gestatten, die sich grundsätzlich nicht mehr lösen lassen. Vgl. BYRN (1974), S. III-46; VALETTE (1979b), S. 156f. In dieser Arbeit wird noch ausführlicher auf unlösbare Probleme eingegangen. Sie stellen sich ein, wenn die ausdruckschwachen Stelle/Transition-Netze durch die wesentlich ausdrucksmächtigeren, aber infolgedessen auch deutlich komplexeren Synthetischen Netze abgelöst werden. Vgl. schließlich zu weiteren Thematisierungen von gegenläufigen Zusammenhängen, die den zuvor erwähnten inhaltlich ähneln, aber in anderen Formulierungen vorgetragen werden: PETERSON,J. (1977), S. 246; HURA (1982a), S. 433.

90) Der Begriff adäquater Repräsentation von Realproblemen - oder kurz: Realitätsadäquanz - wurde oben im Zusammenhang mit der Modellvalidierung eingeführt. Er wird fortan in synonyme Weise auch als (Realitäts-) Adäquanz der Modellkonstruktion, als Modellierungs- oder als Konstruktionsadäquanz angesprochen.

91) Die Widerspruchsthese stellt nur ein grobes Tendenzurteil dar. Es wird nicht ausgeschlossen, daß in Einzelfällen auch realitätsadäquate Modelle für komplexe Koordinierungsprobleme noch effizient gelöst werden können. Aber selbst für diese Fälle wird in der Regel zutreffen, daß sich die Komplizierung der zugrundegelegten Modelle bis zu einem Punkt fortsetzen läßt, ab dem eine deutliche Einbuße der Lösungseffizienz eintritt. Insofern kann es zwar durchaus partielle Abweichungen von der oben behaupteten Gegenläufigkeit geben. Doch beeinträchtigen sie nicht die globale Tendenz, daß ein Widerspruch zwischen realitätsadäquater Modellkonstruktion und effizienter Modelllösung besteht.

92) Die Verkürzung dieser Diktion liegt erstens darin, daß der *tendenzielle* und *mutmaßliche* Charakter des o.a. Modellierungsdilemmas nicht mehr hervorgehoben wird. Zweitens bleibt die Prämisse, es würden *hinreichend* komplexe Koordinierungsprobleme betrachtet, unerwähnt. Beide Aspekte werden fortan stets als bekannt und akzeptiert vorausgesetzt.

93) Der Entscheidungskonflikt besteht mit anderen Worten darin, zwischen folgenden Alternativen wählen zu müssen: Entweder werden die realen Koordinierungsprobleme so strukturarm repräsentiert, daß sich die Koordinierungsmodelle zwar effizient lösen lassen, aber nicht mehr realitätsadäquat anmuten. Oder es werden strukturreiche Koordinierungsmodelle konstruiert, die zwar realitätsadäquat erscheinen, aber nur noch ineffiziente oder gar überhaupt keine Modellösungen erlauben.

Allerdings beruht der hier skizzierte Entscheidungskonflikt darauf, daß ein krasser Gegensatz zwischen realitätsadäquater Modellkonstruktion und effizienter Modelllösung präsupponiert wird. Dabei wird in Kauf genommen, die tatsächlichen Beziehungen zwischen Modellkonstruktion und -lösung zu überzeichnen. Es wurde schon in der voranstehenden Anmerkung darauf hingewiesen, daß das argumentationsfundierende Modellierungsdilemma nur einen tendenziellen und mutmaßlichen Charakter besitzt. Ebenso wurde dargelegt, daß es an die Voraussetzung hinreichend komplexer Koordinierungsprobleme geknüpft ist. Schließlich wurde in einer früheren Anmerkung die Möglichkeit partieller Devianz von der hier festgestellten allgemeinen Tendenz angedeutet. Darüber hinaus muß hier noch eine weitere Einschränkung erfolgen: Selbst wenn das Modellierungsdilemma trotz aller Vorbehalte zugrundegelegt wird, so impliziert es zunächst nur, daß wenig Aussicht besteht, eine große Realitätsadäquanz und

eine hohe Lösungseffizienz *zugleich* anzustreben. Der o.a. Entscheidungskonflikt folgt daraus noch nicht zwingend. Er stellt sich erst dann ein, wenn *zusätzlich* unterstellt wird, daß nur entweder eine Modellierung hoher Realitätsadäquanz oder aber eine Modellierung mit großer Lösungseffizienz in Betracht kommt. Diese Dichotomie der Modellierungsalternativen ist jedoch künstlich. Statt dessen lassen sich auch noch weitere Modellierungsansätze vorstellen. Beispielsweise könnte ein drittes Modellierungskonzept verfolgt werden, das die Realitätsadäquanz der Modellkonstruktion nur so weit reduziert, daß eine vorgegebene Mindesteffizienz der Modelllösung nicht unterschritten wird. Dann läge eine problemorientierte Modellierung unter Beachtung eines Mindestmaßes an Lösungsorientierung vor. Der Verf. unterläßt es, das breite Spektrum möglicher Kompromisse zwischen problem- und lösungsorientierten Modellierungskonzepten auszuloten. Statt dessen beschränkt er sich darauf, anhand der Dichotomie zwischen Problem- und Lösungsorientierung die tendenzielle Gegenläufigkeit zwischen realitätsadäquaten Modellkonstruktionen und effizienten Modellösungen zu verdeutlichen. Damit verkennt er jedoch keineswegs, daß die voranstehend exemplarisch aufgezeigten Kompromißkonzepte in der Modellierungspraxis durchaus eine bedeutende Rolle spielen können.

94) Der Verf. sieht über die nachfolgend thematisierten drei Hauptgründe hinaus auch keinen fruchtbaren Erkenntnisansatz darin, einen weiteren Beitrag zu lösungsorientierten Modellierungskonzepten zu leisten, obwohl sie bereits umfangreich und intensiv erforscht sind. Daher lassen sich im Rahmen eines lösungsorientierten Vorgehens nur noch geringfügige Modifizierungen der Modellgestaltung erwarten. Diese Perspektive erscheint wenig attraktiv.

Des weiteren kann auf die allgemeine Erfahrung hingewiesen werden, daß die Effizienzvorteile von lösungsorientierten Modellierungen oftmals in ihr Gegenteil umschlagen, wenn es erforderlich wird, Modelle an veränderte Modellierungsvoraussetzungen anzupassen. Denn lösungsorientierte Modellierungen beruhen zumeist auf "Optimierungen" von Modellstrukturen. Die "optimierten" Modelle lassen sich zwar effizient auswerten. Aber die Strukturoptimierungen haben dazu geführt, daß sich die Modellstrukturen von den Strukturen der zu modellierenden Objekte entfernt haben. Dies wird nachfolgend als "Fehler 3. Art" noch näher beleuchtet. Hier interessiert zunächst nur, daß die "innere Logik" der Strukturoptimierungen oftmals nur ihrem Urheber bekannt ist. Aus den Eigenarten der modellierten Objekte lassen sie sich dagegen in der Regel nicht mehr rekonstruieren. Wenn ein Modell an veränderte Modellierungsvoraussetzungen angepaßt werden muß, steht der Urheber seiner optimierten Modellstruktur aber häufig nicht mehr zur Verfügung. Dann bereitet es im allgemeinen erhebliche Schwierigkeiten herauszufinden, welche Modellkomponenten in welcher Weise modifiziert werden müssen, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden. Die früheren Strukturoptimierungen erweisen sich daher oftmals als ausgesprochen modifikationsfeindlich. In dieser Arbeit sollen die Modellierungen von Prozeßkoordinierungen aber so transparent angelegt werden, daß sie gegenüber späteren Modellanpassungen offenbleiben. Deshalb wird auch aus dieser Perspektive von lösungsorientierten Modellierungen Abstand genommen. Die voranstehend skizzierte Gefahr der Unübersichtlichkeit und Modifikationsfeindlichkeit von "optimierten" Modellstrukturen wird vor allem beim Entwurf von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen eingehender behandelt. Vgl. dazu beispielsweise JACKSON, M.A. (1979), S. 245ff. Vgl. auch den daraus gefolgerten Optimierungsverzicht bei JACKSON, M.A. (1979), S. 9 u. 245; STEINKE (1980), S. 65.

Ein letzter Grund für die Bevorzugung einer problemorientierten Modellierungsweise mag darin gesehen werden, daß sich bei einer Präferenz der Lösungsorientierung jede nähere Beschäftigung mit dem Petrinetz-Konzept rasch erübrigt hätte. Denn dann wären die ausdrucksreichen, aber unter Effizienzdefiziten leidenden Konzeptvarianten, zu denen auch diese Arbeit beiträgt, von vornherein ausgeschlossen. Ausdrucksarme Varianten des Petrinetz-Konzepts mit einer entsprechend hohen Auswertungseffizienz existieren zwar. Aber der Verf. sieht keinen erfolgversprechenden Ansatz zu begründen, warum diese reduzierten Konzeptvarianten - angesichts einer Fülle von betriebswirtschaftlich etablierten Modellierungskonzepten mit ebenso hoher Lösungseffizienz und ebenso niedriger Ausdrucksmächtigkeit - intensiver untersucht werden sollten. Folglich liegt eine problemorientierte Fokussierung auf ausdrucksstarke Modellierungskonzepte nahe, um eine weitere Auseinandersetzung mit dem Petrinetz-Konzept zu motivieren. Der Verf. möchte sich aber auf diesen Argumentationsstrang nicht weiter berufen, da es sich um eine bedenkliche teleologische Rechtfertigung der Problemorientierung handeln würde.

95) Die Auswahl eines problemorientierten Modellierungskonzepts bedeutet jedoch nur, einen *Schwerpunkt* zugunsten der Modellkonstruktion zu setzen. Dies schließt keineswegs aus, Aspekte der Modelllösung zu würdigen, *nachdem* eine realitätsadäquate Problemrepräsentation konstruiert worden ist. Daher wurde oben die Phase der Modelllösung aus den Betrachtungen dieser Arbeit nicht ausgegrenzt, sondern nur der Phase der Modellkonstruktion untergeordnet. In diesem Sinne bezeichnet auch SCHNEIDER, D. (1972), S. 461, die Lösung von Modellen als "eine Frage zweiter Ordnung".

Aspekte der Modelllösung werden nachfolgend nur am Rande aus der Perspektive der Lösungseffizienz diskutiert. Dazu gehören vor allem die späteren komplexitätstheoretischen Erwägungen, die sich mit der Auswertungseffizienz von Erreichbarkeitsgraphen befassen. Sonst geht es dem Verf. vornehmlich darum, die Existenz von Methoden aufzuzeigen, mit denen sich Auswertungsprobleme grundsätzlich lösen lassen. Daher wird die lösungsorientierte Komponente dieser Arbeit eher durch den Gesichtspunkt der Methodenexistenz als durch den der Lösungseffizienz bestimmt. In dieser Hinsicht sieht sich der Verf. in weitgehender Übereinstimmung mit den meisten betriebs-

wirtschaftlichen Standardwerken im Bereich des Operations Research (OR). Auch dort wird für die zentralen Modelltypen nur die Existenz von Lösungsmethoden durch deren Beschreibung nachgewiesen. Die Effizienz dieser Lösungsmethoden wird jedoch im allgemeinen nicht erörtert. Noch seltener wird sie mit der Effizienz von alternativen Lösungsmethoden verglichen. Falls solche Vergleiche überhaupt angeschnitten werden, verbleiben sie meist bei groben qualitativen Einschätzungen. Die präziseren komplexitätstheoretischen Konzepte für die Beurteilung der Lösungseffizienz, auf die später zurückgekommen wird, finden dagegen in der Regel keine Beachtung. Exemplarisch wird auf den weit verbreiteten und intensiv erforschten Modelltyp der Linearen Optimierung (Programmierung) verwiesen. In den meisten OR-Standardwerken wird diesbezüglich nur die Simplex-Lösungsmethode diskutiert. Dagegen erfahren alternative Lösungsmethoden von KHACHIYAN und KARMARKAR, die - zumindest unter den Voraussetzungen von worst case-Analysen - als effizienter nachgewiesen sind (Näheres dazu später), keine Würdigung. Dies unterstreicht die o.a. These, daß der Aspekt der Existenz von Lösungsmethoden gegenüber der Untersuchung ihrer Lösungseffizienz oftmals überwiegt.

96) Der Verf. folgt damit dem Motto von PRESSMAR (1982), S. 328: "Eine im Sinne der Planungslogik ideale Vorgehensweise müßte darin bestehen, die Planungsaufgabe *ohne jedes Zugeständnis* für die Planungsmethode zunächst so zu formulieren, daß möglichst wenig an Wirklichkeitsnähe verlorengelht." (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Ebenso entspricht der problemorientierte Modellierungsansatz dem Postulat von SCHNEIDER, D. (1972), S. 461: "Das Bemühen des Wirtschaftswissenschaftlers muß vor allem darin bestehen, die Schwierigkeiten zu lösen, die dem 'hinreichend genauen' Abbilden der wirtschaftlichen Wirklichkeit in Modellen entgegenstehen. Wie das Optimum ausgerechnet werden kann, das ist eine Frage zweiter Ordnung." Allerdings wird sich der Verf. der einseitigen Identifizierung von Modellauswertungen mit Optimierungsrechnungen nicht anschließen (Näheres dazu später). Problemorientierte Modellierungen erfüllen auch den "Paradigm Shift" den GAINES (1991), S. 209, als "Model Realism" einfordert: "Use system methodologies and information technology that enable the natural world to be modelled without distortion and destruction". Vgl. zur Vertiefung dieses Modellrealismus GAINES (1991), S. 210f. So merkt er auf S. 210f. z.B. an: "the approach underlying model realism ... leads to systems that conform more closely to user's conceptual models and vocabularies" (kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen). Eine weitere Rechtfertigung erfährt die problemorientierte Vorgehensweise durch DRUKARCZYK (1970), S. 11f.: "Die Theorie darf bei der Erarbeitung der Zusammenhänge des betrieblichen Ablaufs nicht irgendwo stehen bleiben, weil man etwa den hier notwendigen Abstraktionsgrad als zu hoch einstuft, als für praktische Fragestellungen nicht relevant ansieht. ... Macht man auf dem Weg der Erkenntnis an der Grenze der Verwertbarkeit für praktische Zwecke halt, läuft man Gefahr, ... daß sich die abgeleiteten praktischen Verfahren ... als falsch oder unzureichend erweisen ...". Auch KOCH, H. (1974), S. 340, vermag einem problemorientierten Ansatz zunächst positive Aspekte abzugewinnen: "Unbestritten ist, daß wissenschaftlicher Fortschritt auch dann vorliegen kann (nicht muß), wenn neue Modelle entwickelt werden, die nicht unmittelbar anwendbar sind, jedoch den Praktiker zum Durchdenken neuer betrieblicher Zusammenhänge anregen ..." Allerdings kehrt KOCH noch auf derselben Seite zum vorherrschenden lösungsorientierten Denken zurück, wenn er fordert, die Modelle müßten "unmittelbar anwendbar" sein und die modellgestützten Entscheidungen "in direkter Weise verbessern". Schließlich entspricht die problemorientierte Einstellung auch einer Maxime, die sich in die Gestalt einer Licht-und-Dunkel-Metapher kleiden läßt: Nicht dort solle zuerst nach Erkenntnisfortschritten gesucht werden, wo bereits verfügbare Erkenntnisinstrumente hinreichend Licht spendeten. Vielmehr solle das Dunkle der noch offenstehenden Probleme die Forschungsrichtung weisen. Vgl. zu dieser Maxime SCHOPMAN (1986), S. 67 (unter Berufung auf WEIZENBAUM).

97) Die Lösungsorientierung konventioneller Modellierungskonzepte betont z.B. PFOHL (1977), S. 13 (einschließlich der Fn. 1). Er bezieht sich zwar "nur" auf die Modellierung von Entscheidungsproblemen, doch bilden sie die zentrale Problemart betriebswirtschaftlicher Modellierungen. Auch in dieser Arbeit wird das entscheidungstheoretische Paradigma zur Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen herangezogen. Weitere, mit deutlicher Kritik verbundene Hinweise auf die vorherrschende Lösungsorientierung betriebswirtschaftlicher Modellierungen finden sich bei PRESSMAR (1982), S. 328, und LORCH (1990), S. 13. So klagt PRESSMAR (1982), S. 328: "Der traditionelle Weg besteht darin, das Planungsproblem so zu formulieren, daß es anschließend mit den bewährten, auf dem EDV-System verfügbaren mathematischen Methoden lösbar ist. Für den Benutzer ergibt sich daraus bereits die Ausrichtung auf einen *vorgeprägten* Planungsansatz. Dabei erwächst die Gefahr, daß der *Realitätsbezug* der Planungsaufgabe zugunsten der Planungsmethode *reduziert und verfälscht* wird". (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Die Bevorzugung des Aspekts effizienter Modellösungen zu Lasten des Gesichtspunkts realitätsadäquater Modellkonstruktion klingt speziell für den Bereich der Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen bei HOCH (1973), S. 35f., an: "So nehmen ... zahlreiche, in der Literatur vorgeschlagene Modelle der Reihenfolgeplanung Einschränkungen der Strukturgleichheit von Modell und wirtschaftlicher Realität in Kauf, um die Anwendung eines operationsanalytischen Verfahrens der Optimierung zu ermöglichen". In einem anderen Modellierungskontext knüpft BLOHM (1988), S. 289, die "praktische Anwendbarkeit" eines Ansatzes explizit an die "Vereinfachung der Problemformulierung". Bedenken gegenüber einer einseitigen Lösungsorientierung klingen auch bei SCHNEIDER, D. (1972), S. 461, an, wenn er als "Weg der Unternehmensforschung" kritisiert: "Man übernimmt oder entwickelt eine Rechentechnik, für die dann Anwendungsfälle gesucht werden." In ähnlicher Weise konstatiert GUPTA, J. (1977), S. 86: "... often an OR analyst is tempted to construct a mathematical model that he can solve, rather than identifying,

formulating and solving the real problem at hand." (kursive Hervorhebungen des Originals hier unterlassen). Vgl. auch die Beispiele, die GUPTA als Beleg seiner These auf S. 85f. anführt. Vgl. zu weiterer Kritik an der vorherrschenden Fokussierung des Operations Research auf Aspekte der Modelllösung MEYER ZU SELHAUSEN (1980a), S. 38f.; MÜLLER-MERBACH (1984), S. 3f.; ZELEWSKI (1986a), S. 654.

Einen speziellen Aspekt der Lösungsorientierung heben BERNSTEIN (1973), S. 52, und BERNSTEIN (1974), S. 340, hervor. Dort wird bemängelt, daß bei der Modellierung von Realproblemen oftmals nicht diejenigen Modellaspekte untersucht würden, die aufgrund der vorgegebenen Problemlage von besonderem Interesse sind. Vielmehr genossen solche Modelleigenschaften besondere Beachtung, die sich mit verfügbaren Analysealgorithmen noch relativ leicht bewältigen lassen. Diese Einstellung kann auch im Rahmen des Petrinetz-Konzepts belegt werden. Vgl. dazu die späteren Erläuterungen, die sich mit den Unzulänglichkeiten der Invariantenanalyse von Netzen befassen. Dort wird gezeigt, daß Netzinvarianten zunächst als analytisch bestimmbare Modelleigenschaften ermittelt werden. Erst danach wird die Frage nach ihrer Relevanz für die Bearbeitung eines Realproblems gefragt. Einen mittelbaren Hinweis auf das Vorherrschen von lösungsorientierten Modellierungen stellt auch das parametrisierte Modellschema für Maschinenbelegungsprobleme dar, das bereits in einer früheren Anmerkung erwähnt wurde. Es besteht eine breite Literatur, die sich mit der Effizienz ("Komplexität") von Lösungsmethoden für die Modellklassen befaßt, die aus diesem Schema durch Konkretisierung seiner Parameter hervorgehen. Vgl. - als pars pro toto - BRUCKER (1981), S. 56ff., insbesondere die Übersichten auf S. 60ff. Der Verf. bezweifelt, daß die bloße parametrische Variation eines solchen Modellschemas ausdrucks mächtig genug ist, um der Komplexität realer Koordinierungsprobleme aus dem Bereich der Maschinenbelegung gerecht zu werden. Diese Vermutung wird durch die später präsentierte Fallstudie für Maschinenbelegungsprobleme in Flexiblen Fertigungssystemen exemplarisch bestätigt. Zahlreiche der dort angeführten Problemdeterminanten werden durch das vorgenannte Modellschema nicht erfaßt. Dazu gehören z.B. die Modellierung von Arbeitskräften, Werkzeugen und Transportmitteln oder auch die Berücksichtigung von Prioritätsregeln.

Die einseitige Lösungsorientierung von Problemrepräsentationen läßt sich durch die Metapher eines "Prokrustesbetts" verdeutlichen: Die Konzeptualisierung eines Realproblems wird so lange vereinfacht, bis es die strukturellen Anforderungen an "effizient handhabbare" Problemrepräsentationen erfüllt. Die Gesamtheit der einengenden strukturellen Anforderungen - das "Prokrustesbett" - richtet sich nach denjenigen Lösungsalgorithmen, die der Modellierungsträger als effizient erachtet und anzuwenden gedenkt. Beschneidungen der Realitätsadäquanz werden in dem Ausmaß akzeptiert, wie die Problemrepräsentation eine Anwendung der intendierten Lösungsalgorithmen sicherstellt. In jüngster Zeit ist diese Vorgehensweise von LORCH (1990), S. 13, markant gegeißelt worden: "Häufig wird zur Lösung der in der Praxis auftretenden komplexen Probleme der Versuch unternommen, die Problematik *in ein Modell zu zwingen*. ... es werden um des berechenbaren Modelles Willen so viele Vereinfachungen und Annahmen getroffen, daß die Funktionalität des entstehenden Systems dem ursprünglichen Problem nicht mehr adäquat ist" (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Ähnlich deutlich äußern sich MERTENS und GRIESE: "Man hat um der komfortablen Lösung willen ein Problem zu stark vereinfacht, so daß das so entstandene Modell schließlich nicht mehr geeignet war, die Unternehmenswirklichkeit abzubilden. Beispielsweise wurden sprungfixe Kostenverläufe in Richtung auf lineare *'vergewaltigt'*" (MERTENS (1991a), S. 248; kursive Hervorhebung durch den Verf.). Diese lösungsorientierte Modellierungseinstellung wird ebenso von GAINES (1991), S. 209f., einer schonungslosen Kritik unterzogen. Dabei spricht er sogar explizit von einem "Procrustean Design" (S. 209, Fig. 1, und analog S. 210). Er stigmatisiert diese Modellierungsweise durch plakative Formulierungen wie: "Change the world to fit the model" (S. 209) und "We reduce the system to one which is amenable to our modelling techniques." (S. 210). KIRSCH hat in einem anderen, aber vergleichbaren Zusammenhang von einer "Vergewaltigung der Problemkomplexität" gesprochen; vgl. KIRSCH (1978), S. 104f. u. 199f.; KIRSCH (1981a), S. 665 u. 667; KIRSCH (1984), S. 345f. u. 349. Zwar könnten die Vereinfachungen, denen eine ursprüngliche Problemkonzeptualisierung bei der lösungsorientierten Prokrustesbett-Modellierungsweise unterworfen wird, in euphemistischer Diktion als "mathematische Abstraktionsleistungen" interpretiert werden. Doch GUPTA, J. (1971), S. 279, stigmatisierte solche Abstraktionen schon früh als Modellierungsschwäche des Operations Research: "Any theory to be useful to industry has to be such, that it reflects the real-life situation. The future research in the formulation of the scheduling problem should be inspired by real-life problems rather than the problems encountered in mathematical abstractions."

Das "Prokrustesbett"-Prinzip liegt beispielsweise dem Reduktionskonzept zugrunde. Es wird mitunter für die Modellierung komplexer Produktionssysteme - einschließlich Flexibler Fertigungssysteme - vorgeschlagen. Beispielsweise läßt es sich in den Ausführungen von OSMAN (1982), S. 59ff., wiedererkennen. Das Reduktionskonzept basiert auf Verfahren, mit deren Hilfe die Konzeptualisierungen realer Probleme sukzessiv vereinfacht werden. Die Problemkonzeptualisierungen werden so lange transformiert, bis sie schließlich eine derart einfach strukturierte Modellkonstruktion zulassen, daß eine "effiziente" Modellösung möglich ist. Das Koordinierungsmodell kann dann aber aufgrund des reduktionistischen Ansatzes nicht mehr als eine adäquate Repräsentation des zugrundeliegenden Realproblems akzeptiert werden. Das Realproblem wird im Verlauf seiner Konzeptualisierung auf ein effizient lösbares, aber inadäquates Formalproblem abgebildet. Damit liegt ein Fehler 3. Art vor, auf den in Kürze näher eingegangen wird. Eine analoge Manifestation des Prokrustesbett-Prinzips bietet die Invariantenanalyse von Netzmodellen, auf die schon weiter oben hingewiesen wurde.

98) Es wurde schon verdeutlicht, daß hier nur die Konstruktion von Modellen für "hinreichend" komplexe Koordinierungsprobleme interessiert, wie sie etwa bei der Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen vorliegen. Die Ausführungen zu problemorientierten Modellierungen beziehen sich ausschließlich auf solche *struktureichen* Koordinierungsprobleme. Dagegen wird keineswegs bestritten, daß die vorhandenen lösungsorientierten Modellierungskonzepte für die realitätsadäquate Repräsentation von *strukturarmen* Koordinierungsproblemen ausreichen können. Vgl. zur Komplexität der hier betrachteten Koordinierungsprobleme auch SCHEER (1990c), S. 207. Er hält produktionswirtschaftliche Optimierungsmodelle im Bereich der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung für ungeeignet, weil sie - seiner Meinung nach - die Vielfalt der relevanten Einflußgrößen von praktischen Koordinierungsproblemen nicht zu bewältigen vermögen.

99) HEINHOLD (1989), S. 693, beklagt, daß "diejenigen Planungsmodelle, die tatsächlich numerisch gelöst werden, bis zum völligen Realitätsverlust vereinfacht und damit trivialisiert werden." HINTZ (1987), S. 59, kritisiert: "Die oft erhobene Forderung nach *realistischeren* Modellen ... für die Ablaufplanung ... gilt ... für flexible Fertigungssysteme in besonderem Maße. [Daher sind] ... für die Maschinenbelegungsplanung in Flexiblen Fertigungssystemen die aus mathematischer Perspektive schon sehr komplexen Modelle [für Werkstattfertigung] *nicht adäquat* ..." (kursive Hervorhebungen und Ergänzungen [...] durch den Verf.). Die Unzufriedenheit mit der Realitätsadäquanz konventioneller, lösungsorientierter Modellierungen scheint auch KOHEN (1989), S. 40, zur Klage zu veranlassen, daß zu "den Unzulänglichkeiten aktueller PPS-Konzepte ... [die] ... unzureichende Abbildungsgenauigkeit des Produktionsablaufs" in Flexiblen Fertigungssystemen gehöre (Zusatz [...] durch den Verf.).

Die mangelhafte Realitätsadäquanz der lösungsorientierten Modellierungsweise wird besonders deutlich bei den Optimierungsmodellen, die bislang im Bereich der Prozeßkoordinierung eine herausragende Rolle spielen. Sie bleiben auf sehr einfache Konzeptualisierungen von Koordinierungsproblemen beschränkt. Vgl. SELIGER (1983), S. 62; KNOOP (1986), S. 31; MÜLLER, A. (1987), S. 271f.; FREEDMAN (1988b), S. 339ff. Diese idealtypischen Probleme lassen sich zwar optimal lösen, stellen aber wegen viel zu geringer Modellkomplexität keine adäquaten Repräsentationen realer Koordinierungsprobleme dar. Statt dessen handelt es sich oftmals um "Spielzeugprobleme", die von den Koordinierungsproblemen der betrieblichen Praxis weit entfernt liegen. Dies hat KNOOP (1986), S. 31f., überzeugend herausgearbeitet. Er zeigt, daß die Optimierungsmodelle bei der Realproblemabbildung von überaus restriktiven Prämissen ausgehen. Diese Konzeptprämissen schließen von vornherein die Berücksichtigung von Problemdeterminanten aus, die in dieser Arbeit für die Koordinierung von Maschinenbelegungen bei Flexiblen Fertigungssystemen als wesentlich erachtet werden. Vgl. zu diesen Determinanten vor allem KNOOP (1986), S. 31 u. Abb. 8 auf S. 32. Dabei handelt es sich vor allem um die Ausklammerung aller Entscheidungsfreiräume, die durch halbgeordnete Arbeitsgangmengen bei der Auftragsabwicklung eröffnet werden (Näheres dazu später). Optimierungsmodelle setzen dagegen im allgemeinen vollständig geordnete Arbeitsgangmengen voraus, die rein sequentiellen Arbeitsgangausführungen entsprechen. Deswegen können einerseits Realproblemdeterminanten, wie z.B. alternative Bearbeitungsstationen für gleiche Arbeitsgänge, nicht erfaßt werden. Ähnliche Kritik an der Realitätsnähe von Optimierungsmodellierungen äußern im Hinblick auf Flexible Fertigungssysteme KAMP (1978), S. 31ff.; MAIER, U. (1980), S. 26 u. 55; NIEB (1980), S. 29; PFERDMENGES (1980), S. 35; SELIGER (1983), S. 62; MERTINS (1985a), S. 93 (er spricht von praxisfernen Voraussetzungen der Optimierungsmodellierungen); KNOOP (1986), S. 33 (er stellt fest, daß "die exakten Verfahren nicht in der Lage sind, komplexe Ablaufstrukturen, wie sie durch flexible Fertigungssysteme repräsentiert werden, abzubilden ..."; der Begriff exakter Verfahren bei KNOOP entspricht der hier verwendeten Bezugnahme auf Optimierungsmodelle) u. S. 37; HINTZ (1987), S. 57f. (er moniert, es führe "ein Teil dieser Prämissen ... dazu, daß die darauf basierenden Lösungsmodelle praktische Problemstellungen nicht mehr hinreichend gut abbilden."). Hoffnung auf eine Heilung dieses Defizits an Realitätsadäquanz von lösungsorientierten Optimierungsmodellen besteht kaum. Denn sie erweisen sich schon in ihrer realitätsfernen Gestalt - als kombinatorische Optimierungsprobleme - als äußerst ressourcenintensiv. Das wird später als Lösungsdefekt von Optimierungsmodellen näher ausgeführt. Die Berücksichtigung weiterer Realproblemdeterminanten würde den Ressourcenbedarf dieser Optimierungsmodelle nur noch mehr steigern. KNOOP (1986), S. 31, bestätigt dies: Die Einbeziehung zusätzlicher Problemdeterminanten "würde den Rechenaufwand exponentiell erhöhen." Daher ist auch kaum damit zu rechnen, daß die Defekte bei der Realitätsabdeckung durch entsprechende Modell-erweiterungen geheilt werden könnten. Das gilt zumindest dann, wenn an optimalen Modellösungen weiterhin festgehalten wird.

Die mangelhafte Realitätsadäquanz lösungsorientierter Optimierungsmodelle und die geringe Aussicht, diese Repräsentationsmängel zu beheben, läßt sich anhand zweier Beispiele aus dem Bereich der Produktionsplanung verdeutlichen. Das erste Exempel stammt von BITRAN, HAAS und HAX (vgl. BITRAN (1982), S. 245f. i.V.m. S. 235ff.). Es handelt sich um ein Optimierungsmodell für eine hierarchische Produktionsplanung. Ziel ist es, die Produktionskosten zu minimieren. Dabei werden berücksichtigt:

- 2 Produkte, die in insgesamt 10 Varianten hergestellt werden können;
- 4 Vorprodukte, die allesamt fremdbezogen werden (strenggenommen werden 3 Vorprodukte betrachtet, von denen jedoch eines in 2 Varianten auftritt);
- 2 Produktionsstufen, auf denen jeweils ein Arbeitsgang pro Produkt ausgeführt wird;
- 2 Arbeitsgänge zur Herstellung jedes Produkts.

Es empfiehlt sich, diese Angaben mit den Größenordnungen für Produkt- und Arbeitsganganzahlen zu vergleichen, die in späteren Anmerkungen für reale Flexible Fertigungssysteme angeführt wurden. Daraus wird die unzureichende Realitätswiedergabe des o.a. Optimierungsmodells unmittelbar offensichtlich. Des weiteren konfrontiert auch WINTER,RO. (1991), S. 200, das Optimierungsmodell von BITRAN, HAAS und HAX mit "'typischen' realitätsnahen Problemen" (in Anlehnung an SCHEER (1976), S. 50). Für diese Probleme gilt es zu berücksichtigen:

- 100 Produkte, die in insgesamt 2.000 Varianten auftreten können;
- 40.000 Vor- und Zwischenprodukte, von denen etwa drei Viertel fremdbezogen werden;
- 5 Produktionsstufen (auf denen jeweils durchschnittlich zwei Arbeitsgänge pro Produkt ausgeführt werden);
- 10 Arbeitsgänge zur Herstellung jedes Produkts.

Die Diskrepanz gegenüber dem "Spielzeugproblem" von BITRAN, HAAS und HAX ist offensichtlich. Darüber hinaus weist WINTER,RO. (1991), S. 200, zu Recht darauf hin, daß bei der Modellierung dieses "Spielzeugproblems" weitere wichtige Determinanten realer Produktionsplanungsprobleme noch nicht berücksichtigt sind: ca. 1.200 Bearbeitungsstationen (Maschinen) und 10.000 Aufträge im Jahr.

Es könnte nun daran gedacht werden, das Optimierungsmodell von BITRAN, HAAS und HAX so weit auszubauen, daß es die voranstehend skizzierten realistischen Größenordnungen erreicht. Einen Versuch, der in diese Richtung weist, hat schon früh SCHEER (1976), S. 19, 29ff. u. 50f., präsentiert. Er entwirft ein Optimierungsmodell für Produktionsplanungen (S. 29ff.), wie sie für die Einzel- und Kleinserienfertigung in der metallverarbeitenden Industrie typisch sind (S. 19). Das Produktionsplanungsmodell umfaßt insgesamt 353.000 Variablen und 121.400 Restriktionen - beides jeweils nur auf eine Planungsperiode bezogen (S. 50f.). Diese Größenordnung liegt auch heute noch weit außerhalb jenes Bereichs, in dem selbst mit Hilfe leistungsfähiger Automatischer Informationsverarbeitungssysteme an optimale Modellösungen gedacht werden könnte. Dabei ist zu beachten, daß in diesem zweiten Beispiel die "Realitätsannäherung" noch keineswegs zufriedenstellt. Denn SCHEER's Planungsmodell umfaßt bei weitem noch nicht die Vielfalt von Einflußgrößen, die später anhand einer Fallstudie für Flexible Fertigungssysteme erfaßt werden. Dazu gehören z.B. die Modellierung des Transportsystems oder die Zulässigkeit von Produktionsstörungen. SCHEER selbst sieht seine Modellierung auch nur als ein Demonstrationsbeispiel dafür an, daß es auf absehbare Zeit aussichtslos erscheint zu versuchen, konventionelle Produktionsplanungsmodelle einerseits realitätsnah zu gestalten und andererseits weiterhin optimal lösen zu wollen. SCHEER (1976), S. 52ff., zieht daraus die Konsequenz, zu einem "verdichteten" Produktionsplanungsmodell überzugehen. Es ist so weit vergrößert, daß es sich wieder optimal lösen läßt. Einen ähnlichen Vergrößerungsansatz für Produktionsplanungsmodelle hat in jüngerer Zeit WITTEMANN (1985), S. 62ff., vorgelegt. Der Verf. folgt dieser Vorgehensweise jedoch nicht. Denn sie hält weiterhin an der Lösungsorientierung der Modellkonstruktion fest: Die Modellierung von Produktionssystemen und -prozessen wird so lange vergrößert, bis die verdichteten Modelle mit dem aktuell verfügbaren Leistungsangebot der Automatischen Informationsverarbeitung gelöst werden können. Statt dessen wird in dieser Arbeit der entgegengesetzte, problemorientierte Ansatz verfolgt: Es wird nach einem Modellierungskonzept gesucht, dessen Ausdruckskraft ausreicht, um realitätsnahe Feinmodelle zu konstruieren.

100) Vgl. PFOHL (1977), S. 14f., der sich allerdings nicht auf den vorgenannten Modellierungsbereich beschränkt, sondern die Modellierung von Entscheidungsproblemen im allgemeinen thematisiert. Zwar könnte der Einwand erhoben werden, es läge bereits eine größere Anzahl von Werken vor, die sich in problemorientierter Weise den Schwierigkeiten der Modellkonstruktion widmen. Dies möchte der Verf. keineswegs bestreiten. Er hat in einer früheren Anmerkung bereits auf solche Beiträge hingewiesen. Doch bleibt im Dunkeln, in welcher Weise sie die Modellkonstruktion konkret unterstützen wollen. Ebenso wenig lassen sie *besonders ausdrucksmächtige* Mittel für die realitätsadäquate Repräsentation von strukturreichen Problemen erkennen. Statt dessen bewegen sich die meisten Arbeiten, die sich mit der Thematik der Modellkonstruktion befassen, auf zwei Ebenen, die von der konkreten Konstruktion strukturreicher Modelle recht weit entfernt sind.

Einerseits werden auf einer Metaebene die Wirkungen erörtert, die hinsichtlich der Qualität von Modellösungen drohen, wenn Aspekte der Modellkonstruktion vernachlässigt werden. Die hierbei gewonnenen, oftmals subtilen und weitreichenden Erkenntnisse vermitteln jedoch keine Hinweise darauf, wie auf der Objektebene ein konzeptualisiertes Realproblem in ein problemrepräsentierendes Modell konstruktiv umgesetzt werden kann. Zu dieser modelltheoretischen Metaebene gehören vor allem die Arbeiten BRETZKE's, die schon in der bereits erwähnten Anmerkung angeführt wurden.

Andererseits liegen auch einige wenige Werke vor, die den Anspruch erkennen lassen, auf der Objektebene die Modellkonstruktion zu unterstützen. Vgl. etwa WILLIAMS,H. (1985), mit dem verheißungsvollen Titel "Model Building in Mathematical Programming". Aber diese Veröffentlichungen beschränken sich weitgehend darauf, Sammlungen alternativer Modelltypen anzubieten. Diese typisierten Modellsammlungen legen Problemrepräsentationen nach dem "Prokrustesbett"-Prinzip nahe: Ihm zufolge wird die Konzeptualisierung eines zu bewältigenden Realproblems so lange modifiziert, bis es sich durch eines der bereits vorformulierten Modelle repräsentieren läßt. Dabei werden Einbußen der Realitätsadäquanz bei der Problemrepräsentation klaglos hingenommen, sofern nur die modifizierte Problemkonzeptualisierung zur vorliegenden Modellstruktur paßt. Diese Denkfigur der "Prokrustesbett"-Modellierung wurde schon kurz zuvor in einer Anmerkung erläutert. Allerdings lag dort die leicht abweichende Perspektive der Lösungsorientierung von Modellierungen zugrunde. Vgl. auch die dort angeführten Quellen und Zitate.

Besonders deutlich wird die hier angesprochene Variante des "Prokrustesbett"-Prinzips, die sich auf typisierte Modellsammlungen bezieht, wenn Flexible Fertigungssysteme auf der Grundlage des Repräsentativkonzepts modelliert werden. Dieses Modellierungskonzept findet sich bei MAIER, U. (1980), S. 31 u. 44f.; HINTZ (1987), S. 49, 184 u. 190, und ARNING (1987), S. 125ff. u. 175ff. (allerdings nicht für repräsentative Produktionssysteme, sondern nur für den Teilaspekt repräsentativer Auftragspakete). Als ein Vorläufer des Repräsentativkonzepts kann auch die Arbeit von ROPOHL (1971), S. 140ff., betrachtet werden. Bei diesem Konzept wird ein repräsentatives, aber in sich starres Modell Flexibler Fertigungssysteme für die Untersuchung von Koordinierungsproblemen angeboten. Mitunter wird das eine repräsentative Modell auch durch mehrere repräsentative Modelltypen ersetzt. Vgl. MAIER, U. (1980), S. 20. Dieser Modellierungsansatz leidet zunächst unter der Schwierigkeit, die behauptete Modellrepräsentativität schlüssig zu belegen. Vgl. zu dem - hinsichtlich etlicher Details fragwürdigen - Bemühen, solche Repräsentativitätsnachweise zu erbringen, ARNING (1987), S. 125f. u. 175f. Auch die Konzeptvariante, mehrere repräsentative Modelltypen zur Auswahl anzubieten, hilft so lange nicht wesentlich weiter, wie die Vielfalt der Modelltypen hinter der Vielfalt realer Flexibler Fertigungssysteme zurückbleibt. Dies fällt zumindest bei MAIER, U. (1980) eklatant ins Auge. Denn trotz der eingangs angekündigten Typenvielfalt (S. 20) beschränken sich die anschließenden Ausführungen doch wieder auf nur einen "repräsentativen" Modelltyp (S. 31 u. 44f.). Aber selbst wenn mehrere repräsentative Modelltypen vorgelegt werden sollten, so erzwingt der typisierende Ansatz immer noch, von zahlreichen Determinanten Flexibler Fertigungssysteme zu abstrahieren. Daher läßt sich die reale Vielfalt Flexibler Fertigungssysteme auf diese Weise grundsätzlich nicht abdecken.

101) Zu einem ähnlichen Fazit gelangen CHOW, HERAGU und KUSIAK anlässlich einer allgemeinen Bewertung von Modellierungen, die Vertreter des Operations Research im Produktionsbereich bisher durchgeführt haben: "In order to make operations research models applicable in production management systems, an attempt should be made to develop more realistic models. Simplifying assumptions make the models less useful." (CHOW, W.S. (1988), S. 146).

102) Die problemorientierte Modellkonstruktion nimmt im Interesse größerer Realitätsadäquanz bewußt in Kauf, zu komplexeren (struktureicheren) Modellen zu führen, als es bei der lösungsorientierten Vorgehensweise der Fall wäre. Dadurch verliert das Motiv der Komplexitätsreduzierung, das für lösungsorientierte Modellierungskonzepte typisch ist, seine Bedeutung. Statt dessen wird versucht, die Komplexität eines konzeptualisierten Problems bei seiner Repräsentation durch ein formales Modell möglichst weitgehend zu bewahren. Daher wird im Vergleich zu lösungsorientierten Modellkonstruktionen eine Komplexitätssteigerung angestrebt. Eine Konsequenz dieser Problemorientierung besteht z.B. später im entscheidungstheoretischen Kontext darin, auf komplexitätsreduzierende stochastische Modellierungen grundsätzlich zu verzichten. Entgegengesetzter Ansicht ist BÄUERLE, P. (1989), S. 177ff. Er kritisiert "Komplizierungsstrategien", die auf Realitätsannäherung durch struktureichere Modellierungen abzielen. Aufgrund der hier vorgetragenen Argumente vermag sich der Verf. jener Kritik jedoch nicht anzuschließen. In dieser Hinsicht läßt sich auch auf die bemerkenswerten Ausführungen von GEIBEL (1992), S. 7f., verweisen. Er nennt die "Erhöhung der Problemlösungskapazität" als eine gleichwertige Alternative zur üblichen Strategie der Komplexitätsreduzierung. Seine späteren Erläuterungen zu gruppenbezogenen Entscheidungsunterstützungssystemen verdeutlichen sogar, daß GEIBEL vornehmlich von der Alternative erhöhter Problemlösungskapazität ausgeht (vgl. z.B. Abb. 4 auf S. 8). Dabei versetzt ihn die gesteigerte Problemlösungskapazität in die Lage, Probleme großer Komplexität zu bewältigen. Dies entspricht der hier bevorzugten problemorientierten Modellkonstruktion mit realitätsadäquaten, aber entsprechend komplexen Konstruktionsresultaten.

103) Auf die erheblichen Schwierigkeiten, die aus der geringen Auswertungseffizienz des Petrinetz-Konzepts resultieren, wird später ausführlicher eingegangen.

104) Vgl. zu dieser Fehlerkategorie, die zwar in sprachlicher Anlehnung an, aber ohne inhaltlichen Bezug auf die statistischen Fehlerkategorien 1. und 2. Art gebildet wurde, MITROFF (1972), S. 11 u. 17ff.; MITROFF (1974), S. 383ff., insbesondere 383f. u. 391f.; GAITANIDES (1978), S. 245; GAITANIDES (1979b), S. 8 u. 12; STAUDT (1979a), S. 89; RAMAKRISHNA (1986), S. 86; ZELEWSKI (1986a), S. 570, 964, 1075f. u. 1078; BALLWIESER (1990), S. 12ff.; ELLE (1991), S. 3f. u. 16; ZELEWSKI (1991b), S. 249. Vgl. auch den Hinweis auf die Gefahr von Fehlern 3. Art bei der Invariantenanalyse, die anlässlich der Auswertungsoptionen für Netzmodelle erörtert wird.

105) Dieser Sachverhalt klingt bei PFOHL (1977), S. 13f. ("... falsche Probleme oder Probleme zu spät zu lösen"), an, ohne daß er sich jedoch explizit auf einen Fehler 3. Art beruft. Gleiches gilt für die Ausführungen von GOMEZ, P. (1975), S. 91; GUPTA, J. (1977), S. 85f.; DIRUF (1983), S. 238, und DIRUF (1984), S. 125 ("Das Modell liefert richtige, aber unwesentliche Antworten."); JOHNSON, H. (1988), S. 25 (ein simples, aber instruktives Beispiel aus dem Bereich der Losgrößen-"Optimierung"). Fehler 3. Art liegen ebenso der Differenzierung zwischen Effektivität (effectiveness) und Effizienz (efficiency) der Problembehandlung zugrunde, die sich z.B. bei HOFER (1978), S. 2, findet: "In general ... organizations depend much more ... on improvements in their effectiveness (that is, on how well they relate to their environments) than on improvements in their efficiency. Peter Drucker stated this ... that it is more important to do the *right things* (improve effectiveness) than to do *things right* (improve efficiency). Thus, if an organization is doing the right things wrong (that is, is effective but not efficient), it can outperform organizations that are doing the wrong things right (that is, are efficient but not effective)." (kursive Hervorhebungen im Original). Vor allem in der letzten Formulierung "doing the wrong things right" wird die Übereinstimmung mit dem Konzept

des Fehlers 3. Art unmittelbar deutlich. Obwohl HOFER nicht ausdrücklich von Modellen und ihrer Realitätsadäquanz spricht, so läßt doch das voranstehende Zitat erkennen, daß sein Effektivitätsbegriff der realitätsadäquaten Modellierung eines Problems entspricht. Die Korrespondenz seines Effizienzbegriffs mit der Effizienz von Modellösungen liegt ebenfalls auf der Hand.

106) Diese Vorgehensweise liegt dem Denkmuster zugrunde, Problemkomplexität durch Komplexitäts- oder Varietätsreduzierung beherrschen zu wollen. Es wurde schon in einer früheren Anmerkung als typische Ausprägung von lösungsorientierten Modellierungen angesprochen.

107) Bezugspunkt ist die Repräsentation des gleichen realen Koordinierungsproblems mit der Hilfe eines ausdrucksreichen Modellierungskonzepts.

108) Vgl. dazu das Reduktionskonzept für die Konstruktion von Koordinierungsmodellen, das in einer früheren Anmerkung als eine Variante des "Prokrustesbett"-Prinzips erwähnt wurde.

109) In ähnlicher Weise hat CZERANOWSKY (1980), S. 54f., davor gewarnt, die Struktur eines Modells nach der Effizienz (Rechenbarkeit) jener Algorithmen auszurichten, die sich aufgrund der Modellstruktur zur Modellauswertung anwenden lassen. Denn diese Strukturierung berge die Gefahr in sich, die Struktur des zu modellierenden Objekts zugunsten der Strukturen von effizient ausführbaren Algorithmen zu vernachlässigen.

110) Das *effiziente* Lösen des Modells entspricht dem oben erwähnten "richtigen" Lösen eines Problems.

111) Die *mangelnde Realitätsadäquanz* des Modells korrespondiert mit dem oben angesprochenen Sachverhalt, ein "falsches" Problem zu lösen. Als falsches Problem kommt jedes Ersatzproblem in Betracht, das sich durch das betrachtete Modell adäquat repräsentieren *ließe*, falls das Ersatzproblem zugrundegelegt worden *wäre*. Aber keines der Ersatzprobleme war das tatsächliche Objekt der Modellierung. Daher gilt für das konstruierte Modell: Es repräsentiert falsche Ersatzprobleme adäquat (richtig), aber das tatsächlich zugrundeliegende (richtige) Problem inadäquat (falsch). Die effiziente Lösung eines solchen Modells wäre wertlos. Denn es wird nicht die effiziente Lösung des Modells eines falschen Ersatzproblems, sondern eine Lösung des richtigen, tatsächlich zugrundeliegenden Problems gewünscht.

112) Vgl. zum Vorwurf des Modellplatonismus ALBERT, H. (1963), S. 45ff.; KÖNIG, RE. (1963), S. 34f.; ALBERT, H. (1964), S. 27ff.; ALBERT, H. (1965b), S. 410ff.; ALBERT, H. (1967), S. 331ff.; SCHMIDT, R.H. (1972), S. 402f.; STEINMANN, H. (1972), S. 130; SCHANZ (1973), S. 145 u. 149; STÄHLIN (1973), S. 68; MEYER, Wl. (1973b), S. 505; KOCH, H. (1975), S. 177ff. (sich verteidigend); PETRI, K. (1976), S. 240 u. 248; ALBERT, H. (1976a), Sp. 4682; KAMBARTEL (1977), S. 132ff., insbesondere S. 142; KAPPLER (1977), S. 173ff.; CHMIELEWICZ (1979), S. 122 u. 192; ULRICH, P. (1979), S. 171; SCHANZ (1988a), S. 71; SCHANZ (1988b), S. 64.

113) Wenn Modelle studiert werden, obwohl sie die interessierenden Realprobleme nicht adäquat zu repräsentieren vermögen, dann wird den untersuchten Modellen - in metaphorischer Überspitzung - eine selbständige Existenz in einer fiktiven Welt effizient lösbarer Ersatzprobleme zugewiesen.

114) Auch PFOHL (1977), S. 13f., empfiehlt eine Verstärkung des problemorientierten Denkens gegenüber dem lösungsorientierten Ansatz, "wenn man vermeiden will, falsche Probleme ... zu lösen." Ähnlich zieht HOFER (1978), S. 3, die Effektivität - d.h. hier: die realitätsadäquate Problemrepräsentation - im Zweifelsfall der Effizienz der Modelllösung vor: "... when effectiveness and efficiency are in conflict, priority usually should be given to the former".

115) Allerdings wird nunmehr das Risiko in Kauf genommen, daß die Lösungseffizienz der Modellierungskonzepte geringer ausfällt, als es vom Anspruchsniveau des Modellierungsträgers toleriert wird. Es kann sogar dazu kommen, daß Ressourcenbeschränkungen der Informationsverarbeitung zusammen mit der geringen Lösungseffizienz dazu führen, überhaupt keine Modelllösung zu erlangen. Daher läßt sich - komplementär zum oben skizzierten Fehler 3. Art - von einem Fehler 4. Art sprechen: Ein richtiges Problem wird entweder falsch oder aber gar nicht gelöst. Denn das realitätsadäquate Modell kann als richtig formuliertes (Formal-)Problem nur noch ineffizient (falsch) oder überhaupt nicht mehr gelöst werden.

116) Bei der Entwicklung der Verarbeitungsleistung von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen lassen sich eine technische und eine betriebswirtschaftliche Komponente unterscheiden. In technischer Hinsicht wird die Leistungsfähigkeit der Automatischen Informationsverarbeitung in Größen der Transistorfunktionen pro Baueinheit (Logikleistung), der Operationsgeschwindigkeit (Verarbeitungsleistung) oder des (Haupt-)Speicherraums (Speicherleistung) gemessen. Vgl. z.B. SCHWÄRTZEL (1979), S. 294f. Diese Facetten der Leistungsfähigkeit sind in der Vergangenheit annähernd exponentiell angestiegen. Vgl. SCHWÄRTZEL (1979), S. 295f.; SCHMITZ, P. (1981), S. 292; BULLINGER (1988), S. 20; FOX, G. (1988), S. 158; O.V. (1988o), S. 1; MORAVEC (1990), S. 235ff.; KURBEL (1991a), S. 5f.; NEUMANN, G. (1991a), S. 140f.; WACKER, H.M. (1992), S. 3. Zugleich sind die absoluten Kosten für Automatische Informationsverarbeitungssysteme nur moderat angestiegen, mitunter sogar gefallen. Vgl. SEITZER (1988), S. 3 (Verringerung der Bauelementekosten um jährlich 40% in den letzten 20 Jahren). Daher haben auch die relativen Kosten je Leistungseinheit der Informationsverarbeitung, die aus betriebswirtschaftlicher Perspektive vornehmlich interessieren, in früheren Jahren stets drastisch abgenommen. Vgl. SCHWÄRTZEL (1979), S. 295f.;

SCHMITZ,P. (1981), S. 292 (er nennt eine Reduzierung der Kosten je Leistungseinheit um den Faktor 10^6 in 20 Jahren); BULLINGER (1988), S. 20; SEBLER (1989), S. 131; COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1989), S. II-13; MORAVEC (1990), S. 90f. u. 235ff.; KAISER,K. (1991), S. 47 u. 53.

Weithin wird die Überzeugung geteilt, daß die vorgenannten Entwicklungstrends auch in Zukunft fortbestehen werden. Vgl. SCHMITZ,P. (1981), S. 292 u. 294f.; BULLINGER (1988), S. 19f.; SEITZER (1988), S. 3; o.V. (1988o), S. 1; COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1989), S. II-13; MÜLLER-SCHLOER (1990), S. 719, Fig. 1; NEUMANN,G. (1991a), S. 140. Zwar könnte eingewandt werden, daß die voranstehend skizzierten Entwicklungstendenzen nicht allgemein zuträfen. Beispielsweise falle der Entwicklungsfortschritt bei peripheren Ein- und Ausgabesystemen deutlich geringer aus als im Bereich der eng gefaßten Informationsverarbeitungssysteme (zentrale Hard- und Software). Vgl. SCHMITZ,P. (1981), S. 292. Doch brauchen solche Vorbehalte hier nicht weiter beachtet zu werden. Denn es interessiert nur die Verarbeitungsleistung von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen, die zur *Ermittlung* von Problemlösungen erforderlich ist. Aspekte der Ein- und Ausgabe von Problemformulierungen bzw. -lösungen spielen dagegen hinsichtlich der Lösungseffizienz keine Rolle.

117) Ebenso kann sich HEINHOLD (1989), S. 693, vorstellen, "daß der Kritikpunkt der mangelnden numerischen Lösbarkeit mittelfristig bedeutungslos werden wird, da die Hard- und Softwareentwicklung rasant fortschreitet und immer größere Problemumfänge zuläßt." Er hält den "Kritikpunkt der mangelnden numerischen Lösbarkeit ... für peripher". Vgl. dazu auch WACKER,H.M. (1992), S. 5, hinsichtlich der Leistungsexplosion von schon heute verfügbaren Mikrocomputern und Workstations.

118) Zwar ließe sich die gestiegene Verarbeitungsleistung nutzen, um die ehemals lösungsorientierten Modellierungen durch Vergrößerung ihrer Ausdrucksmächtigkeit nachträglich an realitätsadäquate Problemrepräsentationen heranzuführen. Doch handelte es sich dann auch nicht mehr um lösungsorientierte Modellierungen. Darüber hinaus zweifelt der Verf. daran, daß einfach strukturierte Modelle, die zunächst nach der Maßgabe ihrer effizienten Lösbarkeit konstruiert wurden, später ohne größere Schwierigkeiten in komplex strukturierte Modelle mit höherer Realitätsadäquanz transformiert werden können. Statt dessen wird es oftmals erforderlich sein, die komplexeren Modelle vollkommen neu zu konstruieren. Dieser Rekonstruktionsaufwand hätte sich jedoch vermeiden lassen, wenn von vornherein eine problemorientierte Modellierung mit entsprechend ausdrucksreichen Modellierungskonzepten betrieben worden wäre.

2.3 Der systemtheoretische Rahmen

2.3.1 Überblick

Die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen wird in dieser Arbeit auf der Basis des systemtheoretischen Strukturierungsparadigmas¹⁾ konzeptualisiert²⁾. Ein System³⁾ wird dabei als ein Paar verstanden, dessen erste Komponente eine nicht-leere, endliche Menge aus wohl-unterschiedenen Objekten⁴⁾ darstellt. Seine zweite Komponente ist eine nicht-leere, endliche Familie⁵⁾ aus Relationen über diesen Objekten. Über den Objektbegriff, der an die Stelle des sonst vorherrschenden Elementbegriffs tritt⁶⁾, wird der objektorientierte Ansatz unmittelbar in den systemtheoretischen Rahmen eingebunden⁷⁾. Gleiches gilt mittelbar auch für das faktor-kombinative Strukturierungsparadigma⁸⁾, das zur inhaltlichen Ausdifferenzierung des Objektbegriffs herangezogen wird⁹⁾.

Die Strukturierung¹⁰⁾ von Produktionssystemen kann auf unterschiedlichen Strukturierungsansätzen beruhen, die sich hinsichtlich ihrer charakteristischen Basisbegriffe differenzieren lassen. Hierbei handelt es sich im wesentlichen¹¹⁾ um Funktionen (Aufgaben¹²⁾)¹³⁾, Prozesse¹⁴⁾, Aktionen¹⁵⁾, Ereignisse¹⁶⁾, Zustände¹⁷⁾, Daten¹⁸⁾ oder Objekte¹⁹⁾.

In dieser Arbeit wird im Sinne des multiparadigmatischen Ansatzes die Systemstrukturierung nicht auf einen dieser Basisbegriffe fixiert. Vielmehr wird versucht, diese Basisbegriffe in einem gemeinsamen Strukturierungskonzept zusammenzuführen. Hierbei erfolgt allerdings eine Gewichtung der Basisbegriffe derart, daß sie jeweils auf einzelne Strukturierungsaspekte eingeschränkt und zum Teil auseinander abgeleitet werden²⁰⁾.

Die Strukturierung eines Systems erstreckt sich auf die Identifizierung seiner Objekte und die Bestimmung der hierüber definierten Relationen²¹⁾. Entsprechend wird eine Systemstruktur als die systemspezifische Art der Komposition seiner Objekte und Relationen zu einem Ganzen verstanden²²⁾.

Grundsätzlich läßt sich zwischen der Struktur und dem Verhalten eines Systems unterscheiden. Die Systemstruktur umfaßt alle zeitinvariant gültigen²³⁾ Aussagen über das jeweils betrachtete System²⁴⁾. Das Systemverhalten wird dagegen durch zeitvariant gültige Aussagen beschrieben. Sie können einerseits für Zustände gelten, die ein System im Zeitablauf einnimmt²⁵⁾. Andererseits kommen sie ebenso für Aktionen oder Ereignisse in Betracht, die Zustandsübergänge bewirken.

Die Systemstruktur wird weiter in einen statischen und einen dynamischen Strukturaspekt zerlegt²⁶⁾. Die statische Systemstruktur umfaßt alle Aussagen ohne expliziten Zeitbezug. Die dynamische Systemstruktur erstreckt sich dagegen auf alle Aussagen über ein System, die zwar zeitinvariant gelten, aber auf die Anschauungsform "Zeit" explizit Bezug nehmen²⁷⁾.

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Vgl. zu Überblicken über das systemtheoretische Paradigma ULRICH, H. (1970), S. 100ff.; ULRICH, H. (1971), S. 43ff.; KIRSCH (1972), S. 161ff.; SCHANZ (1973), S. 142f. u. 150f.; RAFFEE (1974), S. 79ff.; GROCHLA (1976b), S. 532ff.; LEHMANN, H. (1976a), S. 567ff.; WITTE, T. (1979a), S. 5ff.; ULRICH, P. (1979), S. 172f.; WERHAHN (1980), S. 251ff. u. 361ff.; KIRSCH (1984), S. 43ff.; JACKSON, M.C. (1984), S. 477ff.; PROBST (1987a), S. 26ff.; SCHWEMMER (1987), S. 244ff.; LINDGREEN (1987), S. 122ff.; ULRICH, H. (1988b), S. 181ff.; SCHANZ (1988a), S. 38ff.; SCHANZ (1988c), S. 85ff.; SCHANZ (1990a), S. 111f.; HILL, W. (1991), S. 8ff.; WILLKE (1991), S. 1ff.; HEINEN (1991b), S. 57f(f). Vgl. auch die (weiteren) Beiträge in dem Sammelwerk GROCHLA (1976a), Teil F (S. 531ff.).

2) Vgl. zu weiteren, systemtheoretisch ausgerichteten Strukturierungskonzepten für Produktionssysteme im allgemeinen und Flexible Fertigungssysteme im besonderen SPUR (1967), S. 412f.; ROPOHL (1971), S. 126ff. u. 141ff.; SCHARF, P. (1976), S. 26ff.; ZÄPFEL (1978), S. 406ff.; DÖTTLING (1981), S. 15f.; SPUR (1982c), S. 137; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 83 u. 87ff.; HARTLEY (1984), S. 268; MERTINS (1985a), S. 10f.; MERTINS (1985b), S. 250 u. 252; KNOOP (1986), S. 10ff.; BERNDT (1987), S. 112f. u. 118; WILDEMANN (1987a), S. 8 u. 117; BÜHNER (1987), S. 261; BÖTZOW (1988a), S. 51f. Die dort angeführten Konzeptualisierungen von Systemstrukturen sind partiell in die anschließenden Ausführungen des Verf. eingeflossen. Allerdings enthalten sie jeweils nur Teilaspekte der hier entwickelten Systemstrukturierung. Teilweise beruhen sie auch auf abweichenden Konzeptualisierungsweisen. Darauf wird im folgenden jedoch nur in besonders interessanten Fällen ausdrücklich hingewiesen.

3) Der nachfolgenden Systemdefinition recht nahe kommen die Definitionsvorschläge von WITTE, T. (1979a), S. 7f., insbesondere dessen formalisierte Systemdefinition auf S. 8 (WITTE's Unterscheidung mehrerer Objektmengen wird durch die spätere Einführung von Sorten mit sortenspezifischen Objektmengen auch in dieser Arbeit erfaßt), und LINDGREEN (1987), S. 122 (in der zweiten Variante, die sich an LANGEFORS anlehnt).

Vgl. zu ähnlichen, aber in Nuancen differierenden und weniger formal ausgerichteten Definitionen des Systembegriffs ROPOHL (1971), S. 109; KERN, W. (1978), S. 582; ZÄPFEL (1978), S. 406; RIEPER (1979), S. 23; BERNDT (1987), S. 105; SCHMIDT, H. (1989), S. 31; KERN, W. (1990a), S. 11; WILLKE (1991), S. 96 (distanziert); HEINEN (1991b), S. 57. In den vorgenannten Quellen wird ein System zumeist im Sinne einer geordneten Gesamtheit von Elementen verstanden, die durch ihre Eigenschaften und Beziehungen beschrieben werden. Demgegenüber weicht die o.a. Systemdefinition vor allem in zwei Aspekten ab: Erstens wird der übliche Elementbegriff durch den Objektbegriff ersetzt, um den später entfalteten objektorientierten Strukturierungsansatz vorzubereiten. Ferner wird die Assoziation eines "atomaren" Elements ohne innere Struktur bewußt vermieden, weil die Betrachtung von Systemen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen mit unterschiedlich komplex strukturierten Objekten zugelassen werden soll. Dadurch wird es möglich, Teil- und Subsysteme als Objekte zu behandeln, für die Eigenschaften und Beziehungen zu anderen Objekten untersucht werden können. Strenggenommen ist diese Eigenschafts- und Beziehungsanalyse für Teil- und Subsysteme im konventionellen Systemverständnis nicht erklärt. Denn es ordnet Eigenschaften und Beziehungen nur den "Elementen" zu, die als strukturlose atomare Objekte konzeptualisiert werden. Darüber hinaus lassen sich später sogar Eigenschaften von Beziehungen definieren, indem die Beziehungen selbst als Objekte (höherer Ordnung) aufgefaßt werden. Zweitens wird die gewöhnliche Formulierung der Beziehungen oder Relationen "zwischen" den Systemelementen durch die Ausdrucksweise der Relationen "über" Objekten ersetzt, um hierdurch auch Objekteigenschaften als einstellige Relationen zu erfassen. Zugleich läßt sich hierdurch die Einführung von Eigenschaften als dritter selbständiger Entität - neben Objekten und Relationen - vermeiden (vgl. hierzu die späteren Anmerkungen zum Einfachheitspostulat und "OCCAM's razor"). Eine solche Ergänzung einer dritten Entität "Attribute" findet sich z.B. bei BERNDT (1987), S. 105 u. 107. Die hier präferierte Erfassung von Eigenschaften als einstellige Relationen findet sich dagegen beispielsweise bei DORN (1989), S. 33.

Vgl. zu weiterführenden Ausdeutungen des Systembegriffs und hieraus folgenden Unterbegriffen ULRICH, H. (1970), S. 105ff.; ROPOHL (1971), S. 109ff.; ZAHN, M. (1974), S. 1458ff., insbesondere S. 1462; FRANKEN (1974), S. 27ff.; ROPOHL (1975), S. 25ff.; WITTE, T. (1979a), S. 6ff.; RIEPER (1979), S. 23ff.; SCHIEMENZ (1982), S. 156ff.; GUNTRAM (1985), S. 297ff.; BERNDT (1987), S. 106ff.; LINDGREEN (1987), S. 122f. (hinsichtlich der ersten Definitionsvariante auf S. 122 und ihrer Erweiterung zum Definitionsvorschlag auf S. 122f.). Einen vollkommen anders gelagerten, hier nicht weiter beachteten Systembegriff vertritt hingegen LUHMANN; vgl. LUHMANN (1968), S. 1; LUHMANN (1988), S. 15 u. 20ff. sowie - als Strukturbegriff - S. 382ff.; vgl. dazu auch WILLKE (1991), S. 37f., 51ff. u. 96ff.

4) Objekte, die an der Konstitution eines Systems teilnehmen, werden fortan ebenso als Systemkomponenten bezeichnet. Im Gegensatz zum Objektbegriff, der später auch auf ein System als Ganzes bezogen wird, bleibt der Komponentenbegriff aber stets auf echte Teile eines Systems beschränkt. Eine Systemkomponente deckt daher sowohl Elemente als auch beliebig komplexe (echte) Teile eines Systems ab. Des weiteren läßt der Komponentenbegriff eine induktive Verallgemeinerung des Elementbegriffs zu: Jedes Element stellt zunächst eine atomare Komponente dar, die als ein Objekt ohne innere Struktur definiert ist. Sobald ein Komplex, der aus Elementen und Eigenschaften von oder Beziehungen zwischen Elementen besteht, als eine Einheit betrachtet wird, handelt es sich um eine zusammengesetzte, nicht-atomare Komponente. Durch Anwendung der Zusammensetzungsoperation auf

bereits vorhandene Komponenten resultiert eine Hierarchie von Komponenten zunehmender innerer Komplexität. An der Spitze dieser Hierarchie steht das Gesamtsystem. Die Elemente bilden als unterste Komponenten das Fundament der Hierarchie. Komponenten, die nicht zur untersten Hierarchiestufe gehören, stellen zunächst Teilsysteme mit komplexer innerer Struktur dar. Ebenso können sie als "Elemente" des Gesamtsystems behandelt werden, falls von ihrer Konstitution aus untergeordneten Komponenten abstrahiert wird. Das Gesamtsystem an der Hierarchie Spitze zählt aber nicht mehr zu den Systemkomponenten.

5) Der Familienbegriff wird später mathematisch präzisiert. Er läßt sich grob als eine Sammlung von Elementen verstehen, die - im Gegensatz zu einer Menge - nicht voneinander verschieden sein müssen.

6) Eine frühe Gleichsetzung von Elementen und Objekten findet sich bereits bei RUSSELL, B. (1921), S. 189. Dort wird allerdings noch nicht die inhaltliche Fülle des Objektbegriffs zugrundegelegt, die nachfolgend aus der Perspektive des objektorientierten Ansatzes entfaltet wird.

7) Diese Begriffsverschiebung besitzt nicht nur terminologischen, sondern auch inhaltlichen Charakter. Sie beruht auf dem größeren konzeptionellen Assoziationsfeld, das mit dem Objektbegriff verbunden ist. Es umfaßt vor allem auch die Möglichkeit, dynamische Systemaspekte auf den Objektbegriff selbst zurückzuführen. Dazu gehören vor allem Operationen, die sich auf Objekte anwenden lassen. Sie werden im Verlauf der nachfolgenden Ausführungen noch eine größere Rolle spielen. Solche Konstrukte werden im Rahmen des vornehmlich statisch konzipierten Elementbegriffs zumeist nicht beachtet. Darüber hinaus unterstützt der Objektbegriff durch sein Konzept der Objektzusammensetzung weitaus besser die Vorstellung einer hierarchischen Systemstrukturierung als der Elementbegriff, der auf die Assoziation atomarer, unstrukturierter Entitäten beschränkt bleibt. Auf die hier zunächst nur skizzierten Charakteristika des objektorientierten Ansatzes wird in den folgenden Ausführungen näher eingegangen. Vgl. daneben auch die späteren Anmerkungen zu der Möglichkeit, das Altern von Marken in eine objektorientierte Implementierung des Markenkonzepts von Petrinetzen einzubeziehen.

8) Vgl. GUTENBERG (1951), S. 2ff.; KÖHLER, R. (1966), S. 119ff.; STEINMANN, H. (1972), S. 120 u. 134ff.; JEHL (1973), S. 76ff., insbesondere S. 82f.; KERN, W. (1976), S. 759ff.; KERN, W. (1978), S. 580ff.; ULRICH, P. (1979), S. 170ff.; WERHAHN (1980), S. 1, 67ff. u. 355ff.; GUTENBERG (1983), S. 2ff.; KERN, W. (1988), S. 117ff.; SCHANZ (1988b), S. 92f.; SCHANZ (1988c), S. 71ff.; KERN, W. (1990a), S. 12ff.; SCHANZ (1990a), S. 91f.

9) Die Kombination des faktorkombinativen Strukturierungsparadigmas mit dem objektorientierten Strukturierungsansatz erfolgt äußerst selten. Denn das erstgenannte Strukturierungsparadigma bleibt im allgemeinen auf produktionswirtschaftliche Argumentationskontexte beschränkt. Der zweitgenannte Strukturierungsansatz findet dagegen zumeist nur im Rahmen der Informatik Beachtung. Gegenseitige Befruchtungen der beiden Strukturierungsweisen sind bisher noch kaum erfolgt. Zu den seltenen Ausnahmen zählt der Hinweis von BLOOM, T. (1979), S. 25, auf eine ressourcenorientierte Systemstrukturierung. Dabei soll jede Ressourcenart (Faktorart) durch ein Teilsystem (Modul) derart erfaßt werden, daß zwei Anforderungen erfüllt werden: Erstens erstreckt sich das Teilsystem auf alle Aktivitäten, die von Einheiten der Ressourcenart ausgeführt werden können. Zweitens gibt das Teilsystem alle Zugriffsmöglichkeiten an, die innerhalb des Gesamtsystems auf Einheiten der Ressourcenart zulässig sind. Die Bezugnahme auf Ressourcenarten entspricht dem Kern des faktorkombinativen Strukturierungsparadigmas. Die Einbindung von Aktivitäten und externen Zugriffen reflektiert dagegen Eigenarten der objektorientierten Systemgestaltung.

10) Gemeint ist hier der weit gefaßte Strukturierungs- oder Konzeptualisierungsbegriff, der bereits in einer früheren Anmerkung erläutert wurde. Als Synonym für eine solche Systemstrukturierung (i.w.S.) wird auch der Begriff der Systemgestaltung benutzt. Eine Systemstrukturierung i.e.S. bedeutet hingegen, daß für ein System dessen Struktur festgelegt wird.

11) Einen weiteren eigenständigen Strukturierungsansatz verfolgt z.B. SCHEER (1991d), S. 14 u. 89ff., mit dem Konzept seiner "Organisationssicht" (S. 14). Darin werden aber Aspekte der anderen hier betrachteten Strukturierungsansätze als "Organisationseinheiten" (S. 14) eingeschlossen. Die Organisationseinheiten können z.B. in funktionsbezogener (aufgabenbezogener) oder objektbezogener Weise konzeptualisiert worden sein. Wegen dieser Verquickungen wird darauf verzichtet, einen separaten organisationsbezogenen Strukturierungsansatz zu berücksichtigen.

12) Aufgaben und Funktionen werden in dieser Arbeit als synonyme Begriffe verwendet. Auf inhaltliche Differenzierungen, wie sie sich z.B. bei BECKER-BISKABORN (1991), S. 32f., finden, wird nicht weiter eingegangen. Sie spielen für die hier diskutierte Systemstrukturierung keine Rolle.

13) Vgl. zur funktionsorientierten Systemstrukturierung im allgemeinen ULRICH, H. (1971), S. 49f.; BERNSTEIN (1973), S. 45; LOCKEMANN (1975), S. 5; FRANK, J. (1976), S. 44; ZACHARIADES (1977), S. 1.1f.; JORDAN (1978), S. 12ff.; STEINKE (1980), S. 64f.; YOELI (1982b), S. 1; VALETTE (1982c), S. 2; HORVATH (1983), S. 92; BERNDT (1987), S. 106; BECKER-BISKABORN (1991), S. 32ff.; FRESE (1991), S. 34ff. (distanziert); SCHEER (1991d), S. 14, 20f. u. 62ff. (allerdings in fragwürdiger Verquickung mit der prozeßbezogenen Systemstrukturierung von Vorgangsketten; Näheres dazu in der nächsten Anmerkung), insbesondere S. 20f. u. 63f. (Verknüpfung von Funktionen mit Unternehmungszielen) sowie S. 68 (funktionale Gliederung der Produktionsplanung und -steuerung); SCHEER

(1991e), S. 7ff. (distanziert). Vgl. zu funktionsorientierten Strukturierungen, die explizit auf Produktionssysteme bezogen werden, DÖTTLING (1981), S. 17ff. (allerdings mit funktionsfremden Aspekten der bautechnischen Systemstruktur vermengt); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 100f.; KOCHAN, D. (1986), S. 29 (speziell für Flexible Fertigungssysteme); REFA (1987), S. 314; ZEH (1988a), S. 212ff. (für Flexible Fertigungssysteme); SCHMIDT, H. U. (1989), S. 32f., 36ff., 54ff. u. 96ff.; EVERSHEIM (1990c), S. 83 u. 88ff. (allerdings in unklarer Abgrenzung von aktionsorientierter Strukturierung, siehe insbesondere S. 83); BECKER-BISKABORN (1991), S. 71ff. Der funktionsorientierte Strukturierungsansatz liegt - zumindest implizit - auch den meisten Arbeiten zur betriebswirtschaftlichen Aufbauorganisation zugrunde. Dies gilt zumindest dann, wenn der dort bevorzugte Aufgabenbegriff mit dem Funktionsbegriff identifiziert wird. (In dieser Arbeit werden Aufgaben und Funktionen als Synonyma betrachtet.) Vgl. als pars pro toto KOSIOL (1972), S. 71ff. Besonders detaillierte Anwendungen hat der funktionsorientierte Strukturierungsansatz im Rahmen des "Kölner Integrationsmodells" (KIM) und des "Instruments zur Gestaltung der Organisation von Informations- und Kommunikationssystemen" (ORIKOM) gefunden. Vgl. dazu die Beschreibungen des KIM-Projekts bei GROCHLA (1971), S. 210ff.; GROCHLA (1974a), S. 85ff.; GROCHLA (1974b), S. 35ff.; GROCHLA (1974c), S. 189ff.; GROCHLA (1977), S. 162ff.; POTHS (1978), S. 293ff.; HANSEN, H. (1978), S. 46ff.; SCHEER (1988a), S. 567ff.; SCHEER (1989c), S. 537f.; THOME, R. (1990), Abschnitt K 3.4 S. 6ff.; BECKER, J. (1991a), S. 9ff. Vgl. ebenso zum ORIKOM-Projekt SCHMITZ, P. (1978), S. 282ff. Vgl. zu diesen beiden Projekten auch die Hinweise bei ZELEWSKI (1986a), S. 1215ff.

14) Vgl. zu prozeßorientierten Systemstrukturierungen LANGEN (1983), S. 753ff. ("prozeßwirtschaftlicher" Ansatz für Entscheidungsrechnungen); PORTER (1986), S. 63ff., 180ff. u. 221ff. (Analyse von Prozeßketten); KNOOP (1986), S. 52 u. 65ff. (prozeßbezogene Konzeptualisierung von Maschinenbelegungsproblemen bei Flexiblen Fertigungssystemen); FIDELAK (1988b), S. 25; KOTTKAMP (1989), S. 322 (Überschrift) u. S. 325ff.; THOME, R. (1990), Abschnitt K 3.1 S. 2 (Prozedurorientierung bei Informationsverarbeitungssystemen). Auf die prozeßorientierte Systemstrukturierung wird später noch ausführlicher eingegangen

Eine spezielle Variante von Prozeßketten verfolgen SCHEER und Mitarbeiter mit ihrem Konzept der Vorgangsketten. Dabei steht im Gegensatz zur aktionsorientierten Strukturierungsweise nicht der einzelne Vorgang im Vordergrund. Vielmehr interessiert in erster Linie die zeitliche und funktionale Verknüpfung von Vorgängen. Es resultieren Vorgangsketten, die Prozesse für die Erfüllung betrieblicher Aufgaben darstellen. Vgl. zu dieser Systemstrukturierung auf der Basis von verketteten Vorgängen SCHEER (1989i), S. 4ff.; SCHEER (1990c), S. 38ff.; SCHEER (1990e), S. 4ff.; SCHOLZ-REITER (1990a), S. 77ff. (daneben auch - jedoch ohne Bezug auf SCHEER - 21f., 35, 106, 132 u. 147ff.; vgl. auch den folgenden Abschnitt zu CIM-KSA); SCHEER (1991d), S. 3ff. (insbesondere S. 4), S. 14, 55ff. (insbesondere S. 58f.), S. 62, 64ff., 124, 129; SCHEER (1991e), S. 14, 19f. u. 22 (weitgehend als programmatische Forderung); SCHEER (1991d), S. 36f. i. V.m. Abb. 1 u. 2 auf S. 33 bzw. 35. Zwar werden von SCHEER (1990e), S. 4 u. 9, sowie SCHEER (1991d), S. 14 u. 62, Vorgänge mit Funktionen gleichgesetzt. Aber eine nähere Betrachtung seiner übrigen Ausführungen zeigt, daß die modellierten Vorgänge eine grundsätzlich prozedurale Charakteristik besitzen. Dies wird besonders deutlich bei SCHEER (1990c), S. 38 (Prozeß- und Vorgangsketten werden als Synonyma verwendet); SCHEER (1991d), S. 4 ("Ein Vorgang ist ein zeitverbrauchendes Geschehen ..." sowie: "Definition eines Vorgangs als Prozeß"), S. 27 u. 71. Darüber hinaus grenzt SCHEER an anderer Stelle Prozesse und Funktionen explizit voneinander ab; vgl. SCHEER (1991d), S. 65. Vgl. auch SCHOLZ-REITER (1990a), S. 21, der Vorgangs- und Prozeßbegriff als Synonyma für eine "ablauforganisatorische Zusammenfassung von Aufgaben" einführt.

Der gleiche Ansatz, Produktionssysteme auf der Basis von Vorgangsketten zu strukturieren, liegt auch dem CIM-KSA-Konzept zugrunde (CIM-KSA steht für: Computer Integrated Manufacturing-Kommunikationsstruktur-analyse). Es wird von KRALLMANN und Mitarbeitern herangezogen, um komplexe rechnerintegrierte Produktionssysteme zu modellieren. Nähere Beschreibungen des CIM-KSA-Konzepts finden sich bei KRALLMANN (1989a), S. 329ff. (insbesondere S. 331ff. zu Vorgangsketten); SCHOLZ-REITER (1990a), S. 173ff. (mit einer detaillierten Darstellung mehrerer CIM-Vorgangsketten auf S. 174ff. u. 208ff.); SCHOLZ-REITER (1990b), S. 512ff.; KRALLMANN (1990c), S. 59ff. (insbesondere S. 61ff. zur Identifizierung von Vorgangsketten; vgl. ebenso S. 58 zur grundsätzlichen Prozeßorientierung des Strukturierungsansatzes).

15) Der aktionsorientierte Strukturierungsansatz spielt im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Ablauforganisation eine zentrale Rolle. Dabei tritt der Aktionsbegriff in vielfachen Varianten auf, wie z.B. als Verrichtung, Arbeitsgang, Vorgang, Operation oder Aktivität. Diese Begriffsvarianten werden mitunter synonym, bisweilen aber auch mit Bedeutungsnuancierungen verwendet. In dieser Arbeit werden die vorgenannten Begriffe als Synonyma behandelt, sofern ihnen nicht im aktuellen Argumentationskontext ein bestimmter, kontextspezifischer Gehalt zugewiesen wird. Vgl. zur aktionsorientierten Systemstrukturierung KOSIOL (1962), S. 43f. (Bestimmungselemente für Aufgaben); SCHWEITZER, M. (1964b), S. 186 (Aufgaben- und Aktionsstrukturierung); SCHWEITZER, M. (1966), S. 41ff.; WILD (1966), S. 89ff.; MUSCATI (1967), S. 297ff., sowie MUSCATI (1970), S. 10ff. (Strukturierung von Arbeitsprozessen); KOSIOL (1972), S. 89ff. (Strukturierung des Arbeitsprozesses); MATTHES, W. (1972), S. 7ff. (Grundmodell der Prozeßstruktur der Unternehmung); GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 97ff., insbesondere S. 99ff. (Gliederung der Fertigungsablaufplanung); WEDEKIND (1988a), S. 36ff.; VILLA (1988c), S. 361f.

Eine besondere Variante dieses Strukturierungsansatzes stellt die Aktivitätsanalyse dar. Sie beruht auf dem produktionstheoretischen Konzept der Technologiemenen. Die Aktivitätsanalyse übernimmt zwar den formalen

Ansatz von Technologiemengen praktisch unverändert. Aber die formalen Vektorkonstrukte der Technologien werden nun als Produktionsaktivitäten interpretiert. Dadurch wird eine materiell gehaltvolle Strukturierung von Produktionssystemen geleistet. Dieser zusätzliche Strukturierungsgehalt der Aktivitätsanalyse wird im Rahmen der dynamischen Aktivitätsanalyse besonders deutlich. Die dynamische Aktivitätsanalyse knüpft am Aktivitätsbegriff an, um die Anschauungsform "Zeit" in Modellierungen von Produktionssystemen explizit einzuführen. Dadurch wird das zeitunabhängig definierte Konzept der Technologiemengen zu einem zeitbezogenen, kinetischen ("dynamischen") Modellierungskonzept fortentwickelt. Nähere Beschreibungen der Aktivitätsanalyse finden sich bei DANTZIG (1951), S. 19ff.; KOOPMANS (1951), S. 33ff.; DYCKHOFF (1988a), S. 160ff. u. 165ff.; DINKELBACH (1989b), S. 399f.; DINKELBACH (1990a), S. 61ff.; FANDEL (1991a), S. 35ff.; FANDEL (1991b), S. 229ff., insbesondere S. 231ff.; DYCKHOFF (1992a), S. 47ff.; ZELEWSKI (1993), S. 24ff. u. 231ff. (mit weiteren Quellenhinweisen in Anmerkung 1) auf S. 28). Vgl. speziell zur dynamischen Aktivitätsanalyse FANDEL (1991b), S. 236 u. 239ff., insbesondere S. 244 zum dynamischen Aktivitätsbegriff. Vgl. darüber hinaus zum zugrundeliegenden Konzept der Technologiemengen WITTMANN (1968), S. 4ff.; KNOBLOCH (1990), S. 9ff. Einen unscharfen Übergang vom Technologiemengen-Konzept zur Aktivitätsanalyse bildet der Beitrag von WITTMANN (1979), S. 280ff. Dort werden zunächst nur Technologiemengen ohne Aktivitätsbezug thematisiert (S. 280ff.). Später werden aber Produktionsaktivitäten explizit eingeführt (S. 291ff.).

Eine graphische Variante der aktionsorientierten Systemstrukturierung stellen die Aktivitätszyklen-Diagramme dar. Auf sie wird im Zusammenhang mit Petrinetzen noch näher eingegangen. Eine besonders anschauliche Anwendung dieses Diagrammtyps auf die Strukturierung eines einfachen Flexiblen Fertigungssystems bietet KOCHAN, D. (1986), S. 138ff. Vgl. ebenso HARTLEY (1984), S. 255. Sogar im Rahmen der KI-Forschung findet die aktionsorientierte Strukturierungsweise Beachtung. Vgl. z.B. GEORGEFF (1986), S. 71f.

16) Der ereignisorientierte Strukturierungsansatz wird in dieser Arbeit zusammen mit der zustandsbezogenen Konzeptualisierungsweise an späterer Stelle vertieft.

17) Vgl. die voranstehende Anmerkung zur ereignisbezogenen Systemstrukturierung.

18) Die datenorientierte Systemstrukturierung wird im betriebswirtschaftlichen Bereich vor allem von SCHEER als Grundlage seines "Unternehmensdatenmodells" propagiert. Vgl. SCHEER (1988a), S. 567ff. i.V.m. S. 75ff., insbesondere S. 572ff.; SCHEER (1988e), S. 1095ff.; SCHEER (1988f), S. 1ff.; SCHEER (1988g), S. 14ff.; SCHEER (1989b), S. 1ff.; SCHEER (1989c), S. 537ff. i.V.m. S. 69ff., insbesondere S. 542ff.; SCHEER (1989h), S. 32f.; SCHEER (1990c), S. 46ff. Vgl. darüber hinaus zur datenorientierten Systemstrukturierung - ohne Bezug auf Unternehmensdatenmodelle - THOME, R. (1990), Abschnitt K 3.1 S. 3; SCHEER (1991d), S. 14f. u. 95ff. Dabei bettet SCHEER (1991d) seine vormals dominierende Datensicht in einen erweiterten Kontext von Funktions-, Organisations- und Steuerungssichten ein. Die Gesamtheit aller vier vorgenannten Sichten bildet die "Architektur integrierter Informationssysteme" (ARIS). Ihrer Entfaltung ist das gesamte Werk SCHEER (1991d) gewidmet (besondere Herausstellungen des ARIS-Konzepts finden sich z.B. auf S. 3, 18 u. 197 (mit beigefügtem Faltblatt)). Allerdings geht SCHEER von seiner datenorientierten Strukturierungsweise nur unter Vorbehalt ab. Denn weiterhin werden *alle* vier Sichten des ARIS-Konzepts in der Sprache des Entity-Relationship-Konzepts beschrieben. Vgl. dazu die Ausführungen bei SCHEER (1991d), S. 19, zu seiner einheitlichen Beschreibungssprache. Ihr wird auf der "Metaebene" eine generelle Beschreibungsaufgabe für alle vier Konzeptansichten zugewiesen (S. 51). Die Beschreibungssprache des Entity-Relationship-Konzepts bleibt aber wegen ihrer engen Affinität zu relationalen Datenbankschemata weiterhin in einem datenbezogenen Strukturierungsdenken verhaftet. Dies zeigt sich vor allem darin, daß es dem Entity-Relationship-Konzept außerordentlich große Schwierigkeiten bereitet, prozedurale und zeitbezogene Modellierungsaspekte auf "natürliche" Weise zu erfassen. Dies hier detailliert aufzuzeigen, würde von der Thematik "Petrinetze" zu weit fortführen. Aber in einer späteren Anmerkung wird noch einmal kurz darauf zurückgekommen, wenn es darum geht, die Anschauungsform "Zeit" in Modelle einzubinden. Vgl. darüber hinaus die Hinweise auf prozedurale und zeitbezogene Repräsentationsdefizite bei ZELEWSKI (1990c), S. 79 (in bezug auf das Entity-Relationship-Konzept), und WINTER, RO. (1991), S. 334f. (für relationale Datenbankschemata, ohne Zeitbezug). Vgl. auch die näheren Erläuterungen zu Entity-Relationship-Konzept und relationalen Datenbankschemata, die in dieser Arbeit an späterer Stelle erfolgen.

19) Aus betriebswirtschaftlicher Sicht werden objektbezogene Systemstrukturierungen vornehmlich im Rahmen der Organisationstheorie als objektorientierte oder divisionale Organisationsformen diskutiert. Vgl. z.B. WELGE (1987), S. 503ff.; KERN, W. (1990a), S. 250. Darüber hinaus genießt ein objektorientierter Strukturierungsansatz im Bereich der (Wirtschafts-)Informatik überaus große Beachtung. Darauf wird in Kürze näher eingegangen. Diese informationstechnische Objektorientierung wurde vereinzelt auch schon mit dem Petrinetz-Konzept in Verbindung gebracht. Vgl. CASPER (1987), S. 75; HEINZ, A. (1988), S. 42. Allerdings hat die Objektorientierung, die seitens der (Wirtschafts-)Informatik verfolgt wird, mit dem organisationstheoretischen Verständnis von objektbezogener Strukturierungsweise nichts gemein. Dies wird in einer späteren Anmerkung erläutert.

20) Daher besitzt keiner der Basisbegriffe eine allumfassende Bedeutung. Auch verhalten sich einige der Basisbegriffe - insbesondere der Objektbegriff - "fundamentaler" als andere, da die letzten aus den ersten abgeleitet werden.

21) Dies folgt unmittelbar aus der eingangs definierten Systemdefinition. Da seitens des objektorientierten Ansatzes sogar Relationen selbst als Objekte konzeptualisiert werden, läßt sich die Systemstrukturierung sogar ausschließlich darauf zurückführen, die strukturkonstituierenden Objekte zu identifizieren. Der Verf. zieht es jedoch vor, an der vertrauteren Differenzierung zwischen Objekten und Relationen über diesen Objekten festzuhalten. Fortan werden Objekte und Relationen auch gemeinsam als Einflußgrößen oder Determinanten der Systemstruktur angesprochen.

22) Vgl. zu ähnlichen Füllungen des Begriffs der Systemstruktur ROPOHL (1971), S. 115 u. 140.

23) Änderungen der Gültigkeit solcher Strukturaussagen bedeuten notwendig einen Wechsel der Systemstruktur. Solche Strukturveränderungen im Zeitablauf, die z.B. neuerdings im Kontext der Theorie selbstorganisierender (autopoietischer) Systeme verstärkt diskutiert werden, bleiben in dieser Arbeit ausgeklammert.

24) Die Systemstruktur ist somit keine objektive, empirisch beobachtbare Entität, sondern ein sprachliches, von konzeptualisierenden Subjekten geschaffenes Konstrukt.

25) Ein Systemzustand wird hier durch die Gesamtheit aller Aussagen konstituiert, die für das jeweils betrachtete System in einem Zeitintervall unverändert gelten. Das Zeitintervall kann sowohl auf einen Zeitpunkt zusammenschrumpfen als auch unendlich groß sein. Im ersten Extremfall liegt ein kontinuierlich veränderliches System vor, im zweiten dagegen ein konstantes System. Der hier konzeptualisierte Zustandsbegriff wird später im Petrinetz-Konzept durch das Konstrukt der Netzmarkierungen wiederaufgenommen. Dort wird vor allem im Rahmen von Synthetischen Netzen der Aspekt von zustandsbeschreibender Aussagen konkretisiert: Eine Netzmarkierung umfaßt als Faktenmenge genau diejenigen prädikatenlogischen Formeln ("Aussagen"), die für das Netzmodell unter der betrachteten Markierung "faktisch" gültig sind.

26) Struktur- und Strukturierungsbegriff werden in dieser Arbeit weiter gefaßt, als es im systemtheoretischen Rahmen oftmals üblich ist. Unter einer Struktur (i.e.S.) wird dort oftmals nur die zeitinvariante Art der Zusammensetzung eines Systems aus dessen Komponenten (Objekten) und den dazwischen bestehenden Relationen verstanden. Dies entspricht dem Begriff der statischen Systemstruktur aus dieser Arbeit. Darüber hinaus wird hier aber auch die dynamische Systemstruktur berücksichtigt, die in der nächsten Anmerkung kurz verdeutlicht wird. Diese weite Fassung des Strukturbegriffs wird auch von ROPOHL (1971), S. 115 u. 120f., geteilt. Er läßt innerhalb des allgemeinen, komponenten- und relationenbezogenen Strukturbegriffs auch die Existenz zeitabhängiger Relationen zu, welche die "Prozeßstruktur des Systems" (S. 121) konstituieren.

27) Zur dynamischen Systemstruktur zählen:

- die Systemzustände, die jeweils zeitpunktbezogen definiert sind;
- der Ausgangs- oder Endzustand, in dem sich ein betrachtetes System zunächst befindet bzw. den es am Ende des Betrachtungszeitraums erreichen soll;
- die Transformationsregeln, Aktionen, Operationen, Arbeitsgänge oder Verrichtungen, die den Übergang zwischen unmittelbar aufeinanderfolgenden Systemzuständen im Zeitablauf determinieren;
- Angaben über die Ausführungsdauern der vorgenannten zustandstransformierenden Aktionen, Operationen, Arbeitsgänge bzw. Verrichtungen;
- zeitliche Restriktionen (Präzedenzbeziehungen) hinsichtlich des Eintretens von Ereignissen, die zu den zustandstransformierenden Aktionen, Operationen, Arbeitsgängen bzw. Verrichtungen gehören.

Solche Determinanten der dynamischen Systemstruktur werden in dieser Arbeit mit Hilfe des Petrinetz-Konzepts konkret erfaßt werden.

2.3.2 Objektorientierte Systemstrukturierung

Eine wesentliche Grundlage des Strukturierungskonzepts dieser Arbeit ist der Objektbegriff¹⁾. Er wird mit Ideen aus dem weiten Bereich des objektorientierten Gestaltungsansatzes²⁾ bereichert. Aus dieser Kombination resultiert eine objektorientierte Systemstrukturierung³⁾. Ihre Eigenarten werden in diesem Kapitel ausführlicher entfaltet, weil sie in den späteren Ausführungen noch des öfteren eine Rolle spielen werden.

Die objektorientierte Gestaltung von Systemen genießt zwar im Bereich der Informatik weite Verbreitung⁴⁾. Doch betriebswirtschaftlichen Modellierungen wird er nur selten zugrundegelegt⁵⁾. Dort herrschen vielmehr der funktions-, der aktions- und der datenorientierte⁶⁾ Strukturierungsansatz vor. Trotzdem erfolgt in dieser Arbeit eine Basisentscheidung zugunsten der objektorientierten Systemstrukturierung⁷⁾. Dies geschieht im wesentlichen aus zwei Gründen.

Erstens läßt das Petrinetz-Konzept, das hier ausführlicher gewürdigt wird, enge Bezüge zum objektorientierten Ansatz erkennen⁸⁾. Es entspricht der früher motivierten kohärentistischen Grundeinstellung, die Ausführungen zum Petrinetz-Konzept von vornherein in einen objektorientierten Bezugsrahmen einzubetten⁹⁾. Eine funktions-, aktions- oder datenorientierte Systemstrukturierung findet dagegen keine unmittelbare Entsprechung seitens des Petrinetz-Konzepts.

Zweitens erweist sich der objektorientierte Ansatz als so universell, daß er die vorgenannten Strukturierungsvarianten in sich aufzunehmen vermag¹⁰⁾. Dabei gelingt es, ihre partiellen Unzulänglichkeiten zu vermeiden¹¹⁾. Daher werden jene Strukturierungsansätze durch die hier bevorzugte Objektorientierung keineswegs ausgegrenzt, sondern in modifizierter Form eingeschlossen. Es resultiert eine Konzeptualisierung von Objekten, die weithin als eine besonders "natürliche" Strukturierungsweise anerkannt wird¹²⁾.

Die objektorientierte Systemstrukturierung¹³⁾ beruht im wesentlichen auf einem konzeptionell reichhaltigen Objektbegriff. Er weist über den Elementbegriff der konventionellen systemtheoretischen Strukturierung deutlich hinaus. Elemente werden gemeinhin als strukturlose und statische Einheiten aufgefaßt. Allenfalls können ihnen Eigenschaften zugeschrieben werden. Objekte heben sich davon in zweifacher Hinsicht ab¹⁴⁾. Erstens können Objekte eine beliebig komplexe innere Struktur¹⁵⁾ aufweisen. Ihre Strukturvielfalt grenzt einerseits an die Antipode der degenerierten Objekte, die überhaupt keine innere Struktur aufweisen¹⁶⁾. Andererseits umfaßt sie als Antipode ebenso jene hochkomplexen Objekte, die mit Systemen insgesamt zusammenfallen¹⁷⁾. Zweitens werden Objekte durch die Gesamtheit aller Operationen gekennzeichnet, die auf die Objekte angewendet werden dürfen. Dadurch erhalten Objekte einen dynamischen Charakter, der den Elementen der konventionellen Systemtheorie vollkommen fremd ist. Die objektorientierte Systemstrukturierung zeichnet sich daher durch die innere Strukturvielfalt und die Dynamik ihres Objektbegriffs aus. Diese beiden Besonderheiten werden im folgenden anhand einer objektorientierten Strukturierung von Produktionssystemen vertieft.

Aspekte eines Produktionssystems, die als Objekte ohne innere Struktur konzeptualisiert werden¹⁸⁾, stellen atomare oder einfache Objekte dar¹⁹⁾. Die atomaren Objekte fallen mit dem sonst üblichen Begriff der Systemelemente zusammen²⁰⁾. Zusammengesetzte oder komplexe Objekte umfassen alle Systemdeterminanten, die als Objekte mit inneren Strukturen formuliert werden²¹⁾. Solche zusammengesetzten Objekte stellen aus systemtheoretischer Sicht Teilsysteme dar²²⁾. Die inneren Strukturen von komplexen Objekten werden aus weniger komplexen Objekten zusammengesetzt²³⁾. Die letztgenannten strukturbildenden Objekte sind entweder atomare oder bereits eingeführte zusammengesetzte Objekte. Einflußgrößen, die Eigenschaften (Attribute)²⁴⁾ von oder Beziehungen (Verknüpfungen) zwischen atomaren Objekten darstellen, werden als ein-²⁵⁾ bzw. mehrstellig²⁶⁾ Relationen (1. Ordnung) über den Objektmengen erfaßt²⁷⁾.

Darüber hinaus werden auch Relationen höherer Ordnung zugelassen. Sie drücken Eigenschaften von oder Beziehungen zwischen zusammengesetzten Objekten aus²⁸⁾.

Auf dieser Grundlage lassen sich beliebig komplexe statische Systemstrukturen gewinnen. Dabei werden komplexere Systeme aus weniger komplexen Subsystemen sukzessiv aufgebaut. Die statische Systemstruktur umfaßt somit alle Aspekte, welche für die Komposition eines Systems aus Objekten und Relationen²⁹⁾ über diesen Objekten zeitlich invariant gelten³⁰⁾.

Die Natur der Objekte, die der objektorientierten Systemstrukturierung zugrundegelegt werden, wird durch diesen Gestaltungsansatz allerdings nicht näher bestimmt. In der Literatur zu Flexiblen Fertigungssystemen hat sich zwar eine Systemstrukturierung durchgesetzt, die eine Strukturzerlegung in Bearbeitungs-, Materialfluß- und Informations(sub)systeme vornimmt, mitunter auch ein separates Energie(sub)system berücksichtigt³¹⁾. Der Verf. folgt diesem Ansatz jedoch nicht, weil er weder dem hier vorausgesetzten objektorientierten Ansatz³²⁾ noch den Besonderheiten des Petrinetz-Konzepts³³⁾ gerecht wird³⁴⁾. Statt dessen wird der Beschreibung realer Koordinierungsprobleme in komplexen Produktionssystemen eine dreidimensionale Objektcharakterisierung zugrundegelegt, welche die beiden vorgenannten Schwächen vermeidet.

Ausgangspunkt der objektorientierten Strukturierung von Produktionssystemen ist die Überlegung, daß sich alle Prozesse, die es in den Produktionssystemen zu koordinieren gilt, letztlich auf die gleiche Klasse abstrakter Objekte beziehen: Alle Produktionsprozesse³⁵⁾ dienen der Abwicklung von *Produktionsaufträgen*³⁶⁾. Daher wird die Objektart "Auftrag" eingeführt. Produktionsaufträge gelten jeweils als fest vorgegeben³⁷⁾. Dies gilt sowohl hinsichtlich der herzustellenden Produktart³⁸⁾ als auch in bezug auf die zu fertigende Produktanzahl³⁹⁾. Hinzu kommt die Spezifizierung des zeitlichen Rahmens, innerhalb dessen ein Auftrag im Produktionssystem abgewickelt werden soll⁴⁰⁾.

Zwar unterbleibt bei konventionellen Modellierungen komplexer Produktionssysteme im allgemeinen die explizite Konzeptualisierung von Produktionsaufträgen⁴¹⁾. Doch wird sie sich in dieser Arbeit als vorteilhaft erweisen. Beispielsweise erlaubt sie später im entscheidungstheoretischen Kontext die problemlose Definition von Sachzielen⁴²⁾. Zugleich lassen sich auf der Basis von Produktionsaufträgen alle Produktionsprozesse auf Operationen⁴³⁾ zurückführen, die in einem Produktionssystem ausgeführt werden können und hierbei den Abwicklungszustand mindestens eines Objekts der Art "Auftrag" verändern⁴⁴⁾.

Darüber hinaus entspricht die Einbeziehung von Operationen der Eigenart des objektorientierten Strukturierungsansatzes, ein Objekt nicht nur durch die Beschreibung seiner Eigenschaften zu spezifizieren. Vielmehr wird es ebenso durch die Angabe aller Operationen bestimmt, die auf das Objekt angewendet werden dürfen⁴⁵⁾. Wenn die Operationen ausgeführt werden, können sie die Eigenschaften des Objekts - und damit den aktuellen Objektzustand - verändern. Auf diese Weise wird die statische Perspektive der Eigenschaftsbeschreibung um den dynamischen Aspekt von Operationen bereichert. Die Gesamtheit aller Operationen, die für ein Objekt zulässig sind, bildet die dynamische Objektstruktur. Sie trägt der Charakteristik des Petrinetz-Konzepts Rechnung, besondere Ausdrucksmöglichkeiten für die Repräsentation dynamischer Modellierungsaspekte zu bieten⁴⁶⁾.

Die Keimzellen der Modelldynamik bilden die atomaren Operationen, die nicht mehr weiter in andere Operationen zerlegt werden⁴⁷⁾. Für die Konzeptualisierung von Operationen werden in dieser Arbeit weder ein bestimmtes Detaillierungsniveau noch ein Spektrum zulässiger Operationsarten vorausgesetzt. Art und Detaillierung der Operationen können statt dessen vom Modellierungsträger nach seinen eigenen Vorstellungen festgelegt werden⁴⁸⁾. Insbesondere brauchen die atomaren Operationen keineswegs mit den Arbeitsgängen⁴⁹⁾ aus der produktionswirtschaftlichen Maschinenbelegungs- oder Ablaufplanung übereinzustimmen⁵⁰⁾.

Die Realisierung von Produktionsprozessen bewirkt nicht nur Zustandsveränderungen an abstrakten Objekten der Art "Auftrag". Vielmehr involviert sie auch konkrete Objekte⁵¹⁾, die als Produktionsfaktoren⁵²⁾ in die Prozesse eingehen (Prozeßinput) oder⁵³⁾ als Produkte aus den Prozessen hervorgehen (Prozeßoutput)⁵⁴⁾. Die Gesamtheit dieser konkreten Objekte läßt sich in weitgehender - aber nicht vollständiger⁵⁵⁾ - Anlehnung an das faktorkombinative Strukturierungsparadigma so zerlegen, daß Objekte zu einer Klasse gleichartiger Objekte zusammengefaßt werden, wenn sie zur selben Faktorart gehören⁵⁶⁾. Den naheliegenden Hintergrund dieser Segmentierung bildet folgende Annahme: Es wird unterstellt, daß sich Objekte, die zur selben Faktorart zählen, jeweils in der gleichen Weise modellieren lassen, während Objekte aus verschiedenen Faktorarten auch unterschiedliche Objektmodellierungen erfordern. Dabei kann das Differenzierungsniveau der faktororientierten Objektartenunterscheidung durch die Auswahl einer entsprechend differenzierten Systematisierung relevanter Produktionsfaktoren in einem weiten Bereich variiert werden⁵⁷⁾.

Für den Zweck dieser Arbeit, das Modellierungspotential des Petrinetz-Konzepts auszuloten, reicht es aus, zwischen den konkreten Objektarten der Bearbeitungsstationen, der Werkzeuge, der Transportmittel, der Lagerstationen, der Arbeitskräfte und der Werkstücke zu unterscheiden. Diese Objektartendifferenzierung orientiert sich zwar grob an vorherrschenden Produktionsfaktorsystemen⁵⁸⁾. Doch weicht sie bei näherer Betrachtung in manchen Details deutlich ab. Um die Abweichungen ausführlich zu rechtfertigen, müßte eine intime Kenntnis des Petrinetz-Konzepts vorausgesetzt werden. Da dies in einleitenden Erläuterungen zum konzeptionellen Bezugsrahmen nicht möglich ist, läßt sich die Berechtigung der Devianzen hier nur andeuten. Zugleich muß auf die spätere Modellierung von Produktionssystemen und -prozessen in dem Ausmaß vorgegriffen werden, wie es zum Verständnis jener Abweichungen erforderlich erscheint⁵⁹⁾.

Wesentlicher Ansatzpunkt ist die Eigenart des Petrinetz-Konzepts, bei konkreten Objekten grundsätzlich zwischen ortsfesten (immobilen) und beweglichen (mobilen) Objekten zu unterscheiden⁶⁰⁾: Die ortsfesten Objekte werden durch objektspezifische Teilnetze modelliert⁶¹⁾. Dies trifft auf die Bearbeitungs- und die Lagerstationen zu. Hinzu kommt ein Teilnetz, das die Transportwege zwischen den Bearbeitungs- und die Lagerstationen beschreibt⁶²⁾. Die beweglichen Objekte lassen sich dagegen durch objektspezifische Marken repräsentieren. Sie fließen durch die vorgenannten Teilnetze⁶³⁾. Davon sind die Transportmittel, die Werkzeuge, die Werkstücke⁶⁴⁾ und die Arbeitskräfte⁶⁵⁾ betroffen.

Die Differenzierung zwischen ortsfesten und beweglichen Objekten weist zwei Besonderheiten auf. Erstens führt sie dazu, Bearbeitungsstationen und Transportmittel als fundamental verschiedene Objektarten zu konzeptualisieren. Dies entspricht nicht der produktionswirtschaftlichen Perspektive, Bearbeitungsstationen und Transportmittel zur selben Faktorkategorie "aktive Betriebsmittel"⁶⁶⁾ zu zählen. Denn innerhalb dieser Faktorkategorie wird im allgemeinen nicht hinsichtlich der Beweglichkeit von Produktionsfaktoren unterschieden⁶⁷⁾. Die Eigentümlichkeit des Petrinetz-Konzepts, immobile und mobile Objekte als grundverschieden zu betrachten, bewirkt dagegen eine Aufspaltung der Faktorkategorie: Bearbeitungsstationen, die durch Teilnetze repräsentiert werden, und Transportmittel, die durch Marken vertreten werden, fallen deutlich auseinander. Zweitens wird unterstellt, daß die Arbeitskräfte weder auf Transportmittel noch auf die Transportwege zwischen Bearbeitungs- und Lagerstationen angewiesen sind. Vielmehr können sie sich im Produktionssystem frei bewegen⁶⁸⁾. Daher werden Aufenthaltsorte und Bewegungen von Arbeitskräften in einem separaten Teilnetz dargestellt⁶⁹⁾. Durch dieses Teilnetz fließen wiederum die Marken, die jeweils eine Arbeitskraft repräsentieren.

Bearbeitungsstationen⁷⁰⁾ werden in dieser Arbeit sehr weit aufgefaßt. Es handelt sich jeweils um einen Betriebsmittelkomplex, dessen Komponenten zu einer organisatorischen Einheit räumlich zusammengefaßt sind und dieser Einheit dauerhaft angehören⁷¹⁾. Eine Bearbeitungsstation besteht im Regelfall zumindest aus Be- und Entladestellen sowie aus Bearbeitungsmaschinen im engeren Sinn. Die Be- und Entladestellen bilden die Schnittstellen zwischen einer Bearbeitungsstation und ihrem Umsystem⁷²⁾. Sie können als Zwischenlager ausgestaltet sein⁷³⁾. In diesem Fall

handelt es sich um Ein- bzw. Ausgangspuffer⁷⁴⁾ der Bearbeitungsstation⁷⁵⁾. Die Bearbeitungsmaschinen⁷⁶⁾ dürfen das gesamte Spektrum von "einfachen" Werkzeugmaschinen⁷⁷⁾ bis hin zu Bearbeitungszentren⁷⁸⁾ ausschöpfen⁷⁹⁾. Hinzu kommen maschinelle Einrichtungen für die Handhabung⁸⁰⁾ von Werkstücken oder Werkzeugen. Es handelt sich zumeist um Handhabungsautomaten⁸¹⁾ für den Werkstück-⁸²⁾ oder Werkzeugwechsel⁸³⁾. Daneben kann es sich aber auch um Hybridmaschinen wie Industrieroboter⁸⁴⁾ handeln, die Werkzeuge beim Ausführen von Bearbeitungsoperationen handhaben. Schließlich lassen sich Handhabungsautomaten auch für das Entsorgen von Abfall und Ausschuß einsetzen⁸⁵⁾. Wenn nicht näher zwischen Bearbeitungsmaschinen, maschinellen Handhabungseinrichtungen und Hybridmaschinen differenziert werden soll, wird kurz von Maschinen gesprochen⁸⁶⁾. In einem lokalen Werkzeugspeicher⁸⁷⁾ kann für die maschinelle Bearbeitung von Werkstücken eine größere Anzahl von Werkzeugen bereitgehalten werden. Über eine weitere Schnittstelle lassen sich der Bearbeitungsstation neue Werkzeuge zuführen oder alte Werkzeuge, die dort nicht mehr benötigt werden, abziehen⁸⁸⁾.

Der Bearbeitungsbegriff wird keineswegs auf die Bearbeitung im Sinne der Teilefertigung eingeschränkt. Vielmehr umfaßt er auch die Teilemontage. Darüber hinaus lassen sich weitere Operationen in den Bearbeitungsbegriff einbeziehen, die zur Werkstückbearbeitung im weitesten Sinne ebenso erforderlich sind⁸⁹⁾. Dazu gehören z.B. das Auf-, Um- und Abspannen von Werkstücken⁹⁰⁾ sowie die Überprüfung der Werkstückqualität⁹¹⁾. Bearbeitungsstationen umfassen daher auch Montage-, Spann-⁹²⁾ oder Prüfarbeitsplätze⁹³⁾. Schließlich werden zu den Operationen, die an einer Bearbeitungsstation ausgeführt werden können, auch alle Rüstoperationen⁹⁴⁾ gezählt. Sie betreffen zumeist das Einrichten von Bearbeitungsmaschinen. Sie können sich aber auch auf die Vorbereitung von Werkzeugen erstrecken. Insbesondere in Flexiblen Fertigungssystemen tritt des öfteren der Fall ein, daß einzelne Bearbeitungsstationen ausschließlich auf die Werkzeugvorbereitung spezialisiert sind⁹⁵⁾.

Neben den Bearbeitungs- werden auch Lagerstationen⁹⁶⁾ als ortsfeste Objektart berücksichtigt⁹⁷⁾. Sie sind für eine vollständige Modellierung von Produktionssystemen aus drei Gründen erforderlich⁹⁸⁾. Erstens werden sie benötigt, um den Verbleib von Werkstücken oder -zeugen abbilden zu können, die sich weder an Bearbeitungsstationen noch auf dem Transport befinden. Dies gilt insbesondere auch an den Schnittstellen eines Produktionssystems zu seinem Umssystem, an denen sich Werkstücke entweder als Vorprodukte vor Beginn ihrer Bearbeitung oder aber als Endprodukte nach Abschluß ihrer Bearbeitung befinden⁹⁹⁾. Zweitens können Werkstück- und Werkzeuglager¹⁰⁰⁾ durch ihre Kapazitäten für die Objektaufnahme die Koordinierungsoptionen bei der Ausführung von Produktionsprozessen einschränken. Dies gilt insbesondere für Zwischenlager mit geringen Pufferkapazitäten¹⁰¹⁾. Drittens ist es möglich, daß Lagerstationen über ihre internen Strategien für die Objektvorhaltung sowie für die Objektein- und -auslagerung die Prozeßkoordinierung beeinflussen¹⁰²⁾.

Transportmittel¹⁰³⁾ werden bei konventionellen Modellierungen von Maschinenbelegungs- oder werkstattorientierten Ablaufplanungsproblemen im allgemeinen nicht berücksichtigt. Dennoch kann das Transportsystem¹⁰⁴⁾, das von den Transportmitteln und ihren Transportwegen¹⁰⁵⁾ innerhalb eines Produktionssystems konstituiert wird, eine wichtige Rolle spielen. Dies trifft insbesondere auf die hier interessierenden Flexiblen Fertigungssysteme zu¹⁰⁶⁾. Denn ihre Transportsysteme konstituieren zwei besondere Flexibilitätsdimensionen. Erstens können Transportobjekte zwischen beliebigen Übergabepunkten¹⁰⁷⁾ von Bearbeitungs- oder Lagerstationen transportiert werden¹⁰⁸⁾. Zweitens existieren zwischen je zwei Übergabepunkten zumeist mehrere technisch mögliche Transportwege¹⁰⁹⁾.

Die Übergabepunkte¹¹⁰⁾ von Bearbeitungs- und Lagerstationen besitzen die Funktion einer Beladeposition, wenn an ihnen ein Transportmittel mit einem Transportobjekt beladen werden soll. Sie stellen dagegen eine Entladeposition dar, falls an ihnen ein Transportmittel sein Transportobjekt entladen soll¹¹¹⁾. Neben den Übergabepunkten können auch zusätzliche Meldpunkte vorgesehen werden, an denen ein vorbeikommendes Transportmittel registriert wird¹¹²⁾. Schließlich lassen sich besondere Ruhepunkte als Parkpositionen¹¹³⁾ auszeichnen, an denen die Trans-

portmittel verharren sollen, wenn sie nach der Erfüllung eines Transportauftrags auf einen neuen Transportauftrag warten¹¹⁴). Übergabe-, Melde- und Ruhepunkte bilden die Gesamtheit aller Transportpositionen¹¹⁵). Solange sich ein Transportmittel an einer dieser Transportpositionen befindet, ist sein Aufenthalt wohlbestimmt. Andernfalls ist nur bekannt, daß sich ein Transportmittel in der Umgebung derjenigen Transportposition befindet, an der es sich zuletzt befunden hat¹¹⁶).

Durch einen Transportauftrag wird einem Transportmittel genau ein¹¹⁷) Transportobjekt zugeordnet¹¹⁸). Es lassen sich sowohl Werkstücke¹¹⁹) als auch Werkzeuge¹²⁰) transportieren¹²¹). Die Transportkosten, die für den Werkstück- oder Werkzeugtransfer zwischen den Übergabepunkten anfallen, können in Flexiblen Fertigungssystemen einen bedeutsamen Anteil an den gesamten Kosten für die Koordinierung und Ausführung von Produktionsprozessen erreichen¹²²). Daher wird der Modellierung des Transportsystems in dieser Arbeit größere Beachtung geschenkt¹²³).

Die Koordinierung von Produktionsprozessen, die in einem Produktionssystem ausgeführt werden sollen, wird ebenso durch die Eigenschaften und Verhaltensweisen der dort tätigen Arbeitskräfte¹²⁴) beeinflusst¹²⁵). Um diese Aspekte zu erfassen, wird eine eigenständige Objektart "Arbeitskräfte" eingeführt¹²⁶). Diese Konzeptualisierung könnte irritieren. Denn sie steht im Gegensatz zur vorherrschenden produktionswirtschaftlichen Auffassung, nur die Arbeitsleistungen als Produktionsfaktoren zu betrachten¹²⁷). Statt dessen werden hier die realen Träger dieser Arbeitsleistungen, die Arbeitskräfte selbst, als modellierungsrelevante "Objekte"¹²⁸) angesetzt. Dies erfolgt im wesentlichen¹²⁹) aus zwei Gründen. Erstens läßt sich der Mobilitätsaspekt, dem zufolge die gleiche Arbeitsleistung durch einen Arbeitsplatzwechsel von derselben Arbeitskraft an unterschiedlichen Bearbeitungsstationen erbracht werden kann, durch direkte Bezugnahme auf die betroffene Arbeitskraft besonders transparent modellieren¹³⁰). Es wirkt sich abermals die Eigenart des Petrinetz-Konzepts aus, der unmittelbaren Repräsentation beweglicher Objekte besondere Aufmerksamkeit zuteil werden zu lassen. Zweitens können auch koordinierungsrelevante Eigenschaften von Arbeitskräften erfaßt werden, die sich einer direkten Zuordnung zu Arbeitsleistungen entziehen. Dazu gehört z.B. der Aspekt, ob eine Arbeitskraft ihre vorgesehene Arbeitsleistung aktuell zu erbringen vermag oder ob sie daran - etwa infolge einer persönlichen Verteilzeit - gehindert ist. Insofern bietet der Arbeitskraftbezug ein größeres, realitätsnäheres Modellierungspotential als die alternative Bezugnahme auf Arbeitsleistungen.

Auch die Objektart "Werkstücke" weicht von den sonst üblichen Faktorarten "Werkstoffe"¹³¹) ab. Dies beruht auf zwei Gründen. Zunächst wird der Werkstückbegriff hier sowohl weiter als auch enger gefaßt als der produktionswirtschaftliche Werkstoffbegriff: Einerseits werden als Werkstücke alle konkreten Objekte¹³²) betrachtet, die es zur Abwicklung eines Produktionsauftrags zu be- oder verarbeiten¹³³) gilt¹³⁴). Damit umfassen sie auch die beigestellten Faktoren¹³⁵). Sie werden zwar bearbeitet, bedeuten aber als externe Faktoren aus produktionswirtschaftlicher Sicht keinen Wertverzehr und werden daher nicht zu den Werkstoffen gerechnet. Andererseits werden hier grundsätzlich nur solche Werkstoffe oder beigestellten Faktoren als Werkstücke berücksichtigt, die in der Gestalt von Stückgütern¹³⁶) konzeptualisiert werden. Dies beruht auf einer zweiten Eigenart des Petrinetz-Konzepts¹³⁷), grundsätzlich nur diskrete Objekte direkt¹³⁸) erfassen zu können¹³⁹). Daher werden aus den Werkstückbegriff alle Objektfaktoren ausgeschlossen, die einem kontinuierlich konzeptualisierten Verzehr unterliegen¹⁴⁰).

Über die vorgenannten Besonderheiten hinaus weicht die Objektart "Werkstück" noch aus einer weiteren, unabhängigen Perspektive von der Faktorart "Werkstoffe" ab. Denn die Werkstücke, die am Ende der vollständigen Abwicklung eines Produktionsauftrags im Produktionssystem vorliegen, fallen als Produkte¹⁴¹) aus jeder faktororientierten Objektsystematisierung heraus¹⁴²). Dennoch kann es sich bei solchen Produkten um die gleichen, lediglich hinsichtlich einzelner Eigenschaften modifizierten Objekte handeln, die zuvor durch das Produktionssystem geschleust und dabei als Werkstoffe bearbeitet worden sind¹⁴³). Daher besteht aus objektorientierter Perspektive kein grundsätzlicher Unterschied zwischen Werkstoffen und Produkten¹⁴⁴). An die-

sen Sachverhalt knüpft das hier vorgelegte Modellierungskonzept auf der Basis von Petrinetzen an. Es zeichnet sich u.a. dadurch aus, daß die Modellierung konkreter Objekte im wesentlichen von der realen Existenz dieser Objekte - nicht aber von deren begrifflicher Einordnung als Produktionsfaktoren oder Produkte - geprägt wird¹⁴⁵⁾. Daher werden als Modellierungsobjekte einzelne Werkstücke ausgewählt¹⁴⁶⁾.

Werkstücke fließen bei der Ausführung von Produktionsprozessen durch ein Produktionssystem¹⁴⁷⁾. Dabei bewahren sie ihre Identität als Objekte der Art "Werkstück" unabhängig davon, ob sie entweder als Produktionsfaktoren ("Werkstoffe") oder aber als Produkte wahrgenommen werden. Aufgrund dieser weiten Auslegung des Werkstückbegriffs ist es möglich, später Produktionssysteme so zu modellieren, daß jedem Produktionsprozeß, der zur Abwicklung eines *abstrakten* Objekts der Art "Auftrag" dient, ein auftragspezifischer Fluß von *konkreten* Objekten der Art "Werkstück" durch das Produktionssystem entspricht. Dadurch werden auftragsbezogene Modellierungsaspekte - etwa die Überwachung des Auftragsfortschritts - auf wohldefinierte Weise mit Ereignissen im zugrundeliegenden Produktionssystem verknüpft. Dies ist insofern bemerkenswert, als eine eigenständige Auftragskonzeptualisierung in der o.a. konventionellen Strukturierung flexibler Fertigungssysteme überhaupt nicht vorgesehen ist. Darüber hinaus gestattet die Verknüpfung von Auftragsabwicklungen mit Werkstückflüssen, eine Besonderheit des Petrinetz-Konzepts zu veranschaulichen: Sie liegt darin, verschiedenartige Problemsichten - hier: eine auftrags- und eine werkstückbezogene Perspektive - in einem homogenen Modellierungsansatz zu integrieren.

Die Unterscheidung zwischen Aufträgen und auftragszugehörigen Werkstücken¹⁴⁸⁾ gestattet es, bei der Prozeßkoordinierung in flexiblen Fertigungssystemen einen besonderen Freiheitsgrad auszunutzen. Er betrifft alle Aufträge mit nicht-degenerierten Losgrößen¹⁴⁹⁾. Ihre Abwicklung erfordert jeweils die Bearbeitung von *mehreren* auftragspezifischen Werkstückkomplexen¹⁵⁰⁾. Unter diesen Umständen ist es möglich, die Prozeßkoordinierung so auszugestalten, daß die Werkstückkomplexe desselben Auftrags weder die gleichen Bearbeitungsstationen anzulaufen noch dabei die gleichen Wege durch das Produktionssystem einzuschlagen brauchen¹⁵¹⁾. Auf diese Weise können unterschiedliche Werkstückkomplexe auf verschiedene Weise bearbeitet und transportiert werden, obwohl sie zum Los desselben Auftrags gehören.

Neben den Werkstücken werden Werkzeuge¹⁵²⁾ als eine Objektart *sui generis* behandelt. Dabei wird der Werkzeugbegriff¹⁵³⁾ von vornherein so weit ausgelegt, daß er sich auf alle Fertigungshilfsmittel¹⁵⁴⁾ erstreckt, die in einem Produktionssystem vorgehalten werden. Dazu gehören z.B. auch Prüfmittel¹⁵⁵⁾. In flexiblen Fertigungssystemen besteht oftmals die Möglichkeit, Werkzeuge nicht einzelnen Bearbeitungsstationen fest zuzuordnen, sondern bedarfsabhängig über ein Transportsystem zu unterschiedlichen Bearbeitungsstationen zu bringen¹⁵⁶⁾. Im Gegensatz zur oben erwähnten konventionellen Strukturierung flexibler Fertigungssysteme werden die Werkzeuge daher nicht implizit einem Bearbeitungssystem zugeschlagen. Statt dessen werden sie als eigenständige, mobile Objektart modelliert. Daher können sie zwischen den Bearbeitungs- und Lagerstationen ähnlich Werkstücken mit der Hilfe von Transportmitteln ausgetauscht werden¹⁵⁷⁾.

Schließlich wird noch global auf jene Faktorarten hingewiesen, die im Rahmen vollständiger Faktorsystematiken berücksichtigt werden, aber in diese Arbeit nicht als eigenständige Objektarten Eingang finden. Ihre explizite Vernachlässigung kann auf jeweils einen von drei Gründen zurückgeführt werden. Entweder handelt es sich um Faktorarten, die für das hier interessierende Problem - die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen - keine Modellierungsrelevanz erkennen lassen. Dies trifft z.B. für die Faktorarten "Grundstücke" oder "Gebäude" zu¹⁵⁸⁾. Oder die Faktorarten können aufgrund der Eigenarten des Petrinetz-Konzepts nicht direkt erfaßt werden, obwohl sie für die Modellierung solcher Koordinierungsprobleme interessant erscheinen. Das gilt vor allem für die Faktorart "Energie"¹⁵⁹⁾, sofern ihr Verzehr auf einer kontinuierlichen Skala gemessen wird¹⁶⁰⁾. Denn wegen der Einschränkung auf diskret konzeptualisierte Objektarten ist es grundsätzlich ausgeschlossen, einen solchen kontinuierlichen Faktor-

verbrauch unmittelbar zu repräsentieren¹⁶¹). Schließlich kann eine Faktorart auch deswegen unberücksichtigt bleiben, weil sie sich ohne Schwierigkeiten in der gleichen Weise wie eine andere, als eigenständige Objektart erfaßte Faktorart modellieren läßt¹⁶²). Dies trifft z.B. auf Fertigungsmodelle, Gußformen oder Schablonen zu. Sie werden zwar oftmals nicht als Werkzeuge im engeren Sinn betrachtet. Doch können sie in Koordinierungsmodellen genau so wie die o.a. Werkzeuge behandelt werden¹⁶³).

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Bei sehr weiter Fassung des Objektbegriffs verhalten sich alle Systemstrukturierungen - auch diejenigen, die anlässlich betriebswirtschaftlicher Modellierungen erfolgen, - objektbezogen. Dies ist für Objekte i.w.S. der Fall. Solche Objekte umfassen alle Entitäten, die wohldefinierte und im Zeitablauf stabile Gegenstände von Modellierungen sind. Ein Modellierungsgegenstand wird als wohldefiniert betrachtet, wenn er inhaltlich konkret bestimmt und hierdurch von anderen Modellierungsgegenständen deutlich unterschieden ist. Hierbei wird vorausgesetzt, daß ein System stets so strukturiert wird, daß jeweils *mehrere* Objekte als Systemkomponenten unterschieden werden. Ein solcher Modellierungsgegenstand verhält sich stabil, wenn er sich aufgrund zeitinvariant gültiger Gegenstandsmerkmale (substantielle Attribute) als mit sich selbst identisch wiedererkennen läßt, obwohl sich andere Gegenstandsmerkmale im Zeitablauf verändern können (akzidentielle Attribute). Dies erlaubt insbesondere auch, im Interesse des oben gerechtfertigten multiparadigmatischen Ansatzes denselben Gegenstand aus unterschiedlichen Perspektiven mit verschiedenen, jeweils perspektivenabhängigen Merkmalen wahrzunehmen. Dies wird später z.B. durch das Konzept multipler Sortendefinition ausgenutzt. Dabei wird stets die Kenntnis substantieller Attribute unterstellt, die den modellierten Gegenstand trotz variierender Sichtweisen als mit sich selbst identisch erkennen lassen. Die Problematik, diese substanziellen Attribute im einzelnen zu konkretisieren, wird in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt, ohne sie grundsätzlich zu verkennen. Vgl. zur Thematisierung substanzieller und akzidentieller Attribute im Rahmen des objektorientierten Ansatzes auch DORN (1989), S. 67f. (als Unterscheidung zwischen festen und veränderbaren Attributen).

Vgl. zu ähnlich weit gespannten Objektauffassungen von WEIZÄCKER (1985), S. 86 ("Objekte nennen wir gewisse Ausschnitte aus der Welt, auf die wir unser Augenmerk richten und die durch zeitüberbrückende Fragen charakterisiert werden können."; kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen); LINDGREEN (1987), S. 120f. u. 126ff. (dort werden Objekte als "entities" thematisiert); DORN (1989), S. 67 ("Objekte ... sind ... sinnlich feststellbare Gegenstände, die eine Lebenszeit besitzen."; kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen); ESTER (1989), S. 109 ("Wir verstehen ... unter Objekten alle Dinge aus dem relevanten Weltausschnitt ..., die ... dargestellt werden sollen und identifiziert, d.h. voneinander unterschieden werden können."; Unterstreichung im Original hier vernachlässigt). Den Aspekt der Identität von Objekten bringt vor allem BAUMEISTER, H. (1987), S. 241, zum Ausdruck: "Objekte ... bezeichnen ... eigenständige Einheiten mit ... einer *eigenen Identität*" (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Hinsichtlich des Identitätsaspekts fallen Objekte mit dem Systembegriff von LUHMANN (1968), S. 1, zusammen, der als ein "System jedes Wirklich-Seiende [betrachtet], das sich ... in einer ... veränderlichen ... Umwelt identisch hält" (Ergänzung [...] durch den Verf.). Die Objektcharakteristik, einen zeitlich stabilen Modellierungsgegenstand trotz wandelnder Gegenstandsaspekte darzustellen, klingt auch in der Objektdefinition von FERBER (1988a) an: "objects are implementation of various viewpoints that denote things." (S. 73), "Objects are reified concepts, i.e. they serve as implementation of concepts." (S. 74) und: "objects are implementations of concepts, and denote ... entity of the external world." (S. 76). Dabei entsprechen "things" und "entity" einem Modellierungsgegenstand, während "viewpoints" und "concepts" die unterschiedlichen Sichtweisen desselben Gegenstands wiedergeben. Allerdings muß dabei beachtet werden, daß strenggenommen nicht die "objects" selbst dem hier verwendeten Objektbegriff entsprechen, sondern jeweils eine ganze Klasse solcher "objects". Denn erst eine solche Objektklasse faßt alle "viewpoints" und "concepts" zu einer gedanklichen Einheit - dem Objekt i.w.S. - zusammen.

Der Objektbegriff i.w.S. erweist sich jedoch als unfruchtbar, weil er infolge seiner Allgemeingültigkeit keinen Ansatzpunkt für die Differenzierung zwischen Strukturierungskonzepten bietet. Vgl. dazu die analoge Kritik von LINDGREEN (1987), S. 121 (allerdings in bezug auf den "entity"-Begriff). Daher werden hier unter Objekten i.e.S. nur solche Entitäten verstanden, die den Objektbegriff i.w.S. erfüllen und die sich zusätzlich als *abgeschlossen* erweisen. Ein Objekt heißt abgeschlossen, wenn es bei der Konzeptualisierung eines Realproblems gedanklich als Einheit behandelt wird, die ohne Bezugnahme auf andere Entitäten einen objektspezifischen Realitätsausschnitt abbildet. Dieser Abgeschlossenheitsaspekt klingt in dem Zitat von BAUMEISTER, H. (1987), S. 241, an, das schon oben erwähnt wurde: "Objekte ... bezeichnen ... *eigenständige Einheiten*" (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Vgl. auch BARR, R. (1989), S. 24 ("encapsulation of each object in the design ... the ability to consider each object as an *independent entity*"; kursive Hervorhebung hier abweichend vom Original). Aus diesem Blickwinkel zeichnen sich Objekte i.e.S. durch ihre eigenständige, von anderen Objekten unabhängige Existenzmöglichkeit aus. Der Objektbegriff i.e.S. wird später bei der Konzeptualisierung von sortierten Marken, die eine zentrale Rolle für Synthetische Netze spielen, wiederaufgenommen und dabei mit dem datenbankorientierten Begriff des "Entity" verknüpft. Fortan wird unter einem Objekt stets die Variante des Objekts i.e.S. verstanden, sofern nicht ausdrücklich andere Festlegungen erfolgen.

Der Objektbegriff i.e.S. ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht keineswegs selbstverständlich. So erfüllen Modellierungen, die auf dem OR-Ansatz der Linearen Optimierung beruhen, zwar den Objektbegriff i.w.S., nicht aber den i.e.S. Denn diese Modellierungen setzen eine termbezogene Systemstrukturierung voraus. (Der Termbegriff wird später präzisiert. Hier wird er in einer ersten intuitiven Annäherung als Oberbegriff für Konstanten und Variablen verstanden.) Terme stellen formale Objekte i.w.S. dar, die sich keineswegs als abgeschlossen erweisen müssen. Dies läßt sich am Beispiel einer Programmplanung verdeutlichen, die auf dem Linearen Optimierungsansatz beruht (vgl. z.B. KERN, W. (1990a), S. 143ff.). Dort bildet der Term d_j mit der Bedeutung "Stückdeckungsbeitrag des Produktes

P_j ein formales Objekt i.w.S. Dieser Term verhält sich aber nicht abgeschlossen, weil die vollständige Abbildung des Realitätsausschnitts "Produkt P_j " beispielsweise auch dessen Kapazitätsinanspruchnahme umfassen müßte. Diese wird jedoch nicht durch den Term d_j , sondern durch einen *anderen* Term abgebildet. Darüber hinaus ist die gedankliche Einheit "Produkt P_j ", die dieser Modellierung implizit zugrundeliegt, noch nicht einmal ein selbständig konzeptualisiertes Objekt der Modellierung. Statt dessen erscheint sie als produktverweisender Index "j" über mehrere produktabbildende Terme verstreut. Bei einem objektorientierten Strukturierungsansatz würde dagegen das Produkt P_j selbst als ein Objekt (i.e.S.) konzeptualisiert, dem alle produktspezifischen Eigenschaften - wie die vorgenannten Einflußgrößen Stückdeckungsbeitrag und Kapazitätsinanspruchnahme - als Objektattribute zugeordnet werden. Vgl. dazu die spätere Modellierung von Produkteinheiten im Rahmen der Fallstudie zum Petrinetz-Konzept. Sie wird mit der Hilfe von produktrepräsentierenden Marken dem objektorientierten Strukturierungsansatz gerecht. Vgl. ebenso BERNDT (1987), S. 106. Dort wird die Einfachheit von objektorientierten Modellierungen darauf zurückgeführt, daß sich alle relevanten Aspekte ("Funktionen") eines Erkenntnisobjekts in nur einem modellierten Objekt vereinigen lassen. Dies ist bei der oben angeführten "Verstreuung" von Objektaspekten über unterschiedliche Terme nicht der Fall.

Einen abweichenden, hier nicht weiter thematisierten Ansatz, Objekte als formale Entitäten zu definieren, haben BANCILHON und KHOSHAFIAN in BANCILHON (1986), S. 53ff., vorgestellt. Ebenso nicht weiterverfolgt wird der Objektbegriff der objektorientierten Programmierung in der Fassung von MOSNER (1991), S. 139 ("Objekte sind ... kleine Computer, mit eigenem Speicher ... und eigenen Programmen ..., die durch externe Nachrichten gestartet werden.").

2) Der objektorientierte Gestaltungsansatz wurde vorrangig seitens der Informatik entwickelt. Er erschöpft sich keineswegs im Objektbegriff. Vielmehr zeichnet er sich durch ein reichhaltiges Spektrum von Ideen für die systematische Gestaltung von einzelnen Objekten und ihren Zusammenhängen aus. Diese Ideen im einzelnen darzulegen, übersteigt den Rahmen dieser Ausarbeitung. Statt dessen wird hier nur kurz auf drei Gestaltungsideen des objektorientierten Ansatzes hingewiesen, die in dieser Arbeit explizit aufgegriffen werden: die Dominanz des Objekt- zu Lasten des Relationsbegriffs, die Kombination von Objekten mit Operationen, die auf die Objekte angewendet werden können und die Vererbung von Objekteigenschaften. Eine vertiefende Darstellung des objektorientierten Gestaltungsansatzes bietet z.B. RICHTER, M.M. (1989b), S. 139ff. Besonders kompakte, aber dennoch präzise Kurzcharakterisierungen der Objektorientierung finden sich bei WAND (1989), S. 548; MOSNER (1991), S. 139. Dagegen hat WAND (1989), S. 539ff., eine tiefschürfende ontologische Basis für den objektorientierten Gestaltungsansatz präsentiert. Sie lehnt sich eng an die philosophische Arbeit von BUNGE (1977) an (vgl. WAND (1989), S. 538f., insbesondere Fn. 2 auf S. 539) und wird später auf die zuvor erwähnten Kurzcharakterisierungen der Objektorientierung angewandt (vgl. WAND (1989), S. 48ff.). Vgl. darüber hinaus die Erläuterungen der Quellen, die in einer späteren Anmerkung die weitreichende Objektorientierung der Informatik belegen. Die Gesamtheit der Gestaltungsideen, die dort in objektbezogener Weise entfaltet sind, werden fortan auch kurz als informationstechnische Objektorientierung angesprochen.

3) Der objektorientierte Strukturierungsansatz wird nachfolgend nur von jenen Strukturierungsvorstellungen abgegrenzt, die in den Beiträgen des systemtheoretischen Paradigmas allgemein üblich sind. Der Einfachheit halber werden diese Beiträge im folgenden der "konventionellen" Systemtheorie zugerechnet. Darüber hinaus weicht der objektorientierte Strukturierungsansatz in mancher Hinsicht auch von jenen Strukturierungsgewohnheiten ab, die im Rahmen der Informatik unter dem Signet der Objektorientierung thematisiert werden. Da in der hier vorgelegten Ausarbeitung die produktionswirtschaftliche gegenüber der informationstechnischen Perspektive dominiert, wird aber darauf verzichtet, den objektorientierten Strukturierungsansatz mit der informationstechnischen Objektorientierung detailliert zu vergleichen.

Lediglich auf einige wesentliche Aspekte wird kurz hingewiesen: Einerseits werden aus der informationstechnischen Objektorientierung die reichhaltige innere Strukturierung und die operationsbedingte innere Dynamik von Objekten übernommen. Andererseits rechnen drei andere Charakteristika der informationstechnischen Objektorientierung nicht zu den Konstitutiva der objektorientierten Systemstrukturierung: die objektinternen Informationsspeicher in der Gestalt von Instanzvariablen, die Vererbung von Objekteigenschaften in hierarchisch angeordneten Objektklassen und die Kommunikation zwischen Objekten durch den Austausch von Nachrichten. Dieser Ausschluß folgt zwangsläufig aus der systemtheoretischen Grundausrichtung, an der hier innerhalb einer objektorientierten Systemstrukturierung weiterhin festgehalten wird. Denn der systemtheoretischen Perspektive liegt eine fundamentale Dichotomie zwischen Objekten (Elementen) und Relationen über diesen Objekten zugrunde. In diese Dichotomie lassen sich keine Informationsspeicher, Eigenschaftsvererbungen oder nachrichtenvermittelte Objektkommunikationen kohärent einbetten. Daher werden diese drei Eigenarten nicht in die Definition der objektorientierten Systemstrukturierung aufgenommen. Dies schließt aber keineswegs aus, z.B. objektinterne Informationsspeicher, Eigenschaftsvererbungen und nachrichtenvermittelte Objektkommunikationen als nicht-konstitutive, aber akzidentielle Facetten von objektorientiert strukturierten Produktionssystemen zu berücksichtigen. Beispielsweise lassen sich Informationsspeicher aus systemtheoretischer Perspektive dadurch verwirklichen, daß sie als Subobjekte in das jeweils betrachtete Objekt eingebettet werden. Auf weitere, aber weniger wichtige Abweichungen von der informationstechnischen Objektorientierung wird im jeweils relevanten Argumentationskontext hingewiesen wer-

den. Vgl. dazu z.B. den Hinweis in einer späteren Anmerkung, daß die objektorientierte Systemstrukturierung der einseitigen Objektdominanz der informationstechnischen Ansätze nicht folgt.

Darüber hinaus weicht der Verf. auch noch in einer anderen wesentlichen Hinsicht vom objektorientierten Strukturierungsansatz ab. Dort dominiert das Denken in der Kategorie "Objekt" so stark, daß die strenge Unterscheidung zwischen Objekten einerseits und Relationen über diesen Objekten andererseits zugunsten des Objektbegriffs aufgehoben wird. Dabei spielen zwei Aspekte zusammen. Erstens werden Beziehungen zwischen Objekten auf Konzeptualisierungsebenen höherer Ordnung als Objekte *sui generis* betrachtet. Diese zusammengesetzten oder "relationalen" Objekte können ihrerseits Eigenschaften besitzen und Beziehungen untereinander eingehen. Jene Beziehungen lassen sich wiederum als Objekte eigener Art behandeln usw. Zweitens läßt sich jede Menge aus gleichartigen Objekten als ein eigenständiges abstraktes Objekt ansehen. Zugleich werden die zugrundeliegenden gleichartigen Objekte als "Instanziierungen" des abstrakten Objekts aufgefaßt. Das abstrakte Objekt wird oftmals als "generisches" Objekt oder als Objektklasse thematisiert. Aus der Perspektive von Datenmodellierungen wird auch von einem Entity- oder Objekttyp geredet. Das abstrakte Objekt besitzt die Qualität einer einstelligen Relation, falls es sich bei den zusammengefaßten Objekten um gleichartige atomare Objekte handelt. Ebenso ist es möglich, daß das abstrakte Objekt eine mehrstellige Relation darstellt. Im diesem zweiten Fall ist das abstrakte Objekt eine Menge aus gleichartigen zusammengesetzten Objekten. Die zusammengesetzten Objekte sind die zuerst erwähnten relationalen Objekte, also Beziehungen (Relationships) zwischen anderen Objekten. Das abstrakte, mengenartige Objekt wird dann auch als ein Beziehungstyp (Relationshipset) bezeichnet. Folglich lassen sich sowohl alle ein- als auch alle mehrstelligen Relationen als abstrakte Objekte wiedergeben. Vgl. BANCILHON (1986), S. 54; ALAGIC (1986), S. 3 ("Relationships among objects ... may themselves be viewed as abstract objects."); SCHEER (1991d), S. 124 ("grundsätzlich jedes Informationsobjekt (also auch Beziehungstyp) als Objekttyp in Frage kommen kann"). Auch beim Konzept relationaler Datenbankarchitekturen klingt die Tendenz an, Relationen als Objekte zu behandeln: Dort lassen sich auf ein- und mehrstellige Relationen die Operationen der Relationenaggregation bzw. -generalisierung anwenden. Vgl. SMITH, J.M. (1977), S. 106. Durch diese Operationen erhalten die betroffenen Relationen Objektcharakter. Das eng verwandte Entity-Relationship-Konzept läßt es ebenso zu, ein- und mehrstellige Relationen als abstrakte Objekte zu behandeln: Einerseits werden Entitytypen (einstellige Relationen) zu komplexen (abstrakten) Objekten zusammengefaßt; vgl. SCHEER (1991d), S. 36. Andererseits werden Beziehungstypen (mehrstellige Relationen) zu Entitytypen "uminterpretiert"; vgl. SCHEER (1991d), S. 22, 36, 52 u. 72. Die Entitytypen stellen wiederum komplexe (abstrakte) Objekte dar. Auf relationale Datenbankarchitekturen und Entity-Relationship-Konzept wird später noch näher eingegangen.

Da der objektorientierte Ansatz alle Relationen als abstrakte Objekte behandelt, bleibt neben dem Objektbegriff nur noch der Begriff der Objekteigenschaft erhalten. Objektmengen und Beziehungen zwischen Objekten gehen dagegen im Objektbegriff auf. Daher erfolgt eine nahezu totale "Objektifizierung" des gesamten Erkenntnisbereichs. Noch weiter geht VON ZIMMERMANN (1990), S. 253. Er konzeptualisiert sogar ausgesuchte Objekteigenschaften ("Attribute") als selbständige Objekte. Die voranstehend skizzierte Objektdominanz schlägt sich in entsprechenden Homogenitätsfeststellungen nieder. Vgl. WAND (1989), S. 549 ("Homogeneity implies that everything is an object."); VON ZIMMERMANN (1990), S. 240 ("Das gesamte ...system besteht nur aus Objekten ..."). Der "objektifizierenden" Eigenart des objektorientierten Strukturierungsansatzes folgt der Verf. jedoch nicht. Statt dessen hält er daran fest, zwischen Objekten und Relationen als gleichwertigen Strukturierungskategorien zu unterscheiden. Eine tiefere Rechtfertigung dieses Verzichts auf eine umfassende "Objektifizierung" wird später anläßlich der Kritik am diffusen Objektbegriff von Prädikat/Transition-Netzen angedeutet: Die dort vorgetragene Rückführung des Objektbegriffs auf Entitäten aus einem zu modellierenden Realitätsausschnitt, die selbständig und dauerhaft existieren können (Persistenzprinzip), verträgt sich nicht mit der Vorstellung, einer Beziehung zwischen oder einer Menge von Objekten selbst einen Objektcharakter zuzubilligen. Denn solche Objektbeziehungen bzw. -mengen sind weder selbständig noch dauerhaft definiert. Vielmehr hängen sie von den jeweils aufeinander bezogenen bzw. miteinander zusammengefaßten Objekten ab und können auch wieder aufgelöst werden. Vgl. WAND (1989), S. 549f. u. 557. Er vertieft die Kritik an der übertriebenen Objektfokussierung, die den objektorientierten Gestaltungsansätzen zugrundeliegt, u.a. anhand eines Zirkularitätsvorwurfs (S. 549 u. 557). Darüber hinaus entspricht die Dichotomie zwischen Objekten und Relationen, die hier bevorzugt wird, der zugrundeliegenden Systemdefinition aus dem voranstehenden Kapitel. Dadurch wird die Kohärenz des Argumentationszusammenhangs gestärkt.

4) Der objektorientierte Gestaltungsansatz wird in informationstechnischen Argumentationskontexten unter vielfach variierenden Bezeichnungen thematisiert. Im Vordergrund stehen dabei das objektorientierte Programmieren (z.B. mittels der Programmiersprachen SMALLTALK-80 oder SIMULA), die objektorientierten Simulationssysteme, die objektorientierten Datenbankschemata und die objektorientierten Softwareentwurfskonzepte (wie z.B. HOOD). Vgl. dazu WEDEKIND (1979a), S. 367ff.; WEDEKIND (1980), S. 663ff.; o.V. (1981b), S. 36ff.; ROBSON (1981), S. 76ff.; SCHEFE (1982), S. 46ff. u. 53ff.; HARMON (1985), S. 44ff.; GERO (1985), S. 54ff.; KAISERS (1985), S. 22ff.; GROB, E. (1986), S. 184ff.; GITTINS, M. (1986), S. 250ff.; SCHNEIDER, M. (1986), S. 197ff.; HÖSS (1986), S. 3ff.; VON DER HERBERG (1986), S. 4ff.; BECKSTEIN (1986), S. 312ff.; GRANT, T. (1986), S. 12ff.; ALEXANDER, J.H. (1986), S. 963ff.; BECKSTEIN (1987), S. 52ff.; SCHARF, A. (1987), S. 25ff.; BERNDT (1987), S. 105ff.; CASPER (1987), S. 70ff.; YOUNG, R.L. (1987), S. 52ff.; BAUMEISTER, H. (1987), S. 241ff.; SCHMIDT, J.W. (1987), S. 5ff.; HOLDEN (1987), S. 26ff.; BARTH, G. (1988a), S. 404ff.; BECKSTEIN (1988b), S. 14ff.; FERBER (1988a), S. 73ff.; ROCHE (1988), S. 4ff.;

PRACHT (1988), S. 145ff.; AHRENS, W. (1988), S. 499ff., insbesondere S. 502ff.; BURNS, J. (1988), S. 1429ff.; HEINZ, A. (1988), S. 42ff.; GEBHARDT, R. (1988), S. 51ff.; ZIEGLER, J. (1988), S. 238ff.; SCHMITZ, L. (1988a), S. 46ff.; SCHMITZ, L. (1988b), S. 52ff.; JARKE (1989b), S. 2ff.; DADAM (1989), S. 66ff.; DITTRICH, K. (1989), S. 215ff.; ROGGENBUCK (1989), S. 182ff.; HEB (1989), S. 76f.; DORN (1989), S. 13 u. 67ff.; O.V. (1989j), S. 29; TEMPELMEIER, T. (1990), S. 34ff.; MOSNER (1991), S. 138ff.; sowie die Beiträge in dem Sammelwerk DEMONGEOT (1988), Part 1 (S. 1ff.).

Eine Frühform des objektorientierten Strukturierungsansatzes stellt bereits das relationale Datenbankschema von CODD dar (Näheres dazu später). Dort wird zwar noch nicht explizit von einem objektorientierten Vorgehen gesprochen, doch gelangt das objektorientierte Denken mitunter schon deutlich zum Ausdruck. Vgl. SMITH, J.M. (1977), S. 106; WEDEKIND (1980), S. 663 u. 666. Auch die abstrakten Datentypen, die später im Rahmen des Signaturkonzepts angesprochen werden, stellen einen Vorläufer des objektorientierten Ansatzes dar. Vgl. zu diesem Zusammenhang CASPER (1987), S. 70; BECKSTEIN (1988b), S. 14; HEB (1989), S. 76; KURBEL (1989e), S. 41. Eine relativ weit fortgeschrittene, schon früh präsentierte Ausprägung der objektorientierten Strukturierung von Informationssystemen bietet das Konzept der semantischen Rahmen (frames) für die Wissensrepräsentation. Vgl. zu diesem Repräsentationskonzept MINSKY (1974); MINSKY (1975), S. 211ff.; KUIPERS (1975), S. 152ff.; CHARNIAK (1976b), S. 147ff.; WILKS (1977), S. 193ff.; WINSTON (1979), S. 183ff.; HOFSTADTER (1979), S. 644ff.; BARR, A. (1981), S. 158ff.; WONG, D. (1981), S. 8ff.; RAULEFS (1982a), S. 82f. u. 86ff.; KOBZA (1982), S. 37ff.; FOX, M. (1983a), S. 34ff.; FOX, M. (1983b), S. 112ff.; GRAHAM, N. (1983), S. 200ff.; MYLOPOULOS (1983), S. 150f.; FIKES (1985), S. 904ff.; HARMON (1985), S. 44ff.; BEETZ (1986), S. 46ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 220ff.; RATHKE (1987), S. 65ff.; SLAHER (1988), S. 30ff.; PITRAT (1988), S. 29ff.; REIMER (1989), S. 10ff.; SCHNUPP (1989), S. 122ff.; SPECHT, D. (1989), S. 31ff.; THUY (1989), S. 85ff.; KURBEL (1989e), S. 41ff.; DORN (1989), S. 30ff.; sowie die Beiträge in dem Sammelwerk METZING (1980). Schließlich läßt sich der objektorientierte Strukturierungsansatz auch in das Denkmuster des linguistischen Konstruktivismus einbauen. Diese Forschungsrichtung wurde insbesondere als "Erlanger" oder "Konstanzer Schule" der konstruktiven Wissenschaftstheorie bekannt. Sie zielt darauf ab, aus elementaren, lebensweltlich verankerten Handlungen und ihren umgangssprachlichen Korrelaten die terminologische und logische Struktur von Erkenntniszusammenhängen zu rekonstruieren. Die Ergebnisse dieser Rekonstruktionsleistung sind wiederum wohldefinierte, in sich abgeschlossene, nunmehr sprachlich konstituierte "Objekte". Die inhaltliche Verknüpfung zwischen objektorientierten Datenbankschemata und linguistischem Konstruktivismus wird besonders von WEDEKIND (1979a), S. 367f.; WEDEKIND (1980), S. 666 u. 675f., und SINZIG (1983), S. 93f. u. 103, herausgestellt. Dabei ist es hier nicht erheblich, ob auf relationale Datenbankschemata CODD'scher Prägung oder auf Datenbank-"Entities" Bezug genommen wird. Auf das Forschungsprogramm des linguistischen Konstruktivismus wird in einer späteren Anmerkung noch einmal zurückgekommen.

5) Vgl. z.B. VON ZIMMERMANN (1990), S. 263 (für das betriebliche Rechnungswesen). Der objektorientierte Gestaltungsansatz findet lediglich im Bereich der Wirtschaftsinformatik größere Beachtung. Vgl. SINZIG (1983), S. 93ff.; JAHN (1988), S. 447ff.; KURBEL (1989e), S. 40ff.; CZAP (1989), S. 366ff.; WINTER, RO. (1989a), S. 492ff.; TEMPELMEIER, H. (1989a), S. 30f.; FERSTL (1990), S. 566ff.; VON ZIMMERMANN (1990), S. 239ff., insbesondere S. 246ff.; SCHEER (1991d), S. 120ff. Die vorgenannten Beiträge argumentieren überwiegend vor dem Hintergrund von Informationssystem- oder Datenmodellierungen. Wegen der Nähe zu informationstechnischen Fragestellungen werden die angeführten Quellen hier nicht zur Bearbeitung von "gewöhnlichen" betriebswirtschaftlichen Modellierungsaufgaben gerechnet.

Es wird keineswegs bestritten, daß auch in der Betriebswirtschaftslehre die Thematik "Objektorientierung" breite Beachtung genießt. Dazu gehört einerseits im allgemeinen organisationstheoretischen Rahmen die Diskussion objektorientierter oder divisionaler Organisationsformen. Darauf wurde schon in einer früheren Anmerkung hingewiesen. Andererseits lassen sich aus der speziellen produktionswirtschaftlichen Perspektive, die auch dieser Arbeit zugrundeliegt, ebenso objektorientierte Ansätze identifizieren. Eine "natürliche" Objektorientierung besitzt bereits das traditionelle produktionswirtschaftliche Organisationsprinzip der Fließfertigung. Es wird hier so weit gefaßt, daß es auch die Organisationstypen der Reihen-, Straßen- oder Linienfertigung umfaßt. Vgl. zur Fließfertigung KERN, W. (1990a), S. 91 ("nach dem ... Objektprinzip ... orientierte Fließfertigung") u. 92ff. Vgl. auch zur Hervorhebung der produktionswirtschaftlichen Objekt- und Prozeßorientierung SCHEER (1989h), S. 31 u. 33. Neuerdings erlangen objektorientierte Ansätze im produktionswirtschaftlichen Zusammenhang eine besondere Akzentuierung durch das Konzept der Fertigungssegmentierung. Es wurde schon an früherer Stelle erwähnt. Seine Objektorientierung betonen WILDEMANN (1987c), S. 219f.; WILDEMANN (1988f), S. 37, 155 u. 305; WILDEMANN (1989a), S. 39 ("objektbezogene Spezialisierung") u. 42 ("objektorientierte Fertigungsorganisation"); WARNECKE, H. (1989a), S. 53, und WILDEMANN (1991a), S. 19. Darüber hinaus werden objektorientierte Vorstellungen in dem Entflechtungskonzept von SAINIS (1982), S. 57ff., bei der Vereinfachung komplizierter Produktionsstrukturen angedeutet. Es ist mit dem Konzept der Fertigungssegmentierung eng verwandt. Ebenfalls auf objektorientiertem Denken beruhen die ähnlich angelegten Konzepte des produktorientierten Layouts bei SUZAKI (1987), S. 47ff.; OTERHALS (1988), S. 382f., und der "Focused Factory" bei SKINNER (1974), S. 113ff., insbesondere S. 115 u. 119ff.; SKINNER (1985), S. 71ff., insbesondere S. 72 u. 79ff.

Allerdings stimmen die voranstehend skizzierten "objektorientierten" Ansätze aus Organisationstheorie und Produktionswirtschaft nicht mit den objektorientierten Gestaltungsideen und der objektorientierten Systemstrukturi-

rierung überein, die dieser Arbeit zugrundeliegen. Die "Objektorientierung" stellt daher lediglich eine Äquivokation ohne inhaltliche Entsprechung dar. Denn die vorgenannten organisationstheoretischen und produktionswirtschaftlichen Ansätze orientieren sich an "Objekten" nur insofern, als Objekte - etwa im Gegensatz zu Funktionen - den Ausgangspunkt aller organisatorischen bzw. produktorischen Strukturierungsbemühungen bilden. Die Natur der betroffenen Objekte spielt dagegen keine nennenswerte Rolle. Die informationstechnische Objektorientierung und die objektorientierte Systemstrukturierung zeichnen sich aber gerade dadurch aus, daß sie von einem konzeptionell reichhaltigen Objektbegriff ausgehen und darauf alle anderen Gestaltungs- oder Strukturierungsideen aufbauen. Aufgrund dieser vollkommen unterschiedlichen Behandlung des Objektbegriffs kann von einer betriebswirtschaftlichen Vertrautheit mit der objektorientierten Systemgestaltung, wie sie in diesem Kapitel vorgestellt wird, nicht die Rede sein. Nur zur Verdeutlichung wird auf zwei Aspekte der objektorientierten Systemgestaltung hingewiesen, die in "objektorientierten" betriebswirtschaftlichen Argumentationen unbekannt sind. Einerseits handelt es sich um die enge Verknüpfung von Objekten mit der Gesamtheit aller Operationen, die auf die Objekte angewendet werden dürfen. Ein derart dynamisiertes Objektverständnis findet sich in den o.a. betriebswirtschaftlichen Quellen überhaupt nicht. Andererseits spielt bei der informationstechnischen Objektorientierung die Koordinierung von Objekten durch wechselseitig ausgetauschte Nachrichten eine herausragende Rolle. Eine solche intensive Objektinteraktion ist dagegen den "objektorientierten" betriebswirtschaftlichen Konzepten fremd. Beispielsweise beruhen Fließfertigung und Fertigungssegmentierung im Gegenteil darauf, die Bearbeitungen verschiedenartiger Produkte ("Objekte") möglichst interaktionsfrei voneinander zu separieren.

Erst in jüngster Zeit finden sich auch in der produktionswirtschaftlichen Literatur einige wenige Beiträge, die einer objektorientierten Systemstrukturierung im nachfolgend präzisierten Verständnis gerecht werden. Dazu gehören z.B. YOUNG, R.L. (1987), S. 50ff.; JAHN (1988), S. 447ff.; SPUR (1988b), S. 482f., und LIPP (1991), S. 110f. Besonders interessant erscheinen in dieser Hinsicht die Ausführungen von JAHN (1988). Er zeichnet typische Erkenntnisobjekte aus der Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen - Maschinen, Werkstätten und Aufträge - explizit als "Objekte" aus (S. 447), um auf dieser Grundlage ein objektorientiert strukturiertes Konzept für PPS-Systeme zu entfalten (S. 451ff.). Die gleiche Vorgehensweise findet sich bei LIPP (1991), S. 110f. Darüber hinaus läßt sich aufzeigen, daß eine Reihe produktionswirtschaftlicher Konzepte durchaus mit der objektorientierten Systemstrukturierung vereinbart werden können, obwohl sie sich darauf nicht explizit berufen. So ist es möglich, das Konzept der Netzplantechnik in objektbezogener Weise zu reformulieren. Aus dieser Sicht werden die typischen Vorgänge der Netzplantechnik als Objekte konzeptualisiert. Dabei wird auf das Charakteristikum der objektorientierten Systemstrukturierung zurückgegriffen, daß ihre Objekte ein "dynamisches Eigenleben" führen können. Die Vorgangs-Objekte besitzen Ausführungsdauern sowie Start- und Endzeitpunkte als Objektattribute. Hinzu kommen zeitliche Restriktionen (Fristen), die von den ausgezeichneten Vorgangstart- bzw. -endzeitpunkten eingehalten werden müssen. Sie stellen Beziehungen zwischen den Objekten dar. Die objektorientierte Behandlung von Vorgängen ("Aktionen") wird besonders klar bei KEMKE (1988), S. 66ff.

6) Die datenorientierte kann allerdings mit der objektorientierten Strukturierung zusammenfallen. Dies trifft auf die objektorientierten Datenbankschemata zu, die bereits kurz zuvor in einer Anmerkung erwähnt wurden.

7) Die Bevorzugung eines objektorientierten Strukturierungsansatzes impliziert keineswegs die Behauptung, dieser sei notwendig jenen alternativen Strukturierungskonzepten überlegen, zu denen hier beispielsweise die funktions-, die aktions- und die datenbezogenen Ansätze gerechnet werden. Vielmehr müßte durch einen Vergleich dieser unterschiedlichen Strukturierungsweisen deren relative Eignung ermittelt werden. Eine solche Eignungsuntersuchung liegt aber außerhalb des Erkenntnisinteresses der vorliegenden Ausarbeitung. Vgl. statt dessen z.B. BERNDT (1987), S. 106, der allgemeine Argumente für und wider die objekt- oder funktionsorientierte Systemstrukturierung vorträgt. Sie ergeben kein eindeutiges Urteil zugunsten einer von diesen beiden Alternativen. Vgl. des weiteren JAHN (1988), S. 447ff., und VON ZIMMERMANN (1990), S. 246. Sie heben - allerdings weniger differenziert - vor allem die Vorzüge der objektorientierten Strukturierung von Informationssystemen hervor.

Für diese Arbeit wesentlich ist die Feststellung von BERNDT (1987), S. 106, daß bei hohem Detaillierungsgrad der Systemgestaltung der objektorientierte Ansatz mit weniger selbständigen Systemkomponenten auskommt als alternative funktionsorientierte Strukturierungsansätze. Dies wird vornehmlich darauf zurückgeführt, daß in einer solchen Systemkomponente alle Funktionen desselben Objekts vereinigt werden, die andernfalls in jeweils unterschiedlichen Systemkomponenten erfaßt werden müßten. Es besteht zwar - hierauf geht BERNDT nicht mehr ein - die Möglichkeit, in solchen funktionsorientiert entworfenen Systemkomponenten mehrere Objekte zusammenzufassen und somit die Komponentenanzahl an diejenige des objektorientierten Ansatzes anzunähern. Dem widerspricht aber der eingangs vorausgesetzte hohe Detaillierungsgrad der Systemstrukturierung. Er wird hier in dem Sinne konkretisiert, daß Objekte - auch wenn sie funktionsgleich sind - immer dann als selbständige Systemkomponenten dargestellt werden, wenn sie aus der Sicht des zu bewältigenden Modellierungsproblems unterschiedliche Beiträge zur Problemlösung beisteuern können. Dies führt dazu, daß solche Objekte nicht in einer funktionsorientiert entworfenen Systemkomponente verschmolzen werden dürfen.

8) Da das Petrinetz-Konzept überhaupt noch nicht eingeführt worden ist, läßt sich diese Behauptung an dieser Stelle nicht streng belegen. Unter Vorgriff auf spätere Ausführungen ist es jedoch möglich, die zwei wesentlichen Berührungspunkte mit dem objektorientierten Ansatz anzudeuten: Zunächst zeichnen sich Petrinetze durch ihre

Markierungen aus. Die zugehörigen Marken lassen sich hier in einer groben Annäherung als bewegliche Objekte charakterisieren. Sie können sich sowohl auf ausgezeichneten Netzknoten (den Stellen) befinden als auch durch Operationen von anderen ausgezeichneten Netzknoten (den Transitionen) den Netzkanten entlang fortbewegt werden. Der Objektcharakter dieser Marken liegt unmittelbar auf der Hand. Unterschiedliche Objekteigenschaften können durch entsprechende Markenattribute erfaßt werden.

Weniger offensichtlich, aber tiefgreifender ist der Objektcharakter von Teilnetzen: Ein Teilnetz läßt sich als die Spezifizierung eines Objekts auffassen. Dabei entspricht die Gesamtheit aller zulässigen (Teil-)Netzmarkierungen der Menge aller zulässigen Objektzustände. Zusätzlich werden durch alle Transitionen eines Teilnetzes diejenigen Operationen definiert, die auf das spezifizierte Objekt angewendet werden können. Die Operationsausführungen bewirken zulässige Zustandsübergänge des betroffenen Teilnetzes, die sich als Markierungsveränderungen niederschlagen. Durch diese Einbeziehung des operationalen Aspekts geht die Identifizierung von Teilnetzen mit Objekten über diejenige von Marken mit Objekten hinaus. Zugleich bedeutet sie eine bedeutsame inhaltliche Annäherung an die objektorientierte Systemstrukturierung. Denn dort werden Objekte stets zusammen mit denjenigen Operationen spezifiziert, die auf den Objekten ausgeführt werden dürfen. Schließlich kann sogar die gegenseitige Koordinierung von Objekten durch den Austausch von Nachrichten erfaßt werden. Zu diesem Zweck brauchen lediglich Marken, die Nachrichten darstellen, innerhalb eines Gesamtnetzes zwischen seinen Teilnetzen ausgetauscht zu werden. Von dieser Option wird später im Rahmen der Fallstudie ausführlicher Gebrauch gemacht. Dies entspricht einer weiteren Eigenart der informationstechnischen Objektorientierung. Sie wird hier aber nicht zu den konstitutiven Bestandteilen der nachfolgend präzisierten objektorientierten Systemstrukturierung gerechnet. Darauf wurde schon in einer früheren Anmerkung hingewiesen.

9) Darüber hinaus weist die objektorientierte Systemstrukturierung aus kohärentistischer Perspektive noch eine bemerkenswerte Besonderheit auf. Sie besteht darin, daß jedes Objekt in *bidirektionaler* Weise an einem umfassenden Strukturierungszusammenhang beteiligt sein kann. Die Bidirektionalität bedeutet, daß sich dasselbe Objekt sowohl aus der Perspektive seiner internen Strukturierung aus untergeordneten Objekten (interne Objektdifferenzierung) als auch aus dem Blickwinkel seiner Teilhabe an der externen Struktur eines übergeordneten Objekts (externe Objekteinbettung) betrachten läßt. Dieser bidirektionale Objektzusammenhang erlaubt eine besonders intensive, wechselseitige Verknüpfung der Komponenten einer Systemstruktur. Vgl. zu dieser zweifachen Strukturierungsrichtung des Objektbegriffs VON WEIZSÄCKER (1985), S. 229f.; MOSNER (1991), S. 139 (als der "philosophische Ansatz"). Die erste Strukturierungsrichtung - die interne Differenzierung eines Objekts durch seine Zusammensetzung aus Subobjekten - wird z.B. auch von BAUMEISTER, H. (1987), S. 241, herausgestellt. Die zweite Strukturierungsrichtung - die externe Einbettung eines Objekts in Superobjekte - wird dagegen seltener erwähnt.

Schließlich wird der Kohärenzgedanke auch insofern zur Geltung gebracht, als ein universeller Objektzusammenhang unterstellt wird: Alle Objekte, die an der Strukturierung eines Systems teilhaben, sollen über Differenzierungs- und Einbettungsbeziehungen mit jeweils mindestens einem anderen Objekt zusammenhängen. Die objektorientierte Systemstrukturierung schließt die Existenz isolierter Objekte oder Objektgruppen, die mit keinen anderen Objekten zusammenhängen, zwar nicht prinzipiell aus. Doch sind dem Verf. aus der praktischen Anwendung des objektorientierten Strukturierungskonzepts keine solchen Isolationsfälle bekannt. Übrigens führt auch das Konzept der Petrinetze i.e.S. dazu, daß isolierte Objekte (Netzknoten) von vornherein ausgeschlossen werden. Darauf wird später anläßlich der formalen Definition von Petrinetzen zurückgekommen.

10) Vgl. zur Andeutung solcher Integrationsmöglichkeiten BARR, R. (1989), S. 25. Es liegt nicht im Erkenntnisinteresse dieser Arbeit, die Integrationsfähigkeit der objektorientierten Systemstrukturierung detailliert aufzuzeigen. Zur Verdeutlichung wird jedoch auf drei Beispiele hingewiesen: Objekte lassen sich erstens so definieren, daß jede Objektenwendung dem Ausführen einer objektspezifischen Funktion entspricht. Dadurch wird die funktionsorientierte Sichtweise in eine objektorientierte Systemstrukturierung eingebunden. Zweitens können alle Daten als spezielle Objekte von informationsverarbeitenden Systemen aufgefaßt werden. Insbesondere im Konzept abstrakter Datentypen ist der objektorientierte Strukturierungsansatz zur Entfaltung gelangt. Also wird auch der datenorientierte Strukturierungsansatz eingeschlossen. Drittens ist es möglich, Aktionen in eine objektorientierte Systemstrukturierung aufzunehmen. Denn ein Objekt wird dort nicht nur durch objektspezifische, zeitlich unveränderliche Eigenschaften als eine statische Entität definiert. Vielmehr umgreift die Objektdefinition auch die Gesamtheit aller zulässigen Operationen, die auf dem Objekt ausgeführt werden dürfen. Diese Operationen lassen sich zwanglos als Aktionen interpretieren. Darüber hinaus können sogar Objekte selbst mit Aktionen identifiziert werden. Ein besonders deutliches Beispiel dafür hat VON ZIMMERMANN (1990), S. 252, anläßlich einer objektorientierten Konzeption für das betriebliche Rechnungswesen vorgelegt: Er gestaltet die Aktion "Buchung" als ein Objekt *sui generis*. Folglich gestattet der objektorientierte Ansatz, die aktionsorientierte Systemstrukturierung ebenso abzudecken.

11) Es überstiege abermals den Rahmen der hier vorgelegten Ausarbeitungen, jene Unzulänglichkeiten detailliert zu erörtern. Statt dessen wird nur auf einige Beispiele aufmerksam gemacht. So läßt sich etwa durch den funktionsorientierten Ansatz das abstrakte Objekt "(Produktions-)Auftrag" nicht unmittelbar spezifizieren. Zwar kann er die Abarbeitung eines Produktionsauftrags als Aufgabe formulieren. Doch ist diese Produktionsaufgabe mit dem zugrundeliegenden Produktionsauftrag konzeptionell nicht identisch. Denn die Abarbeitung *desselben* Produktionsauftrags kann z.B. in einem Flexiblen Fertigungssystem in der Gestalt von *verschiedenen* Produktionsaufgaben aus-

gedrückt werden, die jeweils unterschiedliche Bearbeitungsstationen und Transportwege in Anspruch nehmen. Dem aktionsorientierten Ansatz bereitet es dagegen Schwierigkeiten, objektspezifische Zustände - wie z.B. die Betriebsbereitschaft oder -störung einer Bearbeitungsstation - zu repräsentieren. Schließlich bestehen erhebliche Bedenken, ob der datenorientierte Ansatz in der Lage ist, zeitabhängige Objektveränderungen und die zugrundeliegenden Prozesse adäquat zu erfassen. Dies hat der Verf. an derer Stelle in bezug auf SCHEER's Unternehmensdatenmodell näher ausgeführt; vgl. ZELEWSKI (1990c), S. 79.

12) Vgl. SINZIG (1983), S. 103 (er attestiert dem objektorientierten Ansatz, daß er "der natürlichen Denkweise des Menschen entspricht."); WAND (1989), S. 538 ("objects gain their importance because they reflect a 'natural' view of the world we are modeling"); VON ZIMMERMANN (1990), S. 246 ("eine natürliche Modellierung der Realität").

13) Eine präzise formale Charakterisierung der objektorientierten Systemstrukturierung findet sich bei BANCILHON (1986), S. 53ff. Eine natürlichsprachliche Systemumschreibung, die wesentliche Aspekte der objektorientierten Systemstrukturierung ebenso umfaßt, bietet TREDE (1990), S. 13f. Dabei nähert sich TREDE allerdings bereits stärker an den Gestaltungsansatz der objektorientierten Programmierung an, als es nachfolgend geschieht. Insbesondere sieht er dynamische Beziehungen zwischen den systemkonstituierenden Objekten vor, die dem Nachrichtenaustausch bei der objektorientierten Programmierung stark ähneln.

14) Um Mißverständnisse zu vermeiden, wird nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, daß hier eine objektorientierte Systemstrukturierung thematisiert wird. Daher wird die Objektauffassung, wie sie im Rahmen der objektorientierten Programmierung vertreten wird, keineswegs identisch übernommen. Vgl. dazu die abgrenzenden Erläuterungen, die bereits in einer der voranstehenden Anmerkungen erfolgten.

15) Strenggenommen handelt es sich um die *statische* Objektstruktur. Ihr steht die *dynamische* Objektstruktur gegenüber, die in Kürze als innere Dynamik eines Objekts eingeführt wird. Um die nachfolgende Diktion zu vereinfachen, wird zugelassen, statische und dynamische Objektstruktur kurz als Struktur bzw. Dynamik von Objekten anzusprechen.

16) Dieser Grenzfall wird im Rahmen der objektorientierten Programmierung im allgemeinen nicht vorgesehen. Dort besitzen Objekte immer eine innere Struktur.

17) Vgl. VON ZIMMERMANN (1990), S. 240 u. 253 (ein gesamtes Buchhaltungssystem wird als ein komplex zusammengesetztes Objekt konzeptualisiert).

18) Durch diese Formulierung wird hervorgehoben, daß keineswegs behauptet wird, es existiere eine "objektive" und eindeutige - konzeptualisierungsunabhängige - Zerlegung eines Systemganzen in seine atomaren und zusammengesetzten Objekte. Vielmehr stellt die Identifizierung der Objekte eine aktive Konzeptualisierungsleistung des systemstrukturierenden Subjekts dar. Vgl. dazu STEGMÜLLER (1976b), S. 565f., der die entgegengesetzte absolut-atomistische Erkenntnisposition WITTGENSTEIN's ablehnt.

19) Hierbei handelt es sich z.B. um Werkstoffe, die nicht mehr weiter in Bestandteile zerlegt werden.

20) Eine begriffliche Schwierigkeit folgt aus dem Sachverhalt, daß Systemelemente im Rahmen der konventionellen Systemtheorie einerseits als atomare strukturlose Einheiten aufgefaßt werden, andererseits jedoch Eigenschaften besitzen dürfen. Dies ist insofern problematisch, als bei einer objektorientierten Systemstrukturierung die Repräsentation von eigenschaftsbehafteten Objekten stets eine innere Objektstruktur verlangt, um die Objekte mit ihren Eigenschaften zu assoziieren. Daher erweist es sich aus der objektorientierten Perspektive als widersprüchlich, strukturlosen Objekten Eigenschaften zuschreiben zu wollen. Diese Schwierigkeit wird später im Rahmen des Petri-netz-Konzepts dadurch gelöst, daß zwischen atomaren und strukturlosen Objekten begrifflich differenziert wird. Dort werden Attributmarken als strukturierte Objekte eingeführt, die Eigenschaften (Attribute) besitzen. Trotz ihrer inneren Attributstruktur treten sie aber nach außen hin als atomare Objekte auf, die aus keinen anderen Objekten zusammengesetzt sind. Attributmarken stellen daher strukturierte und zugleich atomare Objekte dar. Folglich wird die Präsupposition des konventionellen systemtheoretischen Elementbegriffs aufgehoben, daß jede atomare Einheit als Element auch strukturlos sei und umgekehrt.

21) Dies ist z.B. für Produkte der Fall, die in ihrer Abbildung durch GOZINTO-Graphen als Aufträge aus Zwischen- und Vorprodukten zusammengesetzt vorgestellt werden. (Darauf wird noch zurückgekommen.) Gleiches gilt für Bearbeitungsstationen, die als Komplexe aus Be- und Entladestellen sowie Bearbeitungsmaschinen i.e.S. dargestellt werden.

22) Der Teilsystembegriff wird hier - analog zum Begriff der (unechten) Teilmenge - so weit gefaßt, daß er auch den Grenzfall des Gesamtsystems umfaßt. Als Gesamtsystem wird jeweils die - relativ zu den Konzeptualisierungsprämissen - vollständige Abbildung des betrachteten Realproblems verstanden. Das komplexeste Objekt einer systemtheoretisch ausgerichteten Problemstrukturierung ist immer das Gesamtsystem selbst. Allerdings gehört das Objekt "Gesamtsystem" nicht mehr zu jenen Objekten, auf die sich die objektorientierte Systemdefinition mit ihrer Menge von Objekten und ihrer Familie von Relationen über diesen Objekten bezieht. Vielmehr handelt es sich bei

dem Objekt "Gesamtsystem" um ein Objekt sui generis, das aus den vorgenannten, systemkonstituierenden Objekten abgeleitet ist.

Da Teilsysteme mit zusammengesetzten Objekten identifiziert wurden, können sie niemals mit einem Systemelement zusammenfallen. Denn Systemelemente wurden oben als atomare Objekte vereinbart. Von einem Subsystem wird dagegen gesprochen, wenn entweder ein Teilsystem (zusammengesetztes Objekt), das einen echten Teil des Gesamtsystems darstellt, oder aber ein Element (atomares Objekt) gemeint ist. Subsysteme werden auch als Komponenten eines Gesamtsystems angesprochen. Atomare und zusammengesetzte Objekte umfassen in ihrer Gesamtheit alle systemtheoretischen Begriffe des Systemelements, des Subsystems, des Teilsystems und des Gesamtsystems. Wenn neben den Objekten auch Eigenschaften von oder Beziehungen zwischen Objekten eingeschlossen sein sollen, wird von den Konstituenten oder Bestandteilen eines Systems gesprochen. Systembeschreibungen heißen vollständig, wenn sie alle systemkonstituierenden Bestandteile aufführen.

23) Die Zusammensetzungsstruktur bildet eine mehrstellige Relation, die über den Mengen der involvierten weniger komplexen Objekte definiert ist. Zusammengesetzte Objekte stellen daher relationale Konstrukte dar. Folglich kann jedes zusammengesetzte Objekt als ein Element aus derjenigen Relation aufgefaßt werden, die seine Zusammensetzungsstruktur determiniert. Daher umfaßt der objektorientierte Strukturierungsansatz bei dieser Betrachtungsweise stets auch die Relationsorientierung in der Gestalt von zusammengesetzten - "relationalen" - Objekten. Infolgedessen ist die Unterscheidung zwischen Objekten einerseits und mehrstelligen Relationen andererseits nicht notwendig. Darauf wird in einer späteren Anmerkung noch einmal zurückgekommen.

24) Eigenschaften und Attribute werden in dieser Arbeit grundsätzlich als synonyme Begriffe verwendet. Allerdings wird der Eigenschaftsbegriff in objektorientierten Kontexten bevorzugt, während der Attributbegriff vor allem auf Marken in Netzen bezogen wird. Abweichender Ansicht ist dagegen WAND (1989), S. 541. Er unterscheidet zwischen Eigenschaften (properties) an sich und Attributen für einen Objektbeobachter. Dieser Differenzierung wird hier nicht gefolgt. Statt dessen beziehen sich alle Ausführungen dieser Arbeit ausschließlich auf WAND's Attributbegriff. Die Intelligibilität von "Eigenschaften an sich" entzieht sich dem Vorstellungsvermögen des Verf.

25) Einstellige Relationen liegen beispielsweise bei den Bereitstellungskosten von Werkstücken oder bei den Ausführungsdauern von Bearbeitungsoperationen vor. Dabei werden alle Ausprägungen, die von derselben Eigenschaft angenommen werden können, zu einer eigenschaftsspezifischen Menge zusammengefaßt. Einstellige Relationen (1. Ordnung) besitzen daher den Charakter von Mengen, deren Elemente (atomare) Objekte in der Gestalt von Eigenschaftsausprägungen sind.

26) Zu den mehrstelligen Relationen (1. Ordnung) zählen z.B. zweistellige Präzedenzrelationen. Solche Präzedenzrelationen fassen gleichartige zeitliche Folgebeziehungen (Präzedenzen) zwischen je zwei Objekten zu einer Menge temporal geordneter Objektpaare zusammen. Die zeitlichen Folgebeziehungen werden unter vielfältig variierenden Bezeichnungen angesprochen, z.B. als zeitliche Restriktionen, Präzedenzbeziehungen, Reihenfolgebeziehungen, Zeitfolgebeziehungen oder Vorgänger-/Nachfolgerbeziehungen. Sie werden in dieser Arbeit synonym behandelt und vornehmlich als Präzedenzbeziehungen thematisiert. Vgl. zu diesen zeitlichen Folgebeziehungen und den daraus formierten Präzedenzrelationen WILD (1966), S. 103ff. Eine zweistellige Präzedenzrelation wird zu einer dreistelligen Abstandsrelation erweitert, wenn die zusätzliche Relationsstelle für jedes temporal geordnete Objektpaar ein zeitliches Abstandsmaß als drittes Objekt spezifiziert.

Ein typisches produktionswirtschaftliches Beispiel für Präzedenzrelationen liefern GOZINTO-Graphen. Diese Graphen werden bei MÜLLER-MERBACH (1970b), S. 727ff.; MÜLLER-MERBACH (1973), S. 259ff.; GROCHLA (1978b), S. 55ff.; KERN, W. (1987), S. 101f.; STEPAN (1988), S. 35ff.; KERN, W. (1990a), S. 224f.; SCHEER (1990c), S. 197f., näher beschrieben. Jeder GOZINTO-Graph repräsentiert eine Menge von produktionstechnischen Präzedenzbeziehungen, die zwischen den Vor-, Zwischen- oder Endprodukten eines Produktionsauftrags bestehen. Er ordnet diese Werkstücke als Vorgänger- und Nachfolgerobjekte zeitlich so an, wie sie zur Herstellung eines Produkts bearbeitet werden müssen. Die Menge aller derart temporal geordneten Objektpaare - die Kantenmenge des GOZINTO-Graphen - stellt eine zweistellige Präzedenzrelation dar. Ähnliches gilt für die Präzedenzbeziehungen zwischen Arbeitsgängen, die in Arbeitsplänen ausgedrückt werden. Auch die Präzedenzrelation eines GOZINTO-Graphen kann zu einer dreistelligen Relation erweitert werden. Es handelt sich dann um eine Bearbeitungsrelation. Sie verknüpft nicht nur Vorgänger- und Nachfolgerobjekte miteinander, sondern gibt auch an, auf welcher Bearbeitungsstation diese Objekttransformation erfolgen soll.

Präzedenzbeziehungen zwischen zwei Objekten können unmittelbaren oder mittelbaren Charakter besitzen. Im ersten Fall drücken sie aus, daß die beiden Objekte zeitlich unmittelbar aufeinander folgen, also kein weiteres Objekt zwischen diesen beiden Objekten liegt. Eine Präzedenzbeziehung zwischen zwei Objekten (Referenzobjekten) ist dagegen mittelbar, wenn diese Objekte zwar zeitlich aufeinander folgen, sich aber zwischen ihnen mindestens ein weiteres Objekt befindet. Eine mittelbare Präzedenzbeziehung zwischen zwei Referenzobjekten läßt sich stets auf die Verkettung mehrerer unmittelbarer Präzedenzbeziehungen zwischen diesen beiden und anderen, dazwischen liegenden Objekten zurückführen. Daher sind hier - wenn nicht ausdrücklich anders vermerkt - als Präzedenzbeziehungen immer die letztlich zugrundeliegenden unmittelbaren Präzedenzbeziehungen gemeint. Eine - unmittelbare oder mittelbare - Präzedenzbeziehung kann strikt oder schwach sein. Eine strikte Präzedenz drückt die zeitliche

Reihenfolge zweier Objekte aus, ohne dabei den Grenzfall ihrer Gleichzeitigkeit zuzulassen. Eine schwache Präzedenz liegt dagegen vor, wenn zwei Objekte entweder gleichzeitig angeordnet sind oder eines von beiden dem jeweils anderen unmittelbar vorangeht. In dieser Arbeit werden Präzedenzbeziehungen, sofern keine abweichenden Festlegungen erfolgen, stets in ihrer schwachen Variante betrachtet. Denn mit ihrer Hilfe läßt sich die gleichzeitige Anordnung zweier Objekte ohne Einführung einer speziellen Gleichzeitigkeitsbeziehung definieren. Hierzu werden jeweils zwei schwache Präzedenzbeziehungen miteinander konjunktiv verknüpft, die zwischen denselben zwei Objekten bestehen und entgegengesetzt gerichtet sind.

27) Vgl. BERNDT (1987), S. 106f., zu einem Überblick über Attribute und Verknüpfungen, die für eine systemtheoretisch ausgerichtete Modellierung von Fertigungssystemen typisch sind.

28) Relationen höherer Ordnung wurden als ein- oder mehrstellige Relationen eingeführt, die Eigenschaften von bzw. Beziehungen zwischen zusammengesetzten Objekten wiedergeben. Die zusammengesetzten Objekte stellen ihrerseits Elemente aus einer mehrstelligen Relation tieferer Ordnung dar. Vgl. dazu den Hinweis auf "relationale" Objekte in einer der voranstehenden Anmerkungen. Bei diesen Elementen aus einer mehrstelligen Relation tieferer Ordnung handelt es sich um Beziehungen zwischen Objekten. Der Übersichtlichkeit halber wird unterstellt, daß jene Objekte nicht weiter aus anderen Objekten zusammengesetzt, sondern atomar sind. In diesem Fall können einstellige Relationen höherer Ordnung benutzt werden, um den Beziehungen, die zwischen den atomaren Objekten bestehen, beziehungspezifische Eigenschaften zuzuordnen. Analog dazu ist es möglich, mit mehrstelligen Relationen höherer Ordnung (Meta-)Beziehungen auszudrücken, die zwischen den vorgenannten (Objekt-)Beziehungen bestehen.

Beziehungen zwischen Beziehungen spielen in produktionswirtschaftlichen Modellierungszusammenhängen keine nennenswerte Rolle. Aber Eigenschaften von Beziehungen können genutzt werden, um typische Koordinierungsaspekte von Produktionsprozessen wiederzugeben. Dafür kommen z.B. die metrischen Zeitabstandsrelationen in Betracht, die WILD (1966), S. 103ff., als Basiskonzept für Modellierungen ablauforganisatorischer Gestaltungsprobleme einführt. Die Zeitabstandsrelationen lassen sich zunächst als zweistellige Präzedenzrelationen (tieferer Ordnung) auffassen. Sie legen die Reihenfolgebeziehungen zwischen je zwei Ereigniseintritten fest. Darüber hinaus wird jeder Reihenfolgebeziehung aber auch eine beziehungspezifische Eigenschaft zugeordnet: die quantitative Größe des zeitlichen Abstands zwischen den beiden Ereigniseintritten. Diese metrische Beziehungseigenschaft läßt sich mit der Hilfe einer einstelligen Relation höherer Ordnung rekonstruieren. Sie weist jedem Element aus der zweistelligen Präzedenzrelation - also jeder Reihenfolgebeziehung zwischen zwei Ereignisgeschehnissen - die Eigenschaft "Zeitabstand" zu. Vgl. zu einem weiteren Beispiel für die Zuordnung von Eigenschaften (Attributen) zu Beziehungen SCHEER (1991d), S. 72.

29) Aus der Perspektive des objektorientierten Ansatzes interessieren zumeist nur die Komposition eines Systems aus Objekten und deren Eigenschaften sowie den Operationen, die auf diese Objekte angewendet werden dürfen. Damit werden aus allen Relationen die mehrstelligen Relationen, die Beziehungen zwischen Objekten ausdrücken, ausgeblendet. Nur die einstelligen Relationen finden als Objekteigenschaften weiterhin Berücksichtigung. Dies ist insofern zulässig, als jedes zusammengesetzte Objekt als Element einer mehrstelligen Relation aufgefaßt werden kann. Darauf wurde bereits in einer früheren Anmerkung aufmerksam gemacht. Daher ist es aus dem Blickwinkel des objektorientierten Ansatzes ebenso möglich, anstatt einer mehrstelligen Relation die entsprechende Menge gleichartig strukturierter Objekte zu betrachten. Dies führt dazu, nur noch - atomare oder zusammengesetzte - Objekte und deren Eigenschaften zu berücksichtigen. Unter dem Aspekt der Dominanz des Objektbegriffs und einer durchgängigen "Objektifizierung" wurde diese Eigenart des objektorientierten Ansatzes bereits kurz zuvor angesprochen. Der Verf. wird jedoch an der begrifflichen Differenzierung zwischen Objekten und (mehrstelligen) Relationen, die Beziehungen zwischen diesen Objekten ausdrücken, festhalten. Er vertritt die Ansicht, daß hierdurch sachliche Zusammenhänge mitunter klarer herausgearbeitet werden können.

30) Eine statische Systemstruktur heißt funktional, wenn ihre Subsysteme durch die Funktionen (Aufgaben) definiert sind, die sie erfüllen sollen. Sie wird dagegen als real bezeichnet, falls die Subsysteme in der Anschauungsform Raum so festgelegt werden, wie sie realisiert werden sollen.

31) Vgl. ROPOHL (1971), S. 126ff. (ohne Bearbeitungssystem); SPUR (1982c), S. 137; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 83 u. 87ff.; MERTINS (1985a), S. 10f.; MERTINS (1985b), S. 250 u. 252; WILDEMANN (1987a), S. 8 u. 117; BÜHNER (1987), S. 261; BÖTZOW (1988a), S. 51f.; SCHLINGENSIEPEN (1988a), S. 16.

32) Statt dessen herrscht eine funktionsorientierte Strukturierung (Bearbeitung, Transport, Informationsverarbeitung) vor, die durch faktororientierte Aspekte (Material, Energie, Informationen) ergänzt wird. Der nachfolgend erörterte objektorientierte Gesichtspunkt, einen Auftrag als Objekt sui generis zu betrachten, findet dagegen überhaupt keine Berücksichtigung.

33) So wird beispielsweise die Besonderheit des Petrinetz-Konzepts, bewegliche Objekte durch ebenso bewegliche Marken zu repräsentieren, nicht unmittelbar berücksichtigt. Sie ließe sich zwar in das Materialflußsystem aufnehmen, indem dort der Werkstückfluß durch einen entsprechenden Markenfluß erfaßt würde. Damit fände der Aspekt beweglicher Objekte aber auch nur unvollständige Beachtung. Denn weitere ebenso bewegliche Objekte, insbeson-

dere Arbeitskräfte, Transportmittel und Werkzeuge, erfahren in der o.a. konventionellen Subsystembildung keine Aufmerksamkeit. Hinzu kommt, daß das Energiesubsystem den grundsätzlich diskreten Charakter des Petrinetz-Konzepts mißachtet. Er läßt es nicht zu, kontinuierliche Ressourcenverbräuche in eigenständigen Subsystemen zu modellieren. Darauf wird noch zurückgekommen.

34) Darüber hinaus sprengt das Informationssystem sogar den Modellierungsansatz, der in dieser Arbeit verfolgt wird: Hier wird für die Modellierung von Realproblemen, welche die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen betreffen, nur die Abbildung des involvierten Realsystems auf ein entsprechendes Produktionsmodell intendiert. Die Informations(verarbeitungs)systeme, die zur Realisierung von Koordinierungskonzepten eingesetzt werden können, fließen dagegen in die Modellierung der Produktionssysteme nicht ein. Daher liegt die Komponente "Informationssystem" außerhalb des modellierungsrelevanten Realitätsausschnitts, der hier untersucht wird. Sie wird daher im folgenden nicht weiter als eigenständiges Modellierungsobjekt beachtet. Vgl. statt dessen zu detaillierten Untersuchungen des Informationssystems von Flexiblen Fertigungssystemen ROPOHL (1971), S. 134ff. u. 157ff., insbesondere S. 169ff.; DÖTLING (1981), S. 43ff., insbesondere S. 43f. u. 56ff.; GAUDERON (1984), S. 84ff.; HARTLEY (1984), S. 235ff., insbesondere S. 237ff.; MERTINS (1985a), S. 56f.; SCHLINGENSIEPEN (1988a), S. 14ff. Vgl. auch zur Identifizierung von Informationssystemen als eigenständigen Subsystemen Flexibler Fertigungssysteme JUNGHANNS (1976), S. 57; SPUR (1982c), S. 137; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 15f., 83 u. 90ff.; MERTINS (1985a), S. 10f., 36f. u. 51; MERTINS (1985b), S. 250 u. 252; SCHLINGENSIEPEN (1988a), S. 16.

35) Der Begriff des Produktionsprozesses wird in dieser Arbeit weit ausgelegt. Er umfaßt sowohl diejenigen Prozesse, deren Ausführung jeweils zur vollständigen Abwicklung eines Produktionsauftrags erforderlich ist, als auch solche Prozesse, die nur einen Ausschnitt aus der Auftragsabwicklung darstellen. Ebenso kann die Abwicklung aller Aufträge, deren Gesamtheit als ein "Auftragspaket" vorgegeben ist, als ein - entsprechend komplexer - Prozeß aufgefaßt werden. Falls ein Prozeß aus mehreren anderen Prozessen zusammengesetzt ist, wird auch von einem Gesamtprozeß und dessen Teilprozessen gesprochen.

36) Produktionsaufträge werden hier im Sinne der "Fertigungsaufträge" von KERN, W. (1990a), S. 343, verstanden.

37) Deshalb wird vorausgesetzt, daß die Umsetzung von Kunden-, Vorrats- und Ersatzaufträgen in Produktionsaufträge bereits geschehen ist. Dies entspricht der Charakterisierung der Auftragsumwandlung als *mittelfristige* Planung. Vgl. MISSBAUER (1987), S. 100. Denn in dieser Arbeit wird nur die *kurzfristige* Planung und Steuerung von Produktionsprozessen thematisiert. Vgl. zu detaillierten Beschreibungen der Auftragsumwandlung (Beauftragung) MISSBAUER (1987), S. 41ff., 46ff. u. 66; KERN, W. (1990a), S. 342f.

38) Der Produktbegriff wird in Kürze in Vor-, Zwischen- und Endprodukte ausdifferenziert. Aus dieser Perspektive handelt es sich bei der auftragspezifischen Produktart stets um die Art des herzustellenden Endprodukts. Die betroffene Produktart stellt aber nur im Hinblick auf den jeweils zugrundegelegten Auftrag eine Endproduktart dar. Denn die Endprodukte eines Auftrags können durchaus im Rahmen eines anderen Auftrags weiteren Bearbeitungsoperationen unterzogen werden. Auf diese Relativität des Endproduktbegriffs wird später noch einmal zurückgekommen. Darüber hinaus werden in dieser Arbeit nur lineare und synthetische Produktionen betrachtet. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß für jede Produktionsstufe gilt: Durch die Ausführung eines Arbeitsgangs auf der jeweils betrachteten Produktionsstufe wird aus einer oder mehreren Produkteinheiten des Inputs der Produktionsstufe *genau eine Produkteinheit* des Outputs der Produktionsstufe hergestellt. Bei einer linearen Produktion umfaßt der Input aller Produktionsstufen für die einmalige Arbeitsgangausführung jeweils genau eine Produkteinheit. Bei einer synthetischen Produktion existiert dagegen mindestens eine Produktionsstufe, deren Input für die einmalige Arbeitsgangausführung mehrere Produkteinheiten erfordert. Eine solche synthetische Produktion ist für den hier betrachteten Anwendungsbereich der Stückgüterproduktion in Flexiblen Fertigungssystemen durchaus typisch. Insbesondere liegt sie nahezu immer bei der Montage von Stückgütern vor. Analytische und austauschende Produktionen werden dagegen dadurch charakterisiert, daß sie mindestens eine Produktionsstufe umfassen, auf der gilt: Durch die Ausführung eines Arbeitsgangs auf dieser Produktionsstufe werden aus einer oder mehreren Produkteinheiten des Inputs der Produktionsstufe *mehrere Produkteinheiten* des Outputs der Produktionsstufe hergestellt. Bei einer analytischen Produktion umfaßt der Input aller Produktionsstufen für die einmalige Arbeitsgangausführung jeweils genau eine Produkteinheit. Bei einer austauschenden Produktion existiert dagegen mindestens eine Produktionsstufe, deren Input für die einmalige Arbeitsgangausführung mehrere Produkteinheiten erfordert. Solche analytischen oder austauschenden Produktionen bleiben in dieser Arbeit ausgeklammert. Darin liegt jedoch keine wesentliche Einschränkung. Denn analytische und austauschende Produktionen spielen bei den hier interessierenden Flexiblen Fertigungssystemen keine große Rolle. Sie betreffen vielmehr andere Produktionsweisen. Beispielsweise gehört die Stahlherzeugung zum Typ analytischer Produktionen. Vgl. die Ausführungen von AMELING (1990), S. 69, zur Divergenz des dort vorherrschenden Produktionsflusses.

Die Unterscheidung zwischen linearen (durchgängigen), synthetischen (konvergierenden), analytischen (divergierenden) und austauschenden (umgruppierenden, vernetzten) Produktionen beruht auf der Differenzierung von Prozeßtypen der Produktion nach dem Kriterium der Materialflußvergenz (Art der Stoffverwertung, Materialflußtypen o.ä.). Sie wird hier als bekannt vorausgesetzt. Näheres dazu findet sich bei GROBE-OETRINGHAUS (1974),

S. 169ff.; SCHÄFER, E. (1978), S. 20ff.; KÜPPER, H. (1979), Sp. 1641 u. Abb. 1 in Sp. 1643f.; SWITALSKI (1988b), S. 334; KERN, W. (1990a), S. 90.

39) Damit werden alle Koordinierungsaspekte aus dieser Arbeit ausgeklammert, welche die Bestimmung von auftragsspezifischen Losgrößen betreffen. Da bei flexiblen Fertigungssystemen eine Annäherung an die Losgröße "Eins" angestrebt wird, spielt die Losgrößenplanung ohnehin keine beachtenswerte Rolle mehr. Gleicher Ansicht ist SCHEER in SCHEER (1989h), S. 33, und SCHEER (1990c), S. 225. Er betrachtet Losgrößenplanungen angesichts der vorgenannten Losgrößendegenerierung als "nahezu obsolet". Vgl. zur abnehmenden Bedeutung der Losgrößenplanung bei flexiblen Fertigungssystemen auch SCHEER (1984b), S. 76; GOLDHAR (1984), S. 575; ZELEWSKI (1986a), S. 1244 u. 1265; HELBERG (1987), S. 62. Vgl. auch die Anmerkungen von KNOOP (1986), S. 152, zu Schwierigkeiten, in flexiblen Fertigungssystemen das Konzept der Losbildung schlüssig aufrechtzuerhalten. Vgl. als Überblick über produktionswirtschaftliche Konzepte der Losgrößenbestimmung KERN, W. (1990a), S. 234ff., 291f., 317 u. 343, sowie ADAM, D. (1990a), S. 849ff. und - im Zusammenhang mit Maschinenbelegungsplanungen - S. 884ff. Vgl. auch zu den Komplikationen der Losgrößenermittlung bei mehrstufigen synthetischen Produktionen, wie sie bei flexiblen Fertigungssystemen oftmals der Fall sind, STADTLER (1988a), insbesondere S. 240ff.; ADAM, D. (1990a), S. 900ff., insbesondere S. 903ff.

40) Der zeitliche Abwicklungsrahmen eines Auftrags wird durch ein auftragsspezifisches Abwicklungsintervall spezifiziert. Es wird durch einen Intervallbeginn und ein Intervallende begrenzt. Der Intervallbeginn ist derjenige Zeitpunkt, in dem der Auftrag in das jeweils betrachtete Produktionssystem frühestens eingelastet werden darf. Dieser frühest mögliche, systembezogene Einlastungstermin kann durch übergeordnete Planungsebenen vorgegeben sein. Wenn dies nicht der Fall ist, wird er mit demjenigen Zeitpunkt gleichgesetzt, in dem die Koordinierung der Produktionsprozesse im zugrundeliegenden Produktionssystem begonnen wird. Der systembezogene Einlastungstermin eines Produktionsauftrags ist von den stationsbezogenen Einlastungsterminen zu unterscheiden. Letzgenannte legen fest, zu welchen Zeitpunkten ein Auftrag innerhalb des Produktionssystems an dessen Bearbeitungsstationen jeweils eingelastet wird. Das Ende eines Abwicklungsintervalls legt derjenige Zeitpunkt fest, in dem der Auftrag spätestens fertiggestellt sein muß. Dieser spätest zulässige Fertigstellungstermin (Zieltermin) kann wiederum seitens einer übergeordneten Planungsebene fixiert sein. Dies entspricht dem Endtermin bei NIEB (1980), S. 19. Beispielsweise kommt eine Vorgabe der Auftragsverwaltung (oder der Vertriebsplanung) in Betracht, die aus einem Liefertermin abgeleitet ist. Es spielt dabei keine Rolle, ob der Liefertermin mit einem Kunden vertraglich fest vereinbart wurde oder ob es sich um einen unternehmensinternen von der Auftragsverwaltung geplanten Liefertermin handelt. Der Liefertermin ist gegebenenfalls um solche Zeitdauern zu korrigieren, die zwischen der Fertigstellung eines Auftrags und seiner Übergabe an den Kunden verstreichen. Sie können z.B. für Kommissionierungsarbeiten oder den Transport zum Kunden anfallen. Ebenso läßt sich der Liefertermin um eine Sicherheitsspanne vermindern, die z.B. an der erwarteten Auftragsdurchlaufzeit bemessen wird. Vgl. VOLLMANN (1984), S. 360ff. Beide Varianten finden aber in dieser Arbeit keine weitere Beachtung, weil bei der Auftragsabwicklung von vornherein nur der bereits korrigierte - Fertigstellungstermin betrachtet wird. Der spätest zulässige Fertigstellungstermin kann aber auch dadurch festliegen, daß das betrachtete Produktionssystem ein Subsystem aus einem umfassenderen Produktionssystem darstellt. Dieser Fall ist gerade bei der Modellierung flexibler Fertigungssysteme zu beachten, da diese oftmals in umfassendere Produktionssysteme eingebettet sind. Vgl. KOHEN (1989), S. 40f. Dann ist es möglich, daß der spätest zulässige Fertigstellungstermin im modellierten Subsystem durch Vorgaben aus der Produktionsplanung für das Umsystem determiniert ist. Ebenso läßt sich vorstellen, daß der spätest zulässige Fertigstellungstermin eines Auftrags aus dem Einlastungstermin, an dem der Auftrag in das Produktionssystem eingeschleust wurde, und aus einer maximalen Durchlaufzeit, die von allen Auftragsabwicklungen eingehalten werden soll, berechnet wird. Vgl. SPUR (1980), S. 325. Wenn für einen Produktionsauftrag hingegen kein spätest zulässiger Fertigstellungstermin festliegt, wird er mit dem Ende der Prozeßkoordinierung im betrachteten Produktionssystem gleichgesetzt. Sofern kein Koordinierungsende spezifiziert ist, wird das Abwicklungsintervall des Produktionsauftrags als ein halboffenes Intervall mit "unendlichem" spätest zulässigem Fertigstellungstermin behandelt.

41) Statt dessen knüpfen konventionelle Modellierungen im allgemeinen an Bearbeitungsstationen (Maschinen) und Arbeitsgängen (Jobs) an. Vgl. dazu die ausführlichere Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen der Maschinenbelegung im entscheidungstheoretischen Kontext. Vgl. ebenso die Quellen, die bereits während der thematischen Entfaltung dieser Arbeit zur konventionellen Modellierung von Prozeßkoordinierungen bei Werkstattfertigung in einer Anmerkung angeführt wurden.

Das Fehlen einer expliziten Auftragskonzeptualisierung spiegelt sich auch darin wider, daß bei der Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen dies öfteren beklagt wird, sie gestatte keine oder nur mangelhafte Auftragsverfolgungen. Vgl. CORNELSEN (1988), S. 288; SCHEER (1990c), S. 207 (ansatzweise). Analog dazu hebt ZEH (1988a), S. 207, automatische Auftragsverfolgungen als Entwicklungsziel für zukünftige PPS-Systeme hervor. Vgl. auch SCHRÖDER, H. (1989), S. 9, und KERN, W. (1990a), S. 325, bezüglich des dort angesprochenen Mangels an kundenauftragsspezifischen Bedarfsverursachernachweisen. Vgl. des Weiteren zu den Schwierigkeiten, in PPS-Systemen Auftragsverfolgungen zu verwirklichen, ORLICKY (1975), S. 162 u. 164; SCHEER (1976), S. 21f.; WINTER, R. O. (1991), S. 319ff. (dort als "Bedarfsverfolgung").

Zwar könnte der Einwand erhoben werden, daß oftmals Arbeitsgänge zu auftragsspezifischen Arbeitsgangmengen zusammengefaßt werden. Dabei stellen jedoch die Arbeitsgangmengen keine eigenständigen Repräsentationen von Produktionsaufträgen dar. Beispielsweise fließen in diese Arbeitsgangmengen keine derjenigen Präzedenzbeziehungen ein, die zwischen den Arbeitsgängen desselben Auftrags bestehen. Ebenso enthalten die Arbeitsgangmengen keine Angaben über Auftragswerte oder -prioritäten. Es handelt sich daher lediglich um mathematische Aggregationen von Arbeitsgängen. Die "Repräsentation" des zugrundeliegenden gemeinsamen Produktionsauftrags degeneriert dabei zu einem auftragsspezifischen (Teil-)Index für die Arbeitsgangmenge und ihre zugehörigen Arbeitsgänge. Der Verf. kann sich nicht durchringen, eine derart rudimentäre Auftragsfassung schon als eine eigenständige Repräsentation für ein Objekt "Produktionsauftrag" zu qualifizieren. Zum Vergleich wird auf die spätere Repräsentation eines Produktionsauftrags durch ein Auftragsnetz verwiesen.

Zu den seltenen Ausnahmen, die eine Konzeptualisierung von Produktionsaufträgen als selbständige Modellierungsobjekte vorsehen, zählt WARTMANN,N. (1990), S. 28. Allerdings befassen sich WARTMANN, LANZ und LÜSCHER in ihrem Beitrag nur mit globalen Aspekten der "Datenmodellierung". Die konkrete Modellierung eines Produktionssystems präsentieren sie dagegen im vorgenannten Aufsatz nicht. Ein ähnlicher Ansatz, der sich auch im Kontext der produktionswirtschaftlichen Datenmodellierung bewegt, findet sich bei WINTER,RO. (1991), S. 245ff., insbesondere Abb. 7 auf S. 247. Auch dort werden Aufträge explizit als eigenständige Objekte für die Planung von Produktionsprozessen berücksichtigt. Darüber hinaus werden in O.V. (1984e), S. 46ff., die Vorzüge beschrieben, die Auftragsverfolgungen bei der Koordinierung von Produktionsprozessen bieten. Vgl. zu informationstechnischen Möglichkeiten, Werkstücke gemäß ihrer Auftragszugehörigkeit individuell zu verfolgen, die Ausführungen bei BAUMANN,G. (1991), S. 85ff. (individuelle Objektverfolgung, auf S. 89f. mit der Hilfe von Barcode); KAISER,K. (1991), S. 44 (automatische Werkstück- und Standorterkennung durch Barcodes).

42) Darüber hinaus wird in Netzmodellen von Flexiblen Fertigungssystemen die Auftragsverfolgung möglich, die in der voranstehenden Anmerkung als Schwachstelle von konventionellen Produktionsmodellen angesprochen wurde. Vgl. dazu das auftragsspezifische Netzmodul, das im Rahmen der Fallstudie vorgestellt wird.

43) Die Operationen werden später im produktionswirtschaftlichen Kontext als Verrichtungen (atomare Operationen) konkretisiert. Daraus werden Arbeitsgänge gebildet, auf die sich die späteren Ausführungen im wesentlichen beziehen werden.

44) Dadurch wird der Begriff des Produktionsprozesses an den des Produktionsauftrags gebunden: Der Prozeßbegriff reicht so weit, wie der Auftragsbegriff inhaltlich ausgelegt wird. Da der Begriff des Produktionsauftrags hier als undefinierter Grundbegriff benutzt wird, bleibt er unterschiedlichen Begriffsfüllungen gegenüber offen, die sich an die jeweils verfolgten Modellierungszwecke anpassen lassen. Beispielsweise könnten aus dieser Perspektive Instandhaltungsprozesse zu den koordinierungsrelevanten Produktionsprozessen gerechnet werden, falls innerhalb eines Produktionssystems spezielle Instandhaltungsaufträge abgewickelt werden sollen. Vgl. dazu etwa die "Betriebsaufträge" bei KERN,W. (1990a), S. 342. Alle Instandhaltungsaspekte werden aber aus dem Aufgabenbereich der Prozeßkoordinierung in dieser Arbeit von vornherein ausgeklammert.

45) Darauf wurde schon kurz hingewiesen. Vgl. auch die Quellen, die in einer früheren Anmerkung zur Charakterisierung des objektorientierten Ansatzes angeführt wurden.

46) Darauf wird in dieser Arbeit häufiger zurückgekommen.

47) Der Operationsbegriff wird so weit gefaßt, daß er sowohl komplexe, aus anderen Operationen zusammengesetzte Operationen als auch atomare Operationen umgreift. Dies entspricht der späteren Formalisierung des Operationsbegriffs im Kontext algebraischer Signaturen.

48) Die atomaren Operationen werden so weit ausgelegt, daß sie alle Prozesse abzudecken vermögen, die aus der Perspektive des Modellierungsträgers für die Abwicklung von Produktionsaufträgen erforderlich sind. Dazu brauchen nicht nur die Bearbeitungsoperationen an Bearbeitungsstationen zu gehören. Vielmehr können atomare Operationen - um nur einige wesentliche Beispiele zu nennen - ebenso Transport-, Lager-, Rüst- und Inspektionsoperationen umfassen. Für jede atomare Operation wird unterstellt, daß sie ohne Unterbrechung ausgeführt werden soll. Dies schließt nicht aus, daß die tatsächliche Operationsausführung infolge einer Produktionsstörung ungeplant unterbrochen werden kann. Von vornherein geplante Ausführungsunterbrechungen werden jedoch für atomare Operationen ausgeschlossen. Andernfalls würden sie keine atomaren Operationen mehr darstellen. Beispielsweise kann die Unterbrechung einer Bearbeitungsoperation geplant werden, um Zustellbewegungen für Werkzeuge vor und nach dem Ausführen einer bearbeitenden Verrichtung zu ermöglichen. Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 120f. In diesem Fall wird die gezielt unterbrochene Werkstückbearbeitung als eine komplexe Bearbeitungsoperation konzeptualisiert. Sie ist aus den Verrichtungen zusammengesetzt, die jeweils unmittelbar vor und unmittelbar nach einer Zustellbewegung der Werkzeuge ausgeführt werden. Diese ununterbrochenen Verrichtungen werden als atomaren Operationen behandelt. Auch bei der späteren Skizze der idealtypischen Modellierung von Maschinenbelegungen und werkstattorientierten Ablaufplanungen werden die Verrichtungen, aus denen Aktionen und Arbeitsgänge aufgebaut sind, mit atomaren Operationen identifiziert. Des weiteren lassen sich die atomaren Operationen als Elementarkombinationen auffassen, die HEINEN der Definition seiner Produktionsfunktion vom

Typ "C" zugrundegelegt hat. Vgl. zu diesen Elementarkombinationen im Kontext der C-Produktionsfunktion HEINEN (1983), S. 245ff. Darüber hinaus wird der Begriff einer atomaren Operation so eng gefaßt, daß zwei verschiedene atomare Operationen schon dann vorliegen, wenn sie unterschiedliche Werkzeuge erfordern oder mit verschiedener Präzision ausgeführt werden sollen. Vgl. zum ersten Fall das Beispiel von HELBERG (1987), S. 126. Dort kann zwischen dem Einsatz von austauschbaren Bohrköpfen oder einem Einzelwerkzeug gewählt werden, um eine Werkstückbearbeitung auszuführen.

49) Vgl. zu konventionellen - inhaltlich keineswegs homogenen - Definitionen von Arbeits(vor)gängen KOSIOL (1962), S. 216 u. 219; SCHWEITZER, M. (1964b), S. 185; SCHWEITZER, M. (1966), S. 43; MUSCATI (1970), S. 20f. (i.V.m. S. 19); KOSIOL (1972), S. 91; STUTE (1978a), S. 5; SPUR (1980), S. 36; DÖTLING (1981), S. 22f., 36 u. 52 (in der dort - auf S. 52 - vorgenommenen speziellen Ausprägung der Arbeitsschritte); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 120f.; OSMAN (1982), S. 24f. Vgl. dazu auch die spätere Festlegung des Arbeitsgangbegriffs für diese Arbeit.

50) In einer späteren Anmerkung, die sich mit der Konzeptualisierung von Entscheidungsspielräumen für Koordinierungsprobleme befaßt, wird gezeigt, daß ein Arbeitsgang aus zwei atomaren Operationen bestehen kann: einer Rüst- und einer Bearbeitungsoperation. Das Konzept atomarer Operationen erlaubt daher, Koordinierungsprobleme detaillierter darzustellen, als es auf der Konzeptualisierungsebene von Arbeitsgängen im allgemeinen üblich ist. Aus diesem Grund werden in der vorgenannten Anmerkung Arbeitsgänge durch nicht-leere Verrichtungsmengen (und Werkstücke) festgelegt. Jede Verrichtung entspricht dabei einer atomaren Operation.

Durch die Option, Arbeitsgänge aus atomaren Operationen (Verrichtungen) zusammenzusetzen, wird z.B. von SCHNEEWEIS, C. (1988), S. 288, abgewichen. Er behandelt Arbeitsgänge als kleinste Einheiten der Prozeßkoordinierung. Allerdings besteht jederzeit die Freiheit, die hier benutzten atomaren Operationen per definitionem als Arbeitsgänge anzusetzen. Dies ist z.B. der Fall, wenn Rüstoperationen nicht als Bestandteile von Arbeitsgängen, sondern als Arbeitsgänge sui generis konzeptualisiert werden. Dieser Ansatz findet sich z.B. bei MÜLLER, U. (1988b), S. 148f. Die derart eingeführten Arbeitsgänge bewegen sich dann aber auf einem detaillierteren Konzeptualisierungsniveau, als es für produktionswirtschaftliche Maschinenbelegungs- und Ablaufplanungsmodelle üblich ist. Auf diese vorherrschende Modellierungsweise wird später als "idealtypische" Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen näher eingegangen.

51) Daher erstreckt sich die erste der oben angekündigten drei Dimensionen der Objektcharakterisierung auf die Unterscheidung, ob es sich bei den modellierten Objekten entweder um abstrakte oder aber um konkrete Objekte handelt.

52) Produktionsfaktoren werden in dieser Arbeit auch synonym als Faktoren oder Ressourcen angesprochen.

53) Die Konjunktion "oder" wird in dieser Arbeit stets im inklusiven Sinn des logischen "oder" verwendet. Falls ein "oder" im exklusiven Sinn gemeint ist, so wird dies durch ausdrückliche umgangssprachliche Verstärkung - wie etwa die Formulierung "entweder ... oder" - verdeutlicht.

54) Diese Feststellung läßt aufgrund des inklusiven Charakters ihrer Konjunktion "oder" auch zu, daß das gleiche konkrete Objekt - etwa ein Werkstück - in einen Produktionsprozeß als Produktionsfaktor eingeht und ihn als Produkt wieder verläßt. Die Begriffe "Produktionsfaktor" und "Produkt" besitzen daher in dieser Arbeit nur relationalen Charakter. Sie setzen jeweils als Referenzobjekt einen Produktionsprozeß voraus, bezüglich dessen das gleiche Objekt sowohl einen Produktionsfaktor als auch ein Produkt darstellen kann - je nachdem, ob es zum Prozeßin- bzw. -output gehört.

55) Auf die Abweichungen wird in Kürze - insbesondere hinsichtlich der Objektart "Werkstück" - zurückgekommen.

56) Folglich betrifft die zweite Dimension der Objektcharakterisierung das Spektrum der jeweils zugrundegelegten Faktorarten. Wie auch die nachfolgende dritte Charakterisierungsdimension gilt sie ausschließlich für die Gesamtheit der konkreten Objekte.

57) In dieser Arbeit wird lediglich eine grobe Faktordifferenzierung vorgenommen, da keine Repetition hinlänglich thematisierter produktionswirtschaftlicher Faktorsysteme beabsichtigt ist. Statt dessen interessiert hier nur, anhand der später vorgelegten Fallstudie exemplarisch zu veranschaulichen, wie Unterschiede von Faktorarten zu verschiedenen Objektrepräsentationen durch entsprechende Netzmodule führen.

58) Vgl. zu solchen Systematisierungen von Faktorarten GUTENBERG (1951), S. 3ff. u. 14ff.; KERN, W. (1978), S. 580f. u. 583f.; KERN, W. (1979b), S. 15ff., insbesondere S. 17f.; BOHR (1979), Sp. 1482ff., insbesondere Sp. 1487ff.; GUTENBERG (1983), S. 3ff. u. 11ff.; CORSTEN (1986a), S. 173ff.; CORSTEN (1986b), S. 5ff.; KERN, W. (1988), S. 122ff.; KERN, W. (1990a), S. 13ff., insbesondere S. 17; CORSTEN (1990a), S. 7ff. Ein weiteres, jedoch erheblich abweichendes Systematisierungskonzept findet sich bei BERNDT (1987), S. 107. Es besitzt aber keinen hohen Differenzierungsgrad. Darüber hinaus läßt es sich mit den vorgenannten, betriebswirtschaftlich etablierten Faktorsystematisierungen nur schwer vereinbaren.

59) Dies gilt insbesondere für die nachfolgende Unterscheidung zwischen Teilnetzen und Marken. Sie werden später in der Fallstudie detailliert dargestellt.

60) Diese Differenzierung konstituiert die dritte Dimension der Objektcharakterisierung. Dieselbe Dichotomie findet sich bei MATTERN (1989a), S. 206, und bei ESCHENBACHER (1991), S. 224, im Kontext von transaktionsorientierten Simulationskonzepten. In ähnlicher Weise spricht KNOOP (1986), S. 144, Werkstücke als dynamische Elemente von Produktionssystem-Modellen an, denen er Betriebsmittel als stationäre Systemelemente gegenüberstellt. Ebenso läßt sich auf die vielfach übliche Unterscheidung zwischen Fluß- und Bestandsobjekten verweisen.

61) Objektspezifische Teilnetze werden ebenso benutzt, um jeweils ein abstraktes Objekt der Art "Produktionsauftrag" zu modellieren. Ein solcher Produktionsauftrag kann aber aufgrund seiner abstrakten Objektcharakteristik nicht als "ortsfest" klassifiziert werden. Daher werden Produktionsaufträge nicht in die hier vorgenommene Unterscheidung zwischen mobilen und immobilen Objekten einbezogen. Statt dessen bilden sie neben den konkreten - mobilen oder immobilen - Objekten eine dritte Objektart sui generis.

62) Dieses Teilnetz ist nicht mehr objekt-, sondern objektartspezifisch. Denn es gilt für alle Objekte der Objektart "Transportmittel" gemeinsam.

63) Die unmittelbare Repräsentation beweglicher Objekte durch fließende Marken stellt eine herausragende Facette des Petrinetz-Konzepts dar. Sie wird in dieser Arbeit noch oftmals thematisiert werden. Diese Besonderheit des Petrinetz-Konzepts tritt offen zu Tage, wenn es mit den Ausführungen von MATTERN (1989a), S. 206f., zu einem transaktionsorientierten Simulationskonzept verglichen wird. Auch dieses Simulationskonzept beruht auf der dichotomen Unterscheidung zwischen mobilen und immobilen Objekten. Allerdings kennt es nur die unmittelbare Repräsentation der ortsfesten Objekte in der Gestalt eines Stationsnetzes oder Warteschlangensystems. Eine direkte Darstellung der Objekte, die sich zwischen den Stationen bzw. Warteschlangen bewegen, geschieht jedoch nicht. Angesichts der hervorstechenden Eigenschaft des Petrinetz-Konzepts, mit Hilfe seiner Marken bewegliche Objekte unmittelbar abbilden zu können, ist die Einstellung TROBMAN (1990), S. 108, nicht nachzuvollziehen. Er fordert ein graphentheoretisch basiertes Untersuchungskonzept, das in der Lage sein soll, "Mengen- oder Zeitströme ..., die durch ein Netz fließen", abzubilden. Der Flußaspekt wird auf S. 109ff. noch mehrfach als das Postulat wiederholt, das Fließen von Gütern durch ein Netz solle modelliert werden können. Eben dazu sei das Petrinetz-Konzept nicht in der Lage (S. 108). Dies trifft jedoch - zumindest hinsichtlich der Mengenströme - nicht zu. Denn der Fluß von Mengengrößen durch ein Netz stellt nichts anderes dar als der Strom von Marken, die als mobile Objekte in einem Netz fortbewegt werden. Die Abbildungsmöglichkeit von "Zeitströmen" könnte zwar schon eher in Zweifel gezogen werden. Darauf wird in dieser Arbeit noch mehrfach zurückgekommen. Es wird dabei aber gezeigt werden, daß sich zeitbezogene Größen in das Petrinetz-Konzept durchaus integrieren lassen.

64) Werkstücke fließen zusätzlich durch die Teilnetze, die jeweils einen Produktionsauftrag repräsentieren.

65) Auf das Teilnetz, durch das die Marken für Arbeitskräfte fließen, wird in Kürze näher eingegangen.

66) Vgl. KERN,W. (1990a), S. 14. Vgl. ebenso die Betriebsmittel "mit eigenem Leistungsvermögen" bei KERN,W. (1962a), S. 53.

67) Die Differenzierung zwischen mobilen und immobilen Objekten ist bei Strukturierungsansätzen für Produktionssysteme, die sich nicht im Rahmen des Petrinetz-Konzepts bewegen, kaum zu finden. Zu den seltenen Ausnahmen zählt BERNDT (1987), S. 105f. Zwar ist bei produktionswirtschaftlichen Typisierungen von Güterarten die Unterscheidung zwischen mobilen und immobilen Güterarten durchaus üblich. Vgl. z.B. KERN,W. (1990a), S. 84 u. 87 (in bezug auf Stückgüter, die auch in dieser Arbeit vorausgesetzt werden). Aber diese Gütertypisierung schlägt sich in der Regel nicht in einer entsprechenden Ausdifferenzierung von Produktionsfaktorsystemen nieder. Auf solchen Produktionsfaktorsystemen beruht aber zumeist die Strukturierung von Produktionssystemen. Daher fließt in die Systemstrukturierung im allgemeinen keine Differenzierung zwischen beweglichen und ortsfesten Objekten ein. Es könnte eingewandt werden, in solchen Systemstrukturierungen sei doch die Unterscheidung zwischen Bearbeitungs- und Materialflußsystemen üblich. In den Materialflußsystemen werde die Mobilität von Objekten erfaßt. Dieser Einwand greift aber nicht. Denn in Materialflußsystemen werden mobile Objekte, wie z.B. Werkstücke und Transportmittel, mit den Lagerstationen als immobilen Objekten vermengt. Deshalb führt auch die Differenzierung zwischen Bearbeitungs- und Materialflußsystemen zu keiner präzisen Unterscheidung zwischen mobilen und immobilen Objekten.

68) Das schließt nicht aus, daß die Arbeitskräfte für ihre Fortbewegung Transportmittel benutzen. Es wird jedoch vorausgesetzt, daß hierdurch weder die Transportkapazität des benutzten Transportmittels in Anspruch genommen noch seine Transportroute beeinflusst wird. Daher kann bei der Modellierung von Transportmitteln darauf verzichtet werden, ihre okkasionelle Mitbenutzung durch Arbeitskräfte explizit zu berücksichtigen.

69) Es handelt sich - wie schon bei den Transportmitteln - abermals um ein objektartspezifisches Teilnetz. Denn es gilt für alle Objekte, die zur selben Objektart "Arbeitskraft" gehören.

70) Vgl. zu solchen Bearbeitungsstationen JUNGHANNS (1976), S. 62f.; STUTE (1978a), S. 4; NIEB (1980), S. 20ff.; HINTZ (1987), S. 37ff. Die hier entwickelte Strukturkomponente der Bearbeitungsstation entspricht weitgehend dem von ROPOHL (1971), S. 143ff., und SCHARF,P. (1976), S. 31ff., beschriebenen Arbeitssystem von (Flexiblen) Fertigungssystemen. Der Begriff "Bearbeitungsstation" wird explizit verwendet bei JUNGHANNS (1976), S. 62; STUTE (1978a), S. 4 u. 9; NIEB (1980), S. 20; MAIER,U. (1980), S. 45; DÖTLING (1981), S. 17f.; SELIGER (1983), S. 68f.; MISSBAUER (1987), S. 23; HINTZ (1987), S. 37; SCHNEEWEIF,C. (1988), S. 286, und SCHMIDT,HU. (1989), S. 16. Bei WECK (1988c), S. 22 u. 31, findet er sich - in seine zwei Teilbegriffe zerlegt - als Bezeichnung der Komponenten eines Flexiblen Fertigungssystems (S. 31), die jeweils in der Lage sind, mehrere Bearbeitungsverfahren auszuführen (S. 22).

71) Diese Einschränkung grenzt Betriebsmittel aus, die an einem räumlich zusammengefaßten Betriebsmittelkomplex nur vorübergehend teilhaben. Das trifft vor allem auf Werkzeuge zu, die einer Bearbeitungsstation nicht fest zugeordnet sind, sondern bedarfsabhängig an verschiedenen Stationen eines Flexiblen Fertigungssystems bereitgestellt werden können.

72) Über diese Schnittstellen kann eine Bearbeitungsstation sowohl Werkstücke als auch Werkzeuge mit ihrem Umsystem austauschen. Der Einfachheit halber wird im folgenden nur auf Werkstücke explizit Bezug genommen. Für Werkzeuge gelten jedoch implizit die gleichen Sachverhalte.

73) Die Kapazität eines solchen Zwischenlagers beträgt oftmals nur genau ein Werkstück. Vgl. SPUR (1980), S. 323; SPUR (1981a), S. 115; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 149. Ansonsten bleibt sie auf einige wenige Werkstücke beschränkt. Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 149; HARTLEY (1984), S. 87 (3 Paletten im Eingangspuffer); MERKEL,P. (1991a), S. 28 (6 Paletten).

74) Abweichender Ansicht ist SPUR (1980), S. 323. Dort werden Ausgangspuffer explizit ausgegrenzt, weil Werkstücke nach ihrer Bearbeitung sofort in die Warteliste einer nachfolgenden Bearbeitungsstation eingetragen würden. Der Verf. folgt dieser Ansicht nicht. Erstens kann bei einem Außerachtlassen von Ausgangspuffern der real mögliche Fall nicht erfaßt werden, daß ein Werkstück nach seiner Bearbeitung auf ein Transportmittel für seinen Weitertransport wartet. Zweitens hält es der Verf. für konzeptionell problematisch, die Abbildung real vorhandener Ausgangspuffer mit Aspekten zu vermengen, die sich auf Strategien für die Lösung von Koordinierungsproblemen beziehen.

75) Vgl. zu solchen Pufferlagern von Bearbeitungsstationen SPUR (1980), S. 322f.; SPUR (1981a), S. 115; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 147 u. 149; HARTLEY (1984), S. 87 u. 145; KNOOP (1986), S. 130ff.; HINTZ (1987), S. 42; WECK (1988c), S. 399ff.; MERKEL,P. (1991a), S. 28. Einen Sonderfall stellen bifunktionale Pufferlager dar. Sie liegen vor, wenn dasselbe Pufferlager zugleich die Funktion eines Eingangs- als auch eines Ausgangspuffers erfüllt. Falls Werkstücke auf Paletten transportiert werden, sind diese bifunktionalen Puffer oftmals als Palettenwechseleinrichtungen ausgestaltet. Vgl. JUNGHANNS (1976), S. 62f.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 149ff.; HARTLEY (1984), S. 92ff.; KOCHAN,D. (1986), Abb. 24 auf S. 37 u. S. 77f. In dieser Arbeit wird jedes bifunktionale Zwischenlager durch zwei separate, jeweils monofunktionale Pufferlager konzeptualisiert: einen selbständigen Eingangs- und einen ebenso eigenständigen Ausgangspuffer. Vgl. ebenso zur Beschränkung auf monofunktionale Pufferlager für die Bearbeitungsstationen in Flexiblen Fertigungssystemen SPUR (1980), S. 322f., und SPUR (1981a), S. 115 (Vorpuffer).

Die Pufferlager, die jeweils zu genau einer Bearbeitungsstation gehören, müssen deutlich von Pufferlagern unterschieden werden, die keiner Bearbeitungsstation fest zugeordnet sind. Die letztgenannten Pufferlager werden in Kürze als Komponenten des Lagersystems berücksichtigt. Oftmals wird darauf verzichtet, Pufferlager als Schnittstellen von Bearbeitungsstationen vorzusehen. Statt dessen werden zumeist alle Aspekte der Lagerhaltung einem Lagersystem zugerechnet, das sich mit den Bearbeitungsstationen nicht überschneidet. Vgl. SPUR (1982c), S. 137; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 83, 92f. u. 138; MERTINS (1985a), S. 10f.; MERTINS (1985b), S. 250 u. 252; HINTZ (1987), S. 42.

76) Bearbeitungsmaschinen entsprechen den Arbeitsmaschinen bei SPUR (1982c), S. 136, und KERN,W. (1990a), S. 196.

77) Vgl. zu Werkzeugmaschinen OPITZ,H. (1958), S. 952ff.; SPUR (1967), S. 411ff.; STUTE (1967), S. 942ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 131ff.; SPUR (1982c), S. 136; WECK (1988c), insbesondere S. 21ff. Vgl. insbesondere zum Einsatz von Werkzeugmaschinen in Flexiblen Fertigungssystemen WECK (1982), S. 376ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 4f. u. 87; MERTINS (1985a), S. 24f.; ENDELL (1987), S. 193 u. 195; WILDEMANN (1987a), S. 26; HINTZ (1987), S. 22. Als spezielle Ausprägungen von Werkzeugmaschinen kommen vor allem NC-, CNC-, PC- und SPS-Maschinen in Betracht.

Vgl. zu näheren Beschreibungen von NC-Maschinen (NC steht für: Numerical[ly] Control[ed]) bei HORMANN,D. (1973), S. 1ff. u. 23ff.; JUNGHANNS (1976), S. 62ff., 71ff. u. 92ff.; SPUR (1977), S. 16ff.; WECK (1982), S. 123ff., insbesondere S. 148f.; HEDRICH (1983), S. 10ff. u. 20ff.; WARNECKE,H. (1984d), S. 458ff.; KOCHAN,D. (1986), S. 8ff.; HELBERG (1987), S. 21 u. 58; WECK (1988c), S. 24ff. Vgl. auch zu NC-Maschinen in Flexiblen Fertigungs-

systemen EVERSHEIM (1981), S. 132ff.; WECK (1982), S. 376ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 87, 114 u. 135; GAUDERON (1984), S. 49ff.; DEY (1984), S. 461; MERTINS (1985a), S. 51 u. 57; MERTINS (1985b), S. 249 u. 252; KOCHAN,D. (1986), S. 39, 49ff., 60f., 68ff. u. 84f.; BÜHNER (1986c), S. 4 u. 8; HINTZ (1987), S. 22 u. 38; WILDEMANN (1987a), S. 26; WECK (1988c), S. 399, 405 u. 407f.; REMBOLD (1990), S. 77ff.

Vgl. ebenso zu CNC-Maschinen (CNC steht für: Computer[ized] Numerical[ly] Control[ed]) SPUR (1977), S. 35ff. u. 41ff.; SCHMIDT,K. (1980), S. 195ff.; SPUR (1980), S. 69ff.; WECK (1982), S. 149ff.; WARNECKE,H. (1984d), S. 458ff.; HARTLEY (1984), S. 23ff.; KOCHAN,D. (1986), S. 19ff.; HELBERG (1987), S. 21; WECK (1988c), S. 26ff.; JUNIKE (1988), S. 441ff.; SCHEER (1990c), S. 213; BRÜGGEMANN (1991), S. 226ff. Vgl. zu CNC-Maschinen in Flexiblen Fertigungssystemen SPUR (1980), S. 63ff. u. 68ff.; MERTINS (1981), S. 81 u. 84; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 135; MERTINS (1983), S. 429f.; GAUDERON (1984), S. 9, 60 u. 160; HARTLEY (1984), passim, insbesondere S. 10, 23ff., 35ff. u. 133ff.; DEY (1984), S. 458; MERTINS (1985a), S. 51; KOCHAN,D. (1986), S. 37, 74, 86f. u. 99; KNOOP (1986), S. 11 u. 130; o.V. (1988m), S. 1; REMBOLD (1990), S. 79ff. u. 95ff.; SCHEER (1990c), S. 214; BRÜGGEMANN (1991), S. 227ff.

Vgl. zu PC-Maschinen (PC steht für: Programmable Control[ed/ler]) in Flexiblen Fertigungssystemen STUTE (1978a), S. 10 u. 57; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 135; MERTINS (1985b), S. 252. Vgl. zu SPS-Maschinen (SPS steht für: Speicherprogrammierbare [Symbolprogrammierbare] Steuerung) WECK (1982), S. 114ff.; WECK (1988c), S. 31f., 395 u. 522; SCHLINGENSIEPEN (1988a), S. 14ff.; BRÜGGEMANN (1991), S. 226ff.

Bei den Bezeichnungen der CNC-, PC- und SPS-Maschinen handelt es sich nur um eine sprachliche, aber nicht um eine inhaltliche Unterscheidung. Vgl. WECK (1982), S. 114, 149 u. 159. Zwischen diesen drei Maschinentypen und NC-Maschinen besteht nur dann ein Unterschied, wenn NC-Maschinen als Maschinen mit "fest verdrahteten" Steuerungen betrachtet werden (Hardware-"Programmierung"), während sich CNC-, PC- und SPS-Maschinen frei programmieren lassen (Software-Programmierung). Mitunter werden aber auch Maschinen mit frei programmierbaren Steuerungen als NC-Maschinen bezeichnet. Vgl. z.B. die Gleichbehandlung von NC- und CNC-Maschinen bei WECK (1988c), S. 26f. Von SPS-Maschinen wird zumeist dann gesprochen, wenn es sich um konzeptionell ältere Programmierkonzepte auf Assembler-Basis handelt. CNC-Maschinen lassen dagegen auch höhere (werkstattspezifische) Programmiersprachen zu. Daher stehen CNC-Maschinen im Zentrum der "Werkstattprogrammierung". Sie findet in jüngerer Zeit verstärkt Beachtung. Vgl. zum Konzept der Werkstattprogrammierung im allgemeinen REMPP (1981b), S. 279ff.; DITTRICH,L. (1982), S. 128ff., insbesondere S. 130; FOTILAS (1983), S. 127f.; KREIMEIER (1988), S. 393f. Vgl. zur Werkstattprogrammierung im speziellen Kontext Flexibler Fertigungssysteme GAUDERON (1984), S. 55 u. 160; AWF (1984), S. 73f. u. 84; DEY (1984), S. 464; ARNING (1987), S. 48 u. 98f.; EIDENMÜLLER (1987), S. 245; BÖTZOW (1988a), S. 47f., 118, 149, 151 u. 174f.; ULLMANN (1988), S. 143 (mittelbar).

78) Bearbeitungszentren stellen im Grunde nur eine spezielle Ausprägung von CNC-Maschinen dar. Sie werden zumeist dadurch charakterisiert, daß sie über eigene Werkzeugspeicher und Vorrichtungen für automatische Werkzeugwechsel verfügen. Dadurch erhalten sie die Fähigkeit zur Komplettbearbeitung von Werkstücken. Vgl. zu ausführlicheren Beschreibungen von Bearbeitungszentren BRANKAMP (1971a), S. 7ff., insbesondere S. 9ff.; JUNGHANNS (1976), S. 75ff. u. 98ff.; HAHN,D. (1980), Sp. 695; EVERSHEIM (1981), S. 130 u. 132; KOCHAN,D. (1986), S. 25f.; HELBERG (1987), S. 58ff. u. 107ff.; ARNING (1987), S. 69ff.; WECK (1988c), S. 22, 182ff. u. 398; SCHEER (1988d), S. 50. Vgl. zu Bearbeitungszentren in Flexiblen Fertigungssystemen JUNGHANNS (1976), S. 115f. u. 118; STUTE (1978a), S. 8f.; WARNECKE,H. (1980a), S. 9; EVERSHEIM (1981), S. 132 u. 134; MERTINS (1981), S. 85; DÖTTLING (1981), S. 69; FETZER (1982), S. 9 u. 11ff.; WECK (1982), S. 382f., 387 u. 389; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 129; HARTLEY (1984), passim, insbesondere S. 37ff. u. 133ff.; DEY (1984), S. 459 u. 463f.; MERTINS (1985a), S. 48; MERTINS (1985b), S. 253; KOCHAN,D. (1986), S. 77f.; ARNING (1987), S. 69, 75 u. 78; HELBERG (1987), S. 123; HINTZ (1987), S. 38 u. 46; ENDELL (1987), S. 193 u. 195; WECK (1988c), S. 389, 399, 403, 405 u. 407f.; o.V. (1988n), S. 25; MERKEL,P. (1991a), S. 28f.

79) Allerdings werden die Nutzungsmöglichkeiten von Bearbeitungsstationen durch Prämissen eingeschränkt, die sich auf die Konzeptualisierung der Bearbeitungskapazitäten ihrer Bearbeitungsmaschinen erstrecken. Zunächst wird für jede Bearbeitungsmaschine unterstellt, daß auf ihr zu jedem Zeitpunkt höchstens ein Arbeitsgang ausgeführt werden kann. Hierdurch wird der Leistungsquerschnitt, der als Kapazität (vgl. KERN,W. (1962a), S. 29ff.; KERN,W. (1990a), S. 21f.) die quantitative Kapazität einer Bearbeitungsstation mitbestimmt, von vornherein eng begrenzt. Die gleiche Bearbeitungsprämisse findet sich - in variierenden Formulierungen - z.B. bei ALDINGER (1985a), S. 106; KNOOP (1986), S. 28. Simultane Mehrfachbearbeitungen von Werkstücken auf derselben Bearbeitungsmaschine werden daher ausgeschlossen. Dies gilt jedoch nur für solche Werkstücke, die nicht zum gemeinsamen Input derselben Bearbeitungsoperation bei synthetischer Produktion gehören. Darüber hinaus wird in Kürze dargelegt, daß der weit gefaßte Werkstückbegriff dieser Arbeit zuläßt, auf demselben Werkstückträger mehrere Werkstücke (i.e.S.) aufzuspannen. Im Rahmen solcher Mehrfachaufspannungen ist also auch die simultane Bearbeitung mehrerer Werkstücke an derselben Bearbeitungsmaschine möglich. Bezüglich der zweiten Determinante der quantitativen Kapazität, der Nutzungsintensität einer Bearbeitungsstation, wird eine zeitlich konstante Intensität der Maschinennutzung vorausgesetzt. Dies bedeutet insbesondere konstante Bearbeitungsgeschwindigkeiten.

Die dritte Kapazitätsdeterminante - die zeitliche Verfügbarkeit einer Bearbeitungsstation - wird dagegen mit der Hilfe eines Verfügbarkeitskalenders detaillierter dargestellt. Er gibt die Zeitintervalle an, in denen das Leistungs-

vermögen einer Bearbeitungsstation planmäßig zur Verfügung steht. Vgl. zur Verwendung von Verfügbarkeits-, Betriebskalendern o.ä. bei PPS-Systemen PABST (1985), S. 221; JAHN (1988), S. 454f. Vgl. ebenso zu ihrer Berücksichtigung im Rahmen der Netzplantechnik ZHAN (1989), S. 506f. Durch solche Kalender wird von der sonst mehrheitlich üblichen Vorgehensweise abgewichen, die zeitliche Verfügbarkeit von Bearbeitungsstationen nur pauschal zu erfassen. Dabei werden Verfügbarkeitsdauern von Bearbeitungsstationen durch Überschlagsrechnungen aus ihrer theoretischen Verfügbarkeit und durchschnittlichen Verfügbarkeitsminderungen abgeleitet. Vgl. REFA (1985b), S. 216ff. Diese Konzeptualisierung leidet aber unter einer mangelhaften Realitätsadäquanz. Denn dieselben pauschalen Verfügbarkeitsdauern können durchaus in unterschiedlicher Weise zeitlich verteilt sein. Die reale Prozeßkoordination hängt aber von der tatsächlichen Verfügbarkeit einer Bearbeitungsstation in einem Zeitpunkt ab. Dieser Koordinierungsaspekt wird nur von wenigen konventionellen Modellierungen berücksichtigt, die ein zeitvariables Kapazitätsangebot der Maschinen zulassen. Vgl. etwa ALDINGER (1985a), S. 70, oder MISSBAUER (1987), S. 23. Darüber hinaus könnte auch noch die qualitative Kapazität einer Bearbeitungsmaschine berücksichtigt werden. Diese wäre vor allem dann erforderlich, wenn die auszuführenden Bearbeitungsoperationen hinsichtlich ihrer Güte (Präzision) unterschieden werden sollen. Vgl. dazu z.B. WICHARZ (1983), S. 367. Er bezieht sich allerdings in größerer Weise nicht auf die präzisionalen Bearbeitungsanforderungen einzelner Operationsausführungen, sondern ganzer Aufträge. Ähnlich fordert HELBERG (1987), S. 174, für Aufträge oder Teile davon Qualitätsaspekte zu berücksichtigen. Dem Aspekt der qualitativen Kapazität von Bearbeitungsmaschinen wird in dieser Arbeit jedoch keine weitere Beachtung geschenkt. Vgl. statt dessen zu ihrer Charakterisierung und inhaltlichen Ausdifferenzierung KERN, W. (1990a), S. 22f. u. 197. Falls zwischen verschiedenen Ausführungsgütern der gleichen Bearbeitungsoperation unterschieden werden muß, werden entsprechend viele Bearbeitungsoperationen mit operationspezifischen Präzisionsanforderungen konzeptualisiert. Auf diese Weise lassen sich die Komplizierungen qualitativer Maschinenkapazitäten vermeiden, ohne auf die Berücksichtigung unterschiedlicher Bearbeitungsgütern verzichten zu müssen.

Schließlich wird vorausgesetzt, daß für jede Bearbeitungsstation bekannt ist, in welcher Weise Arbeitskräfte qualifiziert sein müssen, um die maschinellen Vorrichtungen der Station bedienen zu können. Dieser Qualifikationsaspekt klingt auch an bei WICHARZ (1983), S. 367, und WINTER, RO. (1991), S. 311 u. 314f. (dort wird der Qualifikationsbedarf allerdings nicht auf die Bearbeitungsstationen, sondern auf die bearbeiteten Aufträge bezogen). Als Grenzfall der Bedienungsqualifikation wird zugelassen, daß eine Bearbeitungsstation überhaupt keine Anforderungen an bedienende Arbeitskräfte stellt. Denn bei Flexiblen Fertigungssystemen muß damit gerechnet werden, daß ihre Bearbeitungsstationen - zumindest teilweise oder in begrenzten Zeitintervallen - vollautomatisch betrieben werden. Eine solche räumliche und zeitliche Entkopplung der Operationsausführung von Bearbeitungsstationen einerseits und der Präsenz von Arbeitskräften andererseits ist in automatisierten Produktionssystemen des öfteren festzustellen. Vgl. BRANKAMP (1978), S. 114f.; STAUDT (1982a), S. 63ff.; STAUDT (1982b), S. 187ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 47, 66, 100, 471f. u. 475 (mit speziellem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme); STAUDT (1983), S. 187ff.; STAUDT (1984a), S. 113ff.; STAUDT (1984b), S. 402; ZINK (1984), S. 179; ULICH (1984), S. 151; STAUDT (1985), S. 15; CIEPLIK (1985), S. 48; RITTER (1985), S. 107f.; SPUR (1985c), S. 12; HÜSCH (1985), S. 194; ZELEWSKI (1986a), S. 1057f. u. 1269; ENDELL (1987), S. 203ff.; SCHMIDT, HU. (1989), S. 17; EVERSHEIM (1990c), S. 83; WILDEMAN (1991a), S. 19. Solche Entkopplungen von Bearbeitungsstationen und Arbeitskräften lassen sich aber in konventionellen Modellierungen von Koordinierungsproblemen nur schwer erfassen. Denn dort werden Arbeitskräfte entweder überhaupt nicht explizit repräsentiert. Oder es wird implizit unterstellt, sie ständen stets an den Bearbeitungsstationen für deren Bedienung bereit. In beiden Fällen können die Entkopplungseffekte nicht unmittelbar dargestellt werden. Vgl. dazu auch HELBERG (1987), S. 163. Er erwähnt die eng verwandten Schwierigkeiten, im Rahmen konventioneller PPS-Systeme unterschiedliche Kapazitäten von Betriebsmitteln und Arbeitskräften zu berücksichtigen.

80) Die Handhabung von Objekten stimmt mit deren Transport insoweit überein, als beide der Veränderung der räumlichen Objektbefindlichkeit dienen. Von Handhabung wird hier gesprochen, wenn Objekte in der unmittelbaren Umgebung derselben Bearbeitungs- oder Lagerstation nur einer geringfügigen Positions-, aber einer bedeutsamen Orientierungsveränderung durch kombinierte Translations- und Rotationsbewegungen unterzogen werden. Als Transport wird dagegen jede Ortsveränderung von Objekten verstanden, die sich über räumlich große Distanzen zwischen Bearbeitungs- oder Lagerstationen erstreckt. Die Ausrichtung der Objekte kann bei solchen Translationsbewegungen modifiziert werden, doch steht dies nicht im Vordergrund. Vgl. zu einer ähnlichen Abgrenzung von Transport und Handhabung SCHARF, P. (1976), S. 39; MERTINS (1985a), S. 31; MERTINS (1985b), S. 250f.; KNOOP (1986), S. 11; HELBERG (1987), S. 22.

81) Vgl. zum Einsatz von Handhabungsautomaten, die keine werkzeughührenden Bearbeitungsoperationen ausführen, in Flexiblen Fertigungssystemen DÖTTING (1981), S. 69f.; WECK (1982), S. 388f.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 15f., 88f., 149ff. u. 534ff.; HARTLEY (1984), S. 33f., 37f., 106f. u. 134ff.; MERTINS (1985a), S. 36, 56 u. 160ff.; MERTINS (1985b), S. 251 u. 255ff.; KOCHAN, D. (1986), S. 77 u. 81; KNOOP (1986), S. 12; WILDEMAN (1987a), S. 30 u. 346ff.; WECK (1988c), S. 400, 404f., 409, 421, 423f. u. 509f.; THIEL, W. (1988c), S. 327; KÖLLE, A. (1991), S. 457. Handhabungsautomaten werden hier so weit gefaßt, daß sie auch Werkzeugwechselrichtungen von Bearbeitungsstationen umgreifen. Vgl. zu solchen Einrichtungen z.B. JUNGHANNS (1976), S.

428ff.; AWF (1984), S. 84; HARTLEY (1984), S. 58 u. 117; MERTINS (1985a), S. 50f.; KOCHAN,D. (1986), S. 33, 41 u. 71; HINTZ (1987), S. 36; HELBERG (1987), S. 123f.; WECK (1988c), S. 401ff., 406, 411f. u. 423f.; MERKEL,P. (1991a), S. 28f. Vgl. auch WILDEMANN (1987a), S. 28, mit einer Übersicht über alternative Formen der (lokalen) Werkzeugversorgung von Bearbeitungsstationen. In Flexiblen Fertigungssystemen werden im Regelfall 20 bis 40 Werkzeuge an jeder Bearbeitungsstation eingesetzt. Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 133; MERTINS (1985a), S. 50; KOCHAN,D. (1986), S. 70f.; HINTZ (1987), S. 46; WILDEMANN (1987a), S. 98 (er weist allerdings darauf hin, daß - im Gegensatz zum vorgenannten weltweiten Durchschnitt - die Flexiblen Fertigungssysteme in der Bundesrepublik Deutschland eine mittlere Werkzeuganzahl von 90 Stück je Bearbeitungsstation besitzen). In Ausnahmefällen - insbesondere bei Bearbeitungszentren als Bearbeitungsstationen - kann diese Anzahl aber auch deutlich überschritten werden. Vgl. WECK (1982), S. 382 (60 Werkzeuge); HARTLEY (1984), S. 58 u. 117 (50 bzw. 20 bis 180 Werkzeuge); KOCHAN,D. (1986), S. 41 u. 78 (90 Werkzeuge); O.V. (1988n), S. 25 (190 Werkzeuge); MERKEL,P. (1991a), S. 28f. (120 Werkzeuge).

88) Die Schnittstelle läßt sich ebenso als ein Puffer bei der Werkzeugübergabe ausgestalten. Sie wird dann als Werkzeugpuffer der Bearbeitungsstation bezeichnet. Er wird aber nicht - wie es für Werkstücke der Fall war - in einen Ein- und einen Ausgangspuffer aufgespalten.

89) Als Bearbeitungsoperation wird jede Verrichtung verstanden, die im Rahmen von Fertigungs- oder Montageprozessen an Werkstücken vollzogen wird. Vgl. zu einer detaillierteren Behandlung des Begriffs der Bearbeitungsoperation TWELLMANN (1979), S. 26f. Das Spektrum von Verrichtungsmöglichkeiten wird durch die Artenvielfalt unterschiedlicher Fertigungsverfahren aufgespannt, die in der DIN-Norm 8580 und der darauf basierenden VDI-Richtlinie 3220 angeführt werden. Vgl. dazu SPUR (1982c), S. 136; REFA (1985c), S. 196ff.; KERN,W. (1990a), S. 52, Abb. 24. Vgl. zur Verrichtungsvielfalt industrieller Bearbeitungsprozesse ebenso - jedoch partiell von der vorgenannten DIN-Norm abweichend - FRITZ,A. (1985), S. 3ff. Übersichten über die Bearbeitungsoperationen, die von Flexiblen Fertigungssystemen abgedeckt werden, finden sich auch bei FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 14f., 122f., 129f. u. 534ff.; MERTINS (1985a), S. 160ff.; MERTINS (1985b), S. 255ff.; WILDEMANN (1987a), S. 346ff.

Als Bearbeitungsoperationen i.w.S. kommen auch Hilfsverrichtungen in Betracht. Dazu gehören z.B. das Säubern von Werkstücken vor ihrer Bearbeitung (i.e.S.) sowie das Entgraten, Polieren oder aktive Abkühlen von Werkstücken nach ihrer Bearbeitung (i.e.S.). Vgl. zu solchen Hilfsverrichtungen:

□ hinsichtlich des Werkstücksäuberns ("Waschstationen"): STUTE (1978a), S. 9; DÖTTLING (1981), S. 17f.; WECK (1982), S. 373f., 383 u. 385; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 262; HARTLEY (1984), S. 127f. u. 140; KOCHAN,D. (1986), S. 41, 43, 63, 77 u. 80f.; KNOOP (1986), S. 11 u. 130; HELBERG (1987), S. 124; HINTZ (1987), S. 38; WECK (1988c), S. 399.

□ in bezug auf das Werkstückabkühlen ("Kühlstationen"): KOCHAN,D. (1986), S. 63.

Bei DÖTTLING (1981), S. 17f. u. 68f., werden dagegen Reinigungsstationen zum Säubern von Werkstücken als Stationen sui generis neben Bearbeitungsstationen behandelt. Vgl. auch die Anmerkung zu einer Waschanlage bei MERKEL,P. (1991a), S. 29.

90) Vgl. zu ausführlichen Beschreibungen des Spannens von Werkstücken SPUR (1980), S. 31ff. u. 43ff.; WECK (1988c), S. 415ff., insbesondere S. 419ff. Vgl. auch die Anmerkungen bei BRANKAMP (1971a), S. 57f.; HORMANN,D. (1973), S. 105ff.; JUNGHANNS (1976), S. 65; TWELLMANN (1979), S. 48ff. u. 82ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 141ff. u. 316f.; THIEL,W. (1988c), S. 321ff. Vgl. auch zu den hierfür erforderlichen Spannvorrichtungen und -mitteln OPITZ,H. (1958), S. 952; BRANKAMP (1971a), S. 57f.; TUFFENTSAMMER (1975), S. 1ff.; SPUR (1980), S. 34; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 141ff.; HARTLEY (1984), S. 91 u. 96ff.; GAUDERON (1984), S. 62f.; KOCHAN,D. (1986), S. 73; HINTZ (1987), S. 37f. u. 43; HELBERG (1987), S. 62f.; ARNING (1987), S. 47; WECK (1988c), S. 409 u. 415ff.; THIEL,W. (1988c), S. 323ff.; ULLMANN (1988), S. 140.

91) Vgl. zu qualitätssichernden Aktivitäten (Prüfarbeiten), die an den Bearbeitungsstationen Flexibler Fertigungssysteme ausgeführt werden, SELIGER (1983), S. 100ff.; ARNING (1987), S. 49, 98 u. 100; KRAUTWURST (1988), S. 477ff. Zumeist handelt es sich dabei um das Vermessen der Werkstückgestalt. Vgl. JUNGHANNS (1976), S. 66; STUTE (1978), S. 9; DÖTTLING (1981), S. 69; SELIGER (1983), S. 100ff.; KOCHAN,D. (1986), S. 81; KNOOP (1986), S. 130; KÖLLE,A. (1991), S. 457f. Die Qualitätssicherung kann sich aber auch auf beliebige andere Qualitätsmerkmale - wie z.B. die Oberflächengüte der Werkstücke - erstrecken. Vgl. KRAUTWURST (1988), S. 479 (ansatzweise) u. 481. Prüfarbeiten lassen sich entweder durch den Arbeitsplan für den jeweils abgewickelten Auftrag explizit als eigenständige Arbeitsgänge vorschreiben und eventuell durch Prüfpläne präzisieren. Vgl. SCHARF,P. (1976), S. 51; REFA (1985c), S. 147 u. 256ff.; KRAUTWURST (1988), S. 477ff. Oder es wird implizit vorausgesetzt, daß bei der Auftragsabwicklung an jeder Bearbeitungsstation qualitätssichernde Maßnahmen erfolgen. Vgl. REFA (1985c), S. 135 ("Kontrollvorschriften") u. S. 151.

92) Spannarbeitsplätze können unmittelbar in Bearbeitungsstationen integriert sein. Vgl. TUFFENTSAMMER (1975), S. 5ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 151. Oftmals existieren in Flexiblen Fertigungssystemen aber auch Bearbeitungsstationen, die auf das Auf-, Um- und Abspannen von Werkstücken spezialisiert

sind. Solche reinen Spannarbeitsplätze werden auch als Spannstationen bezeichnet. Sie bilden häufig die Schnittstelle zwischen einem Flexiblen Fertigungssystem und dessen Umsystem oder dessen Ein- und Ausgangslagern. Vgl. zu dieser peripheren Lage von Spannstationen JUNGHANNS (1971), S. 152; JUNGHANNS (1976), S. 114; DÖTTLING (1981), S. 17. Vgl. darüber hinaus zur fertigungstechnischen Bedeutung und Gestaltung von Spannstationen TUFFENTSAMMER (1975), S. 4ff.; JUNGHANNS (1976), S. 65f.; STUTE (1978a), S. 9; SPUR (1980), S. 268; DÖTTLING (1981), S. 17f., 68 u. 70; EVERSHEIM (1981), S. 134f.; WECK (1982), S. 374 u. 383; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 143 u. 150; HARTLEY (1984), S. 34, 44ff., 59ff. u. 85f.; DEY (1984), S. 459 u. 463; MERTINS (1985b), S. 251; KOCHAN,D. (1986), S. 63, 67 u. 71; KNOOP (1986), S. 11 u. 130; HINTZ (1987), S. 37f. u. 43f.; HELBERG (1987), S. 62; WECK (1988c), S. 406.

93) Prüfarbeitsplätze sind oftmals Bestandteile von Bearbeitungsstationen. Die qualitätssichernden Prüfarbeiten erfolgen dann zeitgleich zur und unmittelbar nach der Werkstückbearbeitung. Vgl. dazu SCHARF,P. (1976), S. 51ff.; STUTE (1978a), S. 14f.; SPUR (1980), S. 34f.; KOCHAN,D. (1986), S. 35, 48, 51, u. 77; HELBERG (1987), S. 131f. u. 178. Eine solche stationsinterne Qualitätssicherung wird auch als "In-Prozeß-Kontrolle" oder "in-process inspection and control" bezeichnet. Vgl. HELBERG (1987), S. 131, bzw. KOCHAN,D. (1986), S. 35. Ebenso ist es möglich, daß an einer Bearbeitungsstation ausschließlich qualitätssichernde Prüfarbeiten vorgesehen sind. In diesem Fall nimmt die betroffene Bearbeitungsstation die Gestalt einer Prüfstation an. Solche Prüfstationen werden zumeist als Meßmaschinen oder Meßstationen thematisiert. Vgl. dazu JUNGHANNS (1976), S. 66 (Meßmaschinen); SCHARF,P. (1976), S. 52f. (ansatzweise); STUTE (1978a), S. 9 (Meßstation) u. 14 (Meßmaschine); DÖTTLING (1981), S. 17f. u. 68f.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 319 (Meßmaschine); HARTLEY (1984), S. 86; KOCHAN,D. (1986), S. 38 (Abb. 25), 65 u. 81; KNOOP (1986), S. 130; HINTZ (1987), S. 38.

94) Rüstoperationen erstrecken sich zwar nicht unmittelbar auf die Bearbeitung von Werkstücken. Doch dienen sie mittelbar demselben Zweck, indem sie eine Bearbeitungsstation auf das Ausführen verschiedenartiger Bearbeitungsoperationen ausrichten. Vgl. zu näheren Erläuterungen von Rüstoperationen, die das gesamte Spektrum des Auf-, Um- und Abrüstens von Bearbeitungsstationen umfassen können, MÜLLER,U. (1988b), S. 148f.; KERN,W. (1990a), S. 287 u. 291. Vgl. auch am Rande SCHMIDT,HU. (1989), S. 18, und EVERSHEIM (1990c), S. 83. Beide Autoren heben hervor, daß die Rüstoperationen in Flexiblen Fertigungssystemen nicht mehr auftragsabhängig, sondern "verbrauchsgesteuert" erfolgen.

Den Ausführungen von Rüstoperationen lassen sich Rüstkosten und -zeiten zuordnen. Insbesondere ist es möglich, daß diese Rüstgrößen von der Reihenfolge derjenigen Bearbeitungsoperationen abhängen, die auf einer Bearbeitungsstation ausgeführt werden können. Vgl. zu solchen reihenfolgeabhängigen Rüstkosten und -zeiten KERN,W. (1967), S. 120f.; HARVEY,W. (1969), S. 237ff.; RÜGER (1974), S. 2 u. 24ff.; HELBERG (1987), S. 155 u. 158; MÜLLER,A. (1987), S. 325f.; MÜLLER,U. (1988b), S. 149; KRALLMANN (1989b), S. 4 u. 9f.; KERN,W. (1990a), S. 308; KLEINER,F. (1991), S. 68. Abweichender Ansicht ist NIEß (1980), S. 21. Er behauptet, reihenfolgeabhängige Rüstzeiten seien für Flexible Fertigungssysteme "in der Regel nicht der Fall." Der Verf. erkennt jedoch keinen triftigen Grund für diese Annahme. Sie wäre nur plausibel, wenn alle Umrüstzeiten Null betrügen. Dies trifft jedoch nur für den Sonderfall zu, daß sich Bearbeitungsstationen zeitgleich zur Ausführung von Bearbeitungsoperationen umrüsten lassen (bearbeitungsparalleles Umrüsten). Dies ist zwar in Einzelfällen technisch möglich, stellt jedoch keineswegs die Regel dar. Vgl. zu Ansätzen für bearbeitungsparalleles Umrüsten SCHMIDT,HU. (1989), S. 86 (bloße Erwähnung); REMBOLD (1990), S. 104 u. 106; SAURENBACH (1991), S. 8 (nur als indirekte Zielvorstellung bezüglich der Rüstzeit "0"). Darüber hinaus bedeutet der Fortfall von Rüstzeiten noch keineswegs, daß auch die Rüstkosten gegen Null streben. Tendenziell tritt sogar eher das Gegenteil ein. Denn die Rüstkosten fallen für bearbeitungsparalleles Umrüsten oftmals sehr hoch aus, weil recht anspruchsvolle Umrüstvorrichtungen eingesetzt werden müssen.

Die reihenfolgeabhängigen Rüstkosten und -zeiten lassen sich durch stationsspezifische Rüstmatrizen erfassen. In ihnen ist jedem Übergang zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Bearbeitungsoperationen der entsprechende übergangsspezifische Umrüstaufwand zugeordnet. Vgl. WILDEMANN (1988f), S. 120 u. 193. Dabei kann das Auf- oder Abrüsten einer Bearbeitungsstation, das vor ihrer ersten bzw. nach ihrer letzten Arbeitsgangausführung erfolgt, mit der Hilfe von "Scheinarbeitsgängen" erfaßt werden. Die reihenfolgeabhängigen Rüstkosten und -zeiten entsprechen eher den realen Produktionsbedingungen in Flexiblen Fertigungssystemen als die sonst vorherrschende Konzeptualisierungsweise, jeder Bearbeitungsoperation genau einen Betrag für Rüstkosten oder -zeiten zuzuordnen. Dadurch wird jede Reihenfolgeabhängigkeit künstlich unterdrückt. Vgl. zu dieser konventionellen Spezifizierung von reihenfolgeinvarianten Rüstgrößen REFA (1985c), S. 134 u. 206f.; KERN,W. (1990a), S. 287f.

95) Sie werden dann auch als Werkzeugstationen angesprochen. Vgl. zu solchen Werkzeugstationen JUNGHANNS (1976), S. 65f.; STUTE (1978a), S. 9; DÖTTLING (1981), S. 17f. (ansatzweise) u. 68; HARTLEY (1984), S. 44ff. u. 123f.; KOCHAN,D. (1986), S. 45, 73 u. 82; WECK (1988c), S. 406ff. Werkzeugstationen stellen insofern einen Sonderfall dar, als in ihnen keine Werkstücke, sondern Werkzeuge "bearbeitet" werden. Die Werkzeugbearbeitung erstreckt sich vor allem darauf, die Werkzeuge im Hinblick auf die auszuführenden Bearbeitungsoperationen einzustellen. Dazu gehören beispielsweise das Nachschleifen von (Schneid-)Werkzeugen und die Montage von Werkzeugen aus modular aufgebauten Werkzeugbaukästen. Vgl. zur Werkzeug(vor)einstellung JUNGHANNS (1976), S. 65f.; DÖTTLING (1981), S. 17f.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 317 u. 333; AWF (1984), S.

84ff.; GAUDERON (1984), S. 60f.; HARTLEY (1984), S. 123; KOCHAN,D. (1986), S. 29, 45, 73 u. 82; HELBERG (1987), S. 107f. u. 124f.; ARNING (1987), S. 99 u. 106; ULLMANN (1988), S. 142. Daneben spielt auch eine größere Rolle, die Werkzeuge hinsichtlich ihres aktuellen Zustands zu vermessen. Im Vordergrund steht dabei die Überwachung der Werkzeugqualität, insbesondere das Feststellen der aktuellen Werkzeugabnutzung. Vgl. zur Werkzeugvermessung HARTLEY (1984), S. 123f.; KOCHAN,D. (1986), S. 73 u. 77; HELBERG (1987), S. 108; KÖLLE,A. (1991), S. 457 (allerdings ohne Bezug auf Werkzeugstationen). Schließlich rechnet zum Aufgabenspektrum von Werkzeugstationen auch das Kommissionieren von Werkzeugen, bevor sie zu den Bearbeitungsstationen befördert werden. Vgl. ULLMANN (1988), S. 142.

96) Lagerstationen leisten die physische Aufnahme, Bereithaltung und Abgabe von materiellen Objekten außerhalb von Bearbeitungsstationen. Objekte der Lagerhaltung sind sowohl Werkstücke als auch Werkzeuge. Die Lagerhaltung wird hier aber nur in dem Ausmaß betrachtet, wie der Materialfluß unterbrochen und noch nicht wiederangelaufen ist. Lagerstationen werden analog zu Bearbeitungsstationen mit je einem Ein- und je einem Ausgangspuffer für die vorübergehende Aufnahme einzulagernder bzw. ausgelagerter Objekte konzeptualisiert. Davon ausgenommen sind zwei ausgezeichnete Kategorien von Lagerstationen. Es handelt sich um die Ein- und die Ausgangslager des Produktionssystems. Sie dienen jeweils zur Lagerung von Vor- bzw. Endprodukten. Daher werden sie auch als Vor- bzw. Endproduktlager angesprochen. Für diese Lagerstationen an der Peripherie des Produktionssystems gilt: Die Eingangslager besitzen nur jeweils einen Ausgangspuffer, die Ausgangslager hingegen nur jeweils einen Eingangspuffer. Es lassen sich grob zwei Klassen von Lagerstationen unterscheiden: dezentrale Pufferlager (Zwischenlager) und Zentrallager. Dezentrale Pufferlager besitzen nur eine geringe Lagerkapazität. Sie sind zumeist als lineare oder rotierende Stationen für die vorübergehende Aufnahme von Werkstückpaletten ausgestaltet. Im ersten Fall erlauben sie nur einen Palettenzugriff nach dem FIFO-Prinzip. Im zweiten Fall ist dagegen ein wahlfreier Zugriff auf die Werkstückpaletten möglich. Zentrallager zeichnen sich dagegen durch eine erheblich größere Lagerkapazität aus. Sie sind meistens als (Hoch-)Regallager realisiert. Im allgemeinen erlauben sie einen wahlfreien Zugriff auf die eingelagerten Objekte. Auch die zuvor erwähnten Ein- und Ausgangslager gehören zum Typ der Zentrallager.

Vgl. zu dezentralen Pufferlagern in Flexiblen Fertigungssystemen SCHARF,P. (1976), S. 42ff.; MERTINS (1981), S. 83; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 146f. u. 534ff.; WECK (1982), S. 369 u. 373ff.; HARTLEY (1984), S. 44ff. u. 57; MERTINS (1985a), S. 34f., 55 u. 160ff.; MERTINS (1985b), S. 254 u. 255ff.; KOCHAN,D. (1986), S. 44, 60f., 64f., 68f., 71, 78 u. 83ff.; HELBERG (1987), S. 123f.; WECK (1988c), S. 489f. Vgl. zu zentralen Lagern in Flexiblen Fertigungssystemen SCHARF,P. (1976), S. 41f.; STUTE (1978a), S. 8f.; NIEB (1980), S. 18; MERTINS (1981), S. 81 u. 83f.; EVERSHEIM (1981), S. 132f.; DÖTTLING (1981), S. 17f. u. 68ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 146f. u. 534ff.; WECK (1982), S. 387; HARTLEY (1984), S. 59ff., 80ff. u. 143f.; DEY (1984), S. 465; MERTINS (1985a), S. 34, 56 u. 160ff.; MERTINS (1985b), S. 254 u. 255ff.; KOCHAN,D. (1986), S. 46, 60ff., 68f. u. 83ff.; KNOOP (1986), S. 130; HINTZ (1987), S. 42f.

Unbeachtet bleibt dagegen die materialflußbegleitende Lagerhaltung. Sie wird durch die oben angeführte Prämisse, nur die Lagerhaltung während der Unterbrechung von Materialflüssen zu berücksichtigen, ausgeklammert. Eine materialflußbegleitende Lagerhaltung kann z.B. in der Gestalt von Umlauflagern erfolgen. Sie läßt sich auch jedem Transportvorgang zuschreiben. Vgl. zur materialflußbegleitenden Lagerhaltung ROTTHAUS (1976), S. 140; SCHARF,P. (1976), S. 39 u. 44; NIEB (1980), S. 18; MERTINS (1981), S. 83; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 147; MERTINS (1985a), S. 55f.; KNOOP (1986), S. 12f., 17, 19, 65 u. 130; KOCHAN,D. (1986), S. 83; HELBERG (1987), S. 23; HINTZ (1987), S. 40 u. 42; WECK (1988c), S. 410.

97) Des öfteren wird bei der Strukturierung Flexibler Fertigungssysteme auch ein Lagersystem als selbständiges Subsystem identifiziert. Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 15f.; MERTINS (1985a), S. 34f.; MERTINS (1985b), S. 254.

98) Die konventionelle Strukturierungsweise, Lager und Werkstückflüsse in einem Materialflußsystem zu integrieren, kommt hier nicht in Betracht. Denn ihr steht die Eigenart des Petrinetz-Konzepts entgegen, grundsätzlich zwischen immobilen und mobilen Objekten zu differenzieren. Statt dessen könnte aus dieser Perspektive erwogen werden, Bearbeitungs- und Lagerstationen zu einer gemeinsamen Objektart zusammenzufassen, weil es sich in beiden Fällen um ortsfeste Objekte handelt. Diese Option scheidet aber wegen der produktionswirtschaftlichen Verschiedenartigkeit von Lagerstationen (passive Betriebsmittel) und Bearbeitungsstationen (aktive Betriebsmittel) ebenso aus. Aus den vorgenannten Gründen möchte sich der Verf. nicht der oftmals anzutreffenden Strukturierung Flexibler Fertigungssysteme anschließen, die hinsichtlich der Betriebsmittelausstattung nur zwischen einem Bearbeitungs- und einem Materialflußsystem differenziert. Vgl. zu dieser dichotomen Subsystem-Differenzierung SPUR (1982c), S. 137; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 83 u. 87ff.; MERTINS (1985a), S. 10f.; MERTINS (1985b), S. 250 u. 252. Statt dessen bevorzugt er eine trichotome Strukturierung der Betriebsmittelausstattung, die neben den Bearbeitungsstationen und den Transportmitteln zusätzlich auch Lagerstationen als eigenständige Objekte erfaßt. Dabei leisten Transportmittel und Lagerstationen eine Ausdifferenzierung von konventionell konzeptualisierten Materialflußsystemen: Das transportbezogene Subsystem (Transportsystem) akzentuiert die Mobilität von Werkstücken und -zeugen. Das lagerbezogene Subsysteme (Lagersystem) hebt dagegen auf das - vorübergehende - Verharren jener Objekte ab. Diese mobilitätsorientierte Subsystemunterscheidung findet sich

auch bei JUNGHANNS (1971), S. 24 u. 55, und JUNGHANNS (1976), S. 23 u. 57. Dort wird ebenso zwischen einem Transport- und einem Lagersystem unterschieden.

99) Es handelt sich um die Ein- und Ausgangslager von Produktionssystemen, die bereits kurz zuvor angesprochen wurden. Da die Werkstücke zumeist auf Paletten aufgespannt transportiert und bearbeitet werden, sind Ein- und Ausgangslager häufig als Palettenpools an der Peripherie eines Flexiblen Fertigungssystems realisiert. Vgl. KOCHAN,D. (1986), S. 45 u. 78f. Ebenso können die Funktionen von Ein- und Ausgangslager in einem Zentrallager zusammenfallen. Vgl. HARTLEY (1984), S. 85f.; HINTZ (1987), S. 42. Weitere Beschreibungen solcher Ein- und Ausgangslager finden sich bei DÖTTLING (1981), S. 17f.; WECK (1982), S. 373f.; KOCHAN,D. (1986), S. 29, 44 u. 78f.; o.V. (1988n), S. 25.

Eine besondere Bedeutung erlangen Ein- und Ausgangslager, wenn ein vollautomatischer Betrieb Flexibler Fertigungssysteme beabsichtigt ist. Sie dienen dann dazu, die vollautomatischen Produktionsschichten ("Geisterschichten") vom konventionellen bemannten Systembetrieb zeitlich und sachlich abzugrenzen. Vgl. HARTLEY (1984), S. 86; KNOOP (1986), S. 12. Für diesen Zweck werden vor dem Beginn einer vollautomatischen Produktionsschicht so viele Werkstücke auf Werkstückträgern aufgespannt und im Eingangslager des Flexiblen Fertigungssystems angesammelt, wie sich voraussichtlich während dieser Schicht bearbeiten lassen. Hinzu kommen können Reservewerkstücke, die dann bearbeitet werden, wenn die Bearbeitung der übrigen Werkstücke schneller als erwartet ausgeführt wird oder wenn infolge von Betriebsstörungen einzelne dieser Werkstücke sich nicht bearbeiten lassen. Entsprechend werden die in dieser Schicht tatsächlich bearbeiteten Werkstücke auf ihren Trägervorrichtungen im Ausgangslager abgelegt. Zusätzlich können hier solche Werkstücke gelagert werden, die sich während der vollautomatischen Produktionsschicht aufgrund von Störungen nicht so bearbeiten ließen, wie es ursprünglich geplant war. Falls die Werkstücke jeweils auf einer Palette als Trägervorrichtung fixiert sind, die sowohl dem Transport als auch der Bearbeitung des Werkstücks dient, fallen die Funktionen des Ein- und Ausgangslagers in einem Palettenpool zusammen. Hier werden die palettierten Werkstücke für eine vollautomatisierte Produktionsschicht bereitgestellt und nach deren Ablauf auch wieder entnommen. Vgl. KOCHAN,D. (1986), S. 45; MERKEL,P. (1991a), S. 28f. Vollautomatische Produktionsschichten werden vor allem im Zusammenhang mit Konzepten für die "Fabrik der Zukunft" diskutiert. Auch für Flexible Fertigungssysteme werden sie des öfteren in Betracht gezogen, vor allem als Nacht-, Wochenend- oder Feiertagsschichten. In beiden Fällen ist strenggenommen nur die vollautomatische Ausführung von Produktionsprozessen gemeint. Dies schließt keineswegs aus, daß sich weiterhin Personal im Produktionssystem aufhält, um die Prozeßausführung zu überwachen oder um die Betriebsmittel instandzuhalten. Daher handelt es sich zumeist um keine unbemannten, sondern nur um mannarme Produktionsschichten. Vgl. zur Erwartung und Realisierung solcher Produktionsschichten mit vollautomatischer Prozeßausführung SIMON,H. (1966), S. 50f.; SPUR (1975c), S. 272; STUTE (1978a), S. 5; NIEB (1980), S. 17 u. 23; MAIER,U. (1980), S. 47 u. 66f.; SPUR (1980), S. 50 u. 446; BJORKE (1980), S. 276 u. 279; EVERSHEIM (1981), S. 155f.; DÖTTLING (1981), S. 16 u. 18; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 27f., 37, 52, 282, 285ff., 425, 451f. u. 475; FETZER (1982), S. 10f.; LUTZ,B. (1982), S. 85; LAMBORGHINI (1982), S. 155; MERTINS (1983), S. 428 u. 430f.; SELIGER (1983), S. 118; WALLER (1983), S. 262; HARTLEY (1984), S. 1f., 8, 10, 23, 45, 68, 86, 91, 94ff., 124, 133f., 141, 150, 156, 162, 241 u. 269; DEY (1984), S. 458f., 461 u. 463; HOß (1984), S. 15f.; KERN,H. (1984), S. 71 u. 160f.; GOLDHAR (1984), S. 574; GEITNER (1985), S. 47; MERTINS (1985a), S. 26; SPIZIG (1985), S. 9; KOCHAN,D. (1986), S. 35f., 39f., 44f., 51 u. 78; KNOOP (1986), S. 12 u. 28; ZELEWSKI (1986a), S. 544 u. 546; HINTZ (1987), S. 141f., 155, 162 u. 178; WILDEMANN (1987a), S. 95f. u. 99; ARNING (1987), S. 230f.; HELBERG (1987), S. 60; HINTZ (1987), S. 31; ENDELL (1987), S. 226; WECK (1988c), S. 400 u. 403; o.V. (1988l), S. 23; EVERSHEIM (1990c), S. 103; MERKEL,P. (1991a), S. 28f.; KÖLLE,A. (1991), S. 455ff. Es werden auch spezielle Prioritätsregeln für vollautomatische Produktionsschichten erörtert. Mit ihrer Hilfe sollen Aufträge in ein Produktionssystem so eingelastet werden, daß Arbeitsgänge, deren Ausführung keine Arbeitskräfte erfordert, bevorzugt den vollautomatischen Produktionsschichten zugewiesen werden. Vgl. dazu MAIER,U. (1980), S. 66f.; HINTZ (1987), S. 155 u. 160ff.; HELBERG (1987), S. 69f.

100) Werkzeuglager wurden bereits als lokale Werkzeugspeicher von Bearbeitungsstationen angesprochen. Dabei handelte es sich aber um Bestandteile der jeweils betroffenen Bearbeitungsstationen. Dagegen werden hier Werkzeuglager betrachtet, die zu keiner Bearbeitungsstation gehören, sondern selbständige Lagerstationen darstellen. Solche Werkzeuglagerstationen können als dezentrale Pufferlager oder auch als zentrale Werkzeuglager ausgestaltet sein. Pufferlager für Werkzeuge unterscheiden sich im wesentlichen nicht von Pufferlagern für Werkstücke. Sie werden daher im allgemeinen nicht ausdrücklich thematisiert. Zentrale Werkzeuglager spielen dagegen - insbesondere in Flexiblen Fertigungssystemen - oftmals eine erhebliche Rolle. Sie werden mitunter auch als Werkzeugpools, (zentrale) Werkzeugmagazine o.ä. angesprochen. Vgl. zu solchen zentralen Werkzeuglagern JUNGHANNS (1976), S. 123; STUTE (1978a), S. 9; DÖTTLING (1981), S. 17(f.), 35, 70 u. 99; HARTLEY (1984), S. 58, 117 u. 119f.; MERTINS (1985a), S. 51; KOCHAN,D. (1986), S. 71; HINTZ (1987), S. 36 u. 143; WECK (1988c), S. 406. Zu einer Überschneidung von Bearbeitungs- und Lagerstationen kommt es, wenn eine Werkzeugstation ein zentrales Werkzeuglager umfaßt. Vgl. zu einer solchen Station, in der Werkzeugvoreinstellung und -lagerung miteinander kombiniert werden, KOCHAN,D. (1986), S. 82.

101) In der produktionswirtschaftlichen Literatur wird in der Regel die umgekehrte Fragestellung erörtert, wie groß die Kapazitäten von Pufferlagern bemessen werden müssen, um eine zufriedenstellende oder optimale Koordination von Produktionsprozessen zuzulassen. Vgl. zu dieser Sichtweise z.B. WARNECKE, H. (1984d), S. 509ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 101ff. u. 123ff. Auf das Ausmaß, in dem Prozeßkoordinierungen durch Pufferlager mit fest vorgegebenen, beschränkten Kapazitäten beeinflusst werden können, wird dagegen kaum näher eingegangen. Eine seltene Ausnahme stellen die Ausführungen von LEISTEN (1989), insbesondere S. 3ff. u. 13ff., dar. Zwar bezieht er sich auf den Bereich der Fließfertigung. Die Probleme von Pufferlagern, die für diesen Organisationstyp der Produktion gelten, lassen sich jedoch größtenteils auch auf Werkstattfertigungen und Flexible Fertigungssysteme übertragen. Vgl. MÜLLER, A. (1987), S. 102 (in bezug auf Werkstattfertigungen).

102) Zwar werden solche Beeinflussungsmöglichkeiten in dieser Arbeit nicht näher behandelt. Denn die interne Lagerverwaltung gehört zur Lagersteuerung, die in einer früheren Anmerkung aus dem Bereich der hier interessierenden Koordination von Produktionsprozessen ausgegrenzt wurde. Statt dessen wird nur der wahlfreie Zugriff auf alle eingelagerten Objekte berücksichtigt. Vgl. SCHARF, P. (1976), S. 44f.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 147f. Dieser wahlfreie Lagerzugriff läßt sich z.B. im Rahmen der chaotischen Lagerhaltung durch Regal- oder Umlaufspeicher realisieren. Vgl. SCHARF, P. (1976), S. 44f. Aber die Modellierung von Produktionssystemen wird durch die Berücksichtigung von Lagerstationen von vornherein so angelegt, daß sich diese Aspekte ohne größere Schwierigkeiten einbeziehen lassen. Alternative Lagerstrategien würden z.B. vorliegen, wenn die gelagerten Objekte entweder in der zeitlichen oder aber in der zeitinversen Reihenfolge ihrer Einlagerung ausgelagert werden. Es erfolgt dann ein Lagerzugriff nach dem FIFO- bzw. LIFO-Prinzip. Vgl. SCHARF, P. (1976), S. 44f.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 147f. Diese Zugriffsart liegt im Regelfall als Linienspeicher im Haupt- bzw. Nebenschlußbetrieb vor. Vgl. SCHARF, P. (1976), S. 44f. Solche Linienspeicher kommen vor allem als dezentrale Pufferspeicher in Betracht.

103) Transportmittel überdecken wie die oben behandelten Bearbeitungsstationen ein weites Spektrum. Dazu gehören bei Flexiblen Fertigungssystemen vor allem zwei Transportmittelarten. Es handelt sich einerseits um spurgebundene mobile Flurfördermittel, wie z.B. schienengeführte Palettentransportwagen. Andererseits spielen auch spurungebundene, zumeist induktiv geführte Flurfördermittel in der Gestalt von Transportrobotern eine größere Rolle. Als Alternativen kommen immobile Transportvorrichtungen - etwa Rollenbahnen oder Transportbänder - ebenso in Betracht. Eine weitere Alternative stellen "flächenüberstreichende" Roboter dar, die zwar selbst ortsfest installiert sind, aber aufgrund ihrer großen Aktionsradien dennoch Werkstücke zwischen Bearbeitungsstationen zu transportieren vermögen. Vgl. HARTLEY (1984), S. 50f.; ARNING (1987), S. 73f. Eine Übergangsform zwischen mobilen Transportrobotern und immobilen, aber flächenüberstreichenden Robotern stellen Portalroboter dar. Vgl. zu ihrer Transportfunktion MASER (1990), S. B5. Vgl. zur Vielfalt des Transportmitteleinsatzes in Flexiblen Fertigungssystemen STUTE (1978a), S. 9; EVERSHEIM (1981), S. 136f.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 15, 25, 141f., 267ff. u. 447ff.; FETZER (1982), S. 13; MERTINS (1983), S. 430; HARTLEY (1984), passim, insbesondere S. 31ff., 69ff., 82ff., 119ff. u. 134ff.; DEY (1984), S. 462f.; KOCHAN, D. (1986), S. 40, 77f. u. 82; KNOOP (1986), S. 12 u. 130; ARNING (1987), S. 73 u. 76; WILDEMANN (1987a), S. 30; O.V. (1988n), S. 25.

104) Vgl. zu den vielfältigen Erscheinungsformen und Determinanten der Transportsysteme Flexibler Fertigungssysteme MERTINS (1981), S. 81 u. 84f.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 15f., 138ff., 142f., 266ff. u. 446ff.; GUNN (1982), S. 95; SELIGER (1983), S. 125ff.; HARTLEY (1984), S. 69ff., insbesondere S. 78ff.; DEY (1984), S. 459; LONCHAMP (1984), S. 420; MERTINS (1985a), S. 31ff., 54f. u. 160ff.; MERTINS (1985b), S. 250f., 253f. u. 255ff.; KNOOP (1986), S. 11 u. 130ff.; HINTZ (1987), S. 40ff.; WILDEMANN (1987a), S. 29f. u. 346ff. Komplizierungen treten in überlappenden oder integrierten Lager- und Transportsystemen auf. Dort dienen dieselben Handhabungsautomaten dazu, sowohl Objekte über größere Distanzen zu transportieren als auch an den Übergabepunkten von Lagern zu handhaben. Vgl. NIEß (1980), S. 18; WECK (1982), S. 389; WECK (1988c), S. 404f. Ebenso erfolgt eine Lager- und Transportintegration in Umlauflagern. Die vorgenannten Fälle werden in dieser Arbeit nicht weiter behandelt.

105) Transportwege werden ebenso als Transportrouten angesprochen.

106) Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 89; SCHMIDT, H. U. (1989), S. 16.

107) Die Übergabepunkte der Bearbeitungsstationen sind deren Ein- und Ausgangspuffer. Falls diese Puffer räumlich getrennt sind, besitzt die betroffene Bearbeitungsstation zwei Übergabepunkte. Andernfalls weist sie nur einen Übergabepunkt auf, an dem ein Transportmittel sowohl auf den Ein- als auch auf den Ausgangspuffer der Bearbeitungsstation zugreifen kann. Die Übergabepunkte von Lagerstationen können in der gleichen Weise durch Ein- und Ausgangspuffer gebildet werden. Dies gilt insbesondere für Zentrallager. Dagegen wäre es sehr aufwendig, für dezentrale Pufferlager nochmals besondere Ein- und Ausgangspuffer für die Übergabe von Transportobjekten vorzusehen. Daher werden bei Pufferlagern die Übergabepunkte unmittelbar als diejenigen Orte festgelegt, an denen Transportobjekte ein- oder ausgelagert werden können. Auch bei Pufferlagern können diese Übergabepunkte für die Ein- und Auslagerung sowohl räumlich getrennt sein als auch zusammenfallen.

108) Dies gilt zumindest für die Flexiblen Fertigungsnetze, die in einer früheren Anmerkung als Konkretisierung Flexibler Fertigungssysteme vorausgesetzt wurden. Dort erfuhren die Transportmöglichkeiten, die oben angesprochen sind, bereits als Verknüpfungsflexibilität Beachtung.

109) Die Auswahlmöglichkeit zwischen mehreren Transportwegen wurde schon in einer früheren Anmerkung als charakteristische Routenfreiheit von Flexiblen Fertigungsnetzen erwähnt. Sie gestattet es, auf Transportwegstörungen unverzüglich zu reagieren. Solche Transportwegstörungen treten ein, wenn einem Transportmittel durch ein Hindernis - etwa ein umgestürztes oder ein verlorenes Werkstück - der Weg versperrt wird. In diesem Fall kann das Transportmittel die Routenfreiheit nutzen, um einen alternativen Transportweg einzuschlagen (sofern ein solcher tatsächlich existiert). Daher braucht nicht passiv abgewartet zu werden, bis das Hindernis vom ursprünglich vorgesehenen Transportweg verschwunden ist.

110) Die nachfolgenden Ausführungen lehnen sich an KNOOP (1986), S. 144 u. 152ff., an.

111) Ob ein Übergabepunkt die funktionale Qualität einer Be- oder Entladestation besitzt, hängt also von der beabsichtigten Nutzung des Übergabepunkts durch ein Transportmittel ab. Derselbe Übergabepunkt kann zugleich Be- und Entladeposition sein. Dies ist z.B. der Fall, wenn ein Transportmittel vom selben Übergabepunkt aus sowohl auf den Aus- als auch auf den Eingangspuffer einer Bearbeitungsstation zuzugreifen vermag. Ebenso ist es möglich, daß ein Übergabepunkt ausschließlich entweder als Be- oder aber als Entladeposition in Betracht kommt. Das trifft z.B. auf eine Bearbeitungsstation zu, deren Aus- und Eingangspuffer räumlich so weit entfernt sind, daß sie von Transportmitteln an zwei verschiedenen Übergabepunkten angesteuert werden muß. Dann handelt es sich bei dem Übergabepunkt am Ausgangspuffer um eine reine Beladeposition und beim Übergabepunkt am Eingangspuffer um eine reine Entladeposition.

Es wird vorausgesetzt, daß für jeden Transportauftrag dessen Be- und Entladeposition bekannt sind. Damit wird das Suchlaufprinzip für die Transportkoordinierung ausgedehnt, das von DÖTLING (1981), S. 24 u. 34, beschrieben wird. Dabei durchsetzen Transportmittel ein Flexibles Fertigungssystem mit ihren Transportobjekten ohne Kenntnis der Entladeposition. Sie fahren so lange umher, bis sie an einer Bearbeitungsstation vorbeikommen, die das transportierte Objekt zum Entladen abrufen. Grundlage dieses Suchlaufs sind Objektkennungen, anhand derer die Bearbeitungsstationen diejenigen Transportobjekte identifizieren, die für sie bestimmt sind.

112) Aktuelle Positionen von Transportmitteln können vor allem mit der Hilfe von Sensoren registriert werden. Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 144; KNOOP (1986), S. 144.

113) Vgl. zu solchen Parkpositionen LONCHAMP (1984), S. 420, Fig. 1; KNOOP (1986), S. 139.

114) Es müssen keine besonderen Ruhepunkte vorgesehen sein. In diesem Fall werden die Ruhepunkte der Transportmittel mit ihren zuletzt erreichten Entladepositionen identifiziert. Die Transportmittel verharren dann jeweils am Übergabepunkt derjenigen Bearbeitungs- oder Lagerstation, an der sie zuletzt ein Transportobjekt entladen haben, bis ihnen ein neuer Transportauftrag zugeordnet wird. Andernfalls - wenn Ruhepunkte als Parkmöglichkeiten für Transportmittel ausgezeichnet sind - wird vorausgesetzt, daß sie weder mit den Übergabepunkten der Be- und Entladepositionen noch mit den Meldepunkten zusammenfallen. Statt dessen stellen sie eigenständige Parkpositionen dar. Solche Parkpositionen könnten im Prinzip als Lagerstationen sui generis aufgefaßt werden. Sie wären auf das "Zwischenlagern" von Transportmitteln spezialisiert, die aktuell nicht benötigt werden. Auf diese Option wird jedoch verzichtet, um die Lagerstationen ausschließlich auf die Bereithaltung von Werkstücken und Werkzeugen zu beziehen. Aus dem gleichen Grund wird auch davon abgesehen, Parkpositionen als besondere Erscheinungsform von Bearbeitungsstationen zu betrachten. Dieser Standpunkt könnte - analog zu den oben angesprochenen Werkzeugstationen - eingenommen werden, wenn der Aufenthalt von Transportmitteln an einer Parkposition für die Instandhaltung der Transportmittel genutzt wird. Solche Instandhaltungsarbeiten ließen sich als Bearbeitungsoperationen auffassen, die am Objekt "Transportmittel" ausgeführt werden. Aber auch das bleibt ausgeklammert, weil die Instandhaltung nicht mehr zum Aufgabenbereich der hier interessierenden Koordinierung von Produktionsprozessen gerechnet wird. Durch die Konzeptualisierung von Ruhepunkten wird ein auftragsfreies "Vagabundieren" von Transportmitteln ausgeschlossen. Dies wäre z.B. dann der Fall, wenn Transportmittel in einem Flexiblen Fertigungssystem so lange ziellos umherfahren, bis sie an einer Beladeposition auf ein dort wartendes Transportobjekt treffen. Ruhepunkte werden fortan auch als Ruhepositionen bezeichnet, wenn nicht näher unterschieden werden soll, ob es sich um ausgezeichnete Parkpositionen oder aber nur um Übergabepunkte handelt.

115) Die Verknüpfung von je zwei benachbarten Transportpositionen wird als Transportstrecke bezeichnet. Die Transporttopologie eines Produktionssystems legt fest, welche Transportpositionen jeweils benachbart sind. Dies wird später anhand eines Transportgraphen verdeutlicht. Ein Transportweg ist entweder eine einzelne Transportstrecke oder eine zusammenhängende Folge von Transportstrecken. Ein Transportvorgang wird ausgeführt, indem ein - beladenes oder unbeladenes - Transportmittel entlang eines Transportwegs bewegt wird. Der Transportvorgang heißt atomar, wenn der zurückgelegte Transportweg aus genau einer Transportstrecke besteht. Andernfalls, wenn der Transportweg aus mehreren Transportstrecken aufgebaut ist, liegt ein zusammengesetzter Transportvorgang vor. Transportvorgänge werden ebenso als Transportoperationen angesprochen.

116) Die Anzahl der Übergabepunkte liegt durch die Bearbeitungs- und Lagerstationen eines Produktionssystems fest. Auch die Anzahl der Ruhepunkte ist durch die Parkmöglichkeiten für Transportmittel weitgehend fixiert. Daher hängt es im wesentlichen von der Anzahl der Meldepunkte ab, auf welchem Detaillierungsniveau - mit welcher "Granularität" - die Bewegungen von Transportmitteln in einem Produktionssystem erfaßt werden können: Je mehr Meldepunkte existieren, desto präziser läßt sich die aktuelle Position eines Transportmittels lokalisieren. Denn bei feststehenden Anzahlen von Übergabe- und Ruhepunkten fällt der Zeitabstand, der zwischen den Beobachtungen desselben Transportmittels an zwei aufeinander folgenden Transportpositionen durchschnittlich verstreicht, tendenziell um so kleiner aus, je größer die Anzahl der Meldepunkte im Produktionssystem ist. Die Lokalisierungsunschärfe eines Transportmittels hängt von diesem durchschnittlichen Zeitabstand und der Durchschnittsgeschwindigkeit des Transportmittels ab. Wenn die durchschnittliche Transportgeschwindigkeit konstant gehalten wird, folgt daraus: Die Umgebung einer Transportposition, in der sich ein Transportmittel befinden muß, nachdem es die Transportposition verlassen hat, ohne bereits eine neue Transportposition erreicht zu haben, wird tendenziell um so kleiner, je mehr Meldepunkte vorhanden sind. Allerdings handelt es sich nur um einen Tendenzzusammenhang. Denn es kann nicht ausgeschlossen werden, daß in Einzelfällen eine Vergrößerung der Meldepunktzahl einem Transportmittel nicht zugutekommt, weil die zusätzlichen Meldepunkte nicht auf dem Transportweg des Transportmittels liegen.

117) Es wird unterstellt, daß die Transportkapazität eines Transportmittels stets nur für genau ein Transportobjekt ausreicht. In dieser Prämisse liegt keine wesentliche Beschränkung. Denn die Werkstücke oder -zeuge, die als Transportobjekte in Betracht kommen, sind zumindest während ihres Transports auf Trägervorrichtungen aufgespannt. Das wird in Kürze näher ausgeführt. Dort werden auch Mehrfachaufspannungen zugelassen. Daher können sich auf derselben Trägervorrichtung - etwa einer Transportpalette - mehrere Werkstücke oder -zeuge zugleich befinden. Das Transportobjekt besteht dann nicht unmittelbar aus den betroffenen Werkstücken oder -zeugen, sondern aus demjenigen Komplex, in dem die Trägervorrichtung mit den aufgespannten Werkstücken oder -zeugen zusammengefaßt ist. Darüber hinaus entspricht die Prämisse, jeweils nur ein Objekt zu transportieren, der Vereinzelung von Werkstücken, die voneinander unabhängig durch ein Produktionssystem geschleust werden können, wenn ein Produktionsauftrag mit nicht-degenerierter Losgröße abgewickelt werden soll. Vgl. auch HELBERG (1987), S. 62, hinsichtlich der Konsequenz, daß Losgrößenoptimierungen bei Transportmitteln mit Transportkapazitäten von nur noch einem Transportobjekt keine Rolle mehr spielen. Schließlich ist es auch in realen Flexiblen Fertigungssystemen oftmals üblich, Transportmittel einzusetzen, die jeweils nur ein Transportobjekt (eine Transportpalette) zu befördern vermögen. Vgl. HARTLEY (1984), S. 76 u. 82ff. Allerdings besteht in Flexiblen Fertigungssystemen durchaus auch die Möglichkeit, mit demselben Transportmittel zugleich mehrere Werkstück- oder -zeugträger zu transportieren. Vgl. zu solchen Transportmitteln mit Transportkapazitäten für mehrere Transportobjekte FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 142f.; HARTLEY (1984), S. 77 (2 Werkstückpaletten) u. 139 (2 Werkzeugtrommeln). Solche Fälle bleiben aus der Konzeptualisierung von Transportmitteln in dieser Arbeit ausgeklammert.

118) Die Transportposition, die ein Transportmittel bei der Zuordnung eines Transportauftrags aktuell einnimmt, ist die Startposition des Transportmittels. Darüber hinaus wird zugelassen, daß einem Transportmittel auch dann noch ein Transportobjekt zugeordnet werden kann, wenn es seine letzte Transportposition verlassen und noch keine neue Transportposition erreicht hat. In diesem Fall wird die zuletzt verlassene Transportposition als Startposition des Transportmittels bezeichnet. Aufgrund dieser Vereinbarungen besitzt jedes Transportmittel für jeden Transportauftrag, den es übernimmt, genau eine auftragsspezifische Startposition. Dagegen kommen ihm im Verlauf der Abwicklung des Transportauftrags mehrere Zielpositionen zu. Bei der ersten Zielposition handelt es sich um die anzusteuernde Beladeposition. Nachdem sie erreicht worden ist, bildet die Entladeposition die zweite Zielposition. Falls ein Ruhepunkt vorgesehen ist, der mit dem Übergabepunkt der Entladeposition nicht zusammenfällt, stellt dieser Ruhepunkt nach dem Erreichen der Entladeposition die dritte Zielposition dar. Der gesamte Transportweg, den ein Transportmittel bei der Erfüllung seines Transportauftrags zurücklegt, beginnt in der Startposition des Transportmittels und endet in seiner letzten Zielposition.

119) Vgl. zu ausführlicheren Darstellungen des Werkstücktransports in Flexiblen Fertigungssystemen DÖTLING (1981), S. 18; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 142ff. u. 151; KOCHAN, D. (1986), S. 27; HELBERG (1987), S. 62f. Insbesondere wird dort zwischen prismatischen und rotationssymmetrischen Werkstücken unterschieden. Prismatische Werkstücke werden auf Werkstückträgern aufgespannt und vereinzelt - allenfalls in Mehrfachaufspannungen - transportiert. Für rotationssymmetrische Werkstücke ist dagegen ein gruppenweiser Transport in Magazinen üblich. Die Ausführungen dieser Arbeit setzen stets prismatische Werkstücke voraus.

120) Vgl. zum Werkzeugtransport in Flexiblen Fertigungssystemen MERTINS (1981), S. 85; HARTLEY (1984), S. 119ff.; MERTINS (1985a), S. 50f.; KOCHAN, D. (1986), S. 27, 35, 37 u. 73.

121) Es wurde bereits dargelegt, daß Arbeitskräfte nicht als Transportobjekte konzeptualisiert werden, obwohl sie durchaus Transportmittel für ihre Fortbewegung benutzen können.

122) Vgl. KNOOP (1986), S. 50.

123) Vgl. dazu die umfangreichere Gestaltung des Netzmoduls für die Repräsentation von Transportaspekten, die später in der Fallstudie erfolgt. Vgl. darüber hinaus die detaillierten Modellierungen des Transportsystems Flexibler Fertigungssysteme bei SELIGER (1983), S. 125ff.; KNOOP (1986), S. 143ff. u. 152ff.

124) Es wird nur vorausgesetzt, daß die betrachteten Arbeitskräfte im Produktionssystem an der Ausführung von Produktionsprozessen beteiligt sind. Insofern wird ihre Arbeitsleistung der Kategorie ausführender (objektbezogener) Arbeit zugerechnet. Damit wird jedoch keineswegs ausgeschlossen, daß die Arbeitskräfte bei ihrer ausführenden Arbeit *auch* dispositive Leistungen erbringen. Dieser Aspekt wird später noch vertieft. Ausgegrenzt werden allerdings Arbeitskräfte, die ausschließlich im Informationssystem tätig sind, um durch ihre Dispositionen die auszuführenden Produktionsprozesse zu koordinieren. Dies entspricht der Voraussetzung, in dieser Arbeit bei der Modellierung von Produktionssystemen nur die Real-, nicht aber die Informationssysteme zu erfassen.

125) Die Beeinflussungsmöglichkeiten werden nur selten thematisiert. Beispielsweise erwähnt BÖTZOW (1988a), S. 143, die Personaleinsatzplanung als Komponente der Koordinierung von flexibel automatisierten Produktionssystemen. GÜNTHER, H. (1988), S. 94, möchte die Koordinierung von Produktionsprozessen mit der Steuerung des Personaleinsatzes verknüpfen. Doch bleibt die Verknüpfungsweise hinsichtlich derjenigen Aspekte, die sich auf die Beeinflussung der Prozeßkoordinierung erstrecken, leider unbestimmt. Zumindest zwei personalwirtschaftliche Sachverhalte können sich jedoch auf die Möglichkeiten der Prozeßkoordinierung erheblich auswirken. Sie betreffen die Konzeptualisierung der quantitativen und der qualitativen Kapazität von Arbeitskräften.

Zunächst wird auf den Aspekt der quantitativen Arbeitskapazität eingegangen. Er zielt auf die Verfügbarkeit von Arbeitskräften ab, die zur Bedienung von Bearbeitungsstationen benötigt werden. Eventuell sind auch Arbeitskräfte für die Betreuung von Lagerstationen erforderlich. Die schlichte Angabe der Anzahl jener Arbeitskräfte, die in einem Produktionssystem tätig sind, reicht für eine realitätsadäquate Modellierung jedoch noch nicht aus. Statt dessen werden präzise Informationen darüber benötigt, in welchen Zeitintervallen welche Arbeitskräfte tatsächlich zur Verfügung stehen. Diese Informationen lassen sich aus der Personaleinsatzplanung übernehmen. Sie werden im Rahmen der Prozeßkoordinierung durch "Verfügbarkeitskalender" repräsentiert. Der Verfügbarkeitskalender einer Arbeitskraft entspricht konzeptionell dem Verfügbarkeitskalender einer Bearbeitungsstation. Mit seiner Hilfe können Dauer und zeitliche Verteilung der Arbeitszeit einer Arbeitskraft individuell erfaßt werden. Vgl. zu einer ähnlich detaillierten Erfassung der Arbeitszeit durch kalenderartige Konstrukte für PPS-Systeme JAHN (1988), S. 454f. Vgl. ebenso die detailreiche Konzipierung von Arbeitskalendern bei HENNICKE (1991), S. 85, 87, 100 u. 107f. (allerdings ohne Bezug auf PPS-Systeme). Vgl. schließlich die zeitbezogene Konzeptualisierung der (quantitativen) Kapazität von Arbeitskräften bei REFA (1985b), S. 209f., sowie die Ansätze bei ADAM, D. (1990a), S. 830f. Verfügbarkeitskalender erlauben eine erhebliche Ausweitung gegenüber konventionellen Konzeptualisierungen von Prozeßkoordinierungen. Vgl. dazu die (indirekte) Kritik von ADAM, D. (1990a), S. 809, daß in konventionellen PPS-Systemen der Aspekt flexibler Arbeitszeiten zu wenig Beachtung finde. Dort werden im allgemeinen - häufiger implizit als explizit - Arbeitszeitregelungen unterstellt, die drei Prämissen erfüllen. Erstens stimmen die persönlichen Arbeitszeiten der Arbeitskräfte mit der Betriebszeit des Produktionssystems überein (Kopplungsprämisse). Zweitens bleibt die persönliche Arbeitszeit jeder Arbeitskraft im Zeitablauf hinsichtlich ihrer Länge und Verteilung konstant (Invarianzprämisse). Drittens besitzen die persönlichen Arbeitszeiten aller Arbeitskräfte dieselbe Länge und dieselbe Verteilung (Synchronieprämisse). Mit der Hilfe von Verfügbarkeitskalendern können hingegen alle drei Prämissen aufgehoben werden: Die persönlichen Arbeitszeiten lassen sich von der Betriebszeit entkoppeln. Die Arbeitszeiten können sowohl intraindividuell variabel als auch interindividuell asynchron gestaltet werden. Auf den Entkopplungsaspekt wurde schon in einer früheren Anmerkung im Zusammenhang mit der Bedienungsqualifikation hingewiesen. Auf die interindividuelle Asynchronie von Arbeitszeiten geht BELLGARDT (1987), S. 17, näher ein.

Die zeitgenaue Erfassung der Personalverfügbarkeit erlangt um so größere Bedeutung, je stärker die Nutzung Flexibler Fertigungssysteme mit der Einführung flexibler Arbeitszeitkonzepte gekoppelt wird. Solche arbeitsorganisatorischen Innovationen liegen durchaus nahe. Denn die hohen Bereitstellungskosten Flexibler Fertigungssysteme verlangen eine möglichst große Auslastung der Produktionskapazitäten. Dadurch werden oftmals Spät-, Nacht- und Feiertagsschichten erforderlich. Vgl. THIEL, W. (1988c), S. 321 (Präsupposition der Überschrift) u. S. 323. Im allgemeinen ist es jedoch schwer, qualifizierte Mitarbeiter für solche Schichtarbeit zu gewinnen. Neben monetären Anreizen wird im Angebot flexibler Arbeitszeiten ein Weg gesehen, um die benötigten Arbeitskräfte entsprechend zu motivieren. Vgl. WAGNER, D. (1991), S. 98 u. 107; HOFF, A. (1991), S. 424. Ein Motivationserfolg ist aber nur dann zu erwarten, wenn die Arbeitszeitregelungen Dispositionsspielräume *zugunsten der Arbeitskräfte* vorsehen. Wenn diese Spielräume von den Mitarbeitern tatsächlich ausgeschöpft werden, resultiert ein komplexes, zeitlich variables Muster der Personalverfügbarkeit. Es läßt sich durch Verfügbarkeitskalender erfassen. Der technische Flexibilitätsaspekt Flexibler Fertigungssysteme wird so durch einen personellen Flexibilitätsaspekt erweitert. ENDELL (1987), S. 203ff. u. - insbesondere - S. 227ff., diskutiert die wechselseitigen Beziehungen zwischen flexiblen Arbeitszeitregelungen und flexiblen Automatisierungskonzepten im Detail. Auch BÖTZOW (1988a), S. 143, erwähnt die Bedeutung flexibler Arbeitszeitregelungen für Flexible Fertigungssysteme. Des weiteren wird oftmals auch darauf hingewiesen, daß Arbeitskräfte bei ihrer Arbeitsausführung zunehmend über zeitliche Dispositionsspielräume oder "Zeitsouveränität" verfügen können. Dabei erfolgt allerdings kein spezieller Bezug auf Flexible Fertigungssysteme. Vgl. STAUDT (1982a), S. 64ff. u. 68; STAUDT (1982b), S. 188f.; STAUDT (1983), S. 192; STAUDT (1984b), S. 402;

SPUR (1985c), S. 12; STAUDT (1985), S. 15; CIEPLIK (1985), S. 49; RITTER (1985), S. 107f.; ZELEWSKI (1986a), S. 1269; ENDELL (1987), S. 62ff. (besonders detailliert); BELLGARDT (1987), S. 15f. u. 22; GÜNTHER, H. (1988), S. 106f.; DOLLINGER (1990), S. 399 u. 401; WAGNER, D. (1991), S. 98; HOFF, A. (1991), S. 416. Beispielsweise rechnen zu solchen arbeitnehmerbezogenen Spielräumen individuell vereinbarte Urlaubstage oder Arbeitszeitspannen nach dem "Cafeteria-Prinzip". Eine nähere Beschreibung des "Cafeteria-Prinzips" bietet WAGNER, D. (1991), S. 91ff. Zwar erstreckt sich dieses Konzept vornehmlich auf die flexible Komposition von Entgeltsystemen. Aber es umfaßt u.a. auch den Aspekt der Zeitsouveränität von Arbeitnehmern. Vgl. WAGNER, D. (1991), S. 98 sowie - jedoch weniger prägnant - S. 101 u. 103f. Vgl. darüber hinaus die Ausführungen von DOLLINGER (1990), S. 401, zu zeit-autonomen Arbeitsgruppen sowie von HOFF, A. (1991), S. 419ff., zur Individualisierung von Schichtplänen.

Die Verfügbarkeitskalender können ebenso genutzt werden, um komplementäre *arbeitgeberbezogene* Dispositionsspielräume hinsichtlich der zeitlichen Verfügbarkeit von Arbeitskräften zu erfassen. Dazu gehört z.B. eine kapazitätsorientierte variable Arbeitszeit. Solche arbeitgeberbezogenen Dispositionsspielräume stehen hier aber nicht im Vordergrund des Interesses. Vgl. statt dessen BELLGARDT (1987), S. 15f., 22, 32 u. 35; ENDELL (1987), S. 76ff.; DOLLINGER (1990), S. 400f. (als Variante der Betriebszeitausweitung mit variabler Betriebszeit); HOFF, A. (1991), S. 411ff. (ohne die o.a. individualisierten Schichtpläne); KAISER, K. (1991), S. 32 einschließlich der Fn. 45. Vgl. zu vertiefenden Darlegungen und Untersuchungen der vielfältigen Varianten denkmöglicher oder tatsächlich realisierter flexibler Arbeitszeitregelungen BELLGARDT (1987), S. 17ff. u. 20ff., insbesondere S. 22ff.; ENDELL (1987), S. 56ff.; GÜNTHER, H. (1988), S. 92ff.; KERN, W. (1990a), S. 190ff.; DOLLINGER (1990), S. 400ff.

Neben der rein zeitlichen Verfügbarkeit von Arbeitskräften kann auch deren qualitative Arbeitskapazität eine Rolle spielen. Vgl. zur - seltenen - Konzeptualisierung qualitativer Kapazitäten von Arbeitskräften REFA (1985b), S. 180f. u. 403. Bei großzügiger Auslegung läßt sich in diesem Sinne auch WICHARZ (1983), S. 367 ("Akkuratesse") verstehen. Hier interessiert der spezielle Aspekt, in welchem Ausmaß Arbeitskräfte für die Bedienung der maschinellen Komponenten von Bearbeitungsstationen eines Produktionssystems qualifiziert sind. Denn für die Ausführung eines Arbeitsgangs reicht es nicht aus, daß *irgendeine* Arbeitskraft an der betroffenen Bearbeitungsstation bereitsteht. Es muß sich vielmehr um eine Arbeitskraft mit derjenigen Bedienungsqualifikation handeln, die für die Nutzung der Bearbeitungsstation erforderlich ist (Soll-Bedienungsqualifikation). Dieser Qualifikationsaspekt wurde bereits in einer früheren Anmerkung aus der Perspektive der Bearbeitungsstationen angesprochen. Entsprechend wird hier die Bedienungsqualifikation, über die eine Arbeitskraft tatsächlich verfügt, als eine koordinierungsrelevante Eigenschaft der Objektart "Arbeitskräfte" eingeführt (Ist-Bedienungsqualifikation). Der Abgleich von Soll- und Ist-Bedienungsqualifikationen erlaubt, einen qualifikationsgerechten Personaleinsatz vorzunehmen. Vgl. zur Zielsetzung des qualifikationsgerechten Personaleinsatzes bei der Koordinierung von Produktionsprozessen BÖTZOW (1988a), S. 97 u. 198; WINTER, R. O. (1991), S. 315.

Im Rahmen konventioneller Konzeptualisierungen von PPS-Systemen werden dagegen Qualifikationsaspekte beim Personaleinsatz im allgemeinen - falls überhaupt - nur rudimentär berücksichtigt. Vgl. z.B. KREIMEIER (1988), S. 395 (ansatzweise), der sich speziell auf die algorithmische Erfassung der Personalqualifikation in PPS-Systemen bezieht. Vgl. auch REFA (1985b), S. 403: Dort wird von einer "Betriebsmitteleinsatzsteuerung" gesprochen, die "Menschen und Betriebsmittel einander qualitativ ..." zuordnen soll. Allerdings wird auf den *qualitativen* Zuordnungsaspekt nachfolgend nicht näher eingegangen. Die Vernachlässigung von Qualifikationsaspekten bei der Planung und Steuerung von Produktionsprozessen läßt sich aus historischer Perspektive darauf zurückführen, daß die meisten der heute verbreiteten PPS-Systeme unter dem dominierenden Einfluß von Erfordernissen der Materialbedarfsplanung entwickelt wurden. Hierauf deutet schon hin, daß im angloamerikanischen Sprachgebrauch die PPS-Systeme der "1. Generation", die MRP-Systeme, unter der Funktionsbezeichnung "Material Requirements Planning" eingeführt wurden. Vgl. z.B. ORLICKY (1975); VOLLMANN (1984), S. 23ff.; WINTER, R. O. (1991), S. 180ff. Ein analoges Außerachtlassen von Qualifikationsaspekten trifft auch auf die Modellierungen von Maschinenbelegungsproblemen zu, wie sie gewöhnlich im Bereich des Operations Research diskutiert werden. Eine bemerkenswerte Ausnahme bilden allerdings die Ausführungen von WINTER, R. O. (1991), S. 311 u. 314f. Er sieht in einer Datenmodellierung für PPS-Systeme vor, bei der Repräsentation von Arbeitskräften deren Qualifikationen explizit zu berücksichtigen.

Im Gegensatz zu den voranstehend skizzierten quantitativen und qualitativen Kapazitäten von Arbeitskräften wird die Bewertung und Entgeltung ihrer Arbeit nicht in die Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen einbezogen. Damit wird keineswegs verkannt, daß der hohe Automatisierungsgrad flexibler Fertigungssysteme und der mögliche Einsatz teilautonomer Arbeitsgruppen erhebliche Schwierigkeiten bei der leistungsgerechten Arbeitsbewertung und -entgeltung bereiten kann. Vgl. zu solchen Problemen FOTILAS (1980), S. 146ff. (speziell in bezug auf teilautonome Arbeitsgruppen); AXER (1984), S. 30ff.; BÜHNER (1986c), S. 67ff.; ARNING (1987), S. 108ff.; WILDEMANN (1987a), S. 26, 41 u. 147f.; BÜHNER (1987), S. 264f.; WILDEMANN (1988f), S. 169f.; WILDEMANN (1989a), S. 40. Oftmals lassen sich die Schwierigkeiten nur durch Einführung neuartiger Entgeltsysteme bewältigen, welche die Flexibilität des Arbeitseinsatzes, die Güte des Produktionsergebnisses oder die Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft des Produktionssystems als qualitative Arbeitsleistungen besonders würdigen. Hierzu zählen vor allem Prämienentgeltsysteme und qualifikationsbezogene Entgeltstrukturen. Vgl. zu solchen neuartigen Entgeltsystemen, die auf die Arbeitsbedingungen in hochgradig automatisierten Fertigungssystemen zugeschnitten sind, AWF (1984), S. 121ff., mit speziellem Bezug auf Flexible Fertigungsinseln; AXER (1984), S. 32ff.; RAUSCH (1984), S. 60ff.;

GOEBEL (1984), S. 81f.; BÜHNER (1986c), S. 76ff.; ARNING (1987), S. 110f.; WILDEMANN (1987a), S. 26, 41 u. 148; BÜHNER (1987), S. 265; WILDEMANN (1988f), S. 170f.; WILDEMANN (1989a), S. 40; VON ECKARDSTEIN (1991), S. 225 i.V.m. S. 219ff. Doch besitzen die vorgenannten Aspekte von Arbeitsbewertung und -entgeltung für die Entscheidungen, die hinsichtlich der Koordinierung von Produktionsprozessen getroffen werden, keine Relevanz. Denn die langfristig gültigen Arbeitsverträge und die darin vereinbarten Entgelte werden von den kurzfristigen Koordinierungsentscheidungen im Produktionsbereich zumeist nicht berührt. Daher stellen die Arbeitskosten für die hier interessierende Prozeßkoordinierung im allgemeinen entscheidungsirrelevante Gemeinkosten ("Fixkosten") dar. Dies wird besonders deutlich von KNOOP (1986), S. 88, herausgestellt. Er behandelt für Flexible Fertigungssysteme die gesamten Arbeitskosten als periodenfixe (Einzel-)Kosten des Produktionssystems. Ähnlich äußern sich zum Fixkostencharakter oder zur Produktionsmengeninvarianz von Arbeitskosten HORVATH (1988b), S. 123; WEBER, J. (1990a), S. 262; KLEINER, F. (1991), S. 20, und KAISER, K. (1991), S. 23.

Allerdings lassen sich mindestens zwei Ausnahmen vorstellen. Sie werden ebenso von HORVATH (1988b), S. 123, erörtert. Erstens kommen Arbeitskosten für Überstunden in Betracht, die zusätzlich angesetzt werden, um vorgegebene Auftragspakete fristgerecht abwickeln zu können. Diese Arbeitskosten sind durch die Koordinierungsentscheidungen verursacht, die Arbeitszeit auszudehnen. Z.B. berücksichtigt MISSBAUER (1987), S. 24 u. 26, bei der Koordinierung von Produktionsprozessen spezielle Entgeltzuschläge für Überstunden (oder Sonderschichten). Die zusätzlichen Arbeitskosten für solche zeitlichen Anpassungen der Leistungserstellung werden in dieser Arbeit aber nicht weiter beachtet. Sie werden hier nicht der kurzfristigen Prozeßkoordinierung zugerechnet. Statt dessen gelten sie als Entscheidungswirkungen der kurz- bis mittelfristigen Personaleinsatzplanung. Zweitens kann auch an Akkordentgelte gedacht werden. Aber auch für sie wird unterstellt, daß ihre Höhe von kurzfristigen Koordinierungsentscheidungen praktisch unabhängig ist. Denn in der betrieblichen Praxis werden oftmals Akkordgrundentgelte gezahlt. Darüber hinaus wird bei kurzfristig rückläufiger Leistung, die z.B. aus Produktionsstörungen resultieren kann, häufig nicht nach dem aktuellen, sondern nach einem vergangenheitsbezogenen durchschnittlichen Leistungsgrad entgolten. Daher verhalten sich auch diese Akkordentgelte gegenüber Koordinierungsentscheidungen invariant (vgl. HORVATH (1988b), S. 123). Aus den vorgenannten Gründen werden die Arbeitskosten in dieser Arbeit grundsätzlich als entscheidungsirrelevante Kosten behandelt. Deswegen erfahren sie keine weitere Würdigung. Vgl. dagegen zur Kalkulation der Arbeitskosten bei Flexiblen Fertigungssystemen SPUR (1980), S. 445f.; SELIGER (1983), S. 89f.; WILDEMANN (1987a), S. 136ff. Falls solche Arbeitskosten - trotz der oben erläuterten Vorbehalte - einbezogen werden sollen, können sie z.B. durch Fertigungslohnstundensätze erfaßt werden. Sie lassen sich zu den Maschinenstundensätzen addieren, die oftmals für Bearbeitungsstationen kalkuliert werden. Daraus resultieren stationsspezifische Platzkostenstundensätze. Maschinen- und Platzkostenstundensätze können bei der Berechnung der Bearbeitungskosten an den Bearbeitungsstationen berücksichtigt werden. Darauf wird später ausführlicher eingegangen. Dort wird aber herausgestellt, daß sich beide Verrechnungssätze mit dem Prinzip einer streng verursachungsgerechten Kostenrechnung nicht vereinbaren lassen.

Schließlich wäre es auch noch möglich, als weitere Beeinflussungsmöglichkeit von Koordinierungsentscheidungen die Effizienz von Arbeitskräften zu berücksichtigen. Vgl. zur Einbeziehung individueller und gruppenspezifischer Arbeitseffizienz GÜNTHER, H. (1988), S. 106; ADAM, D. (1990a), S. 809 ("von der Personalzuordnung abhängige Bearbeitungszeiten") u. 830f. Diese Arbeitseffizienz könnte sich in unterschiedlichen Ausführungsdauern der Operationen niederschlagen, die auf denjenigen Bearbeitungsstationen ausgeführt werden, die von den jeweils betrachteten Arbeitskräften bedient werden. Aber auch dieser Aspekt wird nicht näher betrachtet. Denn bei hochgradig automatisierten Produktionssystemen, zu denen auch die Flexiblen Fertigungssysteme rechnen, läßt sich die Arbeitsgeschwindigkeit an den Bearbeitungsstationen von den bedienenden Arbeitskräften kaum beeinflussen. Darüber hinaus bleiben intensitätsmäßige Anpassungen aus dieser Arbeit ausgegrenzt. Aus beiden Gründen wird darauf verzichtet, die Arbeitseffizienz als entscheidungsrelevante Determinante von Prozeßkoordinierungen zu konzeptualisieren.

126) Der Bereich ausführender Arbeit wird bei der Konzeptualisierung Flexibler Fertigungssysteme zumeist nicht näher gewürdigt. Entsprechende Kritik an der unzureichenden Berücksichtigung personalwirtschaftlicher Aspekte bei der Gestaltung Flexibler Fertigungssysteme findet sich bei FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 19 (dort allerdings mit Schwergewicht auf der Implementierung, nicht auf dem Betrieb Flexibler Fertigungssysteme). Zu den seltenen Ausnahmen, die ausführlich die arbeitsorganisatorischen Aspekte Flexibler Fertigungssysteme beleuchten, gehören FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 29ff., 314ff. u. 470ff., und BÜHNER (1986c), S. 10ff. u. 44ff. Die meisten Beschreibungen Flexibler Fertigungssysteme beschränken sich dagegen auf Darstellungen technischer Systemeigenschaften. Sie enthalten allenfalls marginale Anmerkungen zu personalwirtschaftlichen Aspekten. Vgl. zu solchen fast rein technischen Systembeschreibungen z.B. MERTINS (1985b), S. 249ff. Zur Rechtfertigung dieses Konzeptualisierungsdefizits könnte allerdings vorgetragen werden, daß der ausführenden Arbeit in Flexiblen Fertigungssystemen wegen weitgehender Automatisierung ohnehin keine wesentliche Rolle zukomme. Tatsächlich liegt die Anzahl ausführender Arbeitskräfte in Flexiblen Fertigungssystemen oftmals nur noch in der Größenordnung von wenigen Dutzend Personen. Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 290 u. 435 (2 bis 8 Personen); HARTLEY (1984), S. 157, 159 u. 161 (12, 14, 33 u. 70 Personen); MAIER-ROTHE (1985), S. 141; KNOOP (1986), S. 134 (13 Personen); WILDEMANN (1987a), S. 346ff. (2 bis 30 Personen). Ebenso lassen sich Beiträge anführen, die explizit hervorheben, mit Flexiblen Fertigungssystemen die Arbeitskräfte-

anzahl oder die Arbeitskosten der Produktion erheblich reduzieren zu können oder zu wollen. Vgl. SPUR (1980), S. 446; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 17, 27f., 42, 198f., 203, 205f., 283, 290ff., 417, 435f. u. 475f.; HARTLEY (1984), S. 154, 157, 159, 161f., 266 u. 272; MAIER-ROTHE (1985), S. 141; WILDEMANN (1987a), S. 31f. u. 346ff. Hinzu kommen die vielfältigen Hinweise auf mannarme oder sogar vollautomatisch abgewickelte Produktionsschichten, die durch Flexible Fertigungssysteme - vor allem in der "Fabrik der Zukunft" - ermöglicht werden sollen. Trotzdem schließt sich der Verf. diesen Plausibilitätsargumenten zugunsten einer Vernachlässigung des Arbeitsbereichs aus zwei Gründen nicht an. Erstens soll die Konzeptualisierung Flexibler Fertigungssysteme in dieser Arbeit nicht von vornherein so eng zugeschnitten werden, daß sie nur für eine Art der Systemnutzung - die vollautomatische Betriebsweise - in Betracht kommt. Zweitens hält es der Verf. für unrealistisch anzunehmen, daß sich in näherer Zukunft - über die vorgenannten vollautomatischen Produktionsschichten hinaus - menschenleere Fabriken verwirklichen ließen. Vielmehr geht er davon aus, daß sich vollautomatische Produktionsschichten, sofern sie überhaupt eingerichtet werden, in der Regel mit bemannten Schichten abwechseln müssen. Bemannte Schichten können einerseits erforderlich sein, um den Arbeitsvorrat für nachfolgende vollautomatische Schichten vorzubereiten. Andererseits muß unter Umständen Nacharbeit für solche Aufträge erfolgen, deren Abwicklung in der vorangehenden vollautomatischen Schicht störungsbedingt abgebrochen wurde. Denn bei vollautomatischen Produktionsschichten werden im Störfall die jeweils betroffenen Produktionsprozesse lediglich abgebrochen ("Notabschaltung"). Eine automatische Anpassung der Prozeßausführung an größere Produktionsstörungen läßt sich dagegen trotz "Vollautomatisierung" - zumindest derzeit - nicht verwirklichen.

127) Vgl. GUTENBERG (1983), S. 3 u. 11ff.; KERN, W. (1990a), S. 14.

128) Um Mißverständnisse zu vermeiden, wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß diese Formulierung nicht darauf abzielt, Arbeitskräfte auf "bloße Objekte" der Prozeßkoordinierung zu reduzieren und somit zu "entmenslichen". Der hier verwandte Objektbegriff besitzt keine Berührungspunkte zur sonst oftmals üblichen Unterscheidung zwischen (unbelebten) Objekten auf der einen und (menschlichen) Subjekten auf der anderen Seite. Vielmehr wird hier weiterhin der eingangs umschriebene Objektbegriff benutzt, der sich auf *jede Entität* bezieht, die Eingang in ein Modellierungsvorhaben findet. Aus dieser weit gefaßten Perspektive stellt auch jedes (menschliche) Subjekt ein "Objekt" des jeweils unternommenen Modellierungsversuchs dar. Vgl. dazu auch WINTER, RO. (1991), S. 245. Er identifiziert Mitarbeiter - gleichrangig etwa zu Werkzeugen und Maschinen - als Objekttypen einer Datenmodellierung für PPS-Systeme. Damit verkennt der Verf. jedoch keineswegs, daß aus grundsätzlichen Erwägungen die "mechanistische" oder "reduktionistische" Einstellung abgelehnt werden kann, den Träger menschlicher Arbeitsleistungen zum Objekt von Modellierungsprozessen zu machen. Falls dies nicht gewünscht wird, läßt sich die Modellierung von Arbeitskräften durch die Abbildung ihrer Arbeitsleistungen ersetzen. Nur muß dann auch auf die oben angedeuteten Beiträge zu einer realitätsnahen Modellierung - wie den Transport von Arbeitskräften oder ihre persönlichen Verteilzeiten - verzichtet werden. Vgl. zur Diskussion der Frage, ob bei produktionswirtschaftlichen Konzeptualisierungen von Produktionssystemen die Arbeitskräfte selbst oder aber deren Arbeitsleistungen abzubilden seien, STAEHLE (1975), S. 716f.; KERN, W. (1978), S. 583; STAEHLE (1979), Sp. 74ff., insbesondere Sp. 77f.; KERN, W. (1988), S. 128f.; SCHWEITZER, M. (1990b), S. 567.

129) Daneben bietet die Konzeptualisierung einer Objektart "Arbeitskraft" auch den Vorzug, daß sich Arbeitskräfte als Träger von Arbeitsleistungen leicht identifizieren lassen. Dagegen bereitet die Abgrenzung von Arbeitsleistungen oftmals erhebliche Probleme. Dies gilt insbesondere für die Unterscheidung zwischen ausführenden (objektbezogenen) und dispositiven Arbeitsleistungen. Vgl. dazu die Problematisierung dieser Differenzierung bei KERN, W. (1978), S. 583; LÜCKE (1990), S. 183f. In früheren Anmerkungen wurde jedoch schon dargelegt, daß hier die "ausführenden" Arbeitskräfte im Produktionssystem sowohl objektbezogene als auch dispositive Arbeitsleistungen erbringen können. Daher werden die vorgenannten Abgrenzungsprobleme von Arbeitsleistungen von vornherein vermieden.

130) Beispielsweise kann der Sachverhalt, daß sich eine Arbeitskraft von einer Bearbeitungsstation zu einer anderen begibt, in der gleichen Weise modelliert werden wie der Transport von Werkstücken oder -zeugen zwischen zwei Bearbeitungsstationen. Allerdings wird in dieser Arbeit den möglichen Vorbehalten gegenüber einer "Objektifizierung" menschlicher Arbeit dadurch Rechnung getragen, daß die Bewegungen von Arbeitskräften nicht im selben Teilnetz wie die Werkstück- und Werkzeugtransporte erfaßt werden. Statt dessen bleibt den Arbeitskräften ein separates Teilnetz vorbehalten. Dadurch wird vermieden, sie auf dieselbe Stufe wie Transportobjekte zu stellen. Darüber hinaus wird auf Zuordnungsmodelle des Operations Research verwiesen, in denen Arbeitsplätze (Bearbeitungsstationen) mit Arbeitskräften - nicht mit deren Arbeitsleistungen - kombiniert werden. Dort steht die räumliche Lokalisierung von Arbeitskräften im Vordergrund. Vgl. zu diesem Modellierungsansatz z.B. GUTENBERG (1983), S. 187ff.; DREXL (1989), S. 196ff. i.V.m. S. 195 ("Beanspruchung der gemeinsamen *Ressource* Prüfer"; *kurssive Hervorhebung durch den Verf.*); LÜCKE (1990), S. 193ff., insbesondere S. 200; FRESE (1990b), S. 287. Auch eine solche Lokalisierung behandelt Arbeitskräfte als Objekte. Wegen dieser konzeptionellen Übereinstimmung mit Personalzuordnungsmodellen ist es möglich, die hier entwickelten Netzmodelle für Prozeßkoordinierungen ebenso zu benutzen, um die Koordinierung des Personaleinsatzes im Produktionssystem zu modellieren. Dies ist bei anderen Modellierungskonzepten für die Koordinierung von Produktionsprozessen zumeist nicht möglich, weil dort Ar-

beitskräfte im allgemeinen nicht repräsentiert werden. Daher zeichnet sich die hier unterbreitete Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen u.a. dadurch aus, daß ihre explizite Bezugnahme auf Arbeitskräfte als Modellierungsobjekte erlaubt, die gleichen Netzmodelle für unterschiedliche Modellierungszwecke zu verwenden.

131) Die Faktorbezeichnungen "Werkstoff" und "Material" werden in dieser Arbeit als Synonyma behandelt. Somit bezieht sich das o.a. "Materialflußsystem" inhaltlich auf die Werkstoffe, die hier thematisiert werden. Darüber hinaus wird der Materialbegriff in Kürze auf den Werkstückbegriff ausgeweitet, der auch den Produktbegriff umschließt.

132) Der Begriff des konkreten Bearbeitungsobjekts wird wiederum sehr weit gefaßt. Er erstreckt sich nicht nur auf das unmittelbar zu bearbeitende Werkstück (i.e.S.). Vielmehr umfaßt er ebenso alle Vorrichtungen, die mit einem Werkstück i.e.S. - zumindest für einen begrenzten Zeitraum - fest verbunden sind, um dessen Bearbeitung oder Handhabung zu unterstützen. Dazu gehören insbesondere Werkstückträger. Sie dienen dazu, Werkstücke in bearbeitungs-, handhabungs-, transport- oder lagergerechter Position und Orientierung zu fixieren. Als Werkstückträger werden in Flexiblen Fertigungssystemen zumeist genormte Paletten verwendet. Die Fixierung von Werkstücken auf ihren Trägern kann unvermittelt erfolgen, etwa durch das Eigengewicht der Werkstücke. Oftmals sind jedoch zusätzliche Spannvorrichtungen und Spannmittel erforderlich. Spannvorrichtungen bilden zumeist Bestandteile der Werkzeugträger. Spannmittel dienen dagegen dem Auf- oder Abspannen der Werkstücke auf ihre bzw. von ihren Trägervorrichtungen. Darüber hinaus können Justiervorrichtungen und -mittel erforderlich sein, um die Werkstücke auf ihren Träger- und Spannvorrichtungen präzise auszurichten. Auf einer Trägervorrichtung lassen sich eine oder mehrere Werkstücke - je nach deren Abmessungen und den vorhandenen Spannvorrichtungen - fixieren. Vgl. zu Einfachaufspannungen DÖTTLING (1981), S. 18; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 142; KOCHAN,D. (1986), S. 70. Vgl. zu Mehrfachaufspannungen DÖTTLING (1981), S. 18; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 142; HARTLEY (1984), S. 59, 87, 96, 103, 137, 145 u. 148; DEY (1984), S. 464; MERTINS (1985a), S. 55; KOCHAN,D. (1986), S. 64; HINTZ (1987), S. 43; MERKEL,P. (1991a), S. 28. Im Normalfall bleiben Werkstücke auf demselben Werkstückträger, solange sie bearbeitet, in den Pufferlagern von Bearbeitungsstationen gelagert, gehandhabt oder transportiert werden. Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 143 (hinsichtlich der Identität von Transport- und Bearbeitungsaufspannung). Falls Werkstücke während ihrer Lagerung in Lagerstationen auf Paletten fixiert werden, kann es dagegen zu einem Palettenwechsel kommen, da die bearbeitungs- und die lagerbezogenen Paletten oftmals unterschiedliche Dimensionen besitzen.

Der Einfachheit halber wird von allen voranstehend skizzierten Aspekten der Werkstückbehandlung abgesehen. Statt dessen werden nur noch Werkstücke i.w.S. betrachtet. Dabei handelt es sich jeweils um einen Komplex, der aus genau einem Werkstückträger, aus mindestens einem Werkstück i.e.S. sowie aus allen zugehörigen Spann- und Justiervorrichtungen besteht. Ein Werkstück i.w.S. wird als eine selbständige, im Zeitablauf fest zusammengefügte Bearbeitungs- und Handhabungseinheit konzeptualisiert. Da fortan nur noch Werkstücke i.w.S. Beachtung finden, werden sie nur kurz als Werkstücke bezeichnet. Die gleichen Anmerkungen treffen im Prinzip auch auf Werkzeuge zu. Denn Werkzeuge erfordern zumindest für ihren Transport ebenso Trägervorrichtungen, gegebenenfalls auch Spann- und Justiervorrichtungen. Vgl. zu solchen Trägervorrichtungen für mobile Werkzeuge MERTINS (1981), S. 85; KOCHAN,D. (1986), S. 63f.; WECK (1988c), S. 409, 415ff. u. 486. Falls Werkzeuge auf Trägervorrichtungen aufgespannt sind, werden im folgenden ebenfalls nur die Komplexe aus den aufgespannten Werkzeugen betrachtet. Vgl. zu den hier nicht weiter behandelten Werkstückträgern im allgemeinen SCHARF,P. (1976), S. 39f.; SPUR (1980), S. 268ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 15, 141ff. u. 534ff.; MERTINS (1985a), S. 32f. u. 160ff.; MERTINS (1985b), S. 251 u. 255ff.; WILDEMANN (1987a), S. 346ff.; HELBERG (1987), S. 62; HINTZ (1987), S. 37; WECK (1988c), S. 400, 409 u. 484ff. Vgl. insbesondere zur Verwendung von Paletten als Werkstückträger TUFFENTSAMMER (1975), S. 1f.; JUNGHANNS (1976), S. 64ff.; STUTE (1978a), S. 9; SPUR (1980), S. 31ff. u. 269ff.; NIEB (1980), S. 19; EVERSHEIM (1981), S. 134ff.; MERTINS (1981), S. 84f.; DÖTTLING (1981), S. 18; WECK (1982), S. 374f., 382 u. 388; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 15, 88 u. 142f.; HARTLEY (1984), passim, insbesondere S. 37ff., 91ff. u. 134ff.; MERTINS (1985a), S. 55 u. 160ff.; MERTINS (1985b), S. 255ff.; KOCHAN,D. (1986), S. 27, 32, 35, 44f., 60f., 68f., 71, 76, 78 u. 84f.; KNOOP (1986), S. 11 u. 130; HELBERG (1987), S. 62f.; HINTZ (1987), S. 37 u. 43; WILDEMANN (1987a), S. 30, 95f. u. 346ff.; WECK (1988c), S. 400, 402ff., 415 u. 484ff.; THIEL,W. (1988c), S. 321ff.; O.V. (1988n), S. 25; MERKEL,P. (1991a), S. 28. Vgl. schließlich zu ausführlichen Erläuterungen der facettenreichen Thematik des Auf-, Um- und Abspannens von Werkstücken THIEL,W. (1988c), S. 321ff.

133) Von der Bearbeitung eines Werkstücks wird zumeist dann gesprochen, wenn das Werkstück in einen Produktionsprozeß als (partieller) Prozeßinput eingeht, dabei einzelne seiner Eigenschaften verändert werden, das Werkstück aber aus dem Prozeß auch wieder als dessen (partieller) Prozeßoutput hervorgeht (Bearbeitung i.e.S.). Ein Werkstück unterliegt dagegen einer Verarbeitung, wenn es in einen Produktionsprozeß ein- und dabei als eben dieses Werkstück untergeht. Das Werkstück oder Produkt, das aus jenem Produktionsprozeß hervorgeht, stellt dann ein neues, vom untergegangenen Werkstück verschiedenes Objekt dar. Es belastete aber die Ausführungen dieser Arbeit unnötig, wenn stets zwischen Be- und Verarbeitungen von Werkstücken differenziert würde. Daher wird fortan ein weit gefaßter Bearbeitungsbegriff verwendet, der sowohl die eng definierte Be- als auch die Verarbeitung von Werkstücken einschließt. In diesem Sinne kann auf den oben angeführten Bearbeitungsstationen nicht nur eine Be-

sondern auch eine Verarbeitung von Werkstücken stattfinden. Dagegen wird explizit von der Verarbeitung eines Werkstücks gesprochen, falls dessen Untergang während eines Produktionsprozesses besonders hervorgehoben werden soll.

134) In dieser Hinsicht entsprechen die Werkstücke der Faktorart "Objektfaktoren" (i.w.S.), die vor allem von KERN erörtert worden ist. Vgl. KERN, W. (1978), S. 584 (Dort werden Objektfaktoren zwar noch nicht klar als Oberbegriff zu Werkstoffen und beigestellten Faktoren erkenntlich, sondern fallen prima facie mit den beigestellten Faktoren zusammen. Das tatsächlich intendierte Begriffsverständnis geht jedoch aus den anschließend angeführten Quellen eindeutig hervor.); KERN, W. (1979b), S. 17f.; KERN, W. (1988), S. 124f.; KERN, W. (1990a), S. 14f. u. 17.

135) Vgl. zu beigestellten Faktoren, die in wechselnder Terminologie auch als beigestellte Objekte oder Objektfaktoren (i.e.S.) behandelt werden, KERN, W. (1976), S. 760; KERN, W. (1978), S. 584; KERN, W. (1979b), S. 18; CORSTEN (1986a), S. 176, Abb. 2; KERN, W. (1988), S. 124f.; KERN, W. (1990a), S. 13 u. 15.

136) Als Stückgüter werden Sachgüter verstanden, die eine geometrisch präzise definierte äußere Gestalt besitzen und deren Bestandteile - sofern die Güter aus mehreren selbständigen Komponenten zusammengesetzt sind - in geometrisch exakt definierten Lagebeziehungen zueinander stehen. Vgl. ROPOHL (1971), S. 23 u. 25; KERN, W. (1990a), S. 84. Stückgüter werden hier als Unterfall der Sachgüterproduktion von Schütt- und Fließgütern abgegrenzt. Dabei wird die produktionswirtschaftlich übliche Typisierung dieser drei Güterarten vorausgesetzt. Vgl. RIEBEL (1963), S. 48ff.; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 229f.; SCHÄFER, E. (1978), S. 36 u. 61; KERN, W. (1990a), S. 84 u. 87. Als Synonyma für Stückgüter werden auch die Bezeichnungen "Werkstücke", "Güter" und "Produkte" verwendet.

137) Schwierigkeiten bei der Repräsentation von Objekten, die keinen diskreten Charakter besitzen, weisen aber auch andere Modellierungskonzepte auf. Vgl. z.B. DORN (1989), S. 153.

138) Es wird zwar später angedeutet, daß sich mit Hilfe von Netzbeschriftungen und quantitativ definierten Markenattributen auch solcher Faktorverzehr berücksichtigen läßt, der auf einer kontinuierlichen Skala gemessen wird. Er kann beispielsweise mit Faktorpreisen bewertet und der Operationsausführung auf einer Bearbeitungsstation zugeordnet werden. Es handelt sich dann um Operationskosten, die später als Schaltwerte von Transitionen in Netzmodellen erfaßt werden können. Dabei geschieht aber nur eine indirekte Modellierung des Faktorverzehrs. Eine direkte Modellierung von kontinuierlichen Größen bietet dagegen das Flußgrößen-Konzept von DORN (1989), S. 72ff. Es liegt jedoch außerhalb des Ausdrucksvermögens von Petrinetzen.

139) Objekte werden entweder als Marken oder als Teilnetze modelliert. In beiden Fällen handelt es sich um Konstrukte mit grundsätzlich diskreter Natur. Vgl. dazu die späteren Präzisierungen von Marken- und Netzbegriff. Vgl. zur diskreten Objektrepräsentation auch DORN (1989), S. 76f.

140) Dabei wird nur auf die Konzeptualisierung des Faktorverzehrs, nicht aber auf die "natürliche" Faktorbeschaffenheit abgestellt. Beispielsweise kann der Verzehr eines Werkstoffs, der als Fließgut - wie etwa Klebmittel - kontinuierlich verbraucht wird, durch "Quantelung" auf diskrete Verzehrseinheiten projiziert werden. Der derart konzeptualisierte Faktorverbrauch läßt sich innerhalb des Petrinetz-Konzepts als Verarbeitung von diskreten Einheiten des "Werkstücks" Klebstoff direkt erfassen. Umgekehrt werden Werkstoffe nicht direkt modelliert, die zwar - wie etwa minderwertige Schrauben - als Schüttgüter diskreten Charakter besitzen, deren Verzehr aber dennoch zwecks Verminderung des Erfassungsaufwands nicht durch diskretes Zählen, sondern nur auf einer groben kontinuierlichen Skala (z.B. durch Wiegen) gemessen wird. Vgl. dazu das Schraubenbeispiel von DORN (1989), S. 153.

141) Gemeint sind jeweils Endprodukte, jedoch keine Zwischen- oder Vorprodukte.

142) Die faktororientierte Betrachtungsweise erfaßt nur die Ausstattung von Produktionssystemen mit Potentialfaktoren sowie den Input von Repetierfaktoren. Die hier thematisierte Koordinierung von Produktionsprozessen rückt aber die Gestaltung des Systemthroughputs in den Vordergrund. Die Throughputgestaltung hängt nicht nur von Systemausstattung und -input, sondern ebenso von erwünschten oder fix vorgegebenen Outputgrößen ab. Daher ist es notwendig, die faktor- zu einer güterorientierten Perspektive zu erweitern, die auch die herzustellenden (End-)Produkte als Systemoutput explizit erfaßt. Vgl. zur systemtheoretischen Konzipierung der Prozeßkoordinierung als Throughputgestaltung im Spannungsfeld zwischen Systemin- und -output ZÄPFEL (1978), S. 407f., 410f. u. 419; ZÄPFEL (1982), S. 2ff., insbesondere S. 7, u. S. 35ff.; HOITSCH (1985), S. 1, 5 u. 184; HINTZ (1987), S. 13. Vgl. am Rande auch die Ausführungen von RIEPER (1979), S. 34, zu einer allgemeinen Transformationsrelation betrieblicher Systeme, die den Input und Output dieser Systeme miteinander verknüpft.

143) Es wird zunächst der einfache Fall einer linearen Produktion unterstellt. Auf Komplizierungen, die aus nicht-linearen Produktionen resultieren können, wird in Kürze unter dem Aspekt der Werkstückkomplexe zurückgekommen.

144) Werkstoffe und Produkte stellen aus systemtheoretischer Sicht eng verwandte Objekte dar. Sie unterscheiden sich nur dadurch, daß erste als Input in Produktionssysteme eingehen und zweite als Output diese Systeme verlassen. Diese Differenzierung erweist sich jedoch aus zweifacher Hinsicht als problematisch. Erstens läßt sie eine ter-

minologische Lücke offen. Denn während der Ausführung eines Produktionsprozesses bleibt es unbestimmt, ob das bearbeitete Objekt entweder einen Werkstoff oder aber ein Produkt darstellt. Als Throughput, der nicht mehr Input und noch nicht Output ist, handelt es sich strenggenommen weder um einen Werkstoff noch um ein Produkt. Diese terminologische Lücke wird besonders deutlich in der Abbildung bei REFA (1985c), S. 147 u. 157. Dort geht ein "Rundstahl" als Werkstoff in die Arbeitsgangfolge eines Arbeitsablaufplans ein und verläßt diese Folge als das Produkt "Stirnrad". Während dieser Arbeitsgangfolge ist ein materielles Objekt der Arbeitsgangausführung überhaupt nicht definiert. Zweitens läßt sich die Differenzierung zwischen inputbezogenen Werkstoffen und outputbezogenen Produkten nicht mehr aufrechterhalten, sobald innerhalb eines Produktionssystems mehrere Subsysteme betrachtet werden. Der Output eines Subsystems kann sowohl einen Werkstoff (Zwischenprodukt) für ein produktionstechnisch nachgelagertes Subsystem als auch ein absatzbestimmtes Produkt (Endprodukt) darstellen. Ebenso kann der Input eines Subsystems sowohl aus einem Werkstoff bestehen, der außerhalb des Produktionssystems beschafft wurde (Vorprodukt), als auch aus dem Output eines produktionstechnisch vorgelagerten Subsystems. Da In- und Output nur noch relativ zum jeweils betrachteten Subsystem definiert sind, kann das gleiche physische Objekt - in Abhängigkeit vom jeweils vorausgesetzten Subsystem - sowohl die Qualität eines Werkstoffs für einen nachgelagerten Produktionsteilprozeß als auch die Qualität eines Produkts bezüglich eines vorgelagerten Produktionsteilprozesses besitzen. Bei der Betrachtung von Teilprozessen in Produktionssystemen spielt daher die Unterscheidung zwischen Werkstoffen und Produkten keine wesentliche Rolle mehr. Aus den vorgenannten Gründen besteht zwischen Werkstoffen und Produkten keine grundsätzliche Differenz.

145) Dies führt später dazu, bei der Anwendung des Petrinetz-Konzepts auf die Persistenz der Abbildung realer Objekte besonderes Gewicht zu legen.

146) Die Schwierigkeiten, die kurz zuvor hinsichtlich der Unterscheidung zwischen Werkstoffen und Produkten skizziert wurden, lassen sich durch den einheitlichen Werkstückbegriff vermeiden: Ein unbearbeitetes Werkstück ist ein Werkstoff, der außerhalb des Produktionssystems als Vorprodukt beschafft wird. Es gehört zum Input des jeweils betrachteten Produktionssystems. Ein angearbeitetes Werkstück stellt ein Zwischenprodukt dar, das sich innerhalb des Produktionssystems befindet. Es kann während der Ausführung von Produktionsprozessen bearbeitet werden. Hiermit wird die terminologische Lücke geschlossen, die in der vorletzten Anmerkung hinsichtlich des Systemthroughputs angesprochen wurde. Ein fertig bearbeitetes Werkstück kommt einerseits als ein Endprodukt, das zwecks Absatzes das Produktionssystem verlassen soll, und andererseits als ein Zwischenprodukt, das in einen nachgelagerten Produktionsteilprozeß eingehen soll, in Betracht. In beiden Fällen handelt es sich um den Output des zuletzt ausgeführten Produktions(teil)prozesses. Werkstücke stellen somit alle Objekte dar, die bei der Abwicklung von Produktionsaufträgen bearbeitet werden. Damit entspricht der Werkstückbegriff dieser Arbeit dem Begriff des Arbeitsobjekts bei MUSCATI (1970), S. 10. Einen ähnlich weit gefaßten Werkstückbegriff benutzt auch KNOOP (1986), S. 145. Dabei betrachtet er Werkstücke zu Prozeßbeginn als Rohteile und zu Prozeßende als Fertigteile.

147) Werkstücke stellen aus systemtheoretischer Sicht Fließobjekte dar. Sie bilden den In-, Through- oder Output von Produktionssystemen und -prozessen. Bei der Ausführung von Produktionsprozessen "fließen" sie durch die jeweils betroffenen Produktionsbereiche. Jede Erscheinungsform des Fließobjekts "Werkstück" - also jedes Vor-, Zwischen- oder Endprodukt - wird fortan unter den Materialbegriff subsumiert. Unter dieser Voraussetzung kann der Werkstückfluß innerhalb eines Produktionssystems ebenso als "Materialfluß" angesprochen werden. Er schließt Endprodukte als fertig bearbeitete Werkstücke ein. Ein Materialfluß von Endprodukten erfolgt z.B. dann, wenn die Werkstücke nach ihrer letzten Bearbeitung noch zu einem Endproduktlager transportiert werden. Ebenso ist es möglich, Endprodukte zu einer abschließenden Qualitätsinspektion zu befördern. Konventionelle Präzisierungen des Materialbegriffs beziehen dagegen Endprodukte nicht ein. Vgl. z.B. WINTER,RO. (1991), S. 169. Folglich können sie die vorgenannten Endprodukttransporte strenggenommen nicht zur Funktion von Materialflußsystemen rechnen. Es bleibt dann aber offen, in welchem anderen Subsystem solche Transporte erfolgen sollen.

148) Ein Produktionsauftrag darf als abstraktes Objekt keineswegs mit einzelnen Werkstücken als konkreten Objekten verwechselt werden. Denn dasselbe Werkstück, das sich beispielsweise in einem Vorprodukt-Lager befindet, kann - in alternativer Weise - zur Abwicklung verschiedener Produktionsaufträge eingesetzt werden. Ebenso braucht ein Produktionsauftrag keineswegs aus der Bearbeitung eines einzelnen Werkstücks zu bestehen. Vielmehr kann er sich sowohl auf die Kombination verschiedener Werkstückarten erstrecken (synthetische Produktion) als auch die Bearbeitung mehrerer artgleicher Werkstücke umfassen (losweise Produktion). Darüber hinaus erstreckt sich die Spezifizierung eines Produktionsauftrags noch auf eine Fülle weiterer Aspekte, die durch den Werkstückbegriff überhaupt nicht abgedeckt werden. Dazu zählen vor allem die Arbeitsverrichtungen, die an den Werkstücken vollzogen werden sollen, die hierzu geeigneten Bearbeitungsstationen und Arbeitskräfte, sowie die technischen Restriktionen, die bei der Auftragsabwicklung eingehalten werden müssen. Aufgrund der hier nur angedeuteten Fülle von Auftragsdeterminanten wäre es vollkommen verfehlt, Aufträge mit den Werkstücken zu identifizieren, die während der Abwicklung von Produktionsaufträgen bearbeitet werden. Die Fruchtbarkeit des Strukturierungsansatzes, Werkstücke und Aufträge als verschiedenartige Objekte zu konzeptualisieren, läßt sich anhand eines Beispiels verdeutlichen. In konventionellen Arbeiten zur Produktionsplanung und -steuerung werden zumeist beide Objektarten nicht auseinandergelassen. Statt dessen werden zunächst nur Produktionsaufträge ("Jobs") eingeplant

und durch Produktionssysteme gesteuert. Sie umfassen zwar im Normalfall losweiser Produktion stets mehrere Werkstücke. Doch werden diese Werkstücke nicht als selbständige Planungs- bzw. Steuerungsobjekte behandelt. Dies führt mitunter zu unerwünschten Koordinierungsergebnissen, die sich nur durch nachträgliche Operationen des "Lossplittens" oder der "überlappenden Produktion" beseitigen lassen. Diese beiden Operationen greifen auf den bis dahin vernachlässigten Sachverhalt zurück, daß die Produktionsaufträge aus mehreren Werkstücken bestehen, die nicht notwendig alle in derselben Weise eingeplant zu werden brauchen.

Das Splitten eines Loses setzt voraus, daß ein Arbeitsgang auf alternativen Bearbeitungsstationen ausgeführt werden kann und daß die Losgröße des abgewickelten Produktionsauftrags nicht auf den Umfang "Eins" degeneriert ist. Durch das Lossplitten wird derselbe Arbeitsgang gleichzeitig auf mehreren Bearbeitungsstationen ausgeführt, indem die zugehörigen Werkstücke auf den betroffenen Stationen simultan bearbeitet werden. Vgl. zum Lossplitten EVERSHEIM (1981), S. 183ff.; ZÄPFEL (1982), S. 230; SELIGER (1983), S. 68 u. 76; MÜLLER, A. (1987), S. 136, 326, 362f. u. 408ff.; MERTENS (1988e), S. 10f. u. Abb. 12 nach S. 19; KERN, W. (1990a), S. 343; KNOLMAYER (1990b), S. 426ff., insbesondere S. 428ff. Die Losüberlappung erfordert abermals, daß die Losgröße eines Produktionsauftrags nicht degeneriert ist. Hinzu kommt, daß eine mehrstufige Fertigung vorliegen muß. Schließlich wird unterstellt, daß die betrachteten aufeinanderfolgenden Arbeitsgänge auf unterschiedlichen - "komplementären" - Bearbeitungsstationen ausgeführt werden. Unter diesen Voraussetzungen geschieht eine Losüberlappung dadurch, daß mindestens zwei aufeinanderfolgende Arbeitsgänge auf mindestens zwei verschiedenen Bearbeitungsstationen gleichzeitig ausgeführt werden, indem die zugehörigen Werkstücke auf den komplementären Stationen simultan bearbeitet werden. Hierzu ist es - abweichend von der gewöhnlichen losweisen Produktion - erforderlich, daß Werkstücke, die an einer Bearbeitungsstation durch Ausführen des vorangehenden Arbeitsgangs bearbeitet wurden, bereits zur nächsten Bearbeitungsstation zwecks Ausführen des nachfolgenden Arbeitsgangs weitertransportiert werden, bevor die Bearbeitung *aller* Werkstücke des Auftrags an der erstgenannten Station abgeschlossen ist. Hierdurch wird es möglich, sowohl die Durchlaufzeiten von Aufträgen zu verkürzen als auch die Zwischenlagerkapazitäten zur Aufnahme der Werkstücke von Losen zu verringern. Vgl. SELIGER (1983), S. 70f. bzw. S. 72. Vgl. zur Losüberlappung ebenso EVERSHEIM (1981), S. 183ff.; DÖTTLING (1981), S. 27 u. 58; ZÄPFEL (1982), S. 229; SELIGER (1983), S. 68, 70ff. u. 76; MÜLLER, A. (1987), S. 326f. u. 359; MERTENS (1988e), Abb. 12 nach S. 19.

Die Vorgehensweise, bei der Modellierung eines Produktionssystems zwischen Produktionsaufträgen und ihren Werkstücken nicht deutlich zu unterscheiden, erscheint jedoch fragwürdig. Denn es erfolgt erst einmal eine strukturelle Konzeptualisierung, obwohl die Gefahr bekannt ist, die Konzeptualisierung später bei unbefriedigenden Koordinierungsergebnissen durch Strukturanreicherung nachbessern zu müssen: Zunächst wird die interne Struktur eines Auftrags vernachlässigt, der bei nicht-degenerierter Losgröße immer aus mehreren Werkstücken zusammengesetzt ist. Dennoch wird mit der Möglichkeit gerechnet, später auf eben diese interne Auftragsstruktur durch Lossplitten oder durch losüberlappendes Produzieren zurückgreifen zu müssen. Aus dieser Perspektive stellen die Splittungs- und Überlappungsoperationen keine "subtilen" Koordinierungsinstrumente dar. Sie korrigieren lediglich eine Konzeptualisierung der zu bewältigenden Koordinierungsprobleme, die von vornherein zu grob angelegt war. Darüber hinaus kann in dem Ansatz, zunächst Lose als Objekte von Koordinierungsentscheidungen einzuführen und später mittels Lossplittung bzw. -überlappung nachträglich wieder aufzuheben, eine konzeptionelle Inkonsistenz gesehen werden. Daher liegt es nahe, die Grobkonzeptualisierung von vornherein durch eine feinere Systemstrukturierung zu ersetzen, die sowohl Aufträge als auch Werkstücke als eigenständige Koordinierungsobjekte berücksichtigt. Genau diesen Ansatz verfolgt die oben vorgenommene Strukturierung von Produktionssystemen. Insbesondere erlaubt sie, die Abwicklung eines Auftrags so zu konzeptualisieren, daß *von vornherein* die auftragszugehörigen Werkstücke nicht als festgefügte Einheit (Los) ein Produktionssystem durchlaufen müssen. Daher werden Lossplittung und überlappende Produktion a priori als potentielle Produktionsweisen einbezogen, ohne sie als spezielle Koordinierungsinstrumente berücksichtigen zu müssen. Zu den Details dieser Vorgehensweise wird auf die spätere Fallstudie, insbesondere das Netzmodul für Produktionsaufträge verwiesen. Darüber hinaus lassen sich auch weiterhin losweise Produktionen erfassen. Zu diesem Zweck reicht es aus, Koordinierungsentscheidungen stets so zu treffen, daß Werkstücke, die zum selben Produktionsauftrag gehören, entsprechend der intendierten Losgröße an den betroffenen Bearbeitungsstationen unmittelbar nacheinander bearbeitet werden.

Die alternative Denkmöglichkeit, nur noch einzelne Werkstücke anstelle von Aufträgen zu beachten, wird hier nicht weiter verfolgt. Denn sie ließe auftragsspezifische Determinanten, die für die Bewältigung von Koordinierungsproblemen erhebliche Bedeutung besitzen können, außer acht. Dazu gehören z.B. Liefertermine für Kundenaufträge oder die Bedarfsverursachernachweise für Kundenaufträge. Zwar werden in dieser Arbeit keine Kunden-, sondern Produktionsaufträge betrachtet, weil die absatzorientierten Schnittstellen von Produktionssystemen nicht thematisiert werden. Doch läßt sich die hier angeregte Systemstrukturierung ohne Schwierigkeiten so ausweiten, daß das Konzept der Produktions- auf eine analoge Konzeptualisierung von Kundenaufträgen erweitert wird. Vgl. zu einer ausführlicheren Erörterung unterschiedlicher Auftragskategorien und ihrer Abhängigkeiten KERN, W. (1990a), S. 342f.

149) Die Losgröße ist die Anzahl derjenigen Endprodukteinheiten, die von der auftragsspezifischen Endproduktart hergestellt werden sollen. Falls genau eine Endprodukteinheit gewünscht wird, liegt die degenerierte Losgröße "Eins" vor. Andernfalls - wenn mehrere Endprodukteinheiten produziert werden sollen - wird von einem Auftrag

mit nicht-degenerierter Losgröße gesprochen. Pseudoaufträge mit der Losgröße "Null" werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

150) Ein auftragsspezifischer Werkstückkomplex umfaßt alle Werkstücke, die zur Herstellung von genau einer Einheit der auftragsspezifischen Endproduktart bearbeitet werden müssen. Im Falle linearer Produktion degeneriert der Werkstückkomplex zu einem Simplex, der nur noch genau ein Werkstück darstellt. Bei synthetischer Produktion handelt es sich dagegen um mehrere verschiedene Werkstücke, die in die Herstellung einer Endprodukteinheit eingehen.

151) Es handelt sich um einen doppelten Freiheitsgrad. Denn selbst dann, wenn zwei Werkstückkomplexen desselben Auftrags insgesamt die gleichen Bearbeitungsstationen zugeordnet werden, kann jeder Werkstückkomplex die Bearbeitungsstationen in einer anderen Reihenfolge durchlaufen. Daraus ergeben sich unterschiedliche Transportwege für die Werkstückkomplexe trotz gleicher Bearbeitungsstationen. Vgl. dazu auch die Anmerkung von SCHMIDT, H. (1989), S. 18: "Die Aufträge und Produkte durchlaufen flexible Fertigungssysteme im Unterschied zur konventionellen Produktion nicht mehr in strenger Reihenfolge in Form von Losen."

152) Die herausragende Bedeutung, die Werkzeugen bei flexiblen Fertigungssystemen zukommt, heben z.B. hervor: SCHARF, P. (1976), S. 48; AWF (1984), S. 81ff.; DEY (1984), S. 459; WILDEMANN (1987a), S. 98; WECK (1988c), S. 411. Sie wird auch dadurch unterstrichen, daß bei der Strukturierung flexibler Fertigungssysteme ein Werkzeugsystem als eigenständiges Subsystem identifiziert wird. Vgl. zur Betrachtung solcher Werkzeugsysteme SCHARF, P. (1976), S. 48ff.; HARTLEY (1984), S. 109ff.; KOCHAN, D. (1986), S. 29. Vgl. auch - jedoch ohne Einschränkung auf flexible Fertigungssysteme - EVERSHEIM (1981), S. 58ff.; WECK (1988c), S. 426ff. Die Anzahl aller Werkzeuge, die in einem flexiblen Fertigungssystem vorgehalten werden, liegt am häufigsten zwischen 300 und 400 Exemplaren. Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 15 u. 134; MERTINS (1985a), S. 50. Vgl. hierzu auch die detaillierten Auflistungen bei FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 534ff.; MERTINS (1985a), S. 160ff.; MERTINS (1985b), S. 255ff., mit der minimalen und maximalen Angabe von 40 bzw. 3.600 Werkzeugen; KOCHAN, D. (1986), S. 33, 60f., 68f. u. 84f., mit der minimalen und maximalen Angabe von 50 bzw. 1.200 Werkzeugen; WILDEMANN (1987a), S. 97 u. 346ff., mit der größten Besetzungsdichte in der Klasse von 100 bis 200 Werkzeugen und 50.000 Werkzeugen als maximaler Angabe. Vgl. des Weiteren die hiermit weitgehend übereinstimmenden Angaben von Werkzeuganzahlen bei NIEB (1980), S. 19; WECK (1982), S. 383; DEY (1984), S. 460 u. 463; HARTLEY (1984), S. 117; KOCHAN, D. (1986), S. 63 u. 70f.; WECK (1988c), S. 403 u. 405 (für flexible Fertigungszellen).

Aufgrund der großen Bedeutung und Anzahl von Werkzeugen, die in flexiblen Fertigungssystemen vorgehalten werden, existiert oftmals eine eigenständige Werkzeugverwaltung. Sie wird des öfteren auch als "Werkzeugmanagement", "Tool Monitoring", Fertigungshilfsmittelverwaltung o.ä. thematisiert. Vgl. zu solchen Werkzeugverwaltungen DÖTTLING (1981), S. 80f. u. 99; HARTLEY (1984), S. 110f., 116 u. 240; ARNING (1987), S. 99f. u. 106f.; HINTZ (1987), S. 120f. u. 142ff.; ZEH (1988a), S. 208 u. 216; STORR (1991b), S. 77ff., insbesondere S. 81ff. Vgl. ebenso die Ausführungen von STUTE (1978a), S. 86. Er beschäftigt sich mit der Frage, in welchem Ausmaß die Freiheitsgrade bei Dispositionen über Maschinenbelegungen von der Ausgestaltung des Werkzeugsystems und der aktuellen Werkzeugverfügbarkeit abhängen. Vgl. am Rande auch STUTE (1978a), S. 54ff., zu informationstechnischen Aspekten der Werkzeugverwaltung in flexiblen Fertigungssystemen. Die Aufgaben der Werkzeugverwaltung werden hier jedoch nicht mehr zum Bereich der Prozeßkoordination gerechnet. Sie bleiben daher unberücksichtigt.

153) Vgl. zur Definition des Werkzeugbegriffs SPUR (1982c), S. 136; ULLMANN (1988), S. 140.

154) Zu den Fertigungshilfsmitteln werden hier alle passiven Betriebsmittel gerechnet, die zwar direkt an Produktionsprozessen beteiligt sind, jedoch kein eigenes Leistungsvermögen besitzen. Vgl. dazu die Typisierung von Betriebsmitteln von KERN, W. (1990a), S. 196. Zu den Fertigungshilfsmitteln gehören bei der industriellen Stückgüterproduktion vor allem Werkzeuge im engeren Sinn, Spannzeuge, Trägervorrichtungen sowie Prüfmittel. Ebenso werden die Rüsthilfsmittel, die bei MÜLLER, U. (1988b), S. 150, angesprochen werden, hier als Fertigungshilfsmittel betrachtet. Vgl. des Weiteren zu Fertigungshilfsmitteln KERN, W. (1967), S. 203; ZELEWSKI (1984), S. 1f.; ULLMANN (1988), S. 140; STORR (1991b), S. 77.

155) Vgl. zum Prüfmiteleinsatz in flexiblen Fertigungssystemen SCHARF, P. (1976), S. 50ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 319; GAUDERON (1984), S. 62. Vgl. auch die Ausführungen bei ROPOHL (1971), S. 149f., zu Meß-, Prüf- und Funktionsüberwachungssystemen als Komponenten flexibler Fertigungssysteme. Als Prüfen wird hier jedes bewußte Feststellen von Objekteigenschaften verstanden. Dazu rechnet zunächst die Aufgabe, die Qualität der Werkstückbearbeitung durch Werkstückvermessung zu überwachen. Vgl. SCHARF, P. (1976), S. 50; STUTE (1978a), S. 14f.; SPUR (1980), S. 95ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 319; SELIGER (1983), S. 100ff.; KOCHAN, D. (1986), S. 29, 35 u. 65. Die Prüfmittel werden dann mitunter auch als Meßzeuge thematisiert. Ebenso kommen Prüfmittel in Betracht, um die Korrektheit der Werkstückjustierung zu überprüfen. Vgl. STUTE (1978a), S. 14 u. 18; HARTLEY (1984), S. 267ff. Schließlich werden Prüfmittel (Sensoren) oftmals eingesetzt, um Werkzeuge auf Beschädigungen hin zu überwachen. Vgl. JUNGHANNS (1976), S. 67f.; WÖRN

(1977), S. 293ff.; STUTE (1978a), S. 29 u. 41ff.; DÖTTLING (1981), S. 80f.; HARTLEY (1984), S. 118; KOCHAN,D. (1986), S. 73; HINTZ (1987), S. 36; HELBERG (1987), S. 60; JACOBS (1988a), S. 1580ff.; o.V. (1988n), S. 25. In allen vorgenannten Verwendungsweisen sind die Prüfmittel häufig in die Vorrichtungskomplexe von Bearbeitungsstationen fest integriert. Sie brauchen dann nicht näher beachtet zu werden, weil sie bereits in den Bearbeitungsstationen miteinfaßt sind. Daher werden Prüfmittel in dieser Arbeit nur in dem Ausmaß als selbständige Objekte konzeptualisiert, in dem sie als mobile Werkzeuge zwischen Bearbeitungsstationen ausgetauscht werden können.

156) Vgl. STORR (1991b), S. 79f. Zunächst werden alle Werkzeuge, die sich bedarfsabhängig zu unterschiedlichen Bearbeitungsstationen zuordnen lassen (mobile Werkzeuge), von allen anderen Werkzeugen unterschieden, die jeweils genau einer Bearbeitungsstation fest zugeordnet sind (immobiler Werkzeuge). Darüber hinaus können innerhalb der ersten Werkzeugklasse weitere Subklassen gebildet werden. Jede Subklasse ist durch eine nicht-leere Menge von Bearbeitungsstationen konstituiert, die als Zuordnungsziele der betroffenen mobilen Werkzeuge in Betracht kommen. Von einer solchen Klassenbildung wird in dieser Arbeit jedoch abgesehen. Statt dessen wird der Einfachheit halber unterstellt, daß *jedes* Werkzeug *jeder* Bearbeitungsstation zugeordnet werden kann. Folglich werden ausschließlich mobile Werkzeuge mit universeller Zuordnungsmöglichkeit betrachtet. Daher werden alle lokalen Werkzeugspeicher von Bearbeitungsstationen nicht als Konstant-, sondern als Wechselspeicher vorausgesetzt. Vgl. zu diesen beiden Speichertypen SCHARF,P. (1976), S. 49f.

Die Werkzeugverteilung in lokalen Speichern von Bearbeitungsstationen und zentralen Werkzeugmagazinen wird als variabel, jedoch exogen vorgegeben unterstellt. Die Werkzeugbereitstellung gilt somit im Rahmen der Prozeßkoordinierung als abgeschlossen. Damit werden alle Aspekte einer "optimalen" Werkzeugverteilung aus dieser Arbeit ausgeklammert. Vgl. zu solchen Verteilungsanalysen und -strategien HORMANN,D. (1973), S. 67ff.; SCHARF,P. (1976), S. 48ff. Ebenso bleibt die Steuerung der Werkzeugzuordnung auf Bearbeitungs- und Lagerstationen unbeachtet. Eine solche spezialisierte "Werkzeugflußsteuerung" oder "Werkzeugdisposition" findet sich dagegen bei HORMANN,D. (1973), S. 105ff.; DÖTTLING (1981), S. 63 u. 72 (ansatzweise), insbesondere S. 98ff. Vgl. auch zu Teilaspekten der Werkzeugflußsteuerung STUTE (1978a), S. 86. Umfassender angelegt ist das Konzept der Fertigungshilfsmittel-Bereitstellungssteuerung, das von ULLMANN (1988), S. 141ff., thematisiert wird. Es umfaßt die Steuerung der Werkzeugverteilung als Unterfall.

Obwohl die Werkzeugbereitstellung vorgegeben ist, kann es bei der Koordinierung von Produktionsprozessen dennoch erforderlich werden, Werkzeuge zwischen den Bearbeitungs- und Lagerstationen auszutauschen. Einerseits ist es möglich, daß ein Werkzeug an einer Bearbeitungsstation fehlt, an der es zur Operationsausführung benötigt wird. Vgl. DÖTTLING (1981), S. 98ff. Ein solcher Werkzeugbedarf kann entweder durch Produktionsstörungen verursacht sein, die zu einer unerwarteten Veränderung der früheren Prozeßplanung geführt haben. Oder die spätere Werkzeugreallokation wurde von vornherein eingeplant, weil im Produktionssystem nicht genügend Werkzeuge zur Verfügung stehen, um den Werkzeugbedarf aller Bearbeitungsstationen zugleich abzudecken. Andererseits kann es angeraten erscheinen, ein Werkzeug wegen seiner starken Abnutzung an einer Bearbeitungsstation nicht mehr einzusetzen. Vgl. DÖTTLING (1981), S. 81 i.V.m. S. 98f. Auch dann wird die Neuordnung eines anderen Werkzeugs erforderlich, sofern nicht schon ein Ersatzwerkzeug bereitsteht. Allerdings wird die Überwachung des Abnutzungszustands von Werkzeugen in dieser Arbeit nicht mehr der Koordinierung von Produktionsprozessen zugerechnet. Statt dessen gilt die Werkzeugüberwachung als Aufgabe einer separaten Werkzeug- oder Fertigungshilfsmittelverwaltung. Daher braucht für Werkzeuge nur die dichotome Unterscheidung zwischen den Zuständen "einsatzbereit" und "nicht einsatzbereit" zu erfolgen. Eine differenziertere Konzeptualisierung von Werkzeugzuständen auf der Basis unterschiedlicher Werkzeugstandzeiten findet sich dagegen bei STUTE (1978a), S. 54ff., und DÖTTLING (1981), S. 59 u. 80ff.

157) Vgl. zu solchen Werkzeugflüssen STUTE (1978a), S. 9 u. 57; EVERSHEIM (1981), S. 136f. u. 158; DÖTTLING (1981), S. 68 u. 98ff.; HARTLEY (1984), S. 79, 109 u. 119ff.; MERTINS (1985a), S. 50f.; KOCHAN,D. (1986), S. 72; WECK (1988c), S. 23, 399 u. 405ff.; o.V. (1988n), S. 25; STORR (1991b), S. 80. Allerdings weisen EVERSHEIM (1981), S. 158, und MERTINS (1985a), S. 50f., darauf hin, daß ein solcher Werkzeugtransport in flexiblen Fertigungssystemen zur Zeit noch selten realisiert ist. STUTE (1978a), S. 57, und DÖTTLING (1981), S. 70 u. 101, führen an, für das dort behandelte reale flexible Fertigungssystem sei ein Werkzeugtransport noch nicht vorhanden bzw. befände sich erst im Aufbau. In diese Richtung weist auch die Anmerkung von ARNING (1987), S. 46, daß es bei Zentrenfertigung günstig sei, eine große Werkzeuganzahl dauerhaft jeweils einem Fertigungszentrum zuzuordnen. Der Organisationstyp der Zentrenfertigung liegt einem Sonderfall flexibler Fertigungssysteme - den flexiblen Fertigungszellen - zugrunde.

Es könnte daran gedacht werden, Werkzeuge und Werkstücke aufgrund ihrer gemeinsamen Mobilität zu einer Objektart zusammenzufassen. Darauf wird hier jedoch verzichtet. Denn die produktionswirtschaftlichen Eigenheiten beider Objektarten wirken sich so stark aus, daß sich ihre Gleichbehandlung nicht rechtfertigen läßt. Zur Verdeutlichung wird auf einen charakteristischen Unterschied hingewiesen: Nur die konkrete Objektart "Werkstück" ist unmittelbar mit der eingangs vorgestellten abstrakten Objektart "Auftrag" verknüpft. Für die Objektart "Werkzeug" gilt dies hingegen nicht. Daher wirkt sich das Sachziel der Prozeßkoordinierung, ein vorgegebenes Auftragsvolumen abzuwickeln, unmittelbar nur auf das Durchschleusen von Werkstücken durch ein Produktionssystem aus, nicht aber - zumindest nicht unmittelbar - auf den Werkzeugfluß im Produktionssystem. Statt dessen kann der Werkzeugfluß

unabhängig vom Werkstückfluß gestaltet werden - bis hin zum Extrem, durch dauerhafte Zuordnung von Werkzeugen und Bearbeitungsstationen den Werkzeugfluß innerhalb des Koordinierungszeitraums vollkommen einzustellen. Darüber hinaus könnte auf die Anregung von BERNDT (1987), S. 106, zurückgegriffen werden, bei den mobilen Objekten zwischen temporären und permanenten Objekten zu unterscheiden. Zu den ersten, die einem Fertigungssystem nur in beidseitig begrenzten Zeitintervallen angehören, zählen alle Werkstücke. Sie treten zu Intervallbeginn in die Fertigungssysteme als Systeminput ein und verlassen diese als Systemoutput am Intervallende wieder. Permanente Objekte befinden sich dagegen - zumindest während des betrachteten Koordinierungszeitraums - dauerhaft in einem Produktionssystem. Zu ihnen gehören insbesondere auch alle Werkzeuge. Dieser Aspekt wird jedoch nicht weiter verfolgt, weil die Differenzierung zwischen temporären und permanenten mobilen Objekten keine zusätzlichen Erkenntnisse erwarten läßt.

158) Allerdings werden bautechnische Aspekte von Produktionssystemen insoweit berücksichtigt, als sie die Transportmöglichkeiten beeinflussen. Vgl. dazu die Benutzung von Transportgraphen in der später präsentierten Fallstudie. Sie werden eingeführt, um die Transporttopologie eines Produktionssystems zu repräsentieren.

159) Vgl. zur Energieversorgung Flexibler Fertigungssysteme HINTZ (1987), S. 36. Vgl. auch die Konzeptualisierung eines eigenständigen Energiesystems als Strukturkomponente von Flexiblen Fertigungssystemen SPUR (1982c), S. 137; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 83, 131 u. 135; MERTINS (1985a), S. 51; MERTINS (1985b), S. 250 u. 252; KOCHAN, D. (1986), S. 27.

160) Eine kontinuierliche Verzehrsmessung ist für die Faktorart "Energie" produktionswirtschaftlich üblich. Daher erlangt die letztgenannte einschränkende Bedingung nur in denjenigen Sonderfällen Bedeutung, in denen der Energieverbrauch einer "Quantelung" unterworfen wird.

161) Die Unmöglichkeit, den kontinuierlichen Energieverzehr von Bearbeitungsstationen im Petrinetz-Konzept unmittelbar zu modellieren, wiegt aus theoretischer Perspektive durchaus schwer. Denn die charakteristischen Faktoreinsatzfunktionen von Kraftmaschinen, die auch die Faktorart "Energie" einschließen, können für Produktionsplanungen in produktions- und kostentheoretischer Hinsicht größere Bedeutung erlangen. Vgl. dazu beispielsweise HAUPT (1987), S. 58ff., 74ff. u. 101ff. (Energieverzehr beim Warm- und Heißlaufen von Betriebsmitteln); KNOBLOCH (1990), S. 66ff. u. 81ff. (Energieverzehr beim Heißlaufen von Betriebsmitteln). Diese theoretischen Ansätze lassen sich jedoch zur Zeit noch nicht benutzen, um Probleme bei der Koordinierung von Produktionsprozessen in Flexiblen Fertigungssystemen praktisch zu lösen. Dies liegt vor allem an ihrer beträchtlichen formalen Komplexität (nichtlineare Funktionen). Darüber hinaus zweifelt der Verf. daran, daß Aspekte der Energieversorgung für die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen eine praktisch beachtenswerte Rolle spielen. Dies müßte allerdings in empirischen Untersuchungen geklärt werden, die außerhalb dieser Arbeit liegen.

Im lockeren Zusammenhang mit der Ausklammerung des Energieverzehrs steht auch, daß darauf verzichtet wird, intensitätsmäßige Anpassungen als Optionen bei der Prozeßkoordinierung zu berücksichtigen. Denn solche Anpassungen spielen vornehmlich bei der Faktorart "Energie" eine herausragende Rolle. Anstatt diesen Koordinierungsspielraum zu berücksichtigen, liegt dieser Arbeit die Prämisse zugrunde, daß alle Operationsausführungen mit jeweils konstanter Intensität erfolgen. Daher können die Ausführungsdauern aller Operationen im Produktionssystem als konstant vorausgesetzt werden. Vgl. KNOOP (1986), S. 26 (mittelbar auch S. 28). Auf dieser Intensitätsprämisse beruhen auch die meisten anderen Konzepte für Prozeßkoordinierungen in Flexiblen Fertigungssystemen oder für Maschinenbelegungsplanungen bei Werkstattfertigung. Allerdings wird die vorausgesetzte Konstanz der Ausführungsintensitäten im allgemeinen nicht explizit offengelegt. Zu den seltenen Ausnahmen zählen ROPOHL (1971), S. 89, der die Intensitätsprämisse für Flexible Fertigungssysteme ausdrücklich anführt, und KNOOP (1986), S. 26. Abweichender Ansicht ist dagegen MISSBAUER (1987), S. 26 i.V.m. S. 24. Er läßt intensitätsmäßige Anpassungen im Rahmen der Maschinenbelegungsplanung zu.

Analog zum Energieverbrauch kann auch der kontinuierlich gemessene Verzehr von Betriebs- und Hilfsstoffen nicht direkt erfaßt werden. Betriebsstoffe dienen entweder dem Antrieb oder aber der Verschleißminderung von Bearbeitungsstationen. Dazu gehören z.B. Kraftstoffe auf petrochemischer Basis und Schmiermittel. Die vorgenannte Faktorart "Energie" stellt ebenso einen speziellen Betriebsstoff dar. Hilfsstoffe gehen dagegen in die Werkstücke ein, die auf den Stationen bearbeitet werden. Sie bleiben als Werkstückkomponenten physisch erhalten, gelten aber nicht als "wesentliche" Produktbestandteile. Hierzu gehören vor allem Kleinteile, wie z.B. Schrauben, Bolzen oder Dichtungen. Falls ein Hilfsstoff für ein spezielles Koordinierungsproblem doch als wesentlich erachtet wird, braucht er nur als "Werkstück" konzeptualisiert zu werden, dessen Verzehr auf diskreter Skala gemessen wird. Vgl. zu Betriebs- und Hilfsstoffen z.B. HINTZ (1987), S. 36 (mit explizitem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme); KERN, W. (1990a), S. 14f.

162) Daher würde es zu keinem Erkenntniszuwachs führen, auch die erstgenannte Faktorart explizit in das Modellierungskonzept einzubeziehen. Statt dessen bewirkte es nur eine Aufblähung der Anzahl von objektart-spezifischen Netzmodulen, die in der später vorgestellten Fallstudie berücksichtigt werden müßten. Auf eine solche Modulvermehrung ohne korrespondierende Erkenntnisbefruchtung verzichtet der Verf.

163) Um auch diese Fertigungshilfsmittel zu erfassen, wurde der Werkzeugbegriff von vornherein so weit ausgelegt, daß er sich auf alle Fertigungshilfsmittel erstreckt.

2.3.3 Konzeptualisierung der dynamischen Systemstruktur

Die Thematik dieser Arbeit - die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen - legt durch ihren Prozeßbezug nahe, bei der Problemkonzeptualisierung besondere Aufmerksamkeit auf die dynamische Struktur der modellierten Produktionssysteme zu verwenden¹⁾. Bereits im zuvor erläuterten Objektbegriff wurde seitens des objektorientierten Ansatzes ein dynamisches Element verankert. Es erstreckte sich auf die Spezifizierung der Operationen, die auf ein Objekt angewendet werden dürfen. Die Ausführung einer solchen Operation *bewirkt*, daß sich Eigenschaften des betroffenen Objekts verändern²⁾. Daher schließt der objektorientierte Ansatz stets auch den Aspekt möglicher Objektveränderungen ein. Solche Objektveränderungen erfolgen nicht nur in der Anschauungsform "Zeit". Vielmehr besitzen sie auch ein kausales Fundament³⁾. Es wird durch die Operationsausführungen konstituiert, welche die Objektveränderungen verursachen⁴⁾. Zeitlich wahrgenommene und kausal bewirkte Veränderungen, die sich in modellierten Produktionssystemen abspielen, werden anschließend als Konzeptualisierung der dynamischen Systemstruktur erörtert.

Die dynamische Struktur eines Systems umfaßt zunächst die Gesamtheit aller Determinanten, die zeitunabhängig festlegen, welche Objektveränderungen im System⁵⁾ aufgrund zulässiger Operationsausführungen überhaupt möglich sind. Diese Determinanten werden aufgrund ihres kausalen Fundaments auch als Wirkungsmechanismen oder Kausalgesetze angesprochen, denen alle erlaubten Objektveränderungen im betrachteten System unterliegen. Darüber hinaus wird hier zur dynamischen Systemstruktur noch eine kontingente Randbedingung gerechnet, die festlegt, welche Eigenschaften alle Objekte des Systems zu Beginn eines Betrachtungszeitraums aufweisen. Diese initiale Randbedingung konstituiert den Ausgangszustand des Systems⁶⁾.

Jede Veränderung, die sich an den Objekten eines Systems durch Ausführen mindestens einer Operation ereignet, stellt eine Systemverhaltensweise dar⁷⁾. Da die dynamische Systemstruktur die Gesamtheit aller zulässigen Operationsausführungen festlegt, wird das Verhaltenspotential des betrachteten Systems durch seine dynamische Struktur vollständig bestimmt⁸⁾. Jedes tatsächliche Systemverhalten geht aus diesem Verhaltenspotential durch Auswahl von zulässigen Operationen und deren Ausführung hervor. Es läßt sich als Systemveränderung in der Anschauungsform "Zeit" erfahren⁹⁾.

Die zeitbezogene Erfassung von Systemverhaltensweisen ist keineswegs trivial. Statt dessen wird die nähere Beschäftigung mit dem Petrinetz-Konzept zeigen, daß die Netzdynamik zunächst in *rein* kausaler, von allen zeitlichen Bezügen freier Weise¹⁰⁾ konzeptualisiert ist. Daher werden Verhaltensweisen von netzartigen Systemen - zumindest anfangs - nicht in die Anschauungsform "Zeit" eingebettet¹¹⁾. Vielmehr wird dort jedes Systemverhalten ausschließlich auf kausale Wirkungsmechanismen, also auf Operationsausführungen und deren systemverändernden Wirkungen, zurückgeführt.

Dennoch erfolgt im hier entfaltenen Bezugsrahmen aus drei Gründen eine zeitbezogene Konzeptualisierung der Systemdynamik¹²⁾. Erstens entspricht sie der Intuition der menschlichen Alltagserfahrung¹³⁾. Zweitens liegt sie auch allen produktionswirtschaftlichen Modellierungen von Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen zugrunde¹⁴⁾. Die temporale Konzeptualisierung von Systemverhaltensweisen gehört so sehr zum unreflektierten, aber vielfach bewährten¹⁵⁾ Vorverständnis von Koordinierungsproblemen, daß der Verf. keinen Grund sieht, hiervon abzuweichen. Drittens entspricht es dem früher vorgetragenen Schwerpunkt, ein möglichst ausdrucksstarkes Modellierungskonzept zu entwickeln, die Repräsentation zeitbezogener Sachverhalte einzuschließen¹⁶⁾.

Die Konfrontation der zeitbezogenen Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen mit der atemporalen, rein kausalen Dynamik des Petrinetz-Konzepts wird im Verlauf dieser Arbeit noch eine größere Rolle spielen. Ihr liegt die fundamentale Schwierigkeit zugrunde, daß die rein kausale Netzdynamik von zeitbezogenen Problemkonzeptualisierungen durch einen Skalenbruch getrennt wird. Denn die kausale Abhängigkeit von Ereignissen wird im Rahmen des Petrinetz-Konzepts auf einer Ordinalskala¹⁷⁾ gemessen¹⁸⁾. Kinetische oder dynamische produktionswirtschaftliche Modellierungen von Produktionsprozessen setzen dagegen im allgemeinen eine metrische Zeitskala¹⁹⁾ voraus²⁰⁾. Dieser Skalenbruch zieht mindestens²¹⁾ eine, für Problemkonzeptualisierungen wesentliche Konsequenz nach sich: Falls in die Konzeptualisierung eines Koordinierungsproblems metrische Zeitgrößen eingeflossen sind, so lassen sie sich auf dem ordinalen Skalenniveau der Dynamik von Netzmodellen nicht berücksichtigen. Dann bestehen nur zwei Auswege. Entweder werden alle metrischen, zeitbezogenen Problemkonzeptualisierungen im Kontext des Petrinetz-Konzepts verboten. Oder das Petrinetz-Konzept wird so erweitert, daß es auch die Repräsentation von Problemdeterminanten erlaubt, die auf einer metrischen Zeitskala gemessen wurden. Der Verf. hat sich - wie im voranstehenden Abschnitt dargelegt - zugunsten der zweiten Alternative entschieden.

Für die zeitbezogene Beschreibung möglicher Systemverhaltensweisen können entweder kontinuierliche oder aber diskrete Zeitskalen zugrundegelegt werden. In dieser Arbeit werden nur zeitdiskrete Problemkonzeptualisierungen²²⁾ betrachtet. Hierdurch werden alternative zeitkontinuierliche Strukturierungen²³⁾ von vornherein ausgeschlossen²⁴⁾. Es handelt sich um eine rigide Konzeptualisierungsprämisse, da zeitkontinuierliche Modellierungen für Koordinierungsprobleme im betriebswirtschaftlichen Bereich durchaus üblich sind²⁵⁾. Dennoch läßt sich die Prämisse diskreter Zeitskalen in zweierlei Hinsicht rechtfertigen²⁶⁾. Erstens würde das Petrinetz-Konzept a priori ausgegrenzt, wenn zeitkontinuierliche Systemstrukturierungen vorausgesetzt würden. Denn Verhaltensweisen von Petrinetzen lassen sich grundsätzlich nur in diskreter Weise erfassen²⁷⁾. Um zu vermeiden, daß sich alle weiterführenden Untersuchungen des Petrinetz-Konzepts von vornherein erübrigen, werden sie auf zeitdiskrete Systemstrukturierungen beschränkt²⁸⁾. Zweitens gehört aber auch die Mehrzahl produktionswirtschaftlicher Modellierungen, die sich mit Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen befassen, zur Klasse der zeitdiskreten Koordinierungsmodelle²⁹⁾.

Bei der zeitdiskreten Konzeptualisierung der dynamischen Systemstruktur werden Systemverhaltensweisen zustands- und ereignisbezogen ausgedrückt³⁰⁾. Jedes Systemverhalten wird als eine Abfolge von Systemzuständen und nicht-leeren Mengen von Ereigniseintritten beschrieben. Systemzustände und Ereignismengen³¹⁾ sind hierbei streng alternierend angeordnet. Jeder Systemzustand wird durch ein Zeitintervall³²⁾ und eine nicht-leere Menge von Aussagen³³⁾ beschrieben, die während dieses Zeitintervalls für das betroffene System gelten³⁴⁾. Der Übergang zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Systemzuständen wird durch eine nicht-leere Menge von Ereigniseintritten vermittelt³⁵⁾. Ein Ereignis stellt eine zeitlich *nicht* ausgedehnte, punktförmige, atomare Aktivität³⁶⁾ dar³⁷⁾. Das Ereignis tritt ein³⁸⁾, indem die Aktivität stattfindet. Dadurch wird im Zeitpunkt des Ereigniseintritts - gegebenenfalls im Verbund mit dem Geschehen von anderen Ereignissen - der Übergang zwischen zwei zeitlich benachbarten Systemzuständen bewirkt³⁹⁾. Alle Ereignisse aus derselben Menge zustandstransformierender Ereignisse geschehen im selben Zeitpunkt⁴⁰⁾. Hinsichtlich des zeitlichen Abstands zwischen zwei beliebigen, jeweils unmittelbar⁴¹⁾ aufeinander folgenden Ereignismengen wird keine Festlegung getroffen. Daher wird darauf verzichtet, die Äquidistanz der Zeitintervalle für Systemzustände voraussetzen⁴²⁾.

Die hier skizzierte zeitdiskrete Konzeptualisierung von Systemverhaltensweisen weicht von den meisten zeitdiskreten Strukturierungskonzepten, die systemtheoretischen und betriebswirtschaftlichen Modellierungen zugrundegelegt werden, in zwei wesentlichen Aspekten ab.

Erstens ist die Betrachtung von nicht-leeren Mengen zustandstransformierender Ereigniseintritte hervorzuheben. Es wird nicht mehr - wie sonst üblich⁴³⁾ - vorausgesetzt, daß zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Systemzuständen⁴⁴⁾ genau ein Ereignis eintritt. Statt dessen wird die Betrachtung isolierter Ereignisgeschehnisse auf die Zulässigkeit auch mehrelementiger Mengen zusammenwirkender⁴⁵⁾ Ereigniseintritte verallgemeinert⁴⁶⁾. Dies schafft eine neuartige Konzeptualisierung dynamischer Systemaspekte. Erst sie ermöglicht es, im Rahmen des Petrinetz-Konzepts zeitlich parallele - dort als nebenläufig bezeichnete⁴⁷⁾ - Prozesse in komplexen Systemen zu studieren⁴⁸⁾.

Als zweite Besonderheit der hier umrissenen zeitdiskreten Konzeptualisierung von Systemverhaltensweisen erfolgt keine kinetische, sondern eine dynamische Beschreibung des Systemverhaltens. Bei kinetischen Verhaltensbeschreibungen von Systemen werden dessen Verhaltensweisen nur als zeitliche Aufeinanderfolgen von Systemzuständen konzeptualisiert⁴⁹⁾. Die kausalen Verursachungszusammenhänge⁵⁰⁾ solcher Zustandsfolgen bleiben dabei im Dunkeln. Dagegen werden hier durch die zustandstransformierenden Ereignismengen jene Aktivitäten offengelegt, deren Geschehnisse die Veränderungen von Systemzuständen kausal bewirken⁵¹⁾. Diese Ereignismengen konstituieren den Verursachungszusammenhang zwischen den Systemzuständen einer Zustandsfolge⁵²⁾. Daher spielt die Identifizierung von Ereignissen, deren Geschehnisse Zustandsübergänge bewirken, bei der dynamischen Systemstrukturierung eine herausragende Rolle. Ihr entspricht später im Rahmen des Petrinetz-Konzepts die große Bedeutung von Transitionen, deren Schaltakte die Qualität von Ereignisgeschehnissen besitzen.

Aufgrund der voranstehenden Erläuterungen zur zeitdiskreten Konzeptualisierung von dynamischen Systemstrukturen und Systemverhaltensweisen lassen sich zwei zentrale Begriffe präzisieren, die bereits in der thematischen Entfaltung eine wichtige Rolle spielten: Betroffen sind einerseits die *Prozesse*, die es in Produktionssystemen zu koordinieren gilt. Andererseits wird die Frage beantwortet, unter welchen Bedingungen solche Produktionssysteme als *komplex* gelten⁵³⁾.

Als Prozesse⁵⁴⁾ werden Folgen definiert, in denen Systemzustände und nicht-leere Mengen zustandstransformierender Ereigniseintritte alternieren⁵⁵⁾. Insofern stimmen Prozesse mit den oben eingeführten Systemverhaltensweisen überein. Darüber hinaus wird einschränkend festgelegt, daß jeder Prozeß eine prozeßspezifische, nicht-leere Startereignismenge⁵⁶⁾ und eine ebenso prozeßspezifische, nicht-leere Schlußereignismenge⁵⁷⁾ besitzt⁵⁸⁾. Die Prozeßausführung beginnt in einem Systemzustand, in dem alle Ereignisse aus der Startereignismenge geschehen⁵⁹⁾. Die Prozeßausführung endet in einem Systemzustand, der vorliegt, sobald alle Ereignisse aus der Schlußereignismenge geschehen sind⁶⁰⁾. Es wird nicht gefordert, daß die Startereignismenge des Prozeßbeginns und die Schlußereignismenge des Prozeßendes verschieden sein müssen⁶¹⁾. Ebenso wenig wird vorausgesetzt, daß Start- und Schlußzustand eines Prozesses voneinander verschieden sein müssen⁶²⁾. Allerdings werden nur endliche Prozesse betrachtet⁶³⁾. Ein Prozeß ist genau dann endlich, wenn die prozeßkonstituierende Folge von alternierenden Systemzuständen und Ereignismengen nur eine endliche Anzahl von Systemzuständen und nur endliche Ereignismengen umfaßt⁶⁴⁾.

Prozesse können sowohl Gesamt- als auch Teilprozesse darstellen. Von einem Gesamt- oder Systemprozeß wird gesprochen, wenn das Verhalten eines Gesamtsystems beschrieben wird. In einem Teilprozeß wird dagegen die Verhaltensweise eines Ausschnitts aus dem Gesamtsystem ausgedrückt. Die Ausschnittbildung erfolgt hier objektbezogen⁶⁵⁾. Daher betreffen die Teilprozesse Veränderungen von objektspezifischen Subsystemen. Solche Objektveränderungen wurden ursprünglich als Operationen definiert. Daher handelt es sich bei den Teilprozessen um eine zustands- und ereignisbezogene Konkretisierung von objektverändernden Operationen⁶⁶⁾. Jede atomare Operation, die in keine anderen Operationen mehr zerlegt wird, stellt einen Teilprozeß dar, der neben seiner Start- und seiner Schlußereignismenge keine weitere zustandstransformierende Ereignismenge aufweist⁶⁷⁾. Alle zusammengesetzten Operationen besitzen dagegen mindestens drei zustandstransformierende Ereignismengen⁶⁸⁾.

Der Prozeßbegriff läßt sich heranziehen, um die inhaltliche Qualität komplexer Produktionssysteme zu konkretisieren. Ein System wird hier als komplex aufgefaßt⁶⁹⁾, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind⁷⁰⁾:

- Das Systemverhalten resultiert aus dem Zusammenwirken einer "großen"⁷¹⁾ Anzahl von Teilprozessen (Vielfaltsprämisse)⁷²⁾.
- Die Ereignisse, die durch ihre Geschehnisse Zustandsübergänge bewirken und damit das Voranschreiten der Teilprozesse hervorrufen, unterliegen einer kausalen Halbordnung⁷³⁾ (Halbordnungsprämisse)⁷⁴⁾. Die Halbordnung äußert sich darin, daß die Ereignisse einerseits zum Teil voneinander kausal abhängig⁷⁵⁾ - oder synonym: interdependent⁷⁶⁾ - sind. Andererseits können die Ereignisse ebenso kausal unabhängig - oder synonym: nebenläufig⁷⁷⁾ - sein.

Die Halbordnungsprämisse bildet den zentralen Ansatzpunkt für die hier entfaltete Strukturierung von Koordinierungsproblemen. Denn aus ihr folgen die beiden Basiskonstrukte der Problemkonzeptualisierung: die Restriktionen⁷⁸⁾ und die Spielräume⁷⁹⁾. Die Vielfaltsprämisse trägt dagegen im wesentlichen zur Komplizierung dieser restriktions- und spielraumbezogenen Konzeptualisierungsweise bei.

Eine Restriktion wird durch die kausale Abhängigkeit zwischen mindestens zwei Ereignissen konstituiert⁸⁰⁾. Es ist dabei unerheblich, ob die Ereignisse entweder zum selben oder aber zu zwei verschiedenen Teilprozessen gehören. Im ersten Fall unterliegt die isolierte Ausführung des betroffenen Teilprozesses einer kausalen Ausführungsrestriktion⁸¹⁾. Im zweiten Fall werden die Ausführungen der beiden involvierten Teilprozesse durch eine kausale Zusammenwirkungsrestriktion eingeschränkt⁸²⁾. Beide Kategorien von Restriktionen begrenzen die Prozeßkoordination auf die kausal zulässigen Teilprozeßausführungen⁸³⁾.

Die restriktionskonstituierende kausale Abhängigkeit zwischen Ereignissen kann entweder auf einer Folge- oder aber auf einer Ressourcenbeziehung beruhen⁸⁴⁾. Dabei werden Folgebeziehungen so weit ausgelegt, daß sie als Extremfall auch Wechselwirkungsbeziehungen umfassen. Folgebeziehungen zwischen kausal abhängigen Ereignissen implizieren eine entsprechende zeitliche Anordnung der betroffenen Ereignisse⁸⁵⁾. Daher können Restriktionen, die auf Folgebeziehungen beruhen, durch zeitliche Abstandsmaße⁸⁶⁾ für die kausal abhängigen Ereignisse ergänzt werden⁸⁷⁾. Dies entspricht der oben gerechtfertigten Grundsatzentscheidung, eine zeitbezogene Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen einzubeziehen⁸⁸⁾. Solche temporal angeereicherten Kausalrestriktionen lassen sich in der Form von Präzedenzbeziehungen ausdrücken. Sie spezifizieren nicht nur die kausale Abhängigkeit, sondern zugleich auch den zeitlichen Abstand zwischen Ereignissen⁸⁹⁾. Restriktionen, die auf Ressourcenbeziehungen zwischen kausal abhängigen Ereignissen zurückzuführen sind, legen dagegen keine zeitliche Anordnung der involvierten Ereignisse fest. Statt dessen drücken sie aus, daß die Ereignisse wegen ihrer Konkurrenz um eine gemeinsam benötigte, aber knappe Ressource nicht zur selben Zeit geschehen können.

Ein Spielraum bezieht sich jeweils auf einen spielraumspezifischen Zustand⁹⁰⁾ des zugrundeliegenden Produktionssystems⁹¹⁾. Der Spielraum eines Systemzustands umfaßt die Gesamtheit aller Ereignisse, die in diesem aktuellen Systemzustand geschehen dürfen, weil sie keine der kausalen Ereignisabhängigkeiten verletzen⁹²⁾. Wenn ein Spielraum mehrere kausal zulässige Ereignisse enthält, so können sich ihre Geschehnisse wechselseitig ausschließen, einander bedingen oder gegenseitig zulassen⁹³⁾.

Der erste Fall eines wechselseitigen Ausschlusses liegt vor, wenn die betroffenen Ereignisse einer kausalen Ressourcenbeziehung unterliegen. Sie konkurrieren dann um eine Ressource, die so knapp ist, daß nur eines der Ereignisse geschehen kann. Der zweite Fall einer gegenseitigen Bedingung tritt ein, wenn die Ereignisse in einer kausalen Wechselwirkungsbeziehung stehen. Im dritten Fall eines wechselseitigen Zulassens sind die Ereignisse voneinander kausal unabhän-

gig. Alle drei Beziehungsarten zwischen Ereignissen, die zum selben Spielraum gehören, werden in dieser Arbeit berücksichtigt⁹⁴).

Jedes der spielraumzugehörigen Ereignisse gehört zu einem Teilprozeß. Daher drückt ein zustandsspezifischer Spielraum aus, in welcher Weise die Ausführungen von Teilprozessen im aktuellen Zustand des Produktionssystems durch Geschehnisse der teilprozeßkonstituierenden Ereignisse fortgesetzt⁹⁵) werden können⁹⁶). Ein Spielraum umfaßt daher alle Fortsetzungsalternativen, die für Teilprozeßausführungen im aktuellen Zustand des zugrundeliegenden Produktionssystems für die Prozeßkoordination offenstehen. Folglich stellen Spielräume das zustandsspezifische Komplement von Restriktionen dar. Sie enthalten alle Fortsetzungen von Teilprozeßausführungen, die in einem Zustand des Produktionssystems von den dort kausal wirksamen Restriktionen gestattet werden.

Die kausal zulässigen Ereignisse eines Spielraums besitzen entweder disponiblen oder aber autonomen Charakter⁹⁷). Von einem disponiblen Ereignis wird gesprochen, wenn es im aktuellen Zustand des Produktionssystems zulässig ist und sein tatsächliches Eintreten von einer Disposition des Koordinierungsträgers⁹⁸) im Informationssystem abhängt⁹⁹). Ein autonomes Ereignis liegt dagegen vor, wenn es zulässig ist und sich sein Geschehnis durch Koordinierungsentscheidungen nicht beeinflussen läßt. Autonome Ereignisse repräsentieren daher die "Eigendynamik" des Produktionssystems¹⁰⁰). Sofern auf den autonomen Charakter von Ereignissen nicht ausdrücklich hingewiesen wird, sind stets disponible Ereignisse gemeint. Daher werden Spielräume auch als Dispositions- oder Entscheidungsspielräume bezeichnet¹⁰¹).

Es werden fortan nur Koordinierungsprobleme mit wohldefinierten und nicht-entarteten Spielräumen betrachtet¹⁰²). Ein Spielraum heißt wohldefiniert, wenn seine begrenzenden Restriktionen widerspruchsfrei formuliert sind. Ein wohldefinierter Spielraum erweist sich als nicht-entartet, falls er mindestens ein disponibles Ereignis umfaßt¹⁰³). Ein entarteter Spielraum liegt dagegen vor, wenn die Restriktionen derart stark wirken, daß entweder alle Ereigniseintritte von vornherein fixiert oder aber nur noch autonome Ereignisgeschehnisse zulässig sind¹⁰⁴).

Spielräume lassen sich durch einen Koordinierungsträger nutzen, um die Prozeßkoordination in Produktionssystemen durch Entscheidungen auszugestalten¹⁰⁵). So können bei der Ausführung eines Teilprozesses einzelne prozeßzugehörige, kausal unabhängige Ereignisse in jeder beliebigen Reihenfolge zeitlich nacheinander oder aber zeitgleich geschehen¹⁰⁶). Die gleichen Spielräume gewähren beim Zusammenwirken mehrerer Teilprozesse¹⁰⁷) die Freiheit, die Prozeßausführungen linear aneinanderzureihen, sie zeitlich zu überlappen oder zu verschachteln oder sie sogar exakt zeitgleich zu realisieren¹⁰⁸).

Die Prozeßkoordination in derart konzeptualisierten - "komplexen" - Produktionssystemen erweist sich ebenso als ein komplexes Problem¹⁰⁹). Die Problemkomplexität resultiert dabei aus dem Wechselspiel zwischen zwei gegenläufigen Koordinierungseinflüssen, die per definitionem in jedem komplexen Produktionssystem vorliegen: Einerseits müssen kausal bedingte Restriktionen eingehalten werden. Andererseits gilt es, kausal ermöglichte Spielräume durch Koordinierungsentscheidungen auszuschöpfen. Diese beiden komplementären Koordinierungsaspekte gründen letztlich in der kausalen Halbordnung, die oben für die prozeßkonstituierenden Ereignisse postuliert wurde¹¹⁰). Darauf basiert die "inhärente" Komplexität derjenigen Koordinierungsprobleme, die hier für Produktionssysteme untersucht werden. Sie wird im folgenden inhaltlich schrittweise ausgebaut.

Die voranstehenden Präzisierungen von Prozeß- und Komplexitätsbegriff lassen zwei weitere Eigenarten des hier gewählten Strukturierungsansatzes hervortreten. Sie wurzeln beide in der Betonung der kausalen Fundierung aller dynamischen Systemaspekte. Erstens wird von der sonst oftmals üblichen Vorgehensweise abgewichen, Systemverhaltensweisen *zunächst* in der Anschauungsform "Zeit" als kinetische Abfolgen von Systemzuständen zu beschreiben¹¹¹) und erst *anschließend* nach den zugrundeliegenden kausalen Verursachungszusammenhängen zu fragen¹¹²). Statt dessen werden hier Prozesse in Systemen *von vornherein* auf Kausalbeziehungen

zwischen prozeßkonstituierenden Ereignissen zurückgeführt¹¹³). Daher erfolgt zunächst keine kinetische Oberflächenbeschreibung von Prozessen. Statt dessen wird sofort deren dynamische Tiefenerklärung geleistet¹¹⁴). Zweitens wird die Dynamik von Systemen durch eine fundamentale Unterbestimmtheit gekennzeichnet. Diese Indeterminiertheit ist eine zwangsläufige Folge der Spielräume, die sich aus der partiellen kausalen Unabhängigkeit von Ereignissen in komplexen Systemen ergeben.

Das bisher entfaltete kausale Fundament der Systemstrukturierung reicht jedoch oftmals nicht aus, um die Vielfalt der Einflüsse, denen Prozeßkoordinierungen in Produktionssystemen unterliegen, realitätsnah¹¹⁵) zu konzeptualisieren. Statt dessen gilt es, weitere Restriktionen zu berücksichtigen, die sich nicht mehr auf kausalgesetzlich determinierte Beziehungen zwischen Ereignisgeschehnissen zurückführen lassen. Dazu gehören dispositive Restriktionen und Integritätsbedingungen¹¹⁶).

Dispositive Restriktionen¹¹⁷) drücken Koordinierungsvorgaben aus, die ein Koordinierungsträger bei seinen Entscheidungen über die Geschehnisse von Ereignissen im Produktionssystem berücksichtigen muß¹¹⁸). Zumeist führen diese Vorgaben zu einer Fixierung zeitlicher Anordnungsbeziehungen zwischen Ereignisgeschehnissen¹¹⁹). Ebenso kommt die Festlegung von Zeitpunkten oder Zeitintervallen für jeweils einzelne Ereigniseintritte in Betracht¹²⁰). Ihr vornehmlich zeitlicher Charakter¹²¹) hebt die dispositiven Restriktionen von den oben eingeführten, kausal fundierten Restriktionen deutlich ab¹²²).

Die dispositiven Restriktionen gehen auf Festlegungen zurück, die *außerhalb* desjenigen Entscheidungsspielraums erfolgten, der dem Koordinierungsträger bei der Konzeptualisierung seiner Koordinierungsaufgabe zugeordnet wird. Die jeweils zugrundegelegte Konzeptualisierungsweise eines Koordinierungsproblems bestimmt, auf welche Art die Grenze zwischen den dispositiven Restriktionen einerseits und den dadurch mitkonstituierten Entscheidungsspielräumen des Koordinierungsträgers andererseits gezogen wird¹²³). In dieser Arbeit interessiert jedoch nur die Erörterung des Petrinetz-Konzepts¹²⁴). Die Bearbeitung konkreter Koordinierungsprobleme spielt dagegen keine Rolle. Daher ist es hier nicht nötig, die Frage der Grenzziehung im Detail zu beantworten. Statt dessen reicht die allgemeine Feststellung aus, daß bei jeder realitätsnahen Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen dispositive Restriktionen eine wichtige Rolle spielen können. Dies gilt vor allem für dispositive Restriktionen mit temporalem Charakter¹²⁵).

Der Verf. verzichtet darauf, die koordinierungsrelevanten dispositiven Restriktionen und die Entscheidungsspielräume, die von jenen Einschränkungen für den Koordinierungsträger noch offengelassen werden, näher zu beschreiben. Statt dessen verweist er auf die Konzepte der Werkstatt-¹²⁶) oder der Leitstandsteuerung¹²⁷). Die dort üblichen Restriktionen und Spielräume werden in dieser Arbeit übernommen und als bekannt vorausgesetzt. Werkstatt- und Leitstandsteuerung¹²⁸) gelten daher fortan als inhaltliche Konkretisierungen der Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen, insbesondere Flexiblen Fertigungssystemen.

Diese beiden Steuerungskonzepte bleiben keineswegs - wie ihre Bezeichnung nahelegen könnte - auf die Produktionssteuerung beschränkt. Vielmehr umfassen sie ebenso Aspekte der kurzfristigen Produktionsplanung¹²⁹). Sie schließen auch die produktionswirtschaftlich vertrauteren Konzepte der Terminfein-¹³⁰) und Maschinenbelegungsplanung¹³¹) ein¹³²). Die Veranlassung¹³³) und Überwachung¹³⁴) der Prozeßausführung im Produktionssystem werden hingegen nur insoweit berücksichtigt, wie sie als Steuerungsanweisungen an bzw. als Systemmeldungen aus dem Produktionssystem für die Prozeßkoordinierung im Informationssystem eine Rolle spielen.

Alle Planungs- und Steuerungsaspekte, die von der Werkstatt- und Leitstandsteuerung nicht abgedeckt werden, bleiben unberücksichtigt. Davon sind beispielsweise¹³⁵) sowohl die vorgelagerte Arbeits- und Auftragsplanung¹³⁶) als auch die nachgelagerte Feinsteuerung¹³⁷) betroffen¹³⁸). Ebenso findet die Faktorbereitstellungsplanung¹³⁹) keine Beachtung¹⁴⁰). Sie kann zwar bei Flexi-

blen Fertigungssystemen eine große Rolle spielen¹⁴¹). Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Bereitstellung von Werkzeugen. Dennoch wird sie hier ausgegrenzt. Denn die Werkzeugbereitstellung stellt in Flexiblen Fertigungssystemen ein derart komplexes, von werkzeugspezifischen Eigenarten geprägtes Koordinierungsproblem dar, daß es der Verf. mit dem Problem der Prozeßkoordinierung nicht vermengen möchte¹⁴²). Schließlich wird zur Werkstatt- und Leitstandsteuerung auch nur die dispositive Dimension¹⁴³) von Prozeßkoordinierungen gerechnet¹⁴⁴). Die technisch-operative¹⁴⁵) Dimension¹⁴⁶) bleibt dagegen ausgeklammert.

Integritätsbedingungen¹⁴⁷) stellen eine Restriktionskategorie sui generis dar. Sie unterscheiden sich von kausal fundierten und von dispositiv bedingten Restriktionen dadurch, daß sie sich nicht auf die Geschehnisse von Ereignissen im Produktionssystem beziehen¹⁴⁸). Statt dessen knüpfen sie an die komplementäre Konstituente der oben präsentierten Konzeptualisierung von Prozessen an: Integritätsbedingungen spezifizieren Anforderungen¹⁴⁹), die von jedem zulässigen Systemzustand erfüllt werden müssen¹⁵⁰). Folglich können in einem Produktionssystem auch nur solche Produktionsprozesse ausgeführt werden, die keine Integritätsbedingung verletzen. Das Spektrum denkmöglicher Integritätsbedingungen für komplexe Produktionssysteme und die darin erlaubten Produktionsprozesse ist überaus vielschichtig¹⁵¹). Als pars pro toto läßt sich speziell für die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen auf die Anforderung verweisen, daß sich im betrachteten Produktionssystem niemals mehr als eine höchstzulässige Anzahl von Produktionsaufträgen zugleich in Bearbeitung befinden darf¹⁵²).

Integritätsbedingungen und dispositive Restriktionen erweitern das Ausdrucksvermögen für die Konzeptualisierung dynamischer Systemstrukturen, das oben anhand von kausal bedingten Restriktionen entfaltet wurde. Um alle drei Restriktionskategorien gemeinsam anzusprechen, wird abschließend der Begriff der horizontalen Ereignisabhängigkeit eingeführt. Zwei Ereignisse heißen in einem Systemzustand horizontal abhängig¹⁵³), wenn ihre Geschehnisse in diesem Zustand jeweils zulässig sind und wenn beide Ereignisse entweder gemeinsam geschehen müssen¹⁵⁴) oder aber nicht gemeinsam geschehen dürfen¹⁵⁵). Eine solche horizontale Abhängigkeit kann im Falle des gemeinsamen Geschehniszwangs durch eine kausale Wechselwirkungsbeziehung¹⁵⁶), eine dispositive Gleichzeitigkeitsanforderung oder auch durch eine Integritätsbedingung hervorgerufen werden. Das gemeinsame Geschehnisverbot läßt sich dagegen auf kausale Folgebeziehungen, eine kausale Ressourcenbeziehung, dispositive Ordinierungsanforderungen oder wiederum auf eine Integritätsbedingung zurückführen.

Zwei Ereignisse werden dagegen als horizontal unabhängig bezeichnet, wenn ihre Geschehnisse im selben Systemzustand zulässig sind und wenn das gemeinsame Eintreten beider Ereignisse weder ge- noch verboten ist. Dies ist nur dann möglich, wenn die beiden Ereignisse keiner kausalen Wechselwirkungs-, Folge- oder Ressourcenbeziehung, keiner dispositiven Gleichzeitigkeits- oder Ordinierungsanforderung und auch keiner entsprechenden Integritätsbedingung unterworfen sind.

Komplementär zur horizontalen Ereignisabhängigkeit läßt sich auch eine vertikale Ereignisabhängigkeit definieren. Zwei Ereignisse heißen vertikal abhängig, wenn sie zu zwei aufeinander folgenden - aber nicht notwendig benachbarten - Systemzuständen gehören und unter der ceteris paribus-Prämisse¹⁵⁷) gilt: Entweder erzwingt das Ereignisgeschehnis im einen Systemzustand den Ereigniseintritt im jeweils anderen Systemzustand. Oder die Konsekution der beiden Ereignisgeschehnisse in den beiden betrachteten Systemzuständen ist unzulässig. Diese vertikalen Abhängigkeiten lassen sich wiederum auf verschiedene Gründe zurückführen. Erstens kann das Geschehnis des einen Ereignisses im vorangehenden Systemzustand aufgrund einer kausalen Folgebeziehung¹⁵⁸) notwendig sein, damit das jeweils andere Ereignis im nachfolgenden Systemzustand geschehen kann. Zweitens ist es ebenso möglich, daß das Eintreten des einen Ereignisses im vorangehenden Systemzustand aufgrund einer kausalen Folgebeziehung¹⁵⁹) das Geschehnis des jeweils anderen Ereignisses im nachfolgenden Systemzustand erzwingt. Drittens kann eine kausale Wechselwirkungs- oder Ressourcenbeziehung verbieten, daß beide Ereignisse in verschiedenen Systemzuständen geschehen¹⁶⁰). Viertens kommen dispositive Ordinierungs- oder

Gleichzeitigkeitsanforderungen in Betracht¹⁶¹), um das konsekutive Geschehen beider Ereignisse zu erzwingen¹⁶²) bzw. zu verbieten¹⁶³). Dagegen werden zwei Ereignisse als vertikal unabhängig bezeichnet, wenn sie in verschiedenen Systemzuständen geschehen können, aber nicht müssen.

Die horizontale oder vertikale Abhängigkeit von Ereignissen ist zwar - wie voranstehend erläutert - weiter definiert als die kausale Ereignisabhängigkeit aufgrund kausalgesetzlicher Beziehungsgefüge. Dennoch bleibt die kausale Fundierung im Zentrum der hier vorgelegten Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen. Daher werden fortan zwei Ereignisse als kausal abhängig (i.w.S.)¹⁶⁴) bezeichnet, wenn zwischen ihnen eine horizontale oder vertikale Interdependenz besteht. Dieser weit definierte Begriff kausaler Abhängigkeit umfaßt nicht nur die kausalgesetzliche Determiniertheit der Ereignisgeschehnisse im engeren Sinne. Statt dessen erstreckt er sich ebenso auf deren dispositive Bestimmtheit sowie auf ihre Beeinflussung durch Integritätsbedingungen. Umgekehrt werden Ereignisse als kausal unabhängig (i.w.S.) angesprochen, wenn zwischen ihnen weder horizontale noch vertikale Interdependenzen existieren¹⁶⁵).

Anmerkungen zum Kapitel:

- 1) Aus dieser Perspektive werden die behandelten Koordinierungsprobleme daher auch verdeutlichend als "dynamische" Koordinierungsprobleme angesprochen.
- 2) Da der Objektbegriff zusammengesetzte Objekte umfaßt, kann die Veränderung einer Objekteigenschaft auch bedeuten, daß die Beziehungen zwischen weniger komplexen Objekten modifiziert werden, aus denen das erstgenannte Objekt zusammengesetzt ist. Eigenschaftsveränderungen von zusammengesetzten Objekten höherer Ordnung schließen daher auch Beziehungsveränderungen zwischen Objekten niedriger Ordnung ein.
- 3) Vgl. zum zugrundeliegenden Kausalbegriff die Quellen, die bereits in einer früheren Anmerkung angeführt wurden. Das kausale Fundament der Prozeßkoordinierung wird in dieser Arbeit unter zwei verschiedenen Perspektiven betrachtet. Erstens handelt es sich darum, die *Auswirkungen* von Ereigniseintritten zu untersuchen. Sie werden hier grundsätzlich als Zustandsveränderungen derjenigen Produktionssysteme thematisiert, in denen die Ereignisse geschehen. Zweitens wird die Art der *Abhängigkeit* zwischen Ereignissen beleuchtet, die in verschiedenen kausalen Beziehungen zueinander stehen können. Die beiden Perspektiven werden fortan dadurch unterschieden, daß von einer wirkungs- bzw. abhängigkeitsbezogenen Kausalitätsperspektive gesprochen wird. Diese Unterscheidung klingt auch bei DORN (1989), S. 27f., bezüglich der dort vorgestellten Prädikate "pcause" und "ecause" an.
- 4) Daher kann hier zu Recht nicht nur von einer kinetischen, sondern auch von einer dynamischen Systemstrukturierung gesprochen werden.
- 5) Auch das System selbst stellt ein Objekt dar - und zwar das komplexeste spezifizierte Objekt. Es ist aus allen anderen Objekten des Systems zusammengesetzt. Daher bedeutet jede Veränderung eines solchen anderen, zum System gehörigen Objekts zugleich auch, daß das System selbst verändert wird. Daher wird fortan zwischen Objektveränderungen, die sich an Objekten im System ereignen, und den *uno actu* geschehenden Systemveränderungen nicht weiter differenziert.
- 6) Die dynamische Systemstruktur i.e.S. umfaßt nur die kausalen Wirkungsmechanismen. Von einer dynamischen Systemstruktur i.w.S. wird dagegen gesprochen, wenn die Wirkungsmechanismen zusammen mit dem Ausgangszustand des Systems festliegen. Ohne qualifizierenden Zusatz wird die dynamische Systemstruktur stets im letztgenannten, weit gefaßten Sinne verstanden.
- 7) Als Synonym zur Verhaltensweise eines Systems wird auch der Begriff des Systemverhaltens benutzt.
- 8) Die statische Systemstruktur ist an der Festlegung des Verhaltenspotentials nur insoweit beteiligt, als durch die statische Systemstruktur alle Objekte und die darauf anwendbaren Operationen erstmals spezifiziert werden. Da das Verhaltenspotential eines Systems auf dessen dynamische Struktur zurückgeführt und die dynamische Systemstruktur nur alle kausal zulässigen Operationsausführungen umfaßt, erstreckt sich auch das Verhaltenspotential des Systems nur auf alle Verhaltensweisen, die innerhalb seiner dynamischen Struktur durch zulässige Operationsausführungen definiert sind. Daher werden alle Verhaltensweisen eines Systems, die aus Aktualisierungen seines Verhaltenspotentials gewonnen werden können, als zulässige Verhaltensweisen bezeichnet. Darüber hinaus kommen aber auch Verhaltensweisen des Systems in Betracht, die sich auf keine zulässigen Operationsausführungen aus der dynamischen Systemstruktur zurückführen lassen. In solchen Fällen wird von einem unzulässigen Systemverhalten gesprochen. Als (denk-)mögliche Verhaltensweisen eines Systems werden alle operationsbewirkten Systemveränderungen unabhängig davon bezeichnet, ob es sich entweder um zulässige oder aber um unzulässige Verhaltensweisen handelt.
- 9) Dies schließt auch die Systemkonstanz als Ausbleiben von Systemveränderungen trotz fortschreitenden Zeitablaufs mit ein. Als Normalfall wird jedoch unterstellt, daß sich Systeme im Zeitablauf verändern.
- 10) Eine solche Konzeptualisierungsweise wird auch als atemporal bezeichnet.
- 11) Dies entspricht der Forderung von SIMON, H. (1957a), S. 12, kausale Zusammenhänge zunächst so zu konzeptualisieren, daß auf keine Zeitgrößen Bezug genommen wird ("... at the basis of our definition we shall admit causal orderings where no time sequence appears ..."). Vgl. ebenso DORN (1989), S. 8f., 11, 45, 79 u. 83. Er vertritt die Ansicht, "daß eine Vermischung von kausalen und zeitlichen Zusammenhängen unzulässig ist, zumindest aber ... zu Problemen führt" (S. 8). Auf S. 9 u. 83 demonstriert DORN die Unterschiedlichkeit von kausaler und zeitlicher Konzeptualisierungsweise anhand eines einfachen, aber infolgedessen besonders transparenten Beispiels. Vgl. auch die Ausführungen in einer späteren Anmerkung, in der verschiedene Arten der kausalen Abhängigkeit von Ereignissen präzisiert werden. Dort wird ebenso gezeigt, daß kausale und temporale Konzeptualisierungen keineswegs zusammenfallen müssen.
- 12) Die Wichtigkeit der zeitlichen Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen - neben ihrer kausalen Strukturierung - hebt auch DORN (1989), S. 8, hervor. Allerdings argumentiert er nicht im betriebswirtschaftlichen Kontext, sondern aus der Perspektive der KI-Forschung. Zeitbezogene Problemkonzeptualisierungen werden ebenso gefor-

dert von HOLT, A. (1976), S. 139; MOALLA (1977), S. 90; ZACHARIADES (1977), S. 1.2; LUHMANN (1988), S. 70ff. u. 389ff.

13) Diese Alltagserfahrung schlägt sich auch in theoretischen Reflexionen nieder. Beispielsweise befaßt sich KERN, W. (1992a), S. 41ff., ausführlich mit der "Zeit als Dimension betriebswirtschaftlichen Denkens und Handelns" (S. 1). Auf S. 44f. geht er auf die alltägliche Zeiterfahrung im außerökonomischen Bereich ein. Vgl. ebenso LUHMANN (1988), S. 70ff. Er hebt den Zeitbezug von Änderungen besonders hervor: "Jede *realitätsbezogene* Systemtheorie muß davon ausgehen, daß nicht alles so bleibt, wie es ist. Es gibt Änderungen, *es gibt ... daher ... Zeit* im Sinne eines Aggregatbegriffs für alle Änderungen." (LUHMANN (1988), S. 70; kursive Hervorhebungen durch den Verf.).

14) Vgl. - als pars pro toto - KERN, W. (1990a), S. 277ff. Dort spielt die "Zeitstruktur als Gestaltungsobjekt" (S.277) eine zentrale Rolle bei der Konzeptualisierung von Prozeßgestaltungen und -steuerungen in Produktionssystemen. Die hier thematisierten Prozeßkoordinierungen gehören in der Systematisierung KERN's zum vierten Hauptabschnitt der Zeitstruktur-Gestaltung (vgl. S. 301ff., dort als Termin- und Reihenfolgeplanung behandelt). Als konkretes Beispiel läßt sich die Netzplantechnik anführen. Bei ihr muß für jede Anordnungsbeziehung zwischen zwei Ereignissen eine Minimal- oder Maximalfrist für die Zeitpunkte der Ereignisgeschehnisse definiert sein. Auf die Netzplantechnik wird später noch zurückgekommen. Vgl. des weiteren FANDEL (1991a), S. 149 u. 154ff., sowie FANDEL (1991b), S. 235ff. Er bietet einen breit angelegten Überblick über Argumente, die zugunsten einer expliziten Einbindung der Anschauungsform "Zeit" in produktionswirtschaftliche Modellierungen sprechen. Vgl. ebenso die kompakte Zusammenfassung solcher Argumente bei WITTMANN (1979), S. 277.

Es könnte darüber gestritten werden, ob es notwendig ist, die übliche zeitbezogene Strukturierung produktionswirtschaftlicher Koordinierungsmodelle zu übernehmen, wenn an ihrer Stelle eine kausale - aber atemporale - Konzeptualisierungsweise ebenso möglich ist. Der Verf. möchte diese Debatte nicht in extenso vertiefen. Statt dessen beschränkt er sich darauf, drei Plausibilitätsargumente zugunsten der hier gewählten zeitlichen Strukturierung anzuführen. Erstens läßt sich auf diese Weise nicht nur der Anschluß an die Intuition des Alltagsverstands (s.o.), sondern ebenso an die vorherrschende produktionswirtschaftliche Literatur wahren. Zweitens geht in die Beschreibung realer Koordinierungsprobleme oftmals ein breites Spektrum von Restriktionen ein, die in zeitbezogener Weise formuliert sind. Dazu gehören beispielsweise:

- Zeitdauern für Operationsausführungen an Bearbeitungsstationen;
- Minimalfristen für das Auskühlen eines Werkstücks, bevor dies einer nachfolgenden Operation unterzogen werden darf;
- Maximalfristen für das Warten eines Werkstücks, weil es nach Fristablauf (z.B. infolge unerwünschter Oberflächenoxidierung) nicht mehr diejenigen physikalischen Eigenschaften aufweisen würde, die für eine nachfolgende Operation notwendig sind;
- vertraglich vereinbarte, feste Liefertermine.

Der Verf. sieht keinen erfolversprechenden Ansatz, die vorgenannten Zeitdauern, Fristen und Termine durch zeitfreie, rein kausale Ersatzkonstrukte zu repräsentieren. Drittens führt die rein kausale Systemstrukturierung in erhebliche Schwierigkeiten, wenn Formalziele des Koordinierungsträgers berücksichtigt werden sollen. Dies fällt bei der systemtheoretischen Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen noch kaum auf, weil in ihr Formalziele keine nennenswerte Einbindung erfahren. Spätestens bei einer entscheidungstheoretischen Problemkonzeptualisierung muß diese Lücke jedoch geschlossen werden. Dann zeigt sich, daß bei der Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen sowohl in der produktionswirtschaftlichen Literatur als auch in der betrieblichen Praxis Formalziele eine herausragende Rolle spielen, die im weitesten Sinne auf die Anschauungsform Zeit bezogen sind. Solche Zeitziele (i.w.S.) sind entweder unmittelbar auf Zeitgrößen bezogen. Dazu gehören z.B. die Verringerung der Durchlaufzeit von Auftragspaketen, die Erhöhung der Liefertermintreue und die Senkung der Rüst- oder Zwischenlagerzeiten bei der Auftragsabwicklung. Oder die Zeitziele lassen sich mittelbar auf Zeitgrößen zurückführen. Dies ist vor allem bei Zielen der Fall, die entweder eine Erhöhung des Ausnutzungsgrades quantitativer Betriebsmittelkapazitäten vorgeben. Denn es ist möglich, quantitative Betriebsmittelkapazitäten und deren Ausnutzungsgrade in zeitbezogener Weise zu definieren. Vgl. KERN, W. (1962a), S. 159f. (hinsichtlich der Praxisrelevanz dieser Vorgehensweise, jedoch mit theoretischen Vorbehalten); MAIER, U. (1980), S. 87; HAHN, D. (1989a), S. 449. Das Formalziel, die Kapitalbindung im Umlaufvermögen zu verringern, erfordert sogar notwendig die Bezugnahme auf Zeitgrößen, um die zeitpunkt- oder -intervallbezogenen Kapitalbindungswerte über die Dauer der Kapitalbindung integrieren bzw. summieren zu können. Vgl. KERN, W. (1990a), S. 259f. Die große Bedeutung, die den vorgenannten - sowie weiteren - Zeitzielen bei der Koordinierung von Produktionsprozessen zugemessen wird, geht auch aus den Quellen einer späteren Anmerkung hervor. Sie behandeln diejenigen Formalzielarten, die für die Prozeßkoordinierung von flexiblen Fertigungssystemen, bei Werkstattfertigungen sowie bei PPS-Systemen eine maßgebliche Rolle spielen. Darüber hinaus wird die Dominanz von Zeitzielen für die vorgenannten Koordinierungsbereiche besonders unterstrichen von MUSCATI (1970), S. 40ff. u. 50ff.; RÜGER (1974), S. 8; KRYCHA (1978), S. 112; KNOOP (1986), S. 23f. u. 71 (S. 23: "technizitätäre Ziele"); MÜLLER, A. (1987), S. 270 u. 358f.; BEIER (1988a), S. 225ff.; HORVATH (1988b), S. 113; FRESE (1989c), S. 178 u. 180; HAHN, D. (1989a), S. 448f; FRESE (1990a), S. 93f.; SCHNEEWEIF, C. (1992b), S. 86 (neben reinen Mengenzielen).

15) Das Vorverständnis, Koordinierungsprobleme in der Anschauungsform "Zeit" wahrzunehmen, bleibt vermutlich gerade deswegen weithin unreflektiert, weil es weder im alltäglichen noch im betriebswirtschaftlichen Bereich zu ernsthaften Schwierigkeiten geführt hat. In diesem Sinne erachtet der Verf. jenes Vorverständnis als "bewährt".

16) Somit wird der impliziten Empfehlung von KERN, W. (1992a), S. 42, entsprochen, Zeitaspekte in Problemkonzeptualisierungen möglichst explizit zu berücksichtigen ("Trotzdem erscheint es aber nicht immer gerechtfertigt, die Zeitaspekte ... derart zu eliminieren, daß sie als zeitlos vorgestellt oder auf infinitesimal kleine Zeitspannen ... reduziert werden. Ein Vernachlässigen von Zeitabläufen läßt sich ... nur dann vertreten, wenn ... das zu erkennende Phänomen nicht verfälscht wird ..."; kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen).

17) Ordinalskalen werden dadurch charakterisiert, daß sie Meßoperationen zulassen, deren Ergebnisse lediglich Äquivalenz- und Ordnungsrelationen erfüllen. Für Ordinalskalen sind weder Abstandsmaße noch Skalennullpunkte definiert. Vgl. zu ordinalen Skalen SCHNEEWEIB, H. (1963), S. 184f.; STREBEL (1972), S. 100f.; SZYPERSKI (1974), S. 63; STREBEL (1975), S. 49; FRANK, J. (1976), S. 89 u. 91; BECHMANN (1978), S. 332f. In dieser Arbeit wird ein Konzept als topologisch bezeichnet, wenn sich die Konzeptkonstrukte nur auf einer Ordinalskala messen lassen. Vgl. auch die Identifizierung von ordinalen und topologischen Meßskalen bei SZYPERSKI (1974), S. 63.

18) Dies gilt zumindest für die schwachen und die starken kausalen Folgebeziehungen, die in dieser Arbeit im Vordergrund stehen (Näheres dazu in Kürze). Beispielsweise erfordert die starke kausale Folgebeziehung, der zufolge ein Ereignisseintritt das Geschehnis eines anderen Ereignisses bewirkt, nur eine zweistellige asymmetrische Kausalrelation. Sie ordnet das Geschehnis des ersten Ereignisses vor dem Geschehnis des zweiten Ereignisses an. Für diese asymmetrische Ereignisanordnung reicht eine ordinale Skala aus. Schwierigkeiten würde dagegen die Erfassung symmetrischer kausaler Wechselwirkungsbeziehungen bereiten, da sie der asymmetrischen Natur von Messungen auf Ordinalskalen zuwiderlaufen. Auf diesen Sonderfall wird hier aber nicht weiter eingegangen. Denn es wird sich zeigen, daß das Petrinetz-Konzept ohnehin nicht in der Lage ist, kausale Wechselwirkungsbeziehungen adäquat zu repräsentieren. Insofern kann die oben getroffene Feststellung aufrechterhalten werden, daß sich *im Rahmen des Petrinetz-Konzepts* alle kausalen Ereignisabhängigkeiten auf Ordinalskalen einordnen lassen.

Es könnte der Einwand erhoben werden, daß kausale Folgebeziehungen, die ein erstes Ereignisgeschehnis *vor* einem zweiten Ereignisseintritt anordnen, auf einer zeitlichen Anordnung der Ereignisgeschehnisse beruhen, die ihrerseits keinen ordinalen, sondern metrischen Charakter besitzt. Dies ist in dieser Arbeit jedoch nicht der Fall. Statt dessen werden hier kausale Folgebeziehungen so konzeptualisiert, daß für alle kausal aufeinander folgenden Ereignisgeschehnisse gilt: Das Ereignis, dessen Geschehnis kausal vorangeht, gehört zu einer nicht-leeren Ereignismenge. Alle Ereignisse aus dieser Ereignismenge geschehen *uno actu* und transformieren hierbei den zuletzt vorliegenden Systemzustand in einen neuen Systemzustand. Auch das Ereignis, dessen Geschehnis kausal nachfolgt, gehört zu einer nicht-leeren Ereignismenge. Die Ereignisse dieser zweiten Ereignismenge können erst dann geschehen, wenn der neue Systemzustand eingetreten ist. Daher werden das kausal vorangehende und das kausal nachfolgende Ereignisgeschehnis durch den neuen Systemzustand eindeutig separiert: Das erste Ereignisgeschehnis geht dem neuen Systemzustand voran, das zweite Ereignisgeschehnis folgt ihm nach. Es reicht also ein Alternieren von Systemzuständen und Ereignismengen aus, um festzulegen, welche Ereignisgeschehnisse kausal *vor* anderen Ereignisgeschehnissen liegen. Dabei wird an keiner Stelle auf eine zeitliche Metrik Bezug genommen.

19) Vgl. zu metrischen Skalen SCHNEEWEIB, H. (1963), S. 185; SZYPERSKI (1974), S. 63; BECHMANN (1978), S. 334(ff.). Eine metrische Skala setzt nicht notwendig numerisch definierte Meßoperationen voraus. Zumeist wird sie aber in diesem engen Sinn ausgelegt. Vgl. FRANK, J. (1976), S. 89 u. 91 (in bezug auf Intervallskalen). Eine derart eingeschränkte, auf numerische Meßwerte bezogene metrische Skala wird hier als quantitative Skala bezeichnet. Sofern keine ausdrücklich abweichenden Festlegungen erfolgen, werden fortan für alle metrischen Skalen numerische Meßwerte vorausgesetzt. Unter dieser Annahme lassen sich metrische und quantitative Skalen äquivalent behandeln. Metrische Skalen können durch Intervall-, Verhältnis- und Absolutskalen präzisiert werden.

Intervallskalen zeichnen sich durch Meßoperationen aus, deren Ergebnisse sowohl Äquivalenz- und Ordnungsrelationen als auch ein Abstandsmaß erfüllen. Ein Skalennullpunkt ist dagegen nicht definiert. Vgl. zu Intervallskalen SCHNEEWEIB, H. (1963), S. 185; STREBEL (1972), S. 101f.; SZYPERSKI (1974), S. 63f.; STREBEL (1975), S. 49f.; FRANK, J. (1976), S. 89ff.; BECHMANN (1978), S. 335f. Verhältnisskalen gleichen Intervallskalen bis auf die eine Ausnahme, daß für die Ergebnisse der Meßoperationen auf einer Verhältnisskala stets auch ein (absoluter) Skalennullpunkt definiert ist. Erst aufgrund ihres Skalennullpunkts ist es zulässig, Meßwerte zu addieren, die auf derselben Verhältnisskala ermittelt wurden. Vgl. zu Verhältnisskalen STREBEL (1972), S. 102f.; SZYPERSKI (1974), S. 64; STREBEL (1975), S. 50f.; FRANK, J. (1976), S. 90 u. 92; BECHMANN (1978), S. 336. Absolutskalen gehen schließlich aus Verhältnisskalen dadurch hervor, daß auch noch die Skaleneinheit fixiert ist. Vgl. zu Absolutskalen FRANK, J. (1976), S. 90; BECHMANN (1978), S. 336.

Im Rahmen dieser Arbeit stehen metrische Skalen in der Ausprägung von Verhältnisskalen im Vordergrund. Sie werden dann auch als Kardinalskalen bezeichnet. Zwar werden Kardinalskalen mitunter mit anderen Varianten metrischer Skalen identifiziert. Vgl. STREBEL (1975), S. 51 (Kardinal- als Oberbegriff zu Intervall- und Verhältnisskalen); FRANK, J. (1976), S. 90, Fn. 1. Aber die spätere Bezugnahme von Ausführungen zur Nutzwertanalyse auf die Aggregation kardinaler Teilurteile zu einem Gesamturteil erfordert es, die Kardinalität von Meßskalen

(mindestens) an das Vorliegen von Verhältnisskalen zu binden. Denn Intervallskalen, die keinen Nullpunkt besitzen, lassen keine Aggregation von Teilurteilen zu einem Gesamturteil zu. Vgl. STREBEL (1972), S. 107f.; STREBEL (1975), S. 82, 104 u. 106 (bezüglich der dort angesprochenen Intervallskalen ohne kardinal vergleichbare Nutzeinheiten). Immerhin besteht die Möglichkeit, mit der Hilfe von Distanzmatrizen Differenzen zwischen Teilurteilen zu aggregieren. Vgl. STREBEL (1972), S. 108f.; STREBEL (1975), S. 104ff. Dabei muß aber die kardinale Vergleichbarkeit der Maßeinheiten von Intervallskalen unterstellt werden. Die Maßeinheiten zweier Meßskalen heißen dabei kardinal vergleichbar, wenn sie als ganzzahlige Vielfache einer gemeinsamen Vergleichsbasis dargestellt werden können. Vgl. STREBEL (1972), S. 104f. u. 108 (dort allerdings mit schwankendem Gebrauch des Zusatzes "kardinal" und ohne Explizierung der Vergleichsbasis); STREBEL (1975), S. 82 u. 105. Kardinale Vergleichbarkeit bedeutet daher nichts anderes als Kommensurabilität. Die Prämisse der kardinalen Vergleichbarkeit von Maßeinheiten wird jedoch durch Intervallskalen zumeist nicht erfüllt. Vgl. STREBEL (1975), S. 108.

Auf jeden Fall wird das Meßniveau von Verhältnisskalen spätestens dann notwendig, wenn Teilurteile - nicht nur die Differenzen von Teilurteilen - zu einem Gesamturteil zusammengefaßt werden sollen. Vgl. STREBEL (1972), S. 105f. u. 107ff.; FRANK, J. (1976), S. 91f.; KERN, W. (1977), S. 212f. Sofern die Aggregation auf *additive* Weise erfolgen soll, muß sogar noch mehr gefordert werden: Die Erfüllungen der einzelnen Beurteilungskriterien müssen nicht nur auf Verhältnisskalen gemessen werden, sondern die Maßeinheiten der Verhältnisskalen für verschiedene Beurteilungskriterien müssen sich auch kardinal miteinander vergleichen lassen. Vgl. STREBEL (1972), S. 106 u. 109f.; STREBEL (1975), S. 84 u. 104; KERN, W. (1977), S. 213. Ohne den Zusatz der kardinalen Vergleichbarkeit von Maßeinheiten gestatten die Verhältnisskalen nur die multiplikative Ermittlung von Gesamturteilen. Vgl. STREBEL (1972), S. 106 u. 110f.; STREBEL (1975), S. 84f. u. 104; KERN, W. (1977), S. 213. Um von dieser Differenzierung zwischen additiver und multiplikativer Aggregationsweise absehen zu können, wird fortan - sofern keine ausdrücklich abweichenden Festlegungen erfolgen - unterstellt, daß sich bei der Aggregation von kardinal gemessenen Teilurteilen die Maßeinheiten der zugrundeliegenden Verhältnisskalen miteinander kardinal vergleichen lassen.

20) Z.B. führt die temporale Folgebeziehung, der zufolge ein Ereignis zeitlich früher als ein anderes Ereignis geschieht, zu einer dreistelligen metrischen Abstandsrelation. Zwei Relationsstellen werden durch die beiden involvierten Ereignisse belegt. Die dritte Relationsstelle spezifiziert den zeitlichen Abstand, mit dem das zweite Ereignisgeschehnis auf den ersten Ereigniseintritt folgt. Bei diesem Zeitabstand handelt es sich zumeist um eine minimale oder maximale Distanz zwischen den Zeitpunkten, in denen die beiden betroffenen Ereignisse geschehen. Es wird dann von Minimal- bzw. Maximalfristen gesprochen. Sie liegen z.B. der Netzplantechnik zugrunde. Ebenso kann ein exakter Zeitabstand für die Geschehnisse zweier Ereignisse festgelegt sein. Falls er einen positiven Betrag besitzt, wird er als Zeitdauer bezeichnet. Ein exakter Zeitabstand der Größe "Null" drückt dagegen die Gleichzeitigkeit der Ereignisgeschehnisse aus. Das Abstandsmaß für die zeitliche Beziehung zwischen zwei Ereignissen konstituiert den metrischen Charakter der o.a. Abstandsrelation. Denn es setzt eine metrische Intervallskala für die Messung von Zeitdauern oder Fristen voraus. Eine metrische Verhältnisskala wäre dagegen erforderlich, um für ein Ereignis, das die Fertigstellung eines Auftrags darstellt, einen Fertigstellungstermin zu spezifizieren. Eine solche Terminangabe kann sowohl in der Gestalt eines Zeitpunkts (fest vorgegebener Fertigstellungstermin) als auch in der Form eines Zeitintervalls (spätest zulässiger Fertigstellungstermin) erfolgen.

21) Auf eine weitere Konsequenz wird in einer späteren Anmerkung hingewiesen. Sie betrifft die Reduktion der Informationsanforderungen beim Übergang von metrischen auf ordinale Skalen.

22) Vgl. zu zeitdiskreten Problemkonzeptualisierungen RIEPER (1979), S. 28; GANDY (1980), S. 126f.; TRAUTMANN (1981), S. 26ff.; FIDELAK (1988b), S. 10ff. (dort als Situationskalkül); FAIDT (1989), S. 304ff.; DORN (1989), S. 76f.; FANDEL (1991b), S. 240ff.

23) Vgl. DORN (1989), S. 28f., 46f., 72ff. u. 78. Den Standardfall zeitkontinuierlicher Problemkonzeptualisierungen bilden Differentialgleichungssysteme aus dem Bereich der Variationsrechnung. Sie spezifizieren die zulässigen Verhaltensweisen von Systemkomponenten durch Gesetze, welche die Veränderung von Komponenteneigenschaften in infinitesimal kleinen Zeiträumen determinieren. Vgl. zu solchen zeitkontinuierlichen Konzeptualisierungsformen TRAUTMANN (1981), S. 71ff. Vgl. darüber hinaus zum zugrundeliegenden Kalkül der kontinuierlichen Variationsrechnung, die im wesentlichen auf den Kalkül der Differentialrechnung zurückgreift und z.B. von EULER ausformuliert wurde, BELLMAN (1967), S. 43ff.; PONTRJAGIN (1967), S. 229ff.; BECKMANN, M. (1968), S. 129ff., insbesondere S. 131 (EULER-Differentialgleichung); URSPRUNG (1982), S. 93ff.; FEICHTINGER (1982a), S. 174; ROSKI (1984), S. 515; STEPAN (1988), S. 177f.

24) Dies war einer der ausschlaggebenden Gründe dafür, das kontrolltheoretische Strukturierungsparadigma in dieser Arbeit nicht weiter zu berücksichtigen.

25) Vgl. dazu beispielsweise die Anmerkungen zu entsprechenden Anwendungen des kontrolltheoretischen Paradigmas, das sich vornehmlich auf kontinuierliche Zeitskalen stützt.

26) Vgl. darüber hinaus LINDGREEN (1987), S. 129 ("In general it is impossible to describe the state of a continuously changing world ... In the system model view ... all changes of state can be regarded as discrete and caused solely by explicit activities ...").

27) Dies wird später deutlich, wenn Verhaltensweisen von Netzen als Schaltprozesse präzisiert werden. Diese Schaltprozesse besitzen per constructionem diskreten Charakter. Dieser diskrete Prozeßcharakter geht auch dann nicht verloren, wenn das Petrinetz-Konzepts um zeitbezogene Einflußgrößen erweitert wird. Selbst dann folgen die - nunmehr temporal ergänzten - Schaltprozesse lediglich einer zeitdiskreten Skala.

28) Es könnte der Einwand erhoben werden, auch schon oben bei der Konzeptualisierung von Systemverhaltensweisen in der Anschauungsform "Zeit" sei gegen die Eigenarten des Petrinetz-Konzepts verstoßen worden. Diese Vorhaltung trifft zwar zu, erweist sich aber als nicht stichhaltig. Denn es wird im Verlauf dieser Arbeit gezeigt werden, daß sich das Petrinetz-Konzept durchaus in zeitbezogener Weise erweitern läßt. Daher bedeutet die temporale Erfassung von Systemverhaltensweisen im Bezugsrahmen keine a priori-Ausgrenzung des Petrinetz-Konzepts. Für den Fall zeitkontinuierlicher Systemstrukturierungen läßt sich dagegen eine solche Konzepterweiterung nicht aufzeigen. Daher würden sie tatsächlich die unerwünschte Folge nach sich ziehen, das Petrinetz-Konzept als chancenlos verwerfen zu müssen.

29) Vgl. zu solchen zeitdiskreten Modellen für Maschinenbelegungen bei Werkstattfertigung oder Flexiblen Fertigungssystemen die Mehrzahl der Quellen, die bereits einleitend in den zugehörigen Anmerkungen aufgeführt wurden.

30) Die gleiche zustands- und ereignisbezogene Konzeptualisierungsweise liegt den ontologischen Betrachtungen zugrunde, die sich bei BUNGE (1977), S. 218f., und WAND (1989), S. 545f. u. 553, finden. Ebenso konzeptualisiert KNOOP (1986), S. 136, die dynamische Struktur Flexibler Fertigungssysteme auf zustands- und ereignisbezogene Art. Schließlich legt auch SCHEER (1991d), S. 4, seiner Vorgangsketten-Modellierung eine zustands- und ereignisbezogene Strukturierung zugrunde. Vgl. darüber hinaus zur ereignisbezogenen Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen, bei der Ereignisse als Übergänge zwischen Systemzuständen eingeführt werden, GEORGEFF (1986), S. 70ff. Auf der zustands- und ereignisbezogenen Strukturierung dynamischer Probleme beruht auch der "Situationskalkül", der im Rahmen der KI-Forschung oftmals Anwendung findet (dort werden lediglich die Zustände als "Situationen" thematisiert). Vgl. MCCARTHY, J. (1968), S. 410ff.; HERTZBERG (1986), S. 150 u. 157f.; FIDELAK (1988b), S. 9ff. u. 16; DORN (1989), S. 6ff.; BIBEL (1989), S. 53f. u. 61. Schließlich liegt die Zustands- und Ereignisorientierung ebenso dem weit verbreiteten Konzept zeitdiskreter Simulationsstudien zugrunde. Vgl. beispielsweise BANKS (1984), S. 11 u. 52ff. Eine dezidiert ereignisbezogene Strukturierung betriebswirtschaftlicher Sachverhalte, die den Zustandsaspekt weniger deutlich erkennen läßt, findet sich dagegen bei SINZIG (1983), passim, insbesondere S. 104ff., 109ff. u. 115ff. Vgl. auch RIEBEL (1988), S. 258, und RIEBEL (1990), S. 652. Eine analoge Dominanz der Ereignisorientierung herrscht bei DORN (1989), S. VII, 8, 11ff., 22ff., 45ff., 117 u. - i.V.m. S. VII - S. 118ff. Er entfaltet ein Konzept zur Prozeßplanung unter Realzeitbedingungen. Dabei teilt er eine Perspektive der KI-Forschung, die er explizit als einen "Ereigniskalkül" (S. 22) anspricht. Er beruft sich dabei auf Arbeiten von KOWALSKI und SERGOT, die z.B. in KOWALSKI (1986), S. 67ff., dokumentiert sind. Vgl. zu einer weiteren Prozeßkonzeptualisierung, die ausschließlich an Ereignisgeschehnissen anknüpft, CHARRON-BOST (1990), S. 176.

31) Strenggenommen handelt es sich um Mengen von Ereigniseintritten. Um die umständliche Ausdrucksweise "Ereigniseintrittsmengen" zu vermeiden, wird zugelassen, sie auch kurz als Ereignismengen zu bezeichnen.

32) Vgl. FIDELAK (1988b), S. 10 u. 16 (allerdings mit explizitem Bezug auf Situationen anstatt auf Systemzustände). Eine ausführliche formale Behandlung der Gestaltungsmöglichkeiten von Zeitintervallen und ihren Beziehungen untereinander findet sich bei DORN (1989), S. 53ff.; FAIDT (1989), S. 304ff.

Grundsätzlich lassen sich zwei entartete Fälle von Zeitintervallen vorstellen. Der eine erstreckt sich auf die Intervallausdehnung Null. Der andere betrifft unendlich große Intervalle. Der erste Fall würde die zeitpunktbezogene Geltung von Aussagen über betrachtete Systeme implizieren. Er führte über die lückenlose Aneinanderreihung solcher Zeitpunkte zu einer zeitkontinuierlichen Systemstrukturierung. Daher wird er ausgeschlossen, weil andernfalls die bereits gesetzte Prämisse zeitdiskreter Konzeptualisierung verletzt würde. Der zweite Fall bezieht sich dagegen auf ein System, das spätestens nach Erreichen des Beginns eines unendlich ausgedehnten Zeitintervalls - frühestens schon seit seinem Ausgangszustand - ohne Veränderungen verharrt. Dies wird als Grenzfall der dynamischen Systemstruktur im allgemeinen zugelassen. Soll er jedoch im Einzelfall nicht einbezogen werden, so müssen endliche Zeitintervalle für das Vorliegen aller betrachteten Systemzustände vorausgesetzt werden.

Darüber hinaus wird stets die Disjunktheit derjenigen Zeitintervalle unterstellt, in denen jeweils ein Systemzustand vorliegt. Infolge des Alternierens von Systemzuständen und zustandstransformierenden Ereignismengen können die Zeitintervalle, in denen zwei zeitlich benachbarte Systemzustände angesiedelt sind, allenfalls in demjenigen Zeitpunkt überlappen, in dem der vorangehende Zustand endet und der folgende Zustand beginnt. Eine solche Überlappung findet sich z.B. bei RIEPER (1979), S. 28, und TRAUTMANN (1981), S. 26. In einem solchen Überlappungszeitpunkt würden beide Systemzustände zugleich vorliegen. Dieser Sachverhalt bereite nur in demjenigen Sonderfall keine Schwierigkeiten, in dem durch Ereigniseintritte der Übergang eines Systemzustands in sich selbst bewirkt wird. Im Normalfall des Übergangs zwischen verschiedenen Systemzuständen wäre aber das Systemverhalten im Zeitablauf nicht mehr eindeutig definiert. Denn zumindest in den betrachteten Überlappungszeitpunkten würden zwei *verschiedene* Systemzustände *simultan* vorliegen. Dies wäre eine punktuell in sich widersprüchliche Konzep-

tualisierung des Systemverhaltens. Daher wird diese potentielle Inkonsistenz ausgeschlossen, indem vorausgesetzt wird, daß die Zeitintervalle für das Vorliegen von Systemzuständen wegen ihrer Disjunktheit keine Überlappungszeitpunkte besitzen. Vgl. zur Diskussion verschiedener Optionen, die Grenzen von Zeitintervallen festzulegen, DORN (1989), S. 47.

Aus der Einteilung der Zeitskala in disjunkte Zeitintervalle, in denen jeweils ein wohldefinierter Systemzustand vorliegt, folgt die charakteristische Diskretheit der hier konzeptualisierten Systemverhaltensweisen: Die Systemzustände gehen nicht kontinuierlich ineinander über. Statt dessen folgen sie in *disjunkten* Zeitintervallen wohlunterschieden ("diskret" im etymologisch ursprünglichen Sinne) und abrupt aufeinander. Wesentlich hierbei ist, daß die "Zeitdiskretheit" nur die ereignisvermittelte Abfolge von Systemzuständen in der Anschauungsform "Zeit" betrifft. Diese Zustandsfolge verhält sich diskret. Hinsichtlich des Charakters der hierbei "verfließenden" Zeit wird dadurch noch überhaupt keine Festlegung getroffen. In Anlehnung an die Intuition des Alltagsverstands wird sogar angenommen, der "natürliche" Zeitfluß verlaufe kontinuierlich. Vgl. zum kontinuierlichen Charakter des "natürlichen" Zeitflusses DORN (1989), S. 28f., 46f. u. 72; PENROSE (1989), S. 302, 304 u. 444 (weniger deutlich). Dabei handelt es sich aber auch nur um eine Konzeptualisierungsprämisse. Denn in mikrokosmischen Erkenntnisbereichen kann unter Bezugnahme auf quantentheoretische Phänomene bei der zeitlichen Ausbreitung von kausalen Wirkungszusammenhängen zugunsten einer diskontinuierlichen Zeitskala argumentiert werden. Eine theoretische Rechtfertigung zeitdiskreter Konzeptualisierungen findet sich auch bei DORN (1989), S. 48. Er knüpft daran an, daß Zeit durch *ganzzahlige* Vielfache eines Schwingungsstandards gemessen wird. Solche "exotischen" Quantenphänomene spielen jedoch im mesokosmischen Erkenntnisbereich betriebswirtschaftlicher Fragestellungen keine Rolle. Daher erscheint es dem Verf. hier unproblematisch, von einem kontinuierlichen "Zeitfluß" auszugehen.

Die absolute Größe der Zeitintervalle bestimmt die Granularität der diskreten Zeitskala. Vgl. zur Erörterung der Skalengranularität z.B. FAIDT (1989), S. 307f. Für Koordinierungsprobleme der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung werden zumeist Intervallgrößen in der Größenordnung von Stunden oder Tagen benutzt. Vgl. MERTINS (1985a), S. 95 (Stunden oder Tage); ALDINGER (1985a), S. 110 (Tage); MISSBAUER (1987), S. 30 (Tage). Seltener werden auch Minuten oder sogar Sekunden zugrundegelegt. Vgl. JAHN (1988), S. 454 (Sekunden). Je "feinkörniger" die Granularität der Zeitskala gewählt wird, desto detaillierter erfolgt die Repräsentation von Koordinierungsproblemen, desto größer fällt aber auch der Ressourceneinsatz für die Problemlösung aus. In dieser Arbeit wird keine bestimmte Granularität fixiert. Statt dessen werden Netzmodelle später so formuliert, daß sie als Maßeinheiten der Zeitskala das gesamte Spektrum von Sekunden bis hin zu Tagen ausschöpfen können.

33) Der Aussagenbegriff wird hier im außerlogischen, umgangssprachlichen Verständnis im Sinne einer sprachlichen Äußerung verstanden. Im logischen Kontext erfolgt später die Präzisierung solcher Aussagen (i.w.S.) durch aussagen- und prädikatenlogische Formeln. Aussagenlogische Formeln werden in logischen Argumentationszusammenhängen auch kurz als Aussagen (i.e.S.) bezeichnet.

34) Vgl. FIDELAK (1988b), S. 10 u. 16; DORN (1989), S. 8f., 16, 18ff., 45, 47, 50 u. 67ff.

35) Die "unmittelbare" Aufeinanderfolge zweier Systemzustände schließt also die Vermittlung des Zustandsübergangs durch eine Menge von Ereigniseintritten ein. Die Unmittelbarkeit bezieht sich nur auf den Sachverhalt, daß zwischen den beiden jeweils betrachteten Systemzuständen kein weiterer Systemzustand definiert ist. Systemzustände, die in diesem eingeschränkten Sinn unmittelbar aufeinander folgen, werden als (zeitlich) benachbarte Zustände bezeichnet.

36) Ereignis- und Aktivitätsbegriff werden hier in eng verwandter, aber nicht synonyme Weise verwendet. Als Aktivität wird grundsätzlich jedes Phänomen bezeichnet, das den Übergang zwischen zwei Systemzuständen vermittelt. Die Systemzustände können sowohl unmittelbar als auch mittelbar aufeinander folgen. Im ersten Fall wird auch von benachbarten Systemzuständen gesprochen (siehe die voranstehende Anmerkung). Derselbe Zustandsübergang wird immer von mindestens einer Aktivität bewirkt. Dies läßt u.a. zu, daß derselbe Zustandsübergang von mehreren Aktivitäten zugleich hervorgerufen wird. Der letzte Fall wird später bei der Einführung von Nebenläufigkeit eine Rolle spielen. Wenn der spezielle Aspekt betont werden soll, daß ein handelndes Subjekt die Veränderung eines Systemzustands bewirkt, so wird seine Aktivität als eine Aktion bezeichnet.

Ein Ereignis ist der Sonderfall einer atomaren Aktivität. Es handelt sich um eine punktförmige, zeitlich nicht ausgedehnte Aktivität. Sie bewirkt immer einen Übergang zwischen zwei benachbarten Systemzuständen. Der Aktivitätsbegriff umschließt aber auch andere Erscheinungsformen als die punktförmigen Ereignisse. Dazu gehören insbesondere die zeitlich ausgedehnten Vorgänge. Sie stellen nicht-atomare Aktivitäten dar. Die Art ihrer Zusammensetzung wird in einer späteren Anmerkung durch Rekurs auf formale Operationen spezifiziert. Solche nicht-atomare Aktivitäten oder Vorgänge werden in dieser Arbeit als zeitverbrauchende Prozesse noch ausführlicher behandelt. Zu ihnen gehören insbesondere die Arbeitsgänge, die bei der Abwicklung von Produktionsaufträgen ausgeführt werden müssen.

Bei den zuvor erwähnten zeitlich ausgedehnten Prozessen handelt es sich nur um einen Sonderfall des allgemeinen Prozeßbegriffs. Der allgemeine Prozeßbegriff ist einerseits umfassender definiert als der Aktivitätsbegriff, weil der Prozeßbegriff auch die Systemzustände in die Prozeßkonstitution einbezieht. Andererseits fällt der allgemeine Prozeßbegriff enger als der Aktivitätsbegriff aus. Denn in die Prozeßdefinition gehen neben den Systemzuständen

ausschließlich punktförmige Ereignisse ein. Dies wird in Kürze präziser ausgeführt. Aufgrund ihres Ereignis- und Zustandsbezugs können Prozesse auch ausgedehnte Ereignis- und Zustandsketten darstellen. Dabei braucht jedoch keine Zeit zu verstreichen. Es handelt sich dann um Prozesse, bei deren Ausführung mehrere punktförmige Ereignisse ohne Zeitverfließen geschehen. Aufgrund der voranstehenden Erläuterungen überschneiden sich Aktivitäts- und Prozeßbegriff im Ereignisbegriff. Dennoch handelt es sich um keine inhaltsgleichen Begriffsbildungen. Denn der Aktivitätsbegriff bezieht sich ausschließlich auf Zustandsübergänge. Der Prozeßbegriff verkettet dagegen Ereignisse und Systemzustände miteinander. Daher beruhen Aktivitäts- und Prozeßbegriff auf grundverschiedenen definitorischen Ansätzen.

Ein dritter, mit Aktivitäts- und Prozeßbegriff eng verwandter Begriff wurde schon oben als Operationsbegriff eingeführt. Er wurde durch die Veränderung von Objekteigenschaften erklärt. Dabei wurde bewußt offengelassen, ob es sich bei den Objekten um Systeme oder deren Komponenten und bei den Eigenschaften um System- bzw. Komponentenzustände handelt. Auf diese Weise läßt sich der weit gefaßte Objekt- und Operationsbegriff einerseits benutzen, um später die formalen Objekte und formalen Operationen des algebraischen Signaturkonzepts aufzunehmen. Ebenso können im Rahmen des Petrinetz-Konzepts Markenkopien mit Objekten und Operationen mit Transaktionen identifiziert werden. Andererseits ist es möglich, die Objekte vor systemtheoretischem Hintergrund als Systeme oder deren Komponenten aufzufassen. Operationen gewinnen dann die Qualität von Aktivitäten, mit deren Hilfe sich System- bzw. Komponentenzustände verändern lassen. In dem Ausmaß, in dem Prozesse als zustandstransformierende Aktivitäten behandelt werden, überschneidet sich dann der Operations- auch mit dem Prozeßbegriff.

Die voranstehenden Erläuterungen zeigen, daß der Aktivitätsbegriff in dieser Arbeit insofern eine zentrale Rolle spielt, als andere wichtige Begriffsbildungen auf ihn bezogen werden können. Dies gilt vor allem für den Ereignis-, den Vorgangs-, den Aktions-, den Prozeß- und den Operationsbegriff.

37) Der atomare und punktartige Charakter von Ereignissen findet sich z.B. explizit bei LUHMANN (1988), S. 389f. Abweichender Ansicht ist dagegen SINZIG (1983), S. 115, der auch zeitlich ausgedehnte Ereignisse zuläßt. DORN (1989), S. 69f. u. 72, konzeptualisiert Ereignisse sogar grundsätzlich derart, daß sie Zustandsveränderungen während eines Zeitintervalls bewirken, dessen Dauer im Regelfall größer als Null ist.

38) Das Eintreten eines Ereignisses wird fortan ebenso als dessen Geschehnis angesprochen. Wenn aus dem Kontext ersichtlich ist, daß nicht nur von einem Ereignis geredet wird, das geschehen oder auch unterbleiben kann, sondern das tatsächliche Eintreten eines solchen Ereignisses gemeint ist, dann wird die vereinfachende Bezugnahme auf Ereignisse anstelle von Ereigniseintritten zugelassen. Diese Vereinbarung lag bereits einer früheren Anmerkung zugrunde, in der Ereigniseintrittsmengen kurz als Ereignismengen bezeichnet wurden.

Die Differenzierung zwischen Ereignissen an sich und Ereigniseintritten mag prima facie gekünstelt wirken. Dennoch erfolgt sie hier aus drei Gründen. Erstens ist sie notwendig, um kategorische Aussagen, die für ein Ereignis zeitinvariant zutreffen, von kontingenten Aussagen, die für Geschehnisse desselben Ereignisses zu verschiedenen Zeitpunkten in unterschiedlicher Weise gelten können, präzise zu unterscheiden. Zu den kategorischen Aussagen gehört z.B. die Feststellung, daß ein Ereignis das Start- oder Schlußereignis eines Prozesses darstellt. Eine kontingente Aussage liegt dagegen vor, wenn konstatiert wird, daß ein Ereignis im aktuellen Zustand des Produktionssystems geschehen kann. Zweitens ist es möglich, zwischen mehreren Geschehnissen desselben Ereignisses in verschiedenen Systemzuständen oder zu verschiedenen Zeitpunkten zu unterscheiden. Drittens wird sich später zeigen, daß bei manchen Modellierungskonzepten Ereignisse und Ereignisgeschehnisse wohlunterschieden werden. Dies trifft auch auf das hier thematisierte Petrinetz-Konzept zu. Denn es differenziert zwischen Transitionen (Ereignissen) einerseits und Schaltakten von Transitionen (Ereigniseintritten) andererseits: Die Transitionen gehören zu den atomaren Komponenten von Netzmodellen. Schaltakte von Transitionen kommen dagegen in Netzmodellen selbst nicht vor. Sie sind nur durch die Schaltregel von Netzen erklärt. Sie werden erst in der Repräsentation der Netzdynamik durch Erreichbarkeitsgraphen explizit angeführt. Dort sind sie als Beschriftungen der Schaltkanten eines netzzugehörigen Erreichbarkeitsgraphen enthalten.

39) Zwecks sprachlicher Vereinfachung wird eine nicht-leere Menge von Ereigniseintritten, die den Übergang zwischen zwei zeitlich benachbarten Systemzuständen gemeinsam bewirken, fortan auch als eine Menge zustandstransformierender Ereigniseintritte oder als eine (zustandstransformierende) Ereignismenge angesprochen. Wenn verkürzt von Ereigniseintritten die Rede ist, sind stets solche nicht-leeren Mengen zustandstransformierender Ereigniseintritte gemeint. Sie umschließen auch den Grenzfall des Geschehens von nur einem Ereignis.

40) Folglich findet auch jeder Übergang zwischen zwei benachbarten Systemzuständen in exakt einem Zeitpunkt statt. Die Prämisse zeitpunktartiger Übergänge zwischen zeitlich benachbarten Systemzuständen ist bei der zeitdiskreten Konzeptualisierung von dynamischen Systemstrukturen allgemein üblich. Vgl. z.B. RIEPER (1979), S. 28. Sie bewirkt, daß die Zeitintervalle des Vorliegens von wohldefinierten Systemzuständen die natürliche Zeitskala zumindest fast vollständig überdecken: Es existieren keine endlich ausgedehnten Zeitintervalle, in denen der Zustand eines Systems nicht definiert wäre. Diese Konzeptualisierungsprämisse erweist sich keineswegs als denknotwendig. Vielmehr lassen die Konzepte der Petrinetze und der transaktionsorientierten Informationsverarbeitung Möglichkeiten erkennen, Systemverhalten so zu konzeptualisieren, daß Zeitintervalle mit wohldefinierten System-

zuständen von Phasen unterbrochen werden, in denen kein Systemzustand definiert ist. Diese Phasen ohne wohldefinierten Systemzustand erstrecken sich über endliche, von Null verschiedene Zeitintervalle. Auf solche Phasen ohne wohldefinierte Systemzustände wird im Kontext des Petrinetz-Konzepts eingegangen, wenn die Einführung von Schaltdauern für Transitionen erörtert wird. Im Bereich der transaktionsorientierten Informationsverarbeitung sind Zustände von Informationssystemen nur vor und nach dem Ausführen von zeitverbrauchenden informationsverarbeitenden Teilprozessen (Transaktionen), nicht aber während ihrer Ausführung definiert. Auf die transaktionsorientierte Informationsverarbeitung wird später zurückgekommen.

Allenfalls wäre es noch für die Zeitpunkte des Übergangs zwischen zwei benachbarten Systemzuständen denkbar, daß in diesen Zeitpunkten der jeweils vorliegende Systemzustand nicht definiert wäre. Aber auch dieser Fall wird mittels der Prämisse ausgeschlossen, daß der Zeitpunkt, in dem alle Ereignisse aus derselben Menge zustandstransformierender Ereignisse geschehen, als erstes Element aus dem Zeitintervall des nachfolgenden Systemzustands gilt. Hieraus resultieren halbgeschlossene Zeitintervalle für das Vorliegen von Systemzuständen. Die unteren Intervallgrenzen gehören jeweils zu den Intervallen, die oberen Intervallgrenzen hingegen nicht. (Diese Festlegung ist insofern willkürlich, als die o.a. Inkonsistenz ebenso durch halbgeschlossene Zeitintervalle mit ausgeschlossenen unteren und eingeschlossenen oberen Intervallgrenzen hätte vermieden werden können.) Folglich überdecken die Zeitintervalle wohldefinierter Systemzustände die natürliche, kontinuierliche Zeitskala nicht nur nahezu vollständig, sondern sogar tatsächlich lückenlos. Zugleich ist diese Überdeckung kraft der voranstehenden Vereinbarung für den Ein- bzw. Ausschluß von Intervallgrenzen überlappungsfrei. Dies entspricht der Prämisse disjunkter Zeitintervalle, die schon in einer früheren Anmerkung erörtert wurde.

41) Unmittelbarkeit meint hier nur, daß keine andere - dritte - Ereignismenge zwischen den beiden betrachteten Ereignismengen liegt. Diese beiden Ereignismengen werden aber stets durch einen Systemzustand voneinander getrennt.

42) Der Verzicht auf die Äquidistanz - d.h. die gleiche zeitliche Ausdehnung - aller Zeitintervalle kontrastiert deutlich mit der Konzeptualisierung, wie sie für zeitdiskrete Modellierungen von Prozeßkoordinierungen meistens üblich ist: Dort wird die Zeitskala gemeinhin in äquidistante Zeitintervalle (Perioden) aufgeteilt. Vgl. z.B. RIEPER (1979), S. 76. Da Übergänge zwischen Systemzuständen immer nur an Intervallgrenzen auftreten können, entspricht dies der Etablierung eines zentralen Taktgenerators, der in zeitlich gleichen Abständen Synchronisierungssignale aussendet. Mit ihrer Hilfe wird das Vorliegen von definierten Systemzuständen - idealtypisch - auf äquidistante Zeitintervalle eingeschränkt. Die abweichende Prämisse dieser Untersuchungen, eine solche Äquidistanz müsse nicht gewährleistet sein, wird später anläßlich des asynchronen Schaltverhaltens von Petrinetzen wiederaufgenommen. Allerdings wird sich später zeigen, daß die Einbindung der Anschauungsform "Zeit" in das Petrinetz-Konzept letztlich doch erfordert, einen zentralen Taktgenerator in der Gestalt einer globalen Systemuhr einzuführen. Vgl. dazu auch DORN (1989), S. 48, der für die zeitliche Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen "Uhren" als denknötwendige Komponente des Koordinierungskonzepts einführt.

43) Vgl. GEORGEFF (1986), S. 70; FIDELAK (1988b), S. 10 u. 16; WAND (1989), S. 545; CHARRON-BOST (1990), S. 176. Eine ambivalente Position bezieht hingegen SCHEER (1991d), S. 4 u. 114. Einerseits konzeptualisiert er Vorgänge so, daß sie jeweils durch genau ein Start- und genau ein Schlußereignis begrenzt werden (S. 4). Andererseits läßt er für das Starten und Enden von Funktionen auch mehrelementige Ereignismengen zu (S. 114). Da SCHEER Vorgangs- und Funktionsbegriff nicht deutlich voneinander scheidet (das wurde in einer früheren Anmerkung dargestellt), muß hier offenbleiben, welche der beiden konkurrierenden Versionen für die Vorgangsbegrenzung er tatsächlich vertreten möchte.

44) Bei zwei Systemzuständen, die unmittelbar aufeinander folgen, weil eine nicht-leere Menge von Ereignissen geschehen ist, handelt es sich stets um *verschiedene* Zustände. Damit wird von WAND (1989), S. 546, abgewichen. Dort werden auch Ereignisse zugelassen, deren Geschehnisse überhaupt keine Zustandsveränderung bewirken. Der Verf. schließt diesen Sonderfall aus, da in ihm die konstitutive Charakteristik von Ereignissen, Zustandsveränderungen hervorzurufen, untergegangen ist. Dennoch wird eingeräumt, daß aus formalen Gründen das Ausdrucksmittel vorteilhaft sein kann, einen "Übergang" zwischen *denselben* Systemzuständen stattfinden zu lassen. Dazu werden in Kürze die entarteten Prozesse eingeführt. Vgl. auch ihre spätere Rechtfertigung anläßlich der formalen Definition von Erreichbarkeitsmengen.

45) Das Attribut "zusammenwirkend" ist hierbei mit Vorsicht zu interpretieren. Es drückt lediglich aus, daß ein Zustandsübergang von der *Gesamtheit* aller Ereignisse *bewirkt* wird, die zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Systemzuständen geschehen. Falls diese Gesamtheit mehrere Ereignisse umfaßt, ist über die Beziehung der Ereignisse untereinander noch nichts ausgesagt. Die spätere Präzisierung des Begriffs kausaler Abhängigkeit läßt dafür grundsätzlich zwei Möglichkeiten offen: Einerseits können Ereignisse aus derselben zustandstransformierenden Ereignismenge im engeren Sinne zusammenwirken, weil sie einer kausalen Wechselwirkung unterliegen. Andererseits ist es aber ebenso möglich, daß die Ereignisse kausal *unabhängig* voneinander geschehen. Im zweiten Fall können die Ereignisse weder in einer schwachen oder starken Folgebeziehung noch in einer kausalen Ressourcenbeziehung zueinander stehen, weil sie qua Voraussetzung zur selben zustandstransformierenden Ereignismenge gehören. Da das Petrinetz-Konzept die kausale Wechselwirkung zwischen Ereignissen überhaupt

nicht zu erfassen vermag, können auf seiner Grundlage sogar nur *kausal unabhängige* Ereignisse beim Übergang zwischen zwei benachbarten Systemzuständen "zusammenwirken".

46) Die gleiche Verallgemeinerung findet sich bei GEORGEFF (1986), S. 70. Er baut darauf allerdings eine abweichende Konzeptualisierung von zusammenwirkenden Ereigniseintritten auf.

47) Der Begriff der Nebenläufigkeit wird später präzisiert. Dort wird auch seine Beziehung zum sonst vorherrschenden Begriff paralleler Prozesse näher erläutert. Vorerst werden beide Begriffe unterschiedslos verwendet.

48) Gleiches gilt für die Untersuchung paralleler Ereignisgeschehnisse (Aktivitäten) in anderen, vom Petrinetz-Konzept abweichenden Systemstrukturierungen. Besonders deutlich wird dies von FIDELAK (1988b), S. 16ff., und DORN (1989), S. 8, im Rahmen des Situationskalküls herausgestellt. Dieser Kalkül wurde bereits in einer früheren Anmerkung erwähnt. Vgl. darüber hinaus auch GEORGEFF (1986), S. 71f. Die Notwendigkeit, für parallele Ereignisgeschehnisse Ereignismengen zu betrachten, läßt sich durch eine einfache Überlegung veranschaulichen: Wenn ausschließlich *einzelne* Ereignisse Übergänge zwischen je zwei benachbarten Systemzuständen bewirken, dann ist die Wirkung des zeitgleichen Geschehens mehrerer Ereignisse nicht mehr wohldefiniert. Zwar könnte daran gedacht werden, jedem betroffenen Ereignis einen wohldefinierten Folgezustand zuzuordnen. Aber er wäre nur dann wohldefiniert, falls dieses Ereignis isoliert geschähe. Dies widerspricht jedoch der vorausgesetzten Parallelität der Ereignisgeschehnisse. Wie hingegen *mehrere* Ereignisse bei ihren parallelen Geschehnissen miteinander wechselwirken, bleibt aufgrund der Prämisse, daß nur isolierte Ereigniseintritte Zustandsübergänge hervorrufen können, grundsätzlich offen. Daher bestehen lediglich zwei Auswege: Entweder werden die Ereignisse so behandelt, *als ob* sie nacheinander geschehen würden. Solche künstlichen Sequentialisierungen werden später noch ausführlicher behandelt und schließlich aus dieser Arbeit ausgegrenzt. Statt dessen können die Ereignisse aber auch zu einem Ereigniskomplex zusammengefaßt werden, der den Übergang zwischen zwei benachbarten Systemzuständen vermittelt. Diese Option wird hier durch die Einführung von Ereignismengen verwirklicht. Vgl. zu der voranstehenden Argumentation auch FIDELAK (1988b), S. 16. Allerdings behandelt FIDELAK (1988b), S. 18f., Ereigniskomplexe in einer anderen Weise, als es in dieser Arbeit später mit der Hilfe von nebenläufig schaltenden Transitionen der Fall sein wird. Umgekehrt besitzen Prozesse, in denen Zustandsübergänge jeweils durch das Geschehnis von genau einem Ereignis bewirkt werden, notwendig einen sequentiellen Charakter. Dies wird z.B. von CHARRON-BOST (1990), S. 176, ausdrücklich festgestellt.

49) Dabei wird vorausgesetzt, daß nur solche kinetischen Verhaltensbeschreibungen beachtet werden, welche die bereits oben vorgenommene zeitdiskrete Strukturierung von Systemverhaltensweisen befolgen. Vgl. zu solchen rein zeitbezogen konzeptualisierten - kinetischen - Beschreibungen des Systemverhaltens z.B. ROPOHL (1971), S. 120f.; WITTE, T. (1979a), S. 62f.

50) Eine weitere Konzeptualisierung des Systemverhaltens wäre in bezug auf finale Verursachungszusammenhänge möglich, die auf intentional handelnde Subjekte als systemverändernde Akteure zurückgeführt werden können. Das hieraus folgende Verhaltenspotential wird als teleologische Systemstruktur bezeichnet. Diese Konzeptualisierungsalternative wird im Rahmen der hier betrachteten systemtheoretischen Strukturierung von Koordinierungsproblemen jedoch aus zwei Gründen nicht benutzt. Erstens wurde bereits anläßlich der thematischen Rahmenlegung festgelegt, es bestehe ein besonderes Interesse an der *kausalen* Fundierung von Problemmodellierungen. Zweitens erfüllt die systemtheoretische Strukturierung von Koordinierungsproblemen vor allem die Funktion, die *sachlichen* Problem Aspekte zu konzeptualisieren. Dies bedeutet aus entscheidungstheoretischer Perspektive eine Strukturierung der Entscheidungssituation. Dagegen werden Aspekte intentional handelnder Subjekte erst später bei der entscheidungstheoretischen Konzeptualisierung des Entscheidungsträgers betrachtet.

51) Da Ereignisse und Aktivitäten als Synonyma eingeführt wurden, kann ebenso davon gesprochen werden, daß ein Zustandsübergang durch eine Menge von Ereigniseintritten bewirkt wird. Daher spielt es grundsätzlich keine Rolle, ob bei der Betrachtung von Verursachungszusammenhängen eine ereignis- oder eine aktivitätsorientierte Diktion gepflegt wird.

Im Rahmen des objektorientierten Ansatzes wurden die Operationen, die auf ein Objekt angewendet werden können, als die Ursachen zulässiger Objektveränderungen ausgewiesen. Hier werden Aktivitäten als Ursachen zulässiger Zustandsveränderungen behandelt. Die kausal bewirkten Objekt- und Zustandsveränderungen beziehen sich jeweils auf dasselbe Produktionssystem. Daher handelt es sich bei den zustandsbezogenen Aktivitäten und den objektbezogenen Operationen um komplementäre Konzeptualisierungen desselben Verursachungszusammenhangs. Folglich drängt sich die Frage auf, in welchem Verhältnis diese beiden Konzeptualisierungsweisen zueinander stehen. Bereits in einer früheren Anmerkung wurde darauf hingewiesen, daß der zustandstransformierende und ereignisbezogene Aktivitätsbegriff bewußt nicht mit dem eigenschaftsverändernden und objektbezogenen Operationsbegriff identifiziert wird. Da das Zusammenfallen von Aktivitäts- und Operationsbegriff ausgeschlossen ist, müssen sie in einem anderen - komplizierteren - Verhältnis zueinander stehen. Es kann hier nur angedeutet werden, da seine präzise Ausformulierung eine intimere Kenntnis des Petrinetz-Konzepts voraussetzt. Ausgangspunkt ist die Unterscheidung zwischen punktförmig-atemporalen Operationen einerseits und zeitlich ausgedehnten Operationen andererseits.

Eine atomare Aktivität wird hier als eine nicht-leere Menge aus punktförmig-atemporalen Operationen begriffen. Diese zeitlosen Operationen werden später im Rahmen des algebraischen Signaturkonzepts als formale Operationen definiert, die sich auf formale Objekte anwenden lassen. Im Rahmen einer "Markenontologie" wird festgelegt, wie reale Objekte - die es im Rahmen einer Prozeßkoordinierung abzubilden gilt - mit der Hilfe solcher formalen Objekte repräsentiert werden. Die formalen Operationen, die auf formale Objekte angewendet werden, spezifizieren dann, wie die Eigenschaften der repräsentierten realen Objekte verändert werden können. Da eine atomare Aktivität eine nicht-leere Menge aus beliebig vielen formalen Operationen ist, geschieht eine Aktivität, indem mindestens eine formale Operation auf mindestens eine Eigenschaft von mindestens einem repräsentierten realen Objekt angewendet wird. Jedes Aktivitätsgeschehnis ist daher notwendig mit mindestens einer operationsbewirkten Eigenschaftsveränderung eines repräsentierten realen Objekts verknüpft. In einer früheren Anmerkung wurde das Geschehnis einer Aktivität als ein Phänomen definiert, durch den ein Zustandsübergang im modellierten Produktionssystem bewirkt wird. Daher geht der aktivitätsbedingte Zustandsübergang mit der mindestens einen operationsbedingten Eigenschaftsveränderung eines repräsentierten realen Objekts einher. Folglich handelt es sich um zwar verschiedene, aber inhaltlich fest verknüpfte Blickwinkel auf denselben Verursachungszusammenhang, wenn:

- das eine Mal von Geschehnissen einer atomaren Aktivität gesprochen wird, die Zustandsübergänge bewirken, und
- das andere Mal die Ausführungen von (punktförmig-atemporalen formalen) Operationen thematisiert werden, die Eigenschaftsveränderungen von (repräsentierten realen) Objekten bewirken.

Bisher wurde nur das Verhältnis zwischen atomaren Aktivitäten und punktförmig-atemporalen Operationen beleuchtet. Dabei wurden die ersten aus den zweiten aufgebaut. Darüber hinaus werden aber auch zeitlich ausgedehnte Operationen zugelassen. Solche zeitverbrauchenden Operationen werden hier als reale Operationen bezeichnet, weil sie bei der Konzeptualisierung von Realproblemen eine große Rolle spielen. Dort treten sie z.B. als Arbeitsgänge, Rüst- oder Transportoperationen auf. Diese Operationen werden bereits in dem hier erörterten systemtheoretischen Konzeptualisierungsrahmen eingeführt und in der späteren Fallstudie vertieft. Die realen Operationen stellen die Teilprozesse dar, die in Kürze eingeführt werden. Diese Teilprozesse sind ihrerseits aus atomaren Aktivitäten (Ereignissen) und den hiervon bewirkten Zustandsveränderungen zusammengesetzt. Die atomaren Aktivitäten bestehen wiederum aus formalen, jeweils eigenschaftsverändernden Operationen. Folglich lassen sich alle realen Operationen mit der Hilfe von atomaren Aktivitäten auf formale Operationen zurückführen.

Atomare Aktivitäten (Ereignisse) stellen daher ein zentrales Bindeglied dar. Sie vermitteln zwischen den formalen, punktförmig-atemporalen Operationen einerseits, die im Rahmen des algebraischen Signaturkonzepts definiert werden, und den realen, zeitlich ausgedehnten Operationen andererseits, die für die Beschreibung realer Koordinierungsprobleme erforderlich sind. Die atomaren Aktivitäten oder Ereignisse werden später als Transitionen von Petri-Netzen identifiziert. Jedes Geschehnis einer Aktivität bzw. jeder Ereigniseintritt stellt dort den Schalttakt einer entsprechenden Transition dar. Die Teilprozesse realer, zeitverbrauchender Operationen werden aus den Schaltakten von Transitionen zusammengesetzt. Die Ausdrucksmächtigkeit von Synthetischen Netzen wird es später sogar gestatten, eine Transition intern so zu strukturieren, daß ihr Schalttakt aus den Anwendungen formaler, zeitloser Operationen aufgebaut wird. Dies wird anhand eines Übergangsschemas ausführlicher beschrieben und führt dazu, den Schaltablauf einer Transition durch eine zugehörige Transaktion zu spezifizieren. In eine solche Transaktion kann eine Vielzahl formaler Operationen einfließen, die sich auf die formalen Objekte aus den Repräsentationen realer Objekte anwenden lassen. Eine Transaktion stimmt daher exakt mit einer atomaren Aktivität überein. Ein plastisches Beispiel dafür liefert die Erläuterung der Aktivität "Autovermietung", die später beschrieben wird. Dort wird nur genau eine Transition mit einer zugehörigen Transaktion betrachtet. Jeder Schalttakt dieser Transition involviert aber mehrere formale Operationen, die auf (den Kopien von) Kunden- und Automarken ausgeführt werden. Jede dieser Marken(kopien) repräsentiert ein reales Objekt, das vom Geschehnis der Vermietungsaktivität betroffen sein kann.

52) Falls die Ereignismenge, die einen Zustandsübergang bewirkt, genau ein Element enthält, wird das Geschehnis ihres Ereignisses als die Ursache des jeweils bewirkten Übergangs zwischen zwei benachbarten Systemzuständen bezeichnet. Es liegt dann ein monokausaler Verursachungszusammenhang vor. Wenn die übergangsbewirkende Ereignismenge dagegen mehrere Elemente enthält, heißt jedes Geschehnis ihrer Ereignisse eine Mitursache des jeweils bewirkten Zustandsübergangs. Es wird dann von einem polykausalen Verursachungszusammenhang geredet.

53) Nur die Prozeßkoordinierung in *komplexen* Produktionssystemen gehört zum Anwendungsbereich des hier entfalteten Modellierungskonzepts.

54) Es wird eine Definition des Prozeßbegriffs vorgestellt, der speziell auf die hier verfolgte systemtheoretische Problemstrukturierung und auf die Eigenarten des Petri-Netz-Konzepts zugeschnitten ist. Dies geschieht im Interesse einer kohärenten Argumentation. Vgl. zu abweichenden, hier nicht weiter behandelten direkten oder mittelbaren Prozeßdefinitionen MUSCATI (1967), S. 297ff., sowie MUSCATI (1970), S. 10ff. (Strukturierung der Arbeitsprozesse von Unternehmungen); KOSIOL (1972), S. 89ff. (Strukturierung von Arbeitsprozessen); MATTHES, W. (1972), S. 7ff. (Grundmodell der Prozeßstruktur der Unternehmung); KRAUSE, F. (1989b), S. 553 (Prozesse als lineare Folgen aus logisch abhängigen Operationen); DORN (1989), S. 1 (Fn. 1) u. 70f.

55) Diese Prozeßdefinition wird später im Rahmen des Petrinetz-Konzepts in der Gestalt von Schaltprozessen wiederaufgenommen. Die dort angeführten Netzmarkierungen und Schaltschritte entsprechen den hier betrachteten Systemzuständen bzw. Ereignismengen. Allerdings wird dort der Prozeßbegriff aus formalen Gründen auf den Grenzfall entarteter "Prozesse" ausgeweitet, in denen Start- und Schlußereignismenge überhaupt nicht definiert sind. Statt dessen verkümmern jene "Prozesse" zu jeweils einem unveränderten Systemzustand, in dem der prozeßspezifische Start- und Schlußzustand zusammenfallen. Damit solche entarteten Prozesse einbezogen werden können, ist es erforderlich, die Prozesse nicht durch deren Start- und Schlußereignismengen, sondern durch ihre vor- und nachgelagerten Start- bzw. Schlußzustände zu begrenzen.

Allerdings ist darauf hinzuweisen, daß die hier vorgenommene Prozeßkonzeptualisierung in der Literatur zum Petrinetz-Konzept nicht einhellig geteilt wird. Vielmehr wird dort oftmals auch eine Prozeßauffassung vertreten, die Markierungen als Prozeßkonstituenten nicht kennt. Statt dessen werden dort Prozesse als (kausal) halbgeordnete Ereignismengen thematisiert. Dies geschieht vor allem im Kontext der Kausal- oder Geschehnisnetze (occurrence nets). Da an dieser Stelle Petrinetze überhaupt noch nicht eingeführt sind, kann hier auf die Besonderheiten jener alternativen Prozeßauffassung nicht näher eingegangen werden. Auf die dafür typischen Geschehnisnetze und ihre abweichend definierten Prozesse wird jedoch später kurz zurückgekommen. Infolge des hier vertretenen systemtheoretischen Strukturierungsansatzes wird jene Prozeßauffassung, die von Systemen und ihren Zuständen als Prozeßrahmen vollkommen absieht, nicht weiter verfolgt.

Die bevorzugte Rückführung des Prozeßbegriffs auf alternierende Systemzustände und Ereignismengen besitzt den Vorzug, die zustands-, ereignis- und prozeßbezogenen Ansätze der dynamischen Systemstrukturierung in einer gemeinsamen Konzeptualisierung zusammenzuführen. Trotz dieser Integration ist zu beachten, daß Systemzustände und zustandstransformierende Ereignisse bei der hier gewählten Konzeptualisierung die originären und atomaren Konstrukte darstellen. Bei Prozessen handelt es sich dagegen um komplexere Konstrukte, die aus den beiden vorgenannten Basiskonstrukten abgeleitet sind. Darüber hinaus kann auch die faktorbezogene Systemstrukturierung in die Prozeßkonzeptualisierung einbezogen werden: Bei Prozeßbeginn werden Produktionsfaktoren zu einer organisatorischen Einheit - der prozeßspezifischen Faktorkombination - zusammengefaßt. Bei Prozeßende wird diese Faktorkombination wieder aufgelöst. Die Prozeßausführung entspricht daher der Nutzung einer Faktorkombination. Die Faktorkombination wird dabei nur als eine ablauforganisatorische Einheit behandelt. Dies schließt keineswegs aus, daß sie schon vor Prozeßbeginn als physisch zusammengestellte Einheit vorlag oder nach Prozeßende weiterhin als physische Einheit zusammenbleibt. Die prozeßspezifische Faktorkombination kann während der Prozeßausführung dadurch variieren, daß Produktionsfaktoren, die bei Prozeßbeginn noch nicht benötigt werden, erst später in die Faktorkombination einbezogen werden. Ebenso ist es möglich, Produktionsfaktoren, die nicht bis zum Prozeßende in Anspruch genommen werden, vorzeitig wieder freizugeben. Auf solche Verfeinerungsmöglichkeiten wird jedoch nicht näher eingegangen, weil die Einbindung von Faktorkombinationen in den Prozeßbegriff in dieser Arbeit nicht weiter interessiert.

Schließlich kann erwogen werden, die zustands- und ereignisbezogene Konzeptualisierung von dynamischen Systemstrukturen und Systemverhaltensweisen durch eine *rein* prozeßbezogene Systemstrukturierung zu ersetzen, die keinen expliziten Bezug auf die zugrundeliegenden Systemzustände und Ereignismengen besitzt. Diese Verschiebung der Konzeptualisierungsperspektive führt jedoch nur dann zu keinem Informationsverlust, wenn zwei Voraussetzungen erfüllt sind. Die betrachteten Prozesse müssen erstens alle modellierungsrelevanten Systemzustände überdecken. Zweitens müssen alle Ereignismengen, die Zustandsübergänge bewirken können, jeweils mindestens einmal als Beginn oder Ende eines Prozesses vorkommen. (Andernfalls würde mindestens eine Ereignismenge existieren, deren Eintreten zwar einen Zustandsübergang bewirken könnte, die aber bei der rein prozeßorientierten Betrachtungsweise nicht explizit ausgewiesen wäre.) Unter den voranstehend erläuterten Voraussetzungen kann die dynamische Struktur eines Systems, die oben als dessen Verhaltenspotential erklärt wurde, auch durch die Angabe aller Prozesse, die in dem System zulässig sind, spezifiziert werden. Aus dieser Perspektive läßt sich die dynamische Struktur eines Systems als dessen Prozeßstruktur bezeichnen. Vgl. zum Begriff der Prozeßstruktur von Systemen ROPOHL (1971), S. 120f. u. 154ff. Vgl. ebenso das "Grundmodell der Prozeßstruktur der Unternehmung" von MATTHES, W. (1972), S. 7ff. Anstatt die beiden o.a. Prämissen bei der Modellierung von Prozessen in Produktionssystemen vorauszusetzen, zieht es der Verf. vor, die zustands- und ereignisbezogene Systemstrukturierung neben der daraus abgeleiteten prozeßbezogenen Konzeptualisierungsweise aufrechtzuerhalten. Dies entspricht dem früher gerechtfertigten Grundsatz einer multiparadigmatischen Strukturierung von Koordinierungsproblemen. Sie läßt die Option offen, je nach aktueller Zwecksetzung zwischen zustands- und ereignisbezogener oder aber prozeßbezogener Problemstrukturierung auszuwählen. Darüber hinaus erlaubt die o.a. Prozeßdefinition, jederzeit die prozeßbezogene Strukturierungsalternative auf die zustands- und ereignisbezogene Problemstrukturierung zurückzuführen. Die umgekehrte Reduktionsrichtung kann hingegen nicht immer garantiert werden. Dies folgt unmittelbar aus der zuvor skizzierten Gefahr des Informationsverlusts bei rein prozeßbezogener Strukturierung. Vgl. dazu auch FALSTER (1988), S. 113, der die Ereignisorientierung für wichtiger als die Prozeßorientierung hält ("... from a planning point of view the event of starting and finishing an activity is more important than the activity itself.").

Die Strukturierungsoption, prozeßbezogene auf zustands- und ereignisbezogene Problemstrukturierungen zurückzuführen, läßt sich beispielsweise auf folgende Weise ausnutzen. Bei einer ersten groben, natürlichsprachlichen Kon-

zeptualisierung von Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen wird zunächst nur der prozeßbezogene Strukturierungsansatz verfolgt. Dies entspricht weitgehend der Modellierungspraxis, in der zustands- und ereignisbezogene Problemkonzeptualisierungen kaum - zumindest nicht zu Modellierungsbeginn - anzutreffen sind. In späteren Modellierungsphasen, in denen die natürlichsprachliche Grobmodellierung durch eine präzisere, formalsprachliche Feinmodellierung abgelöst wird, läßt sich hingegen zu einer zustands- und ereignisbezogenen Systemstrukturierung übergehen. Als hilfreich erweist sich dabei die oben angesprochene Möglichkeit, jeden Prozeß in eine Folge aus alternierenden Systemzuständen und Ereignismengen zu transformieren. Das Ergebnis einer derart verfeinerten Konzeptualisierung könnte dann z.B. ein Koordinierungsmodell in der Gestalt eines Petrinetzes sein.

56) Oftmals besitzt ein Prozeß nur eine einelementige Starterereignismenge. In diesem Fall wird auch kurz von einem Starterereignis des Prozesses gesprochen. Dies wird fortan als Standardfall der Prozeßausführung unterstellt.

57) Des öfteren weist ein Prozeß nur eine einelementige Schlußereignismenge auf. Dann wird auch kurz von einem Schlußereignis des Prozesses geredet. Das stellt fortan den Standardfall der Prozeßausführung dar.

58) Alle Ereignisse aus der Start- und der Schlußereignismenge eines Prozesses werden unter den Oberbegriff der prozeßbegrenzenden Ereignisse subsumiert. Im Standardfall wird der Prozeß durch genau ein Start- und genau ein Schlußereignis begrenzt. Dieser Standardfall liegt den meisten prozeßorientierten Systemstrukturierungen als *einzig*e Prozeßdefinition zugrunde. Vgl. z.B. SCHEER (1991d), S. 4. Weitere Ereignisse können hinzukommen, die jedoch nicht als Begrenzung von Prozessen definiert sind. Dabei handelt es sich entweder um Ereignisse, die das Eintreffen von Informationen (Systemmeldungen) über das koordinierte Produktionssystem anzeigen. Oder die Ereignisse geschehen, wenn Informationen (Steuerungsanweisungen) an das zu koordinierende Produktionssystem abgesandt werden. Beide ergänzenden Ereignisarten werden auch als informationsbezogene Ereignisse bezeichnet. Sie werden von anderen Beiträgen zur prozeßorientierten Systemstrukturierung im allgemeinen nicht berücksichtigt. Sie werden aber in dieser Arbeit eine größere Rolle spielen, wenn die Kopplung zwischen Netzmodellen und modellierten Realitätsausschnitten betrachtet wird.

59) Dieser Systemzustand wird auch als Startzustand des Prozesses bezeichnet. Es ist möglich, daß für denselben Prozeß und dasselbe Produktionssystem mehrere verschiedene Systemzustände existieren, in denen jeweils alle Ereignisse aus der Starterereignismenge des Prozesses geschehen können. Daher erweist sich der Startzustand eines Prozesses im allgemeinen nicht als prozeßspezifisch. Dennoch wird hier der Startzustand, in dem die prozeßspezifische Starterereignismenge geschieht, zum Beginn der Prozeßausführung gerechnet. Nur so ist es möglich, die entarteten Prozesse zu erfassen, die bereits in einer früheren Anmerkung angesprochen wurden und in Kürze präzisiert werden.

60) Dieser Systemzustand wird auch als Schlußzustand des Prozesses angesprochen. Es ist möglich, daß für denselben Prozeß und dasselbe Produktionssystem mehrere verschiedene Systemzustände existieren, die jeweils nach dem Geschehen aller Ereignisse aus der Schlußereignismenge des Prozesses vorliegen. Daher besitzt der Schlußzustand eines Prozesses im allgemeinen keine Prozeßspezifität. Dennoch wird der Schlußzustand, der sich nach dem Geschehen der prozeßspezifischen Schlußereignismenge einstellt, hier zum Ende der Prozeßausführung gerechnet. Nur so ist es möglich, die entarteten Prozesse zu erfassen, die schon in der voranstehenden Anmerkung erwähnt wurden.

61) Daher kann auch ein einfacher Prozeß vorliegen, dessen Startzustand durch genau eine Ereignismenge in dessen Schlußzustand überführt wird. Start- und Schlußereignismenge fallen dann notwendig zusammen. Ein solcher Prozeß unterscheidet sich von der zustandstransformierenden Ereignismenge nur noch dadurch, daß seine Definition auch den Start- und den Schlußzustand umfaßt.

62) Damit werden zirkuläre Prozesse zugelassen, die im selben Systemzustand beginnen und auch wieder enden. Ein zirkulärer Prozeß kann ein einfacher Prozeß im Sinne der voranstehenden Anmerkung sein. In einem einfachen zirkulären Prozeß fallen sowohl die Start- und die Schlußereignismenge als auch der Start- und der Schlußzustand jeweils miteinander zusammen.

63) Dies wird später als Finitheitsprämissen ausführlicher diskutiert.

64) Infolge des Alternierens von Systemzuständen und Ereignismengen wird hierdurch eine ebenso endliche Anzahl von Ereignismengen impliziert. Die Anzahl der Systemzustände, die bei der Ausführung eines Prozesses durchlaufen werden, muß mindestens "Eins" betragen. Dieser Grenzfall liegt bei jedem entarteten Prozeß vor, dessen Start- und Schlußzustand im einzigen prozeßkonstituierenden Systemzustand zusammenfallen. Zugleich besitzt jeder entartete Prozeß die minimale Anzahl von zustandstransformierenden Ereignismengen: Da bei der Ausführung eines entarteten Prozesses überhaupt keine Zustandstransformation erfolgt, beträgt seine Ereignismengenanzahl "Null".

65) Statt dessen wäre auch eine konstituentenbezogene Ausschnittbildung denkbar, die eine Deskription der zeitlichen Veränderung von Relationen zuließe. Diese Konzeptualisierungsalternative spielt jedoch bei der Modellierung von Prozeßkoordinierungen keine Rolle. Vgl. zur Differenzierung von Objekt- und Konstituentenbegriff die

Festlegungen, die in einer früheren Anmerkung im Zusammenhang mit der objektorientierten Systemstrukturierung erfolgten.

66) Vgl. dazu die Erläuterungen in einer der voranstehenden Anmerkungen. Dort wurden die Operationen, die hier als Teilprozesse in zustands- und ereignisbezogener Weise eingeführt werden, als zeitverbrauchende Operationen aus der Beschreibung realer Koordinierungsprobleme angesprochen. Sie wurden mit Hilfe des zentralen Aktivitäts- und Ereignisbegriffs auf zeitlose, rein formal definierte Operationen zurückgeführt, die sich auf ebenso formale Objekte anwenden lassen. Reale, zeitverbrauchende Operationen werden hier durch die Start- und die Schlußereignismenge des operationskonkretisierenden Teilprozesses präzisiert. Sie stellen den Beginn bzw. das Ende der Operationsausführung dar. Zwischen diesen beiden operationsspezifischen Ereignismengen kann der Teilprozeß noch weitere zustandstransformierende Ereignismengen besitzen, muß es aber nicht.

67) Solche Teilprozesse werden auch als atomare (Teil-)Prozesse bezeichnet. Atomare Teilprozesse werden später benutzt, um die produktionswirtschaftlich übliche Bezugnahme auf Arbeitsgänge in die hier entfaltete Konzeptualisierung von Produktionsprozessen einzubetten. Dabei wird jeder Arbeitsgang als ein atomarer Teilprozeß mit ein-elementiger Start- und ein-elementiger Schlußereignismenge betrachtet. Das Start- und das Schlußereignis der Teilprozeßausführung fallen daher mit dem Beginn bzw. Ende der Arbeitsgangausführung zusammen.

68) Diese Teilprozesse stellen zusammengesetzte (Teil-)Prozesse dar. Zusammengesetzte Teilprozesse (Operationen) können stets in atomare Teilprozesse (Operationen) zerlegt werden. Dabei werden je zwei unmittelbar aufeinander folgende Ereignismengen als die Start- und die Schlußereignismenge eines atomaren Teilprozesses (einer atomaren Operation) identifiziert.

69) Das nachfolgend vorgestellte, systemtheoretisch ausgedeutete Komplexitätsverständnis wird - sofern nicht ausdrücklich anders vereinbart - fortan vorausgesetzt. Es handelt sich um eine prozeßorientierte Definition der Komplexität von Produktionssystemen, die speziell auf die Erkenntnisinteressen dieser Arbeit zugeschnitten ist. Diese Komplexitätsdefinition klingt auch bei IGEL (1986b), S. 1, an. Dort werden einerseits *nebenläufige* Systeme als besonders komplex betrachtet. Dies entspricht der Halbordnungsprämisse. Andererseits werden nebenläufige Systeme als sehr *umfangreich* herausgestellt. Das kommt der Vielfaltsprämisse nahe.

Vgl. zu abweichenden, aber ebenso systembezogenen Füllungen des Komplexitätsbegriffs ULRICH, H. (1970), S. 116f.; BEENSEN (1971), S. 11f.; KRIEG, W. (1971), S. 55ff.; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 183ff., insbesondere S. 185; KAWAMURA, K. (1977), S. 347; PFOHL (1977), S. 254; KIRSCH (1978), S. 141ff. u. 163; LUHMANN (1980), Sp. 1064f.; PROBST (1981), S. 159; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 108 u. 110f.; SZYPERSKI (1983), S. 4f.; HOFMANN, J. (1985), S. 95ff.; MERTINS (1985a), S. 21ff.; SCHNABL (1985), S. 453; MALIK (1986), S. 37 u. 186ff.; MARTENS (1986), S. 259ff.; LUHMANN (1988), S. 45ff., insbesondere S. 46 u. 49; ZELEWSKI (1989a), S. 1f.; WILLKE (1991), S. 2f., 11ff. u. 61ff. Vgl. dagegen zu anderen, nicht mehr systemtheoretisch ausgerichteten Komplexitätsbegriffen SAVAGE (1976), S. 9ff.; KIRSCH (1978), S. 38ff., 141, 144ff. u. 158ff.; WARNECKE, G. (1988), S. 16. Dazu gehören insbesondere spezielle problemorientierte Komplexitätsverständnisse. Sie richten sich entweder vornehmlich an der Problemstruktur aus. Vgl. KIRSCH (1978), S. 38 u. 144; HOFMANN, J. (1985), S. 93ff.; HOFF, H. (1986), S. 37ff., insbesondere S. 37; EUL-BISCHOFF (1987), S. 67ff.; ähnlich auch HINTZ (1987), S. 88f. Oder die problemorientierten Komplexitätsauffassungen konzentrieren sich auf den Ressourceneinsatz für die Problemlösung. Vgl. PARKER, R. (1982a), S. 4; ZELEWSKI (1989a), S. 2f.

70) Flexible Fertigungssysteme werden den beiden nachstehenden Komplexitätsbedingungen gerecht. Dies im einzelnen zu belegen, wird hier nicht versucht, sondern nur grob skizziert. Der Vielfaltsprämisse wird Genüge geleistet, weil bei flexiblen Fertigungssystemen die Ausführungen einer Vielzahl von Arbeitsgängen koordiniert werden müssen. Jeder dieser Arbeitsgänge wird dabei in systemtheoretischer Weise als ein Teilprozeß konzeptualisiert. Zu jedem Arbeitsgang gehören zwei teilprozeßkonstituierende Ereignisse: das Start- und das Schlußereignis für den Beginn bzw. den Abschluß der Arbeitsgangausführung. Zwischen diesen Ereignissen bestehen vielfältige kausale Abhängigkeiten in der Form von Folge- und Ressourcenbeziehungen. Diese kausalen Abhängigkeiten determinieren die zeitliche Anordnung der Ereigniseintritte nicht vollständig, so daß die Ereignisse in ihrer Gesamtheit nur einer kausalen Halbordnung unterliegen. Also wird auch die Halbordnungsprämisse erfüllt.

Darüber hinaus läßt sich auf die spätere Fallstudie verweisen. Dort wird eine Vielzahl von Teilprozessen modelliert. Die Ausführungen dieser Teilprozesse wird in Netzmodulen durch Schaltakte von Transitionen vorangetrieben. Diese Transitionen besitzen die Qualität von Ereignissen, deren Geschehnisse die jeweils aktuellen Modulzustände verändern. Die Transitionen können zum Teil kausal voneinander unabhängig schalten (nebenläufig aktivierte Transitionen). Ebenso ist es möglich, daß ihre Schaltakte kausal voneinander abhängen: Entweder ruft das Schalten einer Transition erst diejenige Netzmarkierung hervor, die zum Schalten einer anderen Transition erforderlich ist (schwache kausale Folgebeziehung). Oder das Schalten einer Transition schafft die Notwendigkeit für das zeitlich spätere Schalten einer anderen Transition (starke kausale Folgebeziehung). Oder zwei Transitionen sind konfliktionär zueinander aktiviert, weil sie gemeinsam um eine knappe Ressource konkurrieren (kausale Ressourcenbeziehung). Folglich wird das Spektrum kausaler Halbordnungen bei der späteren Modellierung flexibler Fertigungssysteme intensiv genutzt.

71) Eine präzise Festlegung, wie groß diese Prozeßanzahl mindestens sein soll, ist für die Zwecke dieser Arbeit nicht erforderlich. Die Mindestanzahl muß aber auf jeden Fall zwei Teilprozesse umfassen, damit ein *Zusammenwirken* von Teilprozessen bei der Konstitution des Systemverhaltens definiert ist.

72) Vgl. zu ähnlichen Vielfaltsfeststellungen ALDINGER (1985a), S. 106 (hinsichtlich der kurzfristigen Produktionsplanung bei Einzel- und Kleinserienfertigung); MERTINS (1985a), S. 101 (Die "... Vielfalt der möglichen Kombinationen im Werkstattbereich ist ... so groß, daß sie sich einer Algorithmierbarkeit weitgehend entzieht."); KOCHAN, D. (1986), S. 35 ("The possible permutations and combinations of workpieces, tools, pallets, transport vehicles, transport routes, operations, etc., and their resulting performance, are almost endless.").

73) Von der Halbordnung einer Menge wird hier in einer ersten Annäherung gesprochen, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind. Erstens muß die Menge mindestens zwei Elemente umfassen. Zweitens muß über der Menge eine zweistellige Anordnungsrelation definiert sein, für die gilt: Mindestens zwei Elemente aus der Menge erfüllen als geordnetes Paar die Anordnungsrelation. Sie werden als - relationsspezifisch - geordnete Elemente bezeichnet. Weitergehende Anforderungen an die Halbordnung einer Menge werden nicht gestellt. Das bedeutet, daß andere zwei Elemente aus der Menge existieren können, deren beide kombinatorisch möglichen geordneten Paare die Anordnungsrelation über der Menge nicht erfüllen. Es handelt sich dann um Elemente, zwischen denen keine Anordnung besteht. Die Existenz solcher ungeordneten Elementepaare ist für halbgeordnete Mengen typisch. Allerdings wird als Grenzfall der Halbordnung auch die Vollordnung zugelassen. Er tritt immer dann ein, wenn je zwei verschiedene Elemente aus der Menge stets in mindestens einer Weise in der relationsspezifischen Anordnung zueinander stehen. Um diesen Vollordnungsfall einzubeziehen, wurden oben die ungeordneten Elementepaare nur als möglicher, nicht aber als notwendiger Aspekt einer Halbordnung eingeführt. Die Ausweitung des Halbordnungsbegriffs auf den vollgeordneten Grenzfall ist vorteilhaft, weil sich später *alle* Prozesse - einschließlich der linearen Prozesse mit vollständig geordneten Ereignismengen - als nebenläufige Prozesse mit halbgeordneten Ereignismengen definieren lassen.

74) Die Halbordnungsprämisse spielt für alle Probleme, in denen Systemkomponenten miteinander koordiniert werden sollen, die teilweise kausal unabhängig oder zeitlich parallel agieren können, eine fundamentale Rolle. Dies wird z.B. bei FIDELAK (1988b), S. 16ff. u. 26, deutlich. Dort wird klar herausgearbeitet, daß Ereignisgeschehnisse, die als Geschehnissequenzen im Zeitablauf vollständig geordnet sind, für die voranstehend qualifizierten Koordinierungsprobleme grundsätzlich ungeeignet sind. Dies wird später hinsichtlich der Sequentialisierungs- und Ordnie-rungsproblematik konventioneller Koordinierungskonzepte vertieft. Vgl. ebenso CHARRON-BOST (1990), S. 177 u. 183, zur entscheidenden Rolle, die Halbordnungen bei der formalen Repräsentation von Kausalzusammenhängen und kausaler Unabhängigkeit (Nebenläufigkeit) spielen.

75) Die kausale Abhängigkeit von Ereignissen wird in dieser Arbeit grundsätzlich durch zweistellige Kausalrelationen erfaßt. Eine Kausalrelation ist die Menge aller Paare (e_1, e_2) aus je zwei Ereignissen e_1 und e_2 , die in einer relationsspezifischen Weise voneinander kausal abhängen. Zwei Ereignisse werden genau dann als kausal abhängig bezeichnet, wenn eine kausalgesetzlich determinierte Beziehung zwischen den Eintritten beider Ereignisse besteht. Kausalrelationen, die über Ereignismengen definiert sind, drücken daher tieferliegende Kausalgesetze aus, die sich nicht auf die Ereignisse selbst, sondern auf deren Geschehnisse beziehen. Bezüglich der Schwierigkeiten, den Begriff kausalgesetzlicher Determiniertheit inhaltlich zu präzisieren, wird auf eine frühere Anmerkung und die dort angeführten Quellen verwiesen. In produktionswirtschaftlichen Kontexten wird oftmals nicht auf Kausalgesetze, sondern auf technisch oder technologisch bedingte Abhängigkeiten Bezug genommen. Vgl. z.B. LABMANN (1968), S. 90ff.; SCHWEITZER, M. (1986), S. 425; LABMANN (1989), Sp. 1346. Aber auch diese techn(olog)ischen Abhängigkeiten lassen sich letztlich auf kausalgesetzliche Determinanten zurückführen. Daher werden in dieser Arbeit Ereignisgeschehnisse in synonyme Weise als kausal oder technisch bedingt bezeichnet unabhängig davon, ob den Ereigniseintritten eine entweder kausalgesetzliche oder aber eine techn(olog)ische Konzeptualisierung ihrer Abhängigkeiten zugrundeliegt. Ebenso wird von produktionstechnischen Ereignisabhängigkeiten gesprochen. Darüber hinaus bietet es sich für das spezielle Erkenntnisinteresse dieser Arbeit an der Prozeßkoordination in komplexen Produktionssystemen an, hinsichtlich der Beziehung zwischen zwei kausal abhängigen Ereignissen vier Kausalitätskategorien zu unterscheiden. Da oben vorausgesetzt wurde, Produktionsprozesse in der Anschauungsform "Zeit" zu konzeptualisieren, wird zugleich das Verhältnis der Kausalitätskategorien zu zeitbezogenen Präzedenzrelationen skizziert.

Eine *schwache kausale Folgebeziehung* zwischen zwei Ereignissen liegt vor, wenn das Eintreten des einen Ereignisses eine notwendige Voraussetzung dafür ist, daß danach das andere Ereignis geschehen kann. Deshalb wird der erste Ereigniseintritt als eine partielle oder Teilursache für das zweite Ereignisgeschehnis bezeichnet. Der erste Ereigniseintritt braucht für das zweite Ereignisgeschehnis aber keine hinreichende Voraussetzung darzustellen. Daher ist das zweite Ereignis nach dem Eintreten des ersten zwar möglich, aber keineswegs gewiß. Es kann durchaus der Fall eintreten, daß das erste Ereignis zwar geschieht, aber das zweite Ereignis dennoch nicht eintritt. Die Notwendigkeit des ersten Ereignisgeschehnisses für das Eintreten des zweiten Ereignisses kann sogar noch weiter eingeschränkt werden. Dies ist dann der Fall, wenn das erste Ereignis zu einer nicht-leeren Menge von Ereignissen verallgemeinert wird, deren Geschehnisse sich wechselseitig ausschließen. Diese Ereignismenge wird dann auch als

eine Konfliktmenge angesprochen. Aus dieser Perspektive ist es nur noch notwendig, daß genau *ein* Ereignis aus der Konfliktmenge geschieht, damit das kausal abhängige zweite Ereignis geschehen kann. Um welches Ereignis es sich beim erstgenannten Ereignis handelt, bleibt jedoch unbestimmt, sofern eine mehrelementige Konfliktmenge vorliegt. In diesem Fall erweist sich das Geschehnis von keinem einzelnen bestimmten der Ereignisse aus der Konfliktmenge als notwendig für das Eintreten des zweiten Ereignisses. Es kann nur noch von der Notwendigkeit gesprochen werden, daß irgendein Ereignis aus der Konfliktmenge geschieht, damit das zweite Ereignis eintreten kann. Fortan wird darauf verzichtet, stets auf die Komplizierung von mehrelementigen Konfliktmengen explizit einzugehen. Sie wird aber als Verallgemeinerungsmöglichkeit des notwendigen ersten Ereignisses implizit mitgedacht, wenn von der schwachen kausalen Folgebeziehung zwischen zwei Ereignissen die Rede ist.

Der schwachen kausalen Folgebeziehung entspricht eine Präzedenzrelation, nach deren Maßgabe das zweite Ereignis immer zeitlich später als das erste Ereignis geschieht. Diese Präzedenzrelation unterscheidet sich aber in zweifacher Hinsicht von der vorgenannten Kausalrelation. Erstens stellt die Präzedenzrelation nur fest, daß zwei Ereignisse in einer bestimmten zeitlichen Anordnungsbeziehung stehen. Dadurch wird der Aspekt der kausalen Notwendigkeit des ersten Ereignisses für das Eintreten des zweiten Ereignisses nicht abgedeckt. Zweitens bedeutet die zeitliche Abfolgebeziehung aber auch, daß das zweite Ereignis immer eintritt, falls das erste geschehen ist. In der o.a. schwachen kausalen Folgebeziehung braucht dies keineswegs der Fall zu sein. Statt dessen kann das erste Ereignis geschehen, ohne daß jemals das zweite eintritt. Dies ist immer dann möglich, wenn Ereigniseintritte als Teilursachen nicht ausreichen, um eine hinreichende Voraussetzung für das Geschehnis eines anderen Ereignisses zu bilden. Daher bedeutet die oben erwähnte "Entsprechung" zwischen einer schwachen kausalen Folgebeziehung und einer zeitlichen Anordnungsbeziehung nicht, daß die erste die zweite implizieren würde. Vielmehr wurde soeben aufgezeigt, daß eine schwache kausale Folgebeziehung zwischen zwei Ereignisgeschehnissen mit einer "entsprechenden" zeitlichen Abfolgebeziehung verknüpft sein *kann*, aber nicht *muß*. Auf diesen Sachverhalt könnte SIMON, H. (1957a), S. 12, 34 u. 51, angespielt haben, wenn er behauptet, eine kausale Ordnung ziehe nicht notwendig eine zeitliche Ordnung nach sich. Allerdings gewährt SIMON keinen Aufschluß darüber, wie er sich kausale Ordnungen ohne entsprechende zeitliche Ordnungen konkret vorstellt. Diese Explizierungslücke wird durch die hier vorgestellte schwache kausale Folgebeziehung geschlossen. Darüber hinaus läßt sich auf naturwissenschaftliche Realitätskonzeptualisierungen verweisen. Sie beruhen oftmals auf zeitsymmetrischen Kausalgesetzen. Solche Kausalgesetze lassen durchaus Wirkungszusammenhänge zu, in denen eine Ursache ihrer Wirkung zeitlich *nachfolgt*. Dies wird z.B. von PENROSE (1989), S. 302ff., besonders deutlich auf S. 306f., beschrieben. Daher sind durchaus kausale Konzeptualisierungen möglich, die der intuitiven Zeitfolge kausaler Sachzusammenhänge diametral entgegenlaufen. Diese "Seltsamheit" kausaler Konzeptualisierungen läßt sich erst dadurch beseitigen, daß die zeitsymmetrischen Kausalgesetze nachträglich durch zeitasymmetrische Einflüsse überlagert werden. Dafür kommen insbesondere Beiträge aus dem Bereich der Thermodynamik (2. Hauptsatz) in Betracht. Vgl. PENROSE (1989), S. 304 u. 308ff.

Von einer *starken kausalen Folgebeziehung* zwischen zwei Ereignissen wird hingegen gesprochen, wenn das Eintreten des ersten Ereignisses bewirkt, daß danach das zweite Ereignis geschieht. Deshalb ist der erste Ereigniseintritt eine hinreichende Voraussetzung für das zweite Ereignisgeschehnis. Zugleich stellt der erste Ereigniseintritt eine echte oder Vollursache für das zweite Ereignisgeschehnis dar. Daher besitzt die starke kausale Folgebeziehung gegenüber ihrem schwachen Pendant den zusätzlichen Gehalt, daß das zweite Ereignis nicht nur zeitlich nach dem ersten Ereigniseintritt geschehen kann, sondern sogar *muß*. Vgl. zum modalen Notwendigkeitscharakter von (starken) Kausalbeziehungen DORN (1989), S. 79 u. 84. Jede starke kausale Folgebeziehung impliziert eine Präzedenzrelation, der zufolge das zweite Ereignis zeitlich nach dem ersten geschieht. Allerdings fehlt dieser zeitlichen Abfolgebeziehung weiterhin der modale Charakter von Kausalrelationen, inhaltlich eine Notwendigkeit auszudrücken. Statt dessen repräsentieren Präzedenzrelationen lediglich Regularitäten, die im Prinzip auch zufällig zustande gekommen sein können. Vgl. zur Denkmöglichkeit zeitlicher Abfolgebeziehungen ohne zugrundeliegende Kausalbeziehungen DORN (1989), S. 8f. u. 83. Besonders deutlich wird die kategoriale Verschiedenartigkeit zwischen kausaler Notwendigkeit und zeitlicher Regularität durch die Verwendung zweier unterschiedlicher Modaloperatoren bei DORN (1989), S. 79.

Schwache und starke kausale Folgebeziehungen stimmen aufgrund der voranstehenden Erläuterungen keineswegs mit zeitlichen Präzedenzbeziehungen überein. Aber es läßt sich eine vorsichtiger formulierte Abhängigkeit zwischen kausalen und zeitlichen Anordnungsbeziehungen feststellen: Wenn Ereignisse eintreten, zwischen denen schwache oder starke kausale Folgebeziehungen bestehen, dann lassen sich die Ereignisgeschehnisse auf einer Zeitskala anordnen. Der Halbordnung, die durch die kausalen Folgebeziehungen zwischen den Ereignissen konstituiert wird, entspricht dann eine zeitliche Halbordnung der Ereignisgeschehnisse. Dabei kann im Gegensatz zur konventionellen zeitlichen Vollordnung auf einem "Zeitpfeil" oder einer "Zeitgeraden" aber nur eine zeitliche Halbordnung erreicht werden. Denn für die Geschehnisse von Ereignissen, die in keiner kausalen Folgebeziehung stehen, bleibt ihre zeitliche Anordnung offen. Diese Ereignisse können sowohl in jeder beliebigen Reihenfolge als auch zeitgleich geschehen. In diesem speziellen, lediglich halbgeordneten Sinn kann davon gesprochen werden, daß sich kausale Folgebeziehungen zwischen Ereignissen mit zeitlichen Anordnungen von Ereignisgeschehnissen vertragen. Allerdings läßt sich im allgemeinen keine implikative Verknüpfung kausaler Folgebeziehungen mit zeitlichen Halbordnungen garantieren. Denn es ist durchaus möglich, dieselben kausalen Folgebeziehungen mit verschiedenen zeitlichen Halb-

ordnungen von Ereignisgeschehnissen zu vereinbaren. Dies folgt aus dem Freiraum schwacher kausaler Folgebeziehungen, daß kausale Folgeereignisse geschehen können, aber keineswegs geschehen müssen. Falls ausschließlich starke kausale Folgebeziehungen vorliegen, läßt sich hingegen davon sprechen, daß die kausalen Folgebeziehungen eine zeitliche Halbordnung der Ereignisgeschehnisse implizieren.

Bei einer *kausalen Wechselwirkungsbeziehung* zwischen zwei Ereignissen müssen beide Ereignisse zugleich eintreten, sofern sie überhaupt geschehen. Dies bedeutet, daß die beiden wechselwirkenden Ereignisse die Präzedenzrelation der Gleichzeitigkeit erfüllen, falls sie geschehen. Wiederum gilt jedoch, daß die Präzedenzrelation der Gleichzeitigkeit die kausale Qualität der Notwendigkeit nicht auszudrücken vermag. Statt dessen können gleichzeitige Ereignisgeschehnisse auch zufällige Koinzidenzen darstellen.

Eine *kausale Ressourcenbeziehung* zwischen zwei Ereignissen liegt schließlich vor, wenn beide Ereignisse um mindestens eine gemeinsame knappe Ressource konkurrieren, die jedes Ereignis aufgrund technischer Bedingungen zu seinem Eintreten benötigt. Darüber hinaus wird die Ressource während des Eintretens eines Ereignisses in einem ereignisspezifischen Ausmaß von der Nutzung durch das jeweils andere Ereignis abgeschirmt. Falls die vorhandene Ressourcenmenge nicht ausreicht, um beide Ereignisse zugleich geschehen zu lassen, folgt aus der kausalen Ressourcenbeziehung eine Präzedenzrelation derart, daß die beiden betroffenen Ereignisse nicht gleichzeitig geschehen können. Andernfalls ist keine bestimmte Präzedenzrelation definiert. Denn bei hinreichendem Ressourcenangebot können die betrachteten Ereignisse in jeder beliebigen zeitlichen Anordnung geschehen. Die Ressourcenkonkurrenz von Ereignissen wird hier bewußt weit gefaßt. Sie läßt es zu, daß dieselbe Ressource am Eintritt mehrerer gleichzeitiger Ereignisse beteiligt ist (*multiple Ressourcennutzung*). Nur muß das Ressourcenangebot so knapp bemessen sein, daß Koordinierungssituationen denkmöglich sind, in denen alle in Frage kommenden Ereignisse nicht gleichzeitig eintreten können, weil ihre gemeinsame Nachfrage nach der Ressource deren Angebot übersteigt. Darüber hinaus läßt der Begriff der Ressourcennutzung sowohl einen Ressourcen- als auch einen Ressourcenverbrauch durch die Ereignisgeschehnisse zu. Beim Ressourcenverbrauch mindert ein Ereigniseintritt die verfügbare Ressourcenmenge dauerhaft. Dabei bleibt eine Wiederauffüllung verbrauchter Ressourceneinheiten unberücksichtigt. Ein Ressourcengebrauch liegt dagegen vor, wenn ein Ereigniseintritt die Ressource nur vorübergehend absorbiert, nach dem Ablauf eines endlichen Zeitintervalls aber wieder freigibt. Da Ereignisse in Zeitpunkten geschehen, kann die Ressourcenfreigabe bei Zeitintervallen, die von Null verschieden sind, nur durch ein anderes Ereignis als das ressourcenabsorbierende Ereignis erfolgen. Das ressourcenabsorbierende und das ressourcenfreigebende Ereignis sind dann durch eine kausale Folgebeziehung aneinander gekoppelt. Die Einordnung der Ressourcenkonkurrenz als kausale Abhängigkeit mag auf den ersten Blick befremden. Sie läßt sich aber dadurch rechtfertigen, daß Art und Ausmaß der Beanspruchung einer Ressource Kausalgesetzen unterliegen. Hinzu kommt, daß die Begrenztheit der Ressourcenverfügbarkeit aus der Formulierung von Kausalgesetzen durch Erhaltungssätze folgt. Vgl. zur Korrespondenz von Kausalgesetzen und Erhaltungssätzen VON WEIZSÄCKER (1985), S. 48 i.V.m. S. 243.

Für das Petrinetz-Konzept spielt es eine entscheidende Rolle, zwischen starken oder schwachen kausalen Folgebeziehungen einerseits und kausalen Wechselwirkungsbeziehungen andererseits zu differenzieren. Denn nur das Konzept kausaler Folgebeziehungen, die sich jeweils durch *asymmetrische* Kausalrelationen charakterisieren lassen, wird vom Petrinetz-Konzept überdeckt. Kausale Wechselwirkungsbeziehungen implizieren dagegen *symmetrische* Kausalrelationen, die sich im Petrinetz-Konzept nicht erfassen lassen. Dies wurde bereits in einer früheren Anmerkung angedeutet; dort wurde auch schon auf spätere Vertiefungen dieses Aspekts hingewiesen. Vgl. zur Hervorhebung des asymmetrischen Charakters von kausalen Folgebeziehungen SIMON, H. (1957a), S. 12, 34 u. 50f.; DORN (1989), S. 27 u. 84. Vgl. zu den komplementären kausalen Wechselwirkungsbeziehungen und ihrer - unterschiedlich deutlich herausgestellten - Symmetrie zwischen gleichzeitig wechselwirkenden Ereignissen GEORGEFF (1986), S. 73f.

76) Interdependenz i.w.S. bildet hier den Oberbegriff zur Interdependenz i.e.S., bei der zwei Sachverhalte wechselseitig voneinander abhängen, und zur Dependenz, bei der nur ein Teilprozeß von einem anderen abhängt (aber nicht umgekehrt). Zwecks sprachlicher Vereinfachung wird - wenn nicht ausdrücklich anders vermerkt - unter dem Begriff "Interdependenz" immer die Interdependenz i.w.S. verstanden.

77) Die Nebenläufigkeit von Ereignissen - und die daraus abgeleitete Nebenläufigkeit von Teilprozessen - wird also nicht auf die zeitliche Parallelität von Ereignissen bzw. Teilprozessen zurückgeführt. Vielmehr entspricht es dem kausalen, zunächst atemporalen Charakter des Petrinetz-Konzepts, den konzepttypischen Begriff der Nebenläufigkeit zunächst in rein kausaler Weise zu definieren: Nebenläufigkeit wird mit kausaler Unabhängigkeit identifiziert. Vgl. z.B. PAGNONI (1990), S. 119; CHARRON-BOST (1990), S. 177. Erst über die Ergänzung, aus kausalen Restriktionen zeitliche Präzedenzrelationen zu folgern, wird die Möglichkeit eröffnet, Nebenläufigkeit auch als Zeitgleichheit zu interpretieren. Dabei wird jedoch im Hinblick auf nebenläufige Teilprozesse deutlich, daß deren kausale Unabhängigkeit keineswegs ausschließlich mit der zeitgleichen Teilprozeßausführung zusammenfällt. Vielmehr läßt sie ebenso das Ordinieren, das Überlappen und das Verschachteln der Prozeßausführungen zu. Daher ist der Nebenläufigkeitsbegriff des kausal fundierten Petrinetz-Konzepts inhaltsreicher definiert als der Parallelitätsbegriff von akasualen, rein zeitbezogenen Prozeßkonzeptualisierungen. Allerdings ist die kausale Unabhängigkeit von Ereignissen keineswegs denknotwendig, um die hier eingeführte Nebenläufigkeit von Teilprozessen zu erklären. Es können

auch Systeme auf der Basis von rein zeitbezogen definierten Präzedenzrelationen konzeptualisiert werden. Sie lassen ebenfalls gleichzeitige Ereigniseintritte sowie zeitlich überlappende, verschachtelte oder zeitgleich erfolgende Prozeßausführungen zu. Eine solche Konzeptualisierung erfolgt z.B. bei der Netzplantechnik.

78) Die Bedeutung von Restriktionen (Nebenbedingungen) für produktionswirtschaftliche Koordinierungsaufgaben wird besonders deutlich bei LABMANN (1968), S. 83f.; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 98; SMITH, S. (1986a), S. 48ff.; FOX, M. (1986b), S. 3ff., insbesondere S. 4f.; SCHWEITZER, M. (1986), S. 426; FREEDMAN (1988b), S. 329; VILLA (1988c), S. 361; HUBER, A. (1990a), S. 115ff.; KERN, W. (1990a), S. 262 u. 286f.; AMELING (1990), S. 67ff.; KRALLMANN (1990b), S. 491f.; WINTER, RO. (1991), S. 50ff. Vgl. auch die Anmerkungen zur restriktionspropagierenden Anpassungsplanung in einer späteren Anmerkung. Vgl. darüber hinaus die verallgemeinernd-systematisierenden Ausführungen zu Restriktionen betriebswirtschaftlichen Handelns bei KERN, W. (1986), S. 559ff. Vgl. ebenso die Erläuterungen von MAG (1988), S. 765f., zu einem "Denken in Restriktionen" (S. 764). Vgl. des weiteren die Ausführungen bei GOMEZ, P. (1975), S. 197ff., und GOMEZ, P. (1978), S. 138ff. Sie thematisieren im kybernetischen Kontext ein "Constraint-Engineering". Vgl. schließlich am Rande den restriktionsorientierten Begriff des Entscheidungsrahmens bei KOSIOL (1961a), S. 332.

79) Vgl. zur Bedeutung von Spielräumen für Problemkonzeptualisierungen GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 98f.; MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 136; KOHEN (1989), S. 42 (mit speziellem Bezug auf die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen); WOLF, J. (1989), S. 87ff. (in bezug auf flexible Planungen). Solche Spielräume werden oftmals auch nur mittelbar in der Gestalt von Aktionsparametern, Handlungsvariablen, Entscheidungsvariablen oder unabhängigen Variablen angesprochen. Vor dem Hintergrund von Flexiblen Fertigungssystemen erscheint es bemerkenswert, daß SCHNEIDER, D. (1971), S. 840f., und WOLFRAM (1990), S. 152f., Flexibilität generell auf Entscheidungsspielräume zurückführen. Diese Perspektive legt es nahe, Prozeßkoordinierungen in Flexiblen Fertigungssystemen von vornherein so zu strukturieren, daß Spielräume für Koordinierungsentscheidungen eine zentrale Rolle spielen.

80) Restriktionen werden wegen ihrer Rückführung auf kausale Abhängigkeiten auch als kausale Restriktionen oder Kausalrestriktionen bezeichnet. Da in dieser Arbeit zwischen kausal und technisch bedingten Ereignisabhängigkeiten nicht unterschieden wird, kann ebenso von technischen Restriktionen gesprochen werden. Sie werden wegen ihres Bezugs auf Produktionssysteme oftmals auch als produktionstechnische Restriktionen bezeichnet.

81) Dabei kann es sich z.B. um die - triviale - Bedingung handeln, daß das Schlußereignis eines Teilprozesses nicht vor seinem Startereignis geschehen darf.

82) Beispielsweise kommt hierfür die "Normalfolgenbeziehung" der Netzplantechnik in Betracht, daß das Startereignis des kausal folgenden Teilprozesses nicht vor dem Schlußereignis des kausal vorangehenden Teilprozesses eintreten darf.

83) In dieser Arbeit werden stets kausal zulässige Teilprozeßausführungen behandelt, falls keine ausdrücklich abweichenden Festlegungen erfolgen. Daher kann auf den präzisierenden Zusatz "kausal zulässig" verzichtet werden; er gilt als implizit vereinbart. Teilprozesse, deren Ausführungen kausal zulässig sind, werden vereinfacht als (kausal) zulässige Teilprozesse angesprochen.

84) Die gleiche Dichotomie zwischen folge- und ressourcenbezogenen Restriktionen findet sich bei FREEDMAN (1988b), S. 329 u. 336.

85) Strenggenommen sind nicht die Ereignisse selbst, sondern die Geschehnisse dieser Ereignisse in der Anschauungsform "Zeit" angeordnet. Von dieser Präzisierung wird hier abgesehen, um die Diktion zu vereinfachen. Auf die Möglichkeit, aus jeder kausalen Abhängigkeit zwischen zwei Ereignisgeschehnissen eine entsprechende temporale Abhängigkeit abzuleiten, wurde bereits kurz zuvor in einer Anmerkung eingegangen. So muß z.B. ein kausal verursachendes Ereignis stets zeitlich vor dem kausal bewirkten Ereignis geschehen, falls von den früher angesprochenen "Seltsamheiten" zeitsymmetrischer Kausalgesetze abgesehen wird. Ebenso müssen zwei kausal wechselwirkende Ereignisse immer gleichzeitig geschehen. Vgl. darüber hinaus zur Option, kausale Abhängigkeitsbeziehungen als zeitliche Restriktionen oder Präzedenzbeziehungen zu reformulieren, PAGNONI (1990), S. 119; CHARRON-BOST (1990), S. 177; THOME, R. (1990), Abschnitt K 3.4, S. 6. Die Umkehrung, daß zeitliche Anordnungen von Ereignisgeschehnissen entsprechende kausale Abhängigkeitsbeziehungen implizieren, trifft jedoch nicht zu. Beispielsweise können zwei Ereignisse, die kausal voneinander unabhängig sind, zufällig zur selben Zeit geschehen. Daher impliziert die Gleichzeitigkeit von Ereignissen keineswegs deren kausale Wechselwirkung. Vgl. dazu auch THOME, R. (1990), Abschnitt K 3.4, S. 6.

86) Zeitliche Abstandsmaße wurden bereits in einer früheren Anmerkung als Minimal- und Maximalfristen sowie als Zeitdauern eingeführt. Sie erstrecken sich zwischen zwei Ereignisgeschehnissen als zeitliche Mindest-, Höchst- bzw. Festabstände.

87) Bereits in einer früheren Anmerkung wurde vereinbart, daß in dieser Arbeit zwischen kausalen und technisch bedingten Ereignisabhängigkeiten nicht differenziert wird, weil sie gemeinsam kausalgesetzlich determinierten Cha-

rakter besitzen. In produktionswirtschaftlichen Modellierungen von Koordinierungsproblemen werden die technischen Ereignisabhängigkeiten häufig in zeitbezogener Weise ausgedrückt. Um diese temporale Konzeptualisierung von produktionstechnischen Ereignisabhängigkeiten in kausalen Restriktionen erfassen zu können, müssen die letztgenannten um das Ausdrucksmittel zeitlicher Abstandsmaße erweitert werden. Es resultieren Restriktionen mit einem bivalenten Charakter: Einerseits drücken sie die kausalgesetzlich determinierte Abhängigkeit zwischen den involvierten Ereignissen aus. Insofern handelt es sich um kausale Restriktionen. Andererseits spezifizieren sie einen zeitlichen Abstand zwischen den Ereignisgeschehnissen. Aus dieser Perspektive liegen temporale Restriktionen vor. Daher werden solche bivalenten Restriktionen fortan auch als temporal angereicherte kausale Restriktionen bezeichnet. Im Gegensatz dazu wird von rein kausalen Restriktionen gesprochen, wenn zu einer kausalen Ereignisabhängigkeit kein zeitlicher Abstand hinzugefügt wird. Eine kausale Restriktion liegt dagegen vor, wenn es nicht näher interessiert, ob entweder eine rein kausale oder aber eine temporal angereicherte kausale Restriktionen betroffen ist. Entsprechend läßt sich die Halbordnung, die einer Ereignismenge durch kausale Ereignisabhängigkeiten überlagert wird, entweder als kausalzeitliche oder aber als rein kausale Halbordnung bezeichnen. Dies ist genau dann der Fall, wenn mindestens eine bzw. keine kausale Ereignisabhängigkeit durch die Spezifizierung eines zeitlichen Abstands bereichert wurde. Andernfalls, wenn zwischen kausalzeitlichem und rein kausalem Halbordnungscharakter nicht unterschieden werden soll, wird weiterhin von einer kausalen Halbordnung geredet.

Beispielsweise besitzt die triviale Ausführungsrestriktion, daß das Schlußereignis eines Arbeitsgangs nur dann geschehen kann, wenn zuvor sein Starterereignis eingetreten ist, zunächst einen rein kausalen Charakter. Sobald jedoch als produktionstechnische Restriktion eine bestimmte Ausführungsdauer für denselben Arbeitsgang vorgegeben wird, liegt eine temporal angereicherte Kausalrestriktion vor. Start- und Schlußereignis des Arbeitsgangs sind weiterhin in der zuerst genannten kausalen Weise voneinander abhängig. Zusätzlich kommt aber das zeitliche Abstandsmaß hinzu, daß die Distanz zwischen den Zeitpunkten, in denen die beiden Ereignisse in der Anschauungsform "Zeit" aufeinander folgen, exakt die vorgegebene Ausführungsdauer betragen muß.

Nicht-triviale Ausführungsrestriktionen werden durch die produktionstechnischen Eigenarten konstituiert, die einem Produktionssystem und den darin auszuführenden Produktionsprozessen zukommen. Sie werden daher auch als (produktions-)technische Restriktionen angesprochen. Sie werden ebenfalls zunächst auf rein kausale Weise konzeptualisiert. Z.B. kann das Starterereignis des Arbeitsgangs "Gewindeschneiden" nicht geschehen, solange nicht das Schlußereignis des Arbeitsgangs "Bohren" eingetreten ist (sofern nicht uno actu ein kombiniertes Gewindebohren erfolgt). Ein zeitliches Abstandsmaß ist durch diese kausale Ereignisabhängigkeit noch nicht ausgedrückt. Allerdings läßt sie sich jederzeit durch die degenerierte Minimalfrist erweitern, daß zwischen dem Beginn des Gewindeschneidens und dem Ende des Bohrens mindestens der Zeitabstand von null Zeiteinheiten verstreichen muß. Dann liegt eine temporal erweiterte, aber weiterhin kausal fundierte Ausführungsrestriktion vor. Vgl. zu weiteren Beispielen für kausale Ausführungsrestriktionen, die bei der Bearbeitung von Werkstücken aufgrund produktionstechnischer Sachzusammenhänge eingehalten werden müssen, DÖTTLING (1981), S. 50f.

88) Da zeitbezogene Ausdrucksweisen bei der produktionswirtschaftlichen Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen weit verbreitet sind, werden kausale Restriktionen im folgenden auch oftmals in zeitbezogener Weise wiedergegeben. Dann wird nur noch von Restriktionen ohne den präzisierenden Zusatz "kausal" gesprochen. Dies gilt allerdings nur für die natürlichsprachliche Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen. Bei der späteren formalsprachlichen Konstruktion von Koordinierungsmodellen wird dagegen die Ausdruckskraft des Petri-netz-Konzepts genutzt, um streng zwischen kausalen und zeitlichen Formulierungsweisen zu unterscheiden. Darüber hinaus gilt es, zwei Besonderheiten zu beachten. Erstens läßt sich die zeitliche Reformulierung kausaler Restriktionen nur anwenden, falls die Restriktionen auf Folgebeziehungen beruhen. Für Kausalrestriktionen, die auf Ressourcenbeziehungen gründen, scheidet diese Option aus. Zweitens existieren durchaus Restriktionen zeitlicher Art, denen überhaupt keine kausale Abhängigkeit zwischen Ereignissen zugrundeliegt. Darauf wird später aus dem Blickwinkel der dispositiven Restriktionen eingegangen. Deshalb ist es keineswegs möglich, jede zeitliche Restriktion in der umgekehrten Richtung als Kausalrestriktion zu reformulieren.

89) Präzedenzbeziehungen stellen im allgemeinen Elemente aus einer dreistelligen Abstandsrelation dar, die je zwei Ereignisse mit dem zeitlichen Abstand ihrer Geschehnisse verknüpft. Abstandsrelationen wurden bereits in einer früheren Anmerkung eingeführt. Die Präzedenzbeziehungen sind nicht originär definiert, sondern aus einer rein kausalen Ereignisabhängigkeit auf dem Wege der temporalen Anreicherung abgeleitet worden. Das wurde in der vorletzten Anmerkung erläutert. Dadurch unterscheiden sich die hier betrachteten Präzedenzbeziehungen deutlich von anderen Präzedenzbeziehungen, die ohne jedes kausales Fundament in rein zeitbezogener Weise konzeptualisiert werden. Eine rein zeitbezogene Konzeptualisierung von Präzedenzbeziehungen geschieht z.B. im Rahmen der Netzplantechnik. Zwecks Abgrenzung von solchen rein zeitbezogenen Präzedenzbeziehungen werden die Präzedenzbeziehungen, die in dieser Arbeit betrachtet werden, auch als kausal fundierte - oder kurz: kausale - Präzedenzbeziehungen bezeichnet. Sie lassen sich ebenso als (produktions-)technische Präzedenzbeziehungen ansprechen. Denn die zugrundeliegenden kausalen Ereignisabhängigkeiten werden durch die technischen Eigenarten der betrachteten Produktionssysteme und -prozesse determiniert. In dieser Bezeichnungsvariante wird aber die kausale Auszeichnung von Präzedenzbeziehungen gegenüber anderen - weiterhin technisch bedingten - Präzedenzbeziehungen nicht mehr besonders herausgestellt.

90) Dieser Systemzustand wird fortan auch als aktueller Systemzustand bezeichnet.

91) Es bereitet keine Schwierigkeiten, verschieden große Teilspielräume zu identifizieren, indem entsprechende Teilsysteme des Produktionssystems betrachtet werden. Da jedes Teilsystem seinerseits als ein - reduziertes - Produktionssystem aufgefaßt werden kann, fallen auch diese Teilspielräume mit den oben thematisierten Spielräumen zusammen. Sie werden daher nicht weiter beachtet.

92) Ein Spielraum ist also die Menge aller Ereignisse, deren Geschehnisse im spielraumspezifischen Systemzustand kausal zulässig sind. In dieser Arbeit werden - sofern nicht ausdrücklich anders vermerkt - ausschließlich kausal zulässige Ereignisgeschehnisse betrachtet. Daher gilt der präzisierende Zusatz "kausal zulässig" fortan als implizit vereinbart, so daß auf seine explizite Anführung verzichtet werden kann. Darüber hinaus werden Ereignisse, deren Geschehnisse kausal zulässig sind, kurz als (kausal) zulässige Ereignisse bezeichnet.

93) Es wird unterstellt, daß zwischen je zwei Ereignissen aus demselben Spielraum genau eine dieser drei Beziehungen besteht. Falls ein Spielraum mindestens drei Ereignisse umfaßt, können seine kombinatorisch möglichen Ereignispaare verschiedenartigen Beziehungen unterliegen. Beispielsweise können von drei Ereignissen zwei in einer kausalen Ressourcenbeziehung bestehen, während das dritte Ereignis von den beiden erstgenannten jeweils kausal unabhängig ist.

94) Kausale Ressourcenbeziehungen und kausale Unabhängigkeit werden im Rahmen des Petrinetz-Konzepts durch die Konstrukte der konfliktionären bzw. nebenläufigen Aktivierung von Transitionen erfaßt. Für kausale Wechselwirkungsbeziehungen wird dagegen aufgezeigt, daß das Petrinetz-Konzept in dieser Hinsicht ein Ausdrucksdefizit besitzt. Aus dieser Eigentümlichkeit des Petrinetz-Konzepts resultiert eine bemerkenswerte Einseitigkeit, falls Zustandsübergänge durch mehrelementige Ereignismengen bewirkt werden. Denn mehrere Ereignisse können nur dann im selben Zeitpunkt geschehen und dadurch gemeinsam einen Übergang zwischen zwei benachbarten Systemzuständen hervorrufen, wenn es sich um kausal *unabhängige* Ereignisse handelt. Dies wird später anhand von Schaltschritten, die aus mehreren nebenläufig schaltenden Transitionen als Ereigniseintritten bestehen, im Kontext des Petrinetz-Konzepts näher ausgeführt. Mehrelementige Ereignismengen, die jeweils einen Zustandsübergang bewirken, könnten zwar auch auf kausal abhängige Ereignisse zurückgeführt werden, sofern diese kausal wechselwirken und deswegen zeitgleich geschehen müssen. Der Fall kausaler Wechselwirkung findet jedoch - wie zuvor festgestellt - im Petrinetz-Konzept keine Berücksichtigung. Ereignisse, die über eine Ressourcenbeziehung kausal voneinander abhängen, kommen hingegen für eine übergangsbewirkende mehrelementige Ereignismenge grundsätzlich nicht in Betracht. Denn aufgrund ihrer Konkurrenz um eine gemeinsam benötigte, aber knappe Ressource können die betroffenen Ereignisse niemals zugleich im selben Systemzustand geschehen.

95) Die Fortsetzung einer Teilprozeßausführung wird in dieser Arbeit im weitesten Sinne ausgelegt. Sie umfaßt nicht nur den Fall, daß eine bereits begonnene und noch nicht abgeschlossene Teilprozeßausführung verlängert wird. Sie erstreckt sich ebenso auf den Beginn und das Ende der Teilprozeßausführung.

96) Falls ein teilprozeßkonstituierendes Ereignis im Spielraum des aktuellen Systemzustands zwar kausal zulässig ist, aber der Koordinierungsträger darauf verzichtet, das Ereignis auch tatsächlich geschehen zu lassen, wird entsprechend darauf verzichtet, die Ausführung des betroffenen Teilprozesses im aktuellen Systemzustand fortzusetzen.

97) Die Geschehnisse von autonomen und von disponiblen Ereignissen heißen fortan autonome bzw. disponible Ereigniseintritte.

98) Als Koordinierungsträger wird in dieser Arbeit jede einzelne Person oder jede Personengruppe verstanden, die sich mit der vollständigen oder partiellen Erfüllung einer vorgegebenen Koordinierungsaufgabe befaßt.

99) Die Abhängigkeit des Ereignisgeschehnisses von einer Disposition des Koordinierungsträgers besitzt strenggenommen nur notwendigen, aber nicht hinreichenden Charakter: Das Ereignis kann nur dann geschehen, falls sich der Koordinierungsträger entschließt, das Ereignis eintreten zu lassen. Zwischen diesem Entschluß und dem tatsächlichen Ereignisgeschehnis können aber noch Verwerfungen eintreten, die dazu führen, daß das beschlossene Ereignisgeschehnis nicht verwirklicht wird. Von solchen Realisationshindernissen wird in dieser Arbeit abstrahiert.

100) Die Eigendynamik des Produktionssystems kann sowohl originären als auch derivativen Charakter besitzen. Im ersten Fall handelt es sich um Ereignisse, die im Produktionssystem "spontan" geschehen. Der derivative Fall liegt dagegen vor, wenn die autonomen Ereignisgeschehnisse im Produktionssystem durch Maßnahmen im Umsystem ausgelöst werden, die *außerhalb* des Bereichs der hier konzeptualisierten Prozeßkoordinierung erfolgen. Dafür kommen z.B. Instandsetzungsmaßnahmen in Betracht, die in dieser Arbeit nicht mehr zur Prozeßkoordinierung gerechnet werden. Dennoch können sie im Produktionssystem z.B. das Ereignis eintreten lassen, daß eine zuvor gestörte Bearbeitungsmaschine in ihren ungestörten Betriebszustand übergeht. Die autonomen Ereignisse mit derivativem Charakter entsprechen den "exogenen Variablen" und "Parametern" von MÜLLER, A. (1987), S. 367f. Autonome Ereignisse mit originärem Charakter werden in produktionswirtschaftlichen Modellierungen von Koordinie-

rungsproblemen in der Regel als Zufallsereignisse behandelt. Die daraus abgeleiteten stochastischen Koordinierungsmodelle werden in dieser Arbeit jedoch nicht verwendet. Das wird später ausführlich begründet.

101) Ebenso kann von Koordinierungsspielräumen gesprochen werden, wenn betont werden soll, daß die disponiblen Ereignisse der Entscheidungsspielräume dazu dienen, die Koordinierung von Produktionsprozessen auszugestalten.

102) Daher braucht auf die Wohldefiniertheit und Nichtentartetheit der Spielräume im folgenden nicht mehr ausdrücklich hingewiesen zu werden.

103) Sofern der nicht-entartete Spielraum nur genau ein disponibles Ereignis enthält, wird er als degeneriert bezeichnet. Zu einem nicht-degenerierten Spielraum gehören dagegen immer mindestens zwei verschiedene disponible Ereignisse. Die Unterscheidung zwischen degenerierten und nicht-degenerierten Spielräumen wird später eine Rolle spielen, wenn Erreichbarkeitsgraphen zu Entscheidungsgraphen verdichtet werden. Dort interessieren vornehmlich die Entscheidungsknoten, die jeweils einen nicht-degenerierten Entscheidungsspielraum repräsentieren.

104) Ein entarteter Spielraum wird ebenso als leerer Spielraum bezeichnet. Ein nicht-entarteter Spielraum kann dagegen auch als regulärer Spielraum angesprochen werden.

105) In welcher Weise die Spielräume bei Prozeßkoordinierungen dispositiv genutzt werden, liegt durch die vorausgesetzte kausale Halbordnung der Ereignisse im Produktionssystem noch nicht fest. Statt dessen richten sich die Koordinierungsentscheidungen vor allem auch nach Fähigkeiten und Interessen des Koordinierungsträgers. Diese Einflüsse gehören aber nicht mehr zum hier thematisierten Produktionssystem, das als Basis- oder Realsystem der industriellen Stückgüterproduktion eingegrenzt wurde. Vielmehr handelt es sich um Determinanten des Entscheidungs- oder Informationssystems, das in dieser Arbeit nicht mehr in die Konzeptualisierung von Produktionssystemen einbezogen wird. Sie bilden aber den Ausgangspunkt, um im nächsten Kapitel die systemtheoretische Strukturierung des Produktionssystems um eine entscheidungstheoretische Perspektive zu erweitern. Die dort eingebrachte Facette des Koordinierungs- oder Entscheidungsträgers erfaßt genau jene Dispositionen, die als zusätzliche Informationen aus einem übergeordneten Informationssystem diejenigen Koordinierungsspielräume wieder schließen, die im zugrundeliegenden Produktionssystem für die Prozeßkoordinierung eröffnet wurden.

106) Dies wird später im Rahmen des Petrinetz-Konzepts zur Definition nicht-linearer (Teil-)Prozesse genutzt.

107) Primär ist nur die kausale Abhängigkeit oder Unabhängigkeit der Ereignisse definiert, aus denen die Teilprozesse - neben den involvierten Systemzuständen - zusammengesetzt sind. Daher bedürfen die kausale Abhängigkeit und Unabhängigkeit von Teilprozessen einer gesonderten Betrachtung. So ist es z.B. möglich, daß zwei Teilprozesse sowohl partiell kausal abhängig als auch partiell kausal unabhängig (nebenläufig) sind. Dies ist genau dann der Fall, wenn in jedem der beiden Teilprozesse sowohl mindestens ein Ereignis vorkommt, das von mindestens einem Ereignis des jeweils anderen Teilprozesses kausal abhängig ist (partielle kausale Abhängigkeit), als auch mindestens ein Ereignis, das von keinem Ereignis des jeweils anderen Teilprozesses kausal abhängig ist (partielle kausale Unabhängigkeit). Die nachfolgend angesprochenen Spielräume des Zusammenwirkens von Teilprozessen erstrecken sich daher nur auf diejenigen Teilprozeßabschnitte, in denen die Teilprozesse voneinander kausal unabhängig sind.

Um die komplizierende Unterscheidung zwischen Teilprozeßabschnitten mit u.U. abweichender kausaler (Un-)Abhängigkeit zu vermeiden, werden nachfolgende terminologische Vereinbarungen getroffen. Zwei Teilprozesse heißen demnach kausal unabhängig oder nebenläufig, wenn für die beiden Ereignismengen, aus denen jeder Teilprozeß aufgebaut ist, gilt: Alle Ereignisse aus der einen teilprozeßspezifischen Ereignismenge sind von allen Ereignissen aus der jeweils anderen teilprozeßspezifischen Ereignismenge kausal unabhängig. Die Nebenläufigkeit zweier Teilprozesse wird also auf die vollständige Nebenläufigkeit aller Ereignispaare zurückgeführt, deren Komponenten jeweils zu einem der beiden Teilprozesse gehören. Zwei Teilprozesse werden dagegen als kausal abhängig angesprochen, wenn mindestens ein Ereignis aus der Ereignismenge eines Teilprozesses von mindestens einem Ereignis aus der Ereignismenge des jeweils anderen Teilprozesses kausal abhängig ist. Ein Gesamtsystem wird fortan als ein nebenläufiges System bezeichnet, wenn in ihm mindestens zwei nebenläufige Teilprozesse ausgeführt werden können. Aufgrund der Halbordnungsprämisse ist dies für komplexe Systeme nahezu immer möglich. Eine Ausnahme tritt nur dann ein, wenn die kausal unabhängigen Ereignisse, die aufgrund der Halbordnungsprämisse existieren müssen, gerade so an den Teilprozessen teilnehmen, daß jeder Teilprozeß von mindestens einem anderen Teilprozeß kausal abhängt. Dieser seltene Fall wird fortan - wenn nicht ausdrücklich darauf hingewiesen wird - außer acht gelassen. Unter dieser Voraussetzung fallen komplexe Systeme mit nebenläufigen Systemen zusammen. Daher kann die Prozeßkoordinierung in komplexen Systemen ebenso als die Koordinierung nebenläufiger Systeme thematisiert werden.

108) Die vier vorgenannten Präzedenzbeziehungen zwischen Teilprozessen lassen sich anhand von zwei beliebigen zeitverbrauchenden Teilprozessen TP_1 und TP_2 präzisieren, die mit den Startereignissen $e_{B,1}$ bzw. $e_{B,2}$ beginnen und mit den Schlußereignissen $e_{E,1}$ bzw. $e_{E,2}$ enden. Zeitpunkte, in denen ein Ereignis $e_{B,1}$, $e_{B,2}$, $e_{E,1}$ oder $e_{E,2}$ geschehen kann, werden mit $time(e_{B,1})$, $time(e_{B,2})$, $time(e_{E,1})$ bzw. $time(e_{E,2})$ notiert. Zwecks sachlicher Konsi-

stanz werden stets $\text{time}(e_{B,1}) < \text{time}(e_{E,1})$ und $\text{time}(e_{B,2}) < \text{time}(e_{E,2})$ vorausgesetzt. Aufgrund dieser Vereinbarungen gilt für die beiden Teilprozesse TP_1 und TP_2 im Falle ihrer:

- linearen Aneinanderreihung: entweder $\text{time}(e_{E,1}) \leq \text{time}(e_{B,2})$ oder aber $\text{time}(e_{E,2}) \leq \text{time}(e_{B,1})$;
- zeitlichen Überlappung:
 - entweder $\text{time}(e_{B,1}) \leq \text{time}(e_{B,2}) < \text{time}(e_{E,1})$ und $\text{time}(e_{E,2}) > \text{time}(e_{E,1})$
 - oder aber $\text{time}(e_{B,2}) \leq \text{time}(e_{B,1}) < \text{time}(e_{E,2})$ und $\text{time}(e_{E,1}) > \text{time}(e_{E,2})$;
- zeitlichen Verschachtelung:
 - entweder $\text{time}(e_{B,1}) \leq \text{time}(e_{B,2}) < \text{time}(e_{E,2}) \leq \text{time}(e_{E,1})$
und $(\text{time}(e_{E,2}) - \text{time}(e_{B,2})) < (\text{time}(e_{E,1}) - \text{time}(e_{B,1}))$
 - oder aber $\text{time}(e_{B,2}) \leq \text{time}(e_{B,1}) < \text{time}(e_{E,1}) \leq \text{time}(e_{E,2})$
und $(\text{time}(e_{E,1}) - \text{time}(e_{B,1})) < (\text{time}(e_{E,2}) - \text{time}(e_{B,2}))$;
- Gleichzeitigkeit: $\text{time}(e_{B,1}) = \text{time}(e_{B,2})$ und $\text{time}(e_{E,2}) = \text{time}(e_{E,1})$.

Vgl. zu ähnlichen, zum Teil noch weiter ausdifferenzierten Präzisierungen von zweistelligen Präzedenzbeziehungen DE (1985b), S. 61ff., insbesondere Fig. 3.1 auf S. 62; ALLEN, J. (1983), S. 832ff.; ALLEN, J. (1984), S. 128ff.; FAIDT (1989), S. 304ff.; DORN (1989), S. 18 u. 58ff., insbesondere S. 59; OBERWEIS (1990a), S. 14ff. Allerdings beziehen sich die vorgenannten Quellen zumeist nicht auf Teilprozesse, sondern auf Zeitintervalle. Präzedenzbeziehungen zwischen Zeitintervallen können aber ohne Schwierigkeiten auf gleiche Präzedenzbeziehungen zwischen jenen Teilprozessen abgebildet werden, die in den Zeitintervallen ausgeführt werden.

Lineare Aneinanderreihungen werden auch kurz als Reihenfolgen oder die Sequenzen angesprochen. Als Parallelität i.e.S. gilt die Präzedenzbeziehung der Gleichzeitigkeit. Wenn kein Bedürfnis besteht, zwischen den drei Präzedenzbeziehungen der zeitlichen Überlappung, der zeitlichen Verschachtelung und der Gleichzeitigkeit näher zu differenzieren, wird von Parallelität i.w.S. gesprochen. Falls kein präzisierender Zusatz erfolgt, wird unter der Parallelität von Teilprozessen fortan stets die weit gefaßte Begriffsvariante verstanden. Bei parallelen Ereignisseintritten kommt dagegen nur die Parallelität im engeren Sinne der Gleichzeitigkeit in Betracht, da für Ereignisseintritte wegen ihrer Punktförmigkeit keine ausgedehnten Zeitintervalle definiert sind. Die Nebenläufigkeit von Teilprozessen ist dagegen umfassender definiert: Sie umschließt sowohl die Parallelität i.w.S. als auch jede beliebige lineare Aneinanderreihung der betroffenen Teilprozesse.

109) Dies unterstreicht MÜLLER-MERBACH (1973), S. 506: "Das zentrale Problem im Produktionsbereich liegt außer in Betrieben mit ausschließlicher Fließfertigung fast immer in der Maschinenbelegungsplanung oder Terminfeinplanung. ... Dieses Problem ... gehört zu der Gruppe der 'ungelösten' Probleme". Die Koordinierungsschwierigkeit, die von MÜLLER-MERBACH angesprochen wurde, trifft insbesondere auch auf die Prozeßplanung und -steuerung in Flexiblen Fertigungssystemen zu. Denn Flexible Fertigungssysteme stellen hochkomplexe Produktionssysteme dar. In Kürze wird die Komplexität von Prozeßkoordinierungen auf konstitutive Merkmale von komplexen Produktionssystemen zurückgeführt. Folglich erweist sich die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen als ein besonders komplexes Koordinierungsproblem.

Einen anderen Ansatz, die hohe Koordinierungskomplexität Flexibler Fertigungssysteme zu begründen, findet sich bei HINTZ (1987), S. 3, 45 u. 58f. Seine Ausführungen (vor allem S. 59 i.V.m. S. 58) lassen erkennen, daß Koordinierungsprobleme von Flexiblen Fertigungssystemen einem erheblich breiteren Determinantenspektrum unterliegen, als es für Produktionssysteme bei Werkstattfertigung der Fall ist. Auch HELBERG (1987), S. 169f., 176f. u. 192, hebt hervor, daß die Koordinierungskomplexität von Flexiblen Fertigungssystemen infolge ihrer großen Vielfalt relevanter Einflußgrößen besonders hoch ausfällt. Zum Beleg dieses Urteils wird auf Arbeiten verwiesen, die sich mit den Determinanten, Einflußgrößen, Prämissen u.ä. befassen, die einerseits für Maschinenbelegungs- und Ablaufplanungen bei Werkstattfertigung und andererseits für Prozeßkoordinierungen in Flexiblen Fertigungssystemen gelten sollen. Vgl. zu solchen Determinantenkatalogen für "konventionelle" Werkstattfertigungen CONWAY, R. (1967), S. 4ff.; MUSCATI (1970), S. 27ff. u. 50; RÜGER (1974), S. 9ff.; BRUCKER (1975), S. 2ff.; SEELBACH (1975a), S. 14ff., insbesondere S. 16ff.; FRENCH, S. (1982), S. 5f., 8f. u. 198ff.; OSMAN (1982), S. 28f.; ALDINGER (1985a), S. 105f.; STADTLER (1986), S. 201; KOCHAN, D. (1986), S. 135; HINTZ (1987), S. 57f.; MISSBAUER (1987), S. 23f. Vgl. demgegenüber zu analogen Determinantenkatalogen für Flexible Fertigungssysteme KOCHAN, D. (1986), S. 35; HINTZ (1987), S. 59. Vgl. darüber hinaus das Spektrum der Einflußgrößen, die in der später präsentierten Fallstudie für die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen berücksichtigt werden. Ein Vergleich der Determinantenkataloge für Werkstattfertigungen mit der Einflußgrößenvielfalt bei Flexiblen Fertigungssystemen bestätigt die oben geäußerte Vielfaltsbehauptung. Mit der Einflußgrößenvielfalt geht eine große Anzahl von Freiheitsgraden einher, die bei der Bearbeitung von Koordinierungsproblemen in Flexiblen Fertigungssystemen ausgeschöpft werden können. Vgl. DÖTTLING (1981), S. 41f.; HINTZ (1987), S. 59. Daher läßt sich die besonders hohe Koordinierungskomplexität Flexibler Fertigungssysteme ebenso auf ihre - im Vergleich zu Werkstattfertigungen - größere Anzahl von Freiheitsgraden zurückführen. Vgl. KNOOP (1986), S. 26ff.; FOX, M. (1986c), S. 304; ZELEWSKI (1988c), S. 42; ZELEWSKI (1990a), S. 58. Indirekte Hinweise auf die hohe Koordinierungskomplexität Flexibler Fertigungs-

systeme stellen auch die Klagen über Defizite bei der Planung und Steuerung von Produktionsprozessen in solchen Systemen dar. Diese Koordinierungsdefizite wurden bereits in einer früheren Anmerkung erwähnt.

Abweichender Ansicht ist NIEB (1980), S. 29. Er äußert die Ansicht, Maschinenbelegungsprobleme bei Flexiblen Fertigungssystemen lägen nur in der Größenordnung von 20 Aufträgen und 10 Maschinen, die einander zugeordnet werden müßten. Diese Zuordnungskomplexität sei wesentlich geringer als bei analogen Problemstellungen der Werkstattfertigung, die sich auf etwa 100 Aufträge und 100 Maschinen erstreckten. Der Verf. kann sich dieser Meinung jedoch nicht anschließen (ohne die angegebenen Größenordnungen in Zweifel ziehen zu wollen). Einerseits übersieht NIEB die Fülle von Einflußgrößen, von denen - neben Aufträgen und Maschinen - die Maschinenbelegung Flexibler Fertigungssysteme ebenso abhängen kann. Auf die Vielfalt der Freiheitsgrade in Flexiblen Fertigungssystemen wurde schon oben hingewiesen. Andererseits ist es für die Lösungskomplexität kombinatorischer Probleme, zu denen Maschinenbelegungsprobleme gehören, ohnehin von geringer Bedeutung, ob der absolute Problemumfang etwas größer oder kleiner ausfällt. Denn das kombinatorische Explodieren des Lösungsaufwands solcher Probleme setzt schon bei geringen Problemumfängen ein, so daß der Effekt geringerer Problemumfänge rasch überkompensiert wird. Vgl. dazu die Erläuterungen zu lösungsdefekten Problemen, die in dieser Arbeit an anderer Stelle erfolgen.

110) Der restriktive Koordinierungsaspekt wurzelt in der kausalen Abhängigkeit von Ereignissen, die Perspektive von Koordinierungsspielräumen dagegen in der kausalen Unabhängigkeit von Ereignissen.

111) Diese primäre Zeitorientierung von Beschreibungen, die sich auf veränderliche Sachverhalte beziehen, wird besonders deutlich bei SINZIG (1983), S. 104 (Da alle ... Ereignisse eindeutig auf der Zeitachse festgelegt werden können, enthält die Beschreibung ... zwingend die Zeitdimension").

112) Dies entspricht der vorherrschenden Aufeinanderfolge von Oberflächenbeschreibungen und Tiefenerklärungen.

113) Eine Nebenwirkung dieser kausalen Systemstrukturierung liegt darin, daß zunächst eine Reduktion des erforderlichen Skalenniveaus erfolgt. Denn die kausale Abhängigkeit von Ereignissen unterliegt nur einer Ordinalskala. Zeitbezogene Konzeptualisierungen von Produktionsprozessen setzen dagegen im allgemeinen eine metrische Zeitskala voraus. Darauf wurde schon in einer früheren Anmerkung hingewiesen. Die Reduktion des Skalenniveaus wirkt sich u.a. auf die Informationsanforderungen der Problemkonzeptualisierung aus. Denn metrische Skalen sind grundsätzlich informationsreicher als Ordinalskalen. Daher erlaubt die rein kausale Konzeptualisierung dynamischer Systemaspekte, mit geringeren Informationsvoraussetzungen auszukommen. In einer früheren Anmerkung wurden zwei analoge Folgebeziehungen zwischen zwei Ereignissen einmal auf kausale und das andere Mal auf temporale Weise ausgedrückt. Dabei benötigte die starke kausale Folgebeziehung, der zufolge ein Ereigniseintritt das Geschehnis eines anderen Ereignisses bewirkt, nur eine zweistellige asymmetrische Kausalrelation. Die alternative temporale Folgebeziehung, der zufolge ein Ereignis zeitlich früher als ein anderes Ereignis geschieht, führte dagegen zu einer dreistelligen metrischen Abstandsrelation. Sie umfaßte als zusätzliche Information ein zeitliches Abstandsmaß in der Gestalt einer Zeitdauer, einer Minimal- oder einer Maximalfrist. Die Angabe eines solchen Zeitabstands ist bei der rein kausalen Konzeptualisierung überhaupt nicht erforderlich. Allerdings gilt die Reduktion des Skalenniveaus nur in dem Ausmaß, wie es für die Konzeptualisierung eines Koordinierungsproblems ausreicht, ausschließlich kausale Verursachungszusammenhänge zu erfassen. Es wurde jedoch schon darauf hingewiesen, daß zeitbezogene Problemdeterminanten bei der Problemkonzeptualisierung aus produktionswirtschaftlicher Sicht eine herausragende Rolle spielen können. Daher ist es oftmals nötig, bei der Konstitution von Spielräumen nicht nur rein kausale Restriktionen zu berücksichtigen. Statt dessen müssen auch temporal angereicherte Kausalrestriktionen erfaßt werden. Auf diese Fälle trifft die oben angesprochenen Reduktion des Skalenniveaus nicht mehr zu.

114) Dies schließt jedoch nicht aus, daß später zusätzliche zeitbezogene Determinanten von Koordinierungsproblemen erfaßt werden, welche die Tiefenerklärung des kausalen Koordinierungszusammenhangs *ergänzen*. Dabei kann es sich einerseits um die temporal angereicherten Kausalrestriktionen handeln, die bereits vorgestellt wurden. Andererseits lassen sich auch zeitbezogene Restriktionen erfassen, die überhaupt kein kausales Fundament besitzen. Sie werden in Kürze als dispositive Restriktionen vorgestellt.

115) Auf die Problematik "realistischer" Modellierungen wird später näher eingegangen. Vorerst wird von ihr abgesehen. Statt dessen wird ein naives Vorverständnis dessen unterstellt, was eine "realitätsnahe" Konzeptualisierung ist.

116) Auf einen Aspekt wurde bereits in einer früheren Anmerkung hingewiesen: Dispositive Einflüsse aus dem Entscheidungs- oder Informationssystem schließen die kausal eröffneten Spielräume durch Koordinierungsentscheidungen. Auf diese spielraumbezogenen Entscheidungen wird nachfolgend nicht mehr explizit eingegangen. Statt dessen wird nur noch die Erweiterung der koordinierungsrelevanten Restriktionenmenge thematisiert.

117) Dispositive Restriktionen werden insbesondere im Rahmen der Einflußgrößenrechnung, auf die später näher eingegangen wird, als "dispositionsbestimmte" Funktionen oder Beziehungszusammenhänge thematisiert; vgl. LARMANN (1968), S. 96ff.; SCHWEITZER, M. (1986), S. 425f.; LARMANN (1989), Sp. 1346.

118) Die dispositiven Restriktionen werden daher auch als personenbezogene Restriktionen angesprochen. Vgl. dazu die komplementäre Kategorie sachbezogener Restriktionen in einer späteren Anmerkung.

119) Die zeitlichen Anordnungsbeziehungen werden zumeist durch zweistellige Präzedenzbeziehungen ausgedrückt, die um ein zeitliches Abstandsmaß für die beiden involvierten Ereignisgeschehnisse erweitert sind. Jede Präzedenzrelation, die eine Menge aus solchen zeitlich erweiterten Präzedenzbeziehungen darstellt, gehört dann strenggenommen zu den dreistelligen Abstandsrelationen, die in einer früheren Anmerkung erwähnt wurden. Der Einfachheit halber werden aber fortan sowohl Präzedenzrelationen, die aus "reinen" zweistelligen Präzedenzbeziehungen bestehen, als auch Präzedenzrelationen, die aus zeitlich erweiterten zweistelligen Präzedenzbeziehungen aufgebaut sind, gemeinsam als (zweistellige) Präzedenzbeziehungen angesprochen.

Präzedenzbeziehungen, die nicht kausal fundiert sind, sondern auf Entscheidungen des Koordinierungsträgers beruhen, heißen auch dispositive Präzedenzbeziehungen. Dabei spielt es keine Rolle, ob diese Präzedenzbeziehungen durch ein zeitliches Abstandsmaß ergänzt sind. Beispielsweise kann für zwei aufeinanderfolgende Arbeitsgänge, die an einem Werkstück auszuführen sind, die Präzedenzbeziehung formuliert werden, daß der zeitliche Abstand zwischen dem Startereignis des nachfolgenden Arbeitsgangs und dem Schlußereignis des vorangehenden Arbeitsgangs eine Maximalfrist nicht überschreiten soll. Diese dispositive Vorgabe mag auf der Überlegung beruhen, daß das zu bearbeitende Werkstück nach Fristablauf infolge unerwünschter Abkühlung nicht mehr die erforderliche Bearbeitungstemperatur aufweisen würde und deswegen wieder erwärmt werden müßte (vgl. KRALLMANN (1990b), S. 488f. u. Abb. 3 auf S. 490). Daher ist die voranstehende Maximalfrist nicht kausal determiniert. Vielmehr wird sie von der Entscheidung des Koordinierungsträgers bedingt, ein solches Wiedererwärmen des Werkstücks auf jeden Fall vermeiden zu wollen. Es handelt sich also um eine dispositive Präzedenzbeziehung. Eine Präzedenzrelation, die ausschließlich aus solchen dispositiven Präzedenzbeziehungen besteht, wird eine dispositive Präzedenzrelation genannt.

120) Ein Zeitpunkt wird z.B. festgelegt, wenn für einen Produktionsauftrag ein fester Fertigstellungstermin vorgegeben wird. Ein Zeitintervall wird dagegen spezifiziert, falls der Produktionsauftrag bis zu einem spätest zulässigen Fertigstellungstermin abgewickelt sein muß. Aus Zeitpunkten, in denen Ereignisse geschehen sollen, lassen sich stets zeitliche Anordnungsbeziehungen zwischen den Ereignisgeschehnissen ableiten. Bei der Vorgabe von Zeitintervallen kann dies ebenso der Fall sein; es muß aber nicht immer möglich sein.

121) Vgl. dazu die Beispiele bei LABMANN (1968), S. 79 u. 83.

122) Es wurde auch schon in einer früheren Anmerkung herausgestellt, daß sich die Skalenniveaus, die von kausalen einerseits und von zeitbezogenen Konzeptualisierungen andererseits involviert werden, deutlich unterscheiden.

123) Es hängt von der jeweils gewählten Problemkonzeptualisierung ab, welche kausal zulässigen Ereignisgeschehnisse in der Dispositionsmacht des Koordinierungsträgers stehen sollen. Diese Konzeptualisierungsentscheidungen sind in keiner Weise präterminiert oder objektivierbar. Statt dessen kann der Modellierungsträger sie nach eigenem Belieben festlegen, indem er seine konstruktive Freiheit ausschöpft. Darauf scheint auch MALIK (1986), S. 329f., anzuspielen, wenn er - in abweichender Diktion - feststellt: "Es gibt ... keine Faktoren, die a priori als gegeben oder als konstant angesehen werden können ...". Wegen dieser Konzeptualisierungsfreiheit wird darauf verzichtet, hier einen Katalog disponibler Determinanten von Koordinierungsproblemen zu präsentieren.

124) Innerhalb des Petrinetz-Konzepts läßt sich allerdings das Ergebnis der Grenzziehung klar bestimmen: In einem Netzmodell wird die Gesamtheit der disponiblen Ereignisse durch alle Transitionen repräsentiert, die in den jeweils betrachteten Modellzuständen aktiviert sind und nicht zur Klasse der Realtransitionen gehören. Es steht in der Dispositionsmacht des Koordinierungsträgers, die aktivierten Transitionen zu schalten (geschehen zu lassen) oder aber darauf zu verzichten. Die ausgeklammerten Realtransitionen erstrecken sich dabei auf alle Transitionen, deren Schaltakte anzeigen, daß entweder aus dem zugrundeliegenden realen Produktionssystem Meldungen über die dort bereits ausgeführten Produktionsprozesse eintreffen oder aber Steuerungsanweisungen hinsichtlich der noch auszuführenden Produktionsprozesse an das Produktionssystem abgesandt werden.

125) Auf die Bedeutsamkeit zeitbezogener Größen für produktionswirtschaftliche Problemkonzeptualisierung wurde schon oben ausdrücklich hingewiesen. Vgl. insbesondere die Beispiele in der zugehörigen Anmerkung. Die dort angeführten Liefertermine besitzen unmittelbar die Qualität dispositiver, temporal formulierter Restriktionen. Die ebenso erwähnten Zeitziele erhalten dann den Charakter von dispositiven Restriktionen, wenn sie als Anspruchsniveaus von Satisfizierungszielen formuliert werden.

126) Vgl. zur Werkstattsteuerung NISSING (1982b), S. 74 u. 76ff.; WICHARZ (1983), S. 121ff.; MERTINS (1985a), S. 8, 36f., 91ff. u. 101ff.; MERTINS (1985b), S. 251; REFA (1985b), S. 403; REFA (1985c), S. 327ff.; HELBERG (1987), S. 30f.; SCHMIDT, R. (1987), S. 520f.; SCHEER (1990c), S. 202f. Die Werkstattsteuerung wird inhaltlich so ausgelegt, daß sie - von hier nicht weiter interessierenden Nuancierungen abgesehen - weitgehend zusammenfällt mit den Beschreibungen von Prozeßkoordinierungen bei STUTE (1978a), S. 5ff. insbesondere S. 7, Abb. 1.2 (dispositive Steuerung des Fertigungsablaufs); HUCH (1979), Sp. 1524 (operative Durchführungsplanung und Produktionssteuerung); MAIER, U. (1980), S. 22f. u. 30 (Arbeitsgangterminierung); ALDINGER (1985a), S. 22ff. (kurzfristige Fertigungssteuerung); KERN, W. (1990a), S. 74 (operative Prozeßfeinplanung), 306 (Terminfein-

planung), 319f. (Prozeßsteuerung), 321ff. (Auftragsveranlassung) u. 346ff. (Auftragsverteilung i.V.m. S. 323); SCHWEITZER, M. (1990b), S. 653 (Fertigungssteuerung). Der Begriff der Werkstattsteuerung wird dabei so weit gefaßt, daß auch Flexible Fertigungssysteme als "Werkstätten" betrachtet werden. Dies entspricht der Sichtweise von MERTINS (1985a), S. 101, der die Werkstattsteuerung als typisches Koordinierungskonzept für mehrstufige Mehrproduktfertigungen bei Einzel-, Klein- oder Mittelserienproduktionen charakterisiert. Diese typologischen Merkmale treffen auch auf Flexible Fertigungssysteme zu. Dagegen wird der Auffassung von MERTINS (1985a), S. 93ff., 101 u. 118, nicht gefolgt, die Werkstattsteuerung müsse sich auf das Ziel einer optimalen Kapazitätsausnutzung konzentrieren. Statt dessen wird dieses Koordinierungskonzept als offen gegenüber beliebigen Koordinierungszielen behandelt. Die Ausrichtung an der Optimierung der Kapazitätsausnutzung widerspräche auch der tendenziellen Bevorzugung von Satisfizierungs- und Meliorierungs- gegenüber Optimierungszielen, die in dieser Arbeit vorherrscht.

127) Vgl. zur Leitstandsteuerung ALDINGER (1985a), S. 51ff., 64ff. u. 126ff.; ZEH (1988a), S. 208ff.; KURBEL (1988a); KURBEL (1988b), S. 581ff.; KURBEL (1989a), S. 194ff.; SCHRÖDER, H. (1989), S. 16ff.; KRALLMANN (1989b), S. 1ff.; KERN, W. (1990a), S. 330 u. 346ff.; KARGL (1990), S. 950ff. u. 965; STORR (1991a), S. 34ff. Vgl. auch zu speziellen Leitstandsteuerungen für Flexible Fertigungssysteme DEY (1984), S. 465; BÜHNER (1986c), S. 21ff. (dort als Aufgabenbereich eines Anlagenführers thematisiert); HELBERG (1987), S. 124f.; WECK (1988c), S. 31f., Abb. 2-10 u. 2-11; WECK (1991d), S. 10ff.; STORR (1991a), S. 33ff.

Der Leitstandsteuerung liegt zumeist eine besondere Form der Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen zugrunde. Dabei werden Automatische Informationsverarbeitungssysteme, die den Koordinierungsträger unterstützen sollen, in einer dreistufigen Hierarchie angeordnet: Es werden Leit-, Betriebs- und Steuerrechner unterschieden. Vgl. zu solchen Informationsverarbeitungs-Hierarchien, deren terminologischen Variationen hier nicht weiter beachtet werden, JUNGHANNS (1976), S. 90f.; STUTE (1978a), S. 9ff. u. 49f.; SPUR (1980), S. 283ff.; DÖTTLING (1981), S. 70f.; EVERSHEIM (1981), S. 168ff.; WECK (1982), S. 372ff. u. 380; HARTLEY (1984), S. 231f., 238ff. u. 236; DEY (1984), S. 458, Abb. 3; KNOOP (1986), S. 13f. u. 132f.; HELBERG (1987), S. 124f. u. 181ff.; STEINBERG (1990), S. 80. Vgl. auch die noch stufenreichere Konzeptualisierung von Steuerungshierarchien für Produktionssysteme, insbesondere Flexible Fertigungssysteme bei WEDEKIND (1986a), S. 100ff.; WEDEKIND (1986b), S. 11ff.; WEDEKIND (1987a), S. 85ff.; STORR (1991a), S. 32f.; BECKER-BISKABORN (1991), S. 71ff., insbesondere Abb. 6.2 auf S. 73. Diese Hierarchisierungen sind deutlich von der hierarchischen Konzeptualisierung der Produktionsplanung und -steuerung zu unterscheiden, auf die später eingegangen wird. Nur die oberste Hierarchieebene der Leitrechner umfaßt die dispositive Dimension der Koordinierung von Produktionsprozessen. Sie entspricht daher der betriebswirtschaftlich ausgerichteten Produktionsplanung und -steuerung. Vgl. HELBERG (1987), S. 124. Die beiden untergeordneten Ebenen der Betriebs- und Steuerrechner betreffen dagegen die technisch-operative Koordinierungsdimension. Der Ansicht von WECK (1988c), S. 31f., Abb. 2-10 u. 2-11, der neben den dispositiven auch technische Koordinierungsaufgaben zur Leitrechnerebene zählt, wird hier nicht gefolgt. Sie würde verhindern, die Leitrechner- von der Betriebs- und Steuerrechnerebene klar zu trennen.

Alle technisch-operativen Aspekte der Prozeßkoordinierung werden aus dieser Arbeit ausgegrenzt. Daher wird hier ausschließlich die Koordinierungsebene der Leitrechner berücksichtigt. Die Kombination aus einem Leitrechner und den Koordinierungskonzepten, die in der Software des Leitrechners implementiert sind, wird als ein Leitstandsystem - oder kurz: ein Leitstand - bezeichnet. Auf die Nutzung solcher Leitstände zum Zwecke der Koordinierung von Produktionsprozessen erstreckt sich die oben angeführte Leitstandsteuerung. Vgl. zu näheren Beschreibungen von Leitrechnern und Leitständen, die auch als Fertigungsleit- oder Dispositionsrechner thematisiert werden, JUNGHANNS (1971), S. 33; JUNGHANNS (1976), S. 33, 90, 118 u. 122; SPUR (1980), S. 288f.; BÜHNER (1986c), S. 22; SCHLINGENSIEPEN (1988a), S. 14f.; WECK (1991d), S. 20ff. Vgl. dagegen zu den hier ausgegrenzten Betriebs- und Zellenrechnern, die mitunter auch als Fertigungs- oder Prozeßrechner angesprochen werden, SPUR (1980), S. 283f. u. 288f. (Fertigungsrechner); i.FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 15f. (Prozeßrechner); HELBERG (1987), S. 125, Abb. 50 (mit abweichender Terminologie); JUNIKE (1988), S. 441ff. (Zellenrechner); WECK (1991d), S. 16f. (Zellenrechner in Bild 4 auf S. 17).

128) Auf eine inhaltliche Differenzierung von Werkstatt- und Leitstandsteuerung wird verzichtet, da ihre Koordinierungskonzepte weitgehend zusammenfallen. Vgl. zu ähnlichen Gleichbehandlungen von Werkstatt- und Leitstandsteuerungen z.B. ZEH (1988a), S. 208, und STORR (1991a), S. 33 (dort wird von "Werkstattsteuerungssystemen, die auf Leitebene anzusiedeln sind", gesprochen). Zwar lassen die Quellen, die in den beiden voranstehenden Anmerkungen angeführt wurden, durchaus Nuancierungen ihrer Koordinierungsperspektiven zu. Von ihnen wird aber in dieser Arbeit abgesehen, weil sie für die hier interessierende grundsätzliche Strukturierung von Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen keine Rolle spielen. Dies wird nachfolgend für die Werkstatt- und die Leitstandsteuerung anhand je eines Beispiels verdeutlicht. Darüber hinaus lassen die zuvor angesprochenen Quellen derart vielfältige inhaltliche Überschneidungen zwischen Werkstatt- und Leitstandsteuerung erkennen, daß dem Verf. ihre Separierung gekünstelt erschiene.

Beispielsweise ließe sich erwägen, die Werkstattsteuerung auf die Prozeßkoordinierung in solchen Produktionssystemen einzugrenzen, die das Organisationsprinzip der Werkstattfertigung in reiner Form verwirklichen. Der Verf. folgt dieser Perspektive jedoch nicht. Statt dessen stimmt er mit zahlreichen der Quellen aus der vorletzten Anmer-

kung darin überein, die Bezeichnung "Werkstatt" nur als umgangssprachlichen Verweis auf den Ort der industriellen Stückgüterproduktion aufzufassen. Damit wird die Schwierigkeit vermieden, entscheiden zu müssen, ob Flexible Fertigungssysteme zum Organisationstyp der Werkstattfertigung gehören. Denn Flexible Fertigungssysteme weisen zwar eine große Nähe zu diesem Organisationstyp auf. Dennoch erfüllen sie dessen übliche produktionswirtschaftliche Definition nicht vollständig. Insbesondere braucht das Verrichtungsprinzip der Werkstattfertigung, dem zufolge gleichartige Verrichtungen in "Werkstätten" räumlich zusammengefaßt werden, von Flexiblen Fertigungssystemen nicht erfüllt zu werden. Zugleich lassen sich Flexible Fertigungssysteme aber noch weniger einem anderen der "klassischen" Organisationstypen für industrielle Produktionen zuordnen. Die voranstehend nur angedeuteten Typisierungsprobleme entfallen dagegen unter der oben getroffenen Festlegung, die Werkstattsteuerung nicht auf den Organisationstyp der reinen Werkstattfertigung zu beschränken. Damit läßt sich das Konzept der Werkstattsteuerung auch auf die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen anwenden. Zur Vertiefung der Frage, welchem Organisationstyp Flexible Fertigungssysteme zuzurechnen seien, wird auf die einschlägige Literatur verwiesen. Vgl. KERN,W. (1990a), S. 93 (Dort werden Flexible Fertigungssysteme als eine "spezielle ... Realisationsform teilautonomer Arbeitsgruppen" eingestuft. Sie gehören zum Organisationstyp der Gruppenfertigung, der sich seinerseits "der Werkstattfertigung annähert"). Vgl. darüber hinaus zur näheren Charakterisierung der Organisationstypen industrieller Produktion, die oben kursorisch als "klassisch" bezeichnet wurden, KERN,W. (1990a), S. 91ff.

Analog zur vorangehenden Erörterung der Werkstattsteuerung ließe sich die Leitstandsteuerung in instrumenteller Hinsicht auf solche Konzepte für die Prozeßkoordinierung einengen, die mit der Hilfe von "elektronischen" Leitständen realisiert werden. Auch davon sieht der Verf. in dieser Arbeit ab. Denn es geht ihm nur um die Koordinierungskonzepte - insbesondere um die konzeptualisierten Entscheidungsspielräume der Leitstandbenutzer -, nicht aber um die Konzeptimplimentierungen auf Automatischen ("elektronischen") Informationsverarbeitungssystemen.

129) Vgl. dazu die begrifflichen Präzisierungen im Rahmen des regelungstheoretischen Strukturierungsparadigmas. Vgl. auch die Charakterisierung der Werkstattsteuerung als kurzfristige Feinplanung der Belegung von Maschinen mit Produktionsaufträgen bei MERTINS (1985a), S. 89, 91 u. 95; HELBERG (1987), S. 30f.; SCHMIDT,R. (1987), S. 520; SCHNEEWEIF,C. (1988), S. 287 (er führt die Werkstattsteuerung nicht nur als Synonym zur Produktionssteuerung, sondern ebenso als Synonym zur Terminfein- und Maschinenbelegungsplanung ein).

130) Vgl. KERN,W. (1990a), S. 306, 317 u. 320 (Abb. 98).

131) Vgl. KERN,W. (1990a), S. 301ff., insbesondere S. 302.

132) Terminfein- und Maschinenbelegungsplanung präzisieren ihrerseits die früher erwähnte Ablaufplanung.

133) Vgl. KERN,W. (1990a), S. 317, 321ff. (ohne die dort eingeschlossene Feinterminierung und Reihenfolgeplanung) u. S. 346.

134) Vgl. KERN,W. (1990a), S. 318, 322f., 346 u. 348ff. Zentrale Komponente der Überwachung von Prozeßausführungen ist die Betriebsdatenerfassung. Vgl. zur Betriebsdatenerfassung als Komponente von PPS-Systemen BENDEICH (1977), S. 11ff. u. 34ff.; BENDEICH (1979), S. 67ff. u. 80ff.; WECK (1982), S. 391ff.; MERTINS (1985a), S. 140ff. (mit speziellem Bezug zur Werkstattsteuerung); ALDINGER (1985a), S. 82ff.; KERN,W. (1990a), S. 347f. u. 350f.; ROSCHMANN (1990a), S. 200ff.; ROSCHMANN (1990b), S. 167ff.; ROSCHMANN (1991a), S. 95ff.; ROSCHMANN (1991b), S. 196ff.; KAISER,K. (1991), S. 43ff. Vgl. speziell zur Betriebsdatenerfassung für Flexible Fertigungssysteme STUTE (1978a), S. 7, 22ff., 29ff. u. 49ff.; KNOOP (1986), S. 15f.; SCHMIDT,HU. (1989), S. 95.

Die Betriebsdatenerfassung wird hier nur so weit einbezogen, wie sie diejenigen Systemmeldungen über Ereignisse im koordinierten Produktionssystem liefert, die weiter oben im Zusammenhang mit Realtransitionen angesprochen wurden. Es wird unterstellt, daß es mit Hilfe der Betriebsdatenerfassung möglich ist, im Informationssystem die aktuelle Situation des realen Produktionssystems jederzeit zeitnah abzubilden. Alle Schwierigkeiten, die aus zeitlichen Verzögerungen bei der Datensammlung im Produktionssystem sowie bei der Datenübermittlung an das Informationssystem auftreten können, bleiben dabei unbeachtet. Ebenso finden zeitliche Verzögerungen keine Berücksichtigung, die während der Übermittlung von Steuerungsanweisungen an das Produktionssystem und während ihrer dort erfolgenden Umsetzung in reale Prozeßausführungen auftreten mögen. Unter diesen vereinfachenden Annahmen kann von einer Online- oder Realzeit-Betriebsdatenerfassung gesprochen werden. Ihre aktuelle Situationsabbildung wird mitunter als prozeßnahe Dispositionsmöglichkeit bezeichnet. Vgl. zur Bedeutung der aktuellen Situationsabbildung für Zwecke der Prozeßkoordinierung HOCH (1973), S. 39f.; STUTE (1978a), S. 80; BECKER,J. (1978), S. 513 u. 516; SPUR (1980), S. 319 u. 364; NISSING (1982b), S. 77; WICHARZ (1983), S. 368; MERTINS (1985a), S. 8, 101 u. 117f.; ALDINGER (1985a), S. 37, 45ff. u. 103; KNOOP (1986), S. 77; HELBERG (1987), S. 31, 159f. u. 166; KREIMEIER (1988), S. 394. Vgl. daneben auch MALIK (1986), S. 486 (mit Bezug auf beliebige Systeme), und KAISER,K. (1991), S. 46, 48, 52 u. 59 (im Kontext der Kosten- und Leistungsrechnung). Betriebsdatenerfassungssysteme, die PPS-Systeme und hiervon koordinierte Produktionssysteme "online" oder in Realzeit miteinander verknüpfen, werden z.B. von NISSING (1982b), S. 76; KNOOP (1986), S. 16, 81, 83, 92, 95, 114, 210, 213 u. 216 (mit speziellem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme), und STEINBERG (1990), S. 78 u. 79f., behandelt. Sie werden in Flexiblen Fertigungssystemen derzeit schon häufiger realisiert, stellen aber noch nicht den Regelfall dar.

Vgl. MERTINS (1985b), S. 255ff., in dessen Untersuchung von 157 Flexiblen Fertigungssystemen etwas mehr als ein Drittel eine Online-Verknüpfung aufweisen; KOCHAN, D. (1986), S. 60f., 68f. u. 84f., der bei 29 analysierten Flexiblen Fertigungssystemen zu knapp 50% eine Online-Verknüpfung feststellt; WILDEMANN (1987a), S. 346ff., wo von 36 untersuchten Flexiblen Fertigungssystemen nur für 9 Exemplare eine Online-Betriebsdatenerfassung bestätigt wurde. Vgl. auch ähnliche Ergebnisse bei FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 534ff.; MERTINS (1985a), S. 160ff.

135) Der Verf. verzichtet darauf, alle ausgegrenzten Koordinierungsbereiche aufzuführen. So wird etwa - als *pars pro toto* - auf die Kapazitätsanpassungs- und -abgleichsplanung nicht weiter eingegangen. Sie wird von NIEB (1980), S. 19 u. 36ff., insbesondere S. 56ff., speziell im Hinblick auf Flexible Fertigungssysteme thematisiert.

136) Vgl. zu einem Überblick über ihr Aufgabenspektrum KERN, W. (1990a), S. 285ff. Die Ausgrenzung der Arbeits- und Auftragsplanung bedeutet insbesondere, daß mindestens zwei Planungsaspekte unbeachtet bleiben, die sonst bei der Koordinierung komplexer Produktionssysteme größere Beachtung finden: die Losgrößenbestimmung und die Teilefamilienbildung. Damit wird zugleich die Frage ausgeklammert, wie auftragsunabhängig erstellte Arbeitspläne und vorliegende Kunden-, Vorrats- oder Ersatzaufträge zu Produktionsaufträgen umgewandelt werden. Dies entspricht der früheren Strukturierungsprämisse, Produktionsaufträge als fest vorgegeben zu behandeln.

137) Als Feinsteuerung Flexibler Fertigungssysteme wird hier die Steuerung der Prozeßausführung *innerhalb* einzelner Bearbeitungs- oder Lagerstationen sowie *während* der Transportabwicklung verstanden. Damit werden insbesondere Konzepte der "Zellensteuerung" ausgegrenzt, die sich der Produktionssteuerung in Flexiblen Fertigungszellen widmen. Dies gilt zumindest dann, wenn diese Fertigungszellen jeweils als eine Bearbeitungsstation konzeptualisiert werden. Falls hingegen eine Flexible Fertigungszelle als ein Teilsystem modelliert wird, das aus mehreren Bearbeitungsstationen aufgebaut ist, wird die zelleninterne Produktionssteuerung auch durch das Koordinierungskonzept dieser Arbeit überdeckt. Darüber hinaus findet keine detaillierte Steuerung von Lager- und von Transportprozessen statt. Statt dessen werden sie als unstrukturierte, atomare Arbeitsgänge (Lager- bzw. Transportvorgänge) behandelt. Die Ausgrenzung von Zellen-, Transport- und Lagersteuerungen aus der hier thematisierten Werkstatt- und Leitstandsteuerung entspricht der betriebswirtschaftlich etablierten Differenzierung zwischen PPS- und CAM-Systemen. Denn Lager- und Transportsteuerungen werden im allgemeinen als Komponenten von CAM-Systemen betrachtet. Vgl. HELBERG (1987), S. 22f. Vgl. zum Aufgabenspektrum von CAM-Systemen (CAM steht für: Computer Integrated Manufacturing), KOCHAN, D. (1986), S. 2f. u. 147ff.; HELBERG (1987), S. 20ff.

Bezüglich aller voranstehend angesprochenen Aufgaben der Feinsteuerung in Flexiblen Fertigungssystemen wird auf die einschlägige Literatur verwiesen. Vgl. zur Zellensteuerung Flexibler Fertigungssysteme, insbesondere Flexibler Fertigungszellen, HELBERG (1987), S. 183f.; JUNIKE (1988), S. 441ff. (Zellenrechner); KOHEN (1989), S. 41f. (dort als Subsystemsteuerung thematisiert); WECK (1991d), S. 15ff. (als Ablaufsteuerung für Funktionsbereiche, die jeweils einzelnen Fertigungszellen entsprechen). Vgl. darüber hinaus zu den Steuerungskomponenten einzelner Bearbeitungsmaschinen oder komplexerer Bearbeitungsstationen ROPOHL (1971), S. 147f. (er erörtert die Maschinensteuerung als ein selbständiges Subsystem Flexibler Fertigungssysteme); JUNGHANN (1976), S. 66ff.; SPUR (1980), S. 50ff.; KOCHAN, D. (1986), S. 10ff. Vgl. zur Transportsteuerung SPUR (1980), S. 275ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 144ff.; WICHARZ (1983), S. 378ff.; MERTINS (1985a), S. 109; KNOOP (1986), S. 152ff.; HELBERG (1987), S. 143f. Dabei kann es sich z.B. um die Auswahl distanz- oder kostenminimaler Transportwege zwischen vorgegebenen Lager- und Bearbeitungsstationen handeln. Vgl. SPUR (1980), S. 276 u. 281; KNOOP (1986), S. 144; HELBERG (1987), S. 144. Vgl. zur Lagersteuerung MERTINS (1985a), S. 109; SPUR (1985b), S. 219ff. Zur Lagersteuerung gehören beispielsweise Entscheidungen über Einlagerungsorte für Werkstücke in chaotisch verwalteten Zentrallagern unter dem Aspekt der Minimierung erwarteter Zugriffskosten. Vgl. zur chaotischen Lagerhaltung in Flexiblen Fertigungssystemen FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 148f.; HELBERG (1987), S. 23.

Darüber hinaus bleibt auch die integrierte Materialflußsteuerung ausgeschlossen, sofern sie nur zur gegenseitigen Abstimmung von Transport- und Lagersteuerung dient. In diesem Fall werden die Dispositionen über Maschinenbelegungen von Maßnahmen der Materialflußsteuerung nicht unmittelbar betroffen. Vgl. zur integrierten Materialflußsteuerung in Flexiblen Fertigungssystemen SPUR (1980), S. 273ff. Schließlich findet die Steuerung der Qualitätssicherung, mit der sich vor allem HELBERG (1987), S. 145ff. beschäftigt, ebenso keine nähere Würdigung. Sie kann z.B. dazu führen, zusätzliche Werkstückinspektionen anzuordnen, wenn anomale Qualitätsschwankungen entdeckt werden.

138) Hierdurch erfolgt eine "vertikale Partialisierung" im Sinne von SCHÜLER (1989), Sp. 1340.

139) Mit der Faktorbereitstellungsplanung ist implizit stets auch die Steuerung der Faktorbereitstellung gemeint. Vgl. zur Faktorbereitstellungsplanung z.B. GUTENBERG (1983), S. 171ff.

140) Dies entspricht der "horizontalen Partialisierung" bei SCHÜLER (1989), Sp. 1340. Die Ausgrenzung der Faktorbereitstellungsplanung korrespondiert mit der - für Maschinenbelegungsplanungen - üblichen Prämisse, daß alle erforderlichen Produktionsfaktoren zu Beginn des Planungszeitraums zur Verfügung stehen. Vgl. KNOOP (1986), S. 28. Vgl. dazu auch die ähnliche Festlegung bei GUTENBERG (1983), S. 199, daß alle Produktionsfaktoren "zu den verlangten Zeitpunkten vorhanden sind", bevor mit der Planung von Prozeßausführungen begonnen wird.

141) Vgl. STUTE (1978a), S. 93f. (i.V.m. S. 79 u. 82); SPUR (1980), S. 447ff.

142) Es könnte kritisiert werden, daß die Integration von Prozeßkoordinierung einerseits und Koordinierung der Werkzeugbereitstellung andererseits in einem "Totalansatz" zu besseren Koordinierungsergebnissen führt, als es bei deren jeweils partieller Behandlung möglich ist. Die *theoretische* Berechtigung dieses Einwands bestreitet der Verf. keineswegs. Statt dessen schließt er sich den Ausführungen von SCHÜLER (1989), Sp. 1338f., an, denen zufolge eine Total- jeder Partialplanung theoretisch überlegen sein *muß*. Die Schwierigkeiten liegen jedoch in der *praktischen* Bewältigung der informatorischen Voraussetzungen und der Ausführungskomplexität von Totalplanungen. Vgl. SCHÜLER (1989), Sp. 1339. Aus diesem Grund bescheidet sich der Verf. mit der partiellen Prozeßkoordinierung unter Ausklammerung der Faktorbereitstellungsplanung. Hierdurch wird die Koordinierungskomplexität von Produktionsprozessen in Flexiblen Fertigungssystemen deutlich reduziert. Allerdings wird dieser Komplexitätsreduktion im Rahmen der späteren Fallstudie dadurch entgegengewirkt, daß Werkzeuge explizit und detailliert modelliert werden. Auf diese Weise ist es möglich, das Vorhandensein von Werkzeugen an Bearbeitungsstationen darzustellen. Gleiches gilt für die Modellierung des Werkzeugflusses zwischen Bearbeitungs- und Lagerstationen. Dadurch erfolgt zwar noch keine Faktorbereitstellungsplanung. Aber die Repräsentation realer Koordinierungsprobleme wird von vornherein so detailliert ausgelegt, daß sie eine spätere Integration der Faktorbereitstellungsplanung - insbesondere des Werkzeugmanagements - ohne größere Schwierigkeiten zuläßt.

143) Die dispositive Dimension von Prozeßkoordinierungen erstreckt sich auf die betriebswirtschaftlich orientierte Gestaltung von Produktionsprozessen. Sie umgreift alle sachlichen, räumlichen und zeitlichen Entscheidungen (Dispositionen) über Faktorzuordnungen und Prozeßausführungen, die zur Abwicklung von Produktionsaufträgen erforderlich sind. Hinzu kommt die Auftragsverwaltung, die in dieser Arbeit jedoch nicht als eigenständige Koordinierungsaufgabe thematisiert wird. Vgl. zur dispositiven Koordinierungsdimension STUTE (1976b), S. 184 u. 186f.; STUTE (1978a), S. 5 u. 14; DÖTTLING (1981), S. 28ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 52 u. 152; SELIGER (1983), S. 32, 35f. u. 59f.; MERTINS (1985a), S. 8, 36f. u. 103ff.; MERTINS (1985b), S. 251; HELBERG (1987), S. 67f.; HINTZ (1987), S. 44f.; WILDEMANN (1988c), S. 41f. u. 80; WECK (1988c), S. 31, Abb. 2-10. HELBERG und HINTZ benutzen zwar den Begriff der organisatorischen Steuerung. Doch er stimmt mit den oben vorgetragenen Ausführungen inhaltlich überein. Eine zunächst abweichende inhaltliche Füllung des Begriffs der organisatorischen Steuerung Flexibler Fertigungssysteme findet sich dagegen bei DÖTTLING (1981), S. 21f. Aber sie wird später auf S. 28ff. im Sinne der o.a. dispositiven Koordinierungsdimension implizit wieder zurückgenommen.

144) Abweichender Ansicht ist MERTINS (1985a), S. 91, der auch technisch-operative Aspekte in die Werkstattsteuerung einbezieht.

145) Die hier thematisierte, rein informations- und ingenieurtechnisch ausgerichtete, technisch-operative Prozeßkoordinierung ist von der betriebswirtschaftlich definierten kurzfristigen (operativen) Produktionsplanung inhaltlich zu unterscheiden.

146) Vgl. zur technisch-operativen Dimension von Prozeßkoordinierungen STUTE (1976b), S. 184 u. 188ff.; STUTE (1978a), S. 5 u. 14ff.; SPUR (1980), S. 50ff.; DÖTTLING (1981), S. 20ff. (einschließlich der dort auf S. 21f. angeführten "organisatorischen" Steuerung); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 52 u. 152ff.; SELIGER (1983), S. 35f.; HWANG, S. (1984), S. 848ff. (ohne das "Shop scheduling"); MERTINS (1985a), S. 8, 36f. u. 108ff.; MERTINS (1985b), S. 251; HELBERG (1987), S. 67f.; HINTZ (1987), S. 45; WILDEMANN (1988c), S. 41f. u. 80; WECK (1988c), S. 31, Abb. 2-10; o.V. (1988i), S. 23.

Die rein technisch ausgerichtete operative Werkstatt- und Leitstandsteuerung erstreckt sich auf die informationstechnische Versorgung von automatisierten Produktionseinrichtungen mit Steuerungsprogrammen für die Prozeßausführung. Bei der Programmversorgung handelt es sich z.B. um die Verteilung von Steuerungsprogrammen (Teileprogrammen) an CNC-Bearbeitungsmaschinen durch ein übergeordnetes DNC-System (DNC steht für: Direct[ly] Numerical[ly] Control[ed]). Vgl. zu diesem DNC-Steuerungskonzept JUNGHANNS (1976), S. 79f.; SPUR (1977), S. 37ff., 104ff. u. 202ff.; STUTE (1978a), S. 10; SCHMIDT, K. (1980), S. 205ff.; WECK (1982), S. 352ff. 396f.; HEDRICH (1983), S. 152 u. 161f.; MERTINS (1985a), S. 140f.; KOCHAN, D. (1986), S. 108ff.; KNOOP (1986), S. 11; HELBERG (1987), S. 21, 107ff. u. 124ff.; SCHLINGENSIEPEN (1988a), S. 14ff.; WECK (1988c), S. 26 u. 30; BÖTZOW (1988a), S. 48f.; DIEHL (1988), S. 28f.; REMBOLD (1990), S. 82, 105(ff.) u. 114f. (mit ausführlicher Thematisierung von Teileprogrammen auf S. 106ff.); SCHEER (1990c), S. 213. Vgl. zu Anwendungen von DNC-Steuerungen bei Flexiblen Fertigungssystemen STUTE (1978a), S. 10; MERTINS (1981), S. 81 u. 83f.; EVERSHEIM (1981), S. 135f.; WECK (1982), S. 377, 381 u. 390; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 134ff. u. 152ff.; SPUR (1982c), S. 137; FETZER (1982), S. 11; MERTINS (1983), S. 430; DEY (1984), S. 458f. u. 462; GAUDERON (1984), S. 55; MERTINS (1985a), S. 29, 57 u. 160ff.; MERTINS (1985b), S. 250, 254 u. 255ff.; KOCHAN, D. (1986), S. 27, 35, 37, 52, 64, 72, 76 u. 114ff.; KNOOP (1986), S. 130; KOCHAN, D. (1986), S. 60f., 68f., 84f. u. 116; WILDEMANN (1987a), S. 346ff.; HELBERG (1987), S. 21 (der allerdings DNC-Steuerungen nur als "Vorstufe" zu Flexiblen Fertigungssystemen betrachtet); SCHLINGENSIEPEN (1988a), S. 14ff.; SHAH (1988), S. 26f.; SCHEER (1988d), S. 51; SCHEER (1990c), S. 214.

Zur operativen Werkstatt- und Leitstandsteuerung gehört auch die ingenieurtechnische Prozeßkontrolle. Sie betrifft z.B. die Überwachung von Werkzeugmaschinen auf Standzeit oder Bruch ihrer Werkzeuge. Näheres zu solchen Kontrollen findet sich bei STUTE (1978a), S. 14, und SPUR (1980), S. 95ff., 111ff. u. 213ff. Die Ausklammerung aller informationstechnischen Aspekte betrifft ebenso die Gestaltung von Datenbanksystemen für die Verwaltung produktionsabbildender Informationen in PPS-Systemen (Daten- und Informationsbegriff werden in dieser Arbeit synonym behandelt). Vgl. zu solchen produktionsabbildenden Datenstrukturen und Datenbanksystemen als Grundlage von PPS-Systemen MERTINS (1985a), S. 110ff.; ALDINGER (1985a), S. 64ff. (Informationsdarstellung und -verwaltung in Leitstandsystemen); WEDEKIND (1986a), S. 90ff.; WEDEKIND (1986b), S. 11ff.; WEDEKIND (1987a), S. 85ff.; WEDEKIND (1987b), S. 40f.; JABLONSKI (1987), S. 198ff.; HELBERG (1987), S. 202f.; vgl. ebenso mit speziellem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme: STUTE (1976b), S. 188ff.; STUTE (1978a), S. 86ff.; MAIER, U. (1980), S. 61ff.; SPUR (1980), S. 387ff.; LONCHAMP (1984), S. 421ff.; KNOOP (1986), S. 14ff.; HELBERG (1987), S. 166ff.; WECK (1991d), S. 6 u. 18ff.; WECK (1991f), S. 134ff., insbesondere S. 152ff. Vgl. schließlich auch SCHMIDT, H. U. (1989), S. 96ff., mit einem Datenbanksystem für eine produktionsnahe Kostenrechnung Flexibler Fertigungssysteme.

147) Vgl. zur Bedeutung, die Integritätsbedingungen bei Problemrepräsentationen - zumeist im Kontext von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen - zukommen kann, JANAS (1979), S. 433f.; LIEBERMAN, A. (1980), S. 642; PRESSMAR (1982), S. 343 (als "Kompatibilitätsprüfungen ... im inhaltlichen Sinne"); TABOURIER (1983a), S. 73ff.; NAKANO, R. (1983), S. 551f. u. 554ff.; TABOURIER (1983b), S. 567 u. 575ff.; HOHENSTEIN (1986), S. 186 u. 205ff.; ALAGIC (1986), S. 1ff., 6 u. 173f.; SCHMIDT, J. W. (1987), S. 13f.; REUTER (1987), S. 341f. u. 379ff.; HOHENSTEIN (1987), S. 67f. u. 79; REUTER (1987), S. 341f. u. 379ff.; EHRICH (1988), S. 132f.; OBERWEIS (1988b), S. 303ff.; SAAKE (1988), S. 236ff.; GESKE (1988), S. 212; OWSNICKI-KLEWE (1988), S. 78ff.; OBERWEIS (1989b), S. 1ff.; REIMER (1989), S. 83ff.; LEIKAUF (1989), S. 135ff.; KOTZ (1989), S. 1ff., 12ff. u. 27ff.; LIPECK (1989), S. 1, 5ff. u. 51ff.; MEYER, J. J. (1989), S. 343ff.; PREIB (1989), S. 42ff.; DORN (1989), S. VII u. 133ff. (dort als "Einschränkungen" thematisiert, die "logische Abhängigkeiten" darstellen); JARKE (1989b), S. 12ff.; ESTER (1989), S. 9, 11, 16ff., 21, 33, 38ff., 45, 48ff. u. 63ff., 115 u. 118ff.; WIERINGA (1989), S. 157ff.; FAHRION (1989), S. 364; LLOYD (1989), S. 323f.; REIMER (1989), S. 83ff.; KRALLMANN (1989b), S. 5ff.; GARDARIN (1989), S. 183ff.; ZELEWSKI (1989c), S. 7ff.; JABLONSKI (1990), S. 96ff. u. 176f.; MOERKOTTE (1990), Vorwort, S. 2ff. u. 18ff.; JEUSFELD (1990), S. 2ff.; MYLOPOULOS (1990), S. 33f. u. 37f.; MANTHEY (1991), S. 106ff.; HIRAO (1990), S. 539 u. 544; KRALLMANN (1990a), S. 23; WINTER, R. O. (1991), S. 6f., 34, 40, 191, 212, 221ff. u. 253ff., insbesondere S. 223; SCHEER (1991d), S. 155 u. 163ff.; WECK (1991f), S. 141. Integritätsbedingungen werden in den vorgenannten Quellen des öfteren als Konsistenzbedingungen angesprochen. Der Verf. bevorzugt jedoch den Integritätsbegriff, um den Konsistenzbegriff für die logische Widerspruchsfreiheit von Modellierungen zu reservieren. Letzte stellt eine strengere Anforderung dar als die Integrität eines Modells. Denn ein Modell, das aus formallogischer Perspektive konsistent ist, kann dennoch Integritätsbedingungen verletzen, die außerlogische Sachverhalte betreffen. Vgl. dazu vor allem die Hinweise auf semantische und pragmatische/operationale Dimensionen von Integritätsbedingungen bei NAKANO, R. (1983), S. 554; KOTZ (1989), S. 1; FAHRION (1989), S. 364; LIPECK (1989), S. 1.

148) Die Integritätsbedingungen können ihrerseits sowohl dispositiven als auch kausalen Charakter besitzen. Beispielsweise ist die nachfolgend genannte Integritätsbedingung für die Anzahl von Produktionsaufträgen, die sich höchstens zur selben Zeit in Bearbeitung befinden dürfen, von dispositiver Qualität. Vgl. dazu die Erläuterungen in der zugehörigen Anmerkung. Die System-Einlastungsregeln, die dort erwähnt werden, stellen dispositive Restriktionen dar, die aus der dispositiven Integritätsbedingung abgeleitet sind. Es handelt sich in der Tat um Restriktionen, weil mit Hilfe der System-Einlastungsregeln bestimmt wird, welche Ereignisgeschehnisse im Entscheidungsspielraum eines aktuellen Systemzustands hinsichtlich der Einlastung neuer Aufträge zulässig sind.

149) Diese Anforderungen an Systemzustände beruhen zumeist nicht auf dispositiven Akten, sondern auf sachlichen Aspekten der jeweils konzeptualisierten Koordinierungsprobleme. Sofern dies tatsächlich der Fall ist, werden Integritätsbedingungen für zulässige Systemzustände gemeinsam mit den kausalen Restriktionen für Ereignisgeschehnisse als technische, sachbezogene oder kurz sachliche Restriktionen bezeichnet. Sie bilden die Antipode zu den voranstehend behandelten dispositiven oder personenbezogen Restriktionen.

150) Vgl. WIERINGA (1989), S. 160: "an integrity constraint ... is true in all states of the model" (kursive Hervorhebung des Originals hier unterlassen). An derselben Stelle wird auch eine prädikatenlogische Präzisierung von Integritätsbedingungen geboten (S. 160, Abschnitt 1.2, Punkt 2). Integritätsbedingungen werden dort in bezug auf eine vorgegebene Formelmengende (z.B. eine Wissensbasis) definiert. Eine Integritätsbedingung kann dann jede logische Konsequenz - jedes Theorem - dieser Formelmengende sein. Diesem Ansatz entspricht auch die Behandlung von Integritätsbedingungen in den hier vorgelegten Untersuchungen. Allerdings wird auf die theorembezogene Sichtweise nicht mehr explizit Bezug genommen. Statt dessen wird später stärker der Aspekt herausgearbeitet, Integritätsverletzungen aufspüren oder verhindern zu können.

151) Integritätsbedingungen spielen bei der Konzeptualisierung von Problemen vor allem dann eine Rolle, wenn globale Problemeigenschaften repräsentiert werden sollen, die sich aus der "Sachlogik" der behandelten Probleme

ergeben. Besonders häufig werden sie im Zusammenhang mit der Gestaltung von Datenbanksystemen thematisiert. Vgl. dazu die Quellen, die in einer der voranstehenden Anmerkungen zu Integritätsbedingungen angeführt wurden.

152) Diese Anforderung wird durch die Integritätsbedingung abgebildet, daß in jedem zulässigen Zustand des Produktionssystems die Gesamtzahl der darin vorhandenen Produktionsaufträge die vorgegebene Auftragsanzahl nicht übersteigen darf. Die sachliche Berechtigung einer solchen Anforderung kann auf das Phänomen der "Systemverstopfung" zurückgeführt werden. Praktische Erfahrungen mit und theoretische Simulationen von Produktionssystemen haben zu der Einsicht geführt, daß sich die Systemleistung durch Koordinierungsentscheidungen kaum noch beeinflussen läßt, wenn sich "zu viele" Produktionsaufträge zugleich im Produktionssystem befinden. Dann steigen die Durchlaufzeiten der Aufträge erheblich an, ohne daß der Systemdurchsatz wesentlich zunimmt. Vgl. zu diesem Verstopfungsphänomen, das sowohl bei Werkstattfertigungen als auch bei Flexiblen Fertigungssystemen auftreten kann, MAIER, U. (1980), S. 27 u. 45f.; HINTZ (1987), S. 150; KNOLMAYER (1990b), S. 431 (als "Auftragsstau"). An die Verstopfungsgefahr scheint auch ZHANG, S. (1989), S. 97, zu denken, wenn er mit Bezug auf Flexible Fertigungssysteme feststellt: "Eine weitere Steigerung der Nutzungsquote würde zu einer zusätzlichen Erhöhung der ... Durchlaufzeiten führen." (Dabei ist mit der "Nutzungsquote" anscheinend die Anzahl der Aufträge gemeint, die in ein Produktionssystem eingeschleust werden.)

Um einer Systemverstopfung vorzubeugen, wird mitunter gefordert, die Anzahl der Produktionsaufträge dürfe im Produktionssystem einen kritischen Höchstwert nicht übersteigen. Wie hoch die kritische Auftragsanzahl konkret ausfällt, kann von Eigenschaften des Produktionssystems, des abzuwickelnden Auftragspakets und des darauf angewandten Koordinierungskonzepts abhängen. Das theoretische Verständnis dieses Zusammenhangs ist zur Zeit nur unvollkommen entwickelt. Hierfür stehen keine analytischen, die Kausalzusammenhänge explizit erfassenden Modelle zur Verfügung. Darauf verweist die Feststellung von SPUR (1980), S. 307ff., daß nur mit Hilfe von Simulationsmodellen ermittelt werden könne, in welcher Weise sich veränderte Auftragspakete auf die Auslastung Flexibler Fertigungssysteme auszuwirken vermögen. Vgl. auch die Ausführungen bei SPUR (1980), S. 317ff., die zwar eine Begrenzung des "Arbeitsinhalts" Flexibler Fertigungssysteme implizieren, jedoch keine konkrete Angabe zur Ermittlung dieser Inhaltsgrenze enthalten. Statt dessen läßt sich derzeit die Höhe der kritischen Auftragsanzahl, deren Überschreiten zu Systemverstopfungen führen würde, nur in heuristischer Weise schätzen, durch empirische Untersuchungen stützen oder mit Hilfe von Simulationsstudien erforschen. Doch hindern diese Einschränkungen nicht daran, eine maximal zulässige Auftragsanzahl als heuristisch, empirisch bzw. simulativ fundierte Integritätsbedingung vorzugeben. Beispielsweise wurde aus simulativen Untersuchungen von Produktionssystemen der Richtwert abgeleitet, in einem Produktionssystem sollten sich höchstens 2 bis 3 Aufträge je Bearbeitungsstation zugleich befinden; vgl. KAMP (1978), S. 181; HINTZ (1987), S. 150. System-Einlastungsregeln dienen dazu, die Einlastung von Aufträgen in ein Produktionssystem so zu steuern, daß maximal zulässige Auftragsanzahlen oder Arbeitsinhalte nicht überschritten werden. Z.B. läßt sich bestimmen, daß Aufträge so lange in ein Produktionssystem eingelastet werden, bis entweder die Obergrenze der Auftragsanzahl bzw. des Arbeitsinhalts erreicht wird oder bis alle Aufträge, die im Eingangslager des Produktionssystems auf Bearbeitung gewartet haben, in das Produktionssystem eingeschleust worden sind. Sobald die Obergrenze erreicht ist und im Eingangslager immer noch mindestens ein Auftrag auf Einlastung wartet, tritt eine zweite, ergänzende System-Einlastungsregel in Kraft. Ihr zufolge wird ein neuer Auftrag in das Produktionssystem erst dann eingelastet, wenn zuvor ein anderer Auftrag das Produktionssystem verlassen hat. Vgl. zu dieser Verfahrensweise HINTZ (1987), S. 150ff.; HELBERG (1987), S. 199. Vgl. auch SPUR (1980), S. 319, 347 u. 356.

Das Verstopfen von Produktionssystemen läßt sich konzeptionell auf den Bestandseffekt zurückführen, der bereits von DICKHUT (1966), S. 72ff. u. 79f., diskutiert wurde. Vgl. auch NIEB (1980), S. 20f.; MAIER, U. (1980), S. 27. Neuerdings hat das Verstopfungsphänomen besonders im Rahmen der Belastungsorientierten Auftragsfreigabe Beachtung gefunden. Dort wird anhand von empirischen Erhebungen und mit der Hilfe von Simulationsstudien aufgezeigt, daß die mittlere Systemleistung kaum noch zunimmt, wenn der mittlere Auftragsbestand in einem Produktionssystem einen kritischen Schwellenwert erreicht hat. Vgl. zu diesen Schwellenwerten, die sich in "logistischen" Betriebskennlinien der betroffenen Produktionssysteme niederschlagen, WIENDAHL (1987a), S. 207, insbesondere Abb. 6.2; SCHRÖDER, H. (1989), S. 12f.; KERN, W. (1990a), S. 326f. Meistens beziehen sich die vorgenannten Quellen auf mittlere Leistung und Auftragsbestand an einem einzelnen Arbeitsplatz. Ihre Ausführungen gelten jedoch analog für ganze Produktionssysteme. Vgl. z.B. KERN, W. (1990a), S. 326; ADAM, D. (1990a), S. 821f. Aus diesen Zusammenhängen wird im Rahmen der Belastungsorientierten Auftragsfreigabe der Schluß gezogen, für das Einschleusen von Aufträgen in ein Produktionssystem einen Einlastungsprozentsatz oder eine Direktbelastungsschranke festzulegen. Vgl. WIENDAHL (1987a), S. 209ff. (Einlastungsprozentsatz); MISSBAUER (1987), S. 83f. (Direktbelastungsschranke); ADAM, D. (1990a), S. 819ff. Beide Konstrukte lassen sich als System-Einlastungsregeln auffassen. Denn sie beschränken die Einlastung von Aufträgen in ein Produktionssystem derart, daß über den gesamten Koordinierungszeitraum hinweg nicht mehr als ein fester Prozentsatz der quantitativen Kapazität des Produktionssystems für die Auftragsabwicklung genutzt wird. Bei konstant vorausgesetzter Nutzungsintensität des Produktionssystems bedeutet dies zugleich, daß der höchstzulässige Arbeitsinhalt für die Gesamtheit aller einzulastenden Arbeitsgänge fixiert wird. Auch auf diese Weise lassen sich die oben angesprochenen Verstopfungen des Produktionssystems bekämpfen. Hinzu kommt bei der Belastungsorientierten Auftragsfreigabe noch die System-Einlastungsregel, Aufträge für die Einlastung in ein Produktionssystem frühestens dann freizugeben, wenn die Zeit-

spanne zwischen dem Freigabezeitpunkt und dem spätest zulässigen Fertigstellungszeitpunkt des Auftrags einen vorgegebenen Höchstwert - die Terminalschranke (den Vorgriffshorizont) - nicht überschreitet. Vgl. BUCHMANN (1983), S. 36f.; MISSBAUER (1987), S. 81f. Vgl. zu ausführlicheren Darstellungen der Belastungsorientierten Auftragsfreigabe BECHTE (1980), S. 71ff.; WIENDAHL (1987a), S. 206ff.; MISSBAUER (1987), S. 46ff., insbesondere S. 80ff.; BECHTE (1988), S. 375ff.; SCHRÖDER, H. (1989), S. 11ff.; KERN, W. (1990a), S. 326ff.; ADAM, D. (1990a), S. 818ff.; KNOLMAYER (1990b), S. 426ff. (in kritischer Distanz); GLASER, H. (1991a), S. 196ff.

153) Der Begriff horizontaler Abhängigkeit lehnt sich zusammen mit seinem anschließend eingeführten Pendant vertikaler Abhängigkeit an die Differenzierung zwischen zeitlich-horizontalen und zeitlich-vertikalen Interdependenzen von JACOB an. Vgl. JACOB, H. (1974), S. 301f. (322f.) u. 404; JACOB, H. (1976), S. 24ff., insbesondere S. 26 u. 29. Ähnlich unterscheidet FRESE (1975), Sp. 2266f., zwischen vertikaler und horizontaler Koordinierung, bei der jeweils vertikale Interdependenzen bzw. Feldinterdependenzen zu berücksichtigen seien. Im Gegensatz zu JACOB wird jedoch in der hier vorgelegten Arbeit keine zeitliche Konzeptualisierung der Interdependenzen unterstellt. Statt dessen beruhen die betrachteten Abhängigkeiten auf einem primär kausalen Fundament. Zeitliche Abhängigkeiten können daraus abgeleitet sein, müssen es aber nicht. Statt dessen können sie auch aus sekundären dispositiven Abhängigkeiten und Integritätsbedingungen herrühren. Diese Sichtweise, die den zeitlichen Aspekt in den Hintergrund rückt, entspricht eher der o.a. Unterscheidung FRESE's, bei der als Feldinterdependenzen horizontaler Koordination u.a. Ressourcenbeziehungen herausgestellt werden. Auch in dieser Arbeit werden Ressourcenkonflikte als Sonderfall von horizontaler kausaler Ereignisabhängigkeit betont.

154) Die Anforderung, daß zwei Ereignisse gemeinsam geschehen müssen, drückt hier lediglich aus: Falls überhaupt eines der Ereignisse eintritt, dann muß auch das jeweils andere Ereignis geschehen. Es ist aber auch möglich, daß beide Ereignisse unterbleiben.

155) Dies läßt ebenso zu, daß beide Ereignisse nicht geschehen.

156) Kausale Wechselwirkungsbeziehungen, schwache oder starke kausale Folgebeziehungen und kausale Ressourcenbeziehungen wurden bereits in einer früheren Anmerkung erläutert.

157) Die *ceteris paribus*-Prämisse bedeutet hier, daß alle anderen Ereignisgeschehnisse, die in den beiden betrachteten Systemzuständen zulässig sind, hinsichtlich ihres tatsächlichen Eintretens oder Unterbleibens nicht verändert werden.

158) Es handelt sich dabei um eine schwache kausale Folgebeziehung. Vgl. dazu die Erläuterungen zum Kausalitätsbegriff in einer früheren Anmerkung.

159) Es muß dann eine starke kausale Folgebeziehung vorliegen. Vgl. abermals die Erläuterungen zum Kausalitätsbegriff in einer früheren Anmerkung.

160) Eine Wechselwirkungsbeziehung erzwingt das Geschehen beider Ereignisse im selben Systemzustand, so daß ihr Eintreten in aufeinander folgenden Systemzuständen direkt verhindert wird. Eine Ressourcenbeziehung kann dagegen eine solche Folge von Ereigniseintritten auf indirekte Weise ausschließen. Dies ist der Fall, wenn eine knappe Ressource durch das Geschehnis des einen Ereignisses im vorangehenden Systemzustand in so starkem Ausmaß gebunden wurde *und* im nachfolgenden Systemzustand noch nicht wieder freigegeben worden ist, daß dort das zweite Ereignis (noch) nicht geschehen kann.

161) Integritätsbedingungen können dagegen keine vertikale Ereignisabhängigkeit hervorrufen. Denn sie wurden derart eingeführt, daß sie sich jeweils nur auf einen Systemzustand beziehen. Daher ist es unmöglich, daß eine Integritätsbedingung Ereignisgeschehnisse in aufeinander folgenden Systemzuständen aneinander koppelt.

162) Dies ist bei dispositiven Ordinerungsanforderungen der Fall, falls zwischen den beiden Ereignisgeschehnissen eine Maximalfrist oder ein fester Zeitabstand derart besteht, daß sich nach dem Eintreten des einen Ereignisses im vorangehenden Systemzustand die Anforderung nur noch dann erfüllen läßt, wenn das jeweils andere Ereignis im nachfolgenden Systemzustand geschieht.

163) Die Abfolge der Ereigniseintritte wird durch eine dispositive Gleichzeitigkeitsanforderung unmittelbar ausgeschlossen.

164) Fortan wird unter der kausalen Abhängigkeit von Ereignissen stets diese weit gefaßte Begriffsvariante verstanden, falls nicht ausdrücklich anders lautende Festlegungen erfolgen. Gleiches gilt für die nachfolgende, ebenso weit definierte kausale Unabhängigkeit. Mit dieser Sprachregelung wird dem Umstand Rechnung getragen, daß das hier vorgelegte Modellierungskonzept primär über einem kausalen Fundament errichtet worden ist. Ihr wird auch später bei der Darstellung von Petrinetzen gefolgt. Vgl. z.B. die Erläuterung zur kausalen Charakteristik ihrer Schaltregel in einer späteren Anmerkung.

165) Falls bekannt ist, daß zwei Ereignisgeschehnisse zum selben lokalen Spielraum gehören, können sich die betroffenen Ereignisse nicht vertikal interdependent verhalten. Für solche Ereignisse fallen daher kausale Unabhängigkeit und Abwesenheit horizontaler Interdependenzen zusammen.

2.4 Der entscheidungstheoretische Rahmen

2.4.1 Konzeptualisierung von Entscheidungsproblemen auf der Grundlage von lokalen Spielräumen

Das voranstehend skizzierte systemtheoretische Strukturierungsparadigma erlaubte zwar, einen differenzierten konzeptionellen und terminologischen Rahmen für Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen auszubreiten. Doch leidet es unter einer Verengung der Konzeptualisierungsperspektive, die sich auf die sachlichen Determinanten von Koordinierungsproblemen konzentriert¹⁾. Koordinierungsziele werden dabei nur am Rande - und zwar in Gestalt des Sachziels der Auftragsabwicklung - berücksichtigt. Persönliche Problemdeterminanten, die in den Fähigkeiten²⁾ und Interessen³⁾ des Koordinierungsträgers begründet liegen, bleiben dagegen weitgehend außer acht⁴⁾. Dies führt dazu, daß aus systemtheoretischem Blickwinkel zumeist nur der Frage nachgegangen wird, welche Spielräume für eine Prozeßkoordinierung offenstehen. Wie diese Spielräume durch das aktive Handeln eines Koordinierungsträgers (Entscheidungsträgers)⁵⁾ geschlossen werden, wird jedoch kaum reflektiert. Diese Konzeptualisierungslücke wird durch das entscheidungstheoretische Strukturierungsparadigma⁶⁾ geschlossen.

Ausgangspunkt der entscheidungstheoretischen Konzeptualisierung sind die bereits identifizierten Spielräume⁷⁾. Die spielraumbegrenzenden Restriktionen und die zugrundeliegende, objektorientiert ausgestaltete Konzeptualisierung des Produktionssystems werden dabei als bekannt vorausgesetzt. Die spielraum- und restriktionsbezogene, systemtheoretische Strukturierung des Entscheidungsfelds wird unverändert übernommen⁸⁾. Sie umfaßt alle sachlichen oder "objektiven"⁹⁾ Determinanten von Koordinierungsentscheidungen. Die personenbezogenen oder "subjektiven" Entscheidungsdeterminanten bilden dagegen das Zielsystem des Entscheidungsträgers¹⁰⁾. Der üblichen Trennung in ein Sach- und ein Formalzielsystem¹¹⁾ wird hier gefolgt.

Die Sachziele¹²⁾ des Entscheidungsträgers werden mit dem Vorhaben identifiziert, eine endliche, nicht-leere Menge von Produktionsaufträgen¹³⁾ in einem vorgegebenen zeitlichen Rahmen¹⁴⁾ abzuwickeln¹⁵⁾. Sie werden hier nicht weiter behandelt. Denn das entscheidungstheoretische Paradigma vermag zur Sachzielstrukturierung keine wesentlichen¹⁶⁾ Erkenntnisse beizusteuern, die nicht schon früher im systemtheoretischen Rahmen anläßlich der Konzeptualisierung des Objekts "Auftrag" dargelegt wurden.

Formalziele¹⁷⁾ drücken die Koordinierungsinteressen des Entscheidungsträgers in operativer Weise aus. Auf eine detaillierte Strukturierung des Formalzielsystems wird in dieser Arbeit verzichtet¹⁸⁾. Das entfaltete Modellierungskonzept gilt unabhängig davon, wie eine Zielsystemstruktur im einzelnen ausgeprägt ist. Statt dessen reicht eine grobe Unterscheidung von Formalzielkategorien¹⁹⁾ aus, die für die Auswertung von Entscheidungsmodellen Bedeutung erlangen wird²⁰⁾:

- Satisfizierungsziele²¹⁾ fordern die Erfüllung von zielspezifischen Anspruchsniveaus²²⁾. Alle Entscheidungsalternativen, die das Anspruchsniveau erfüllen, gelten als gleich willkommen²³⁾.
- Meliorisierungsziele²⁴⁾ rufen dazu auf, ein Entscheidungsproblem besser zu lösen, als es für eine vorgegebene Entscheidungsalternative²⁵⁾ mit bekanntem Zielerfüllungsgrad der Fall ist²⁶⁾. Falls mehrere Entscheidungsalternativen das Zielerfüllungsniveau der Referenzalternative übertreffen, so werden sie um so mehr vorgezogen, je weiter sie die Referenzalternative übertreffen.
- Extremierungs- oder Optimierungsziele²⁷⁾ schreiben vor, aus allen zulässigen Entscheidungsalternativen eine nicht-leere Teilmenge²⁸⁾ der bestmöglichen²⁹⁾ Entscheidungsalternativen auszuwählen.

Zusätzlich wird als Formalzielkategorie sui generis das Konsistenzziel betrachtet³⁰. Es wird bei entscheidungstheoretischen Strukturierungen im allgemeinen nicht genannt. Dennoch wird es hier ausgewiesen. Denn es kann nicht ausgeschlossen werden, daß die Gesamtheit aller Restriktionen³¹ und Formalziele in sich widersprüchlich³² formuliert ist. Dies ist jedoch im Interesse konsistenter Modellierungen unerwünscht. Um die normative Prämisse der Modellkonsistenz explizit ausdrücken zu können, bedarf es einer eigenständigen Formalzielkategorie. Dies entspricht einerseits dem später vorgetragenen Postulat, explizite gegenüber impliziten Konzeptualisierungen tendenziell vorzuziehen. Andererseits bietet das Petrinetz-Konzept die Möglichkeit, die Widerspruchsfreiheit von Netzmodellen systematisch zu überprüfen.

Ein Entscheidungsproblem wird zunächst in bezug auf einen jeweils vorgegebenen Spielraum definiert. Es besteht aus der Aufgabe, diesen Spielraum so zu schließen, daß:

- hierbei alle zulässigen, durch die spielraumbegrenzenden Restriktionen noch nicht fixierten Geschehnisse von disponiblen Ereignissen eindeutig³³ und konsistent³⁴ festgelegt werden (Entscheidungsfeldbezug)³⁵;
- hierdurch zur Erfüllung der Sach- und Formalziele des Entscheidungsträgers in der jeweils intendierten Weise beigetragen wird (Zielsystembezug)³⁶.

Alle Prozesse, die in einem Produktionssystem ausgeführt werden können, wurden auf Ereigniseintritte und die dadurch bewirkten Veränderungen von Systemzuständen zurückgeführt. Daher bedeutet das Schließen eines Entscheidungsspielraums auch, daß alle innerhalb dieses Spielraums beeinflussbaren Prozesse festgelegt werden. Folglich läßt sich die hier interessierende Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen vollständig bewältigen, indem alle konzeptualisierten Spielräume durch entsprechende Entscheidungen über die darin disponiblen Ereignisgeschehnisse geschlossen werden.

Für die Definition eines Entscheidungsproblems wurde ein "gegebener" Spielraum vorausgesetzt. Die Entscheidungsspielräume von Koordinierungsproblemen liegen jedoch nicht von vornherein fest, sondern stellen selbst die Ergebnisse von strukturierenden Metaentscheidungen dar. Bei der Konzeptualisierung von Entscheidungsspielräumen lassen sich zwei Strukturierungsdimensionen unterscheiden. Sie betreffen einerseits die Art und andererseits die Mächtigkeit der Spielraumkonzeptualisierung. Zunächst wird auf den Aspekt der Konzeptualisierungsart eingegangen. Dabei wird der Übersichtlichkeit halber auf idealtypische³⁷ Modellierungen³⁸ von Prozeßkoordinierungen zurückgegriffen, wie sie im Rahmen von konventionellen Maschinenbelegungs- und werkstatorientierten Ablaufplanungen vorherrschen³⁹.

Die Art der Spielraumkonzeptualisierung läßt sich in zwei Richtungen ausdifferenzieren. Erstens kann die Objektart betrachtet werden, bezüglich derer ein Entscheidungsspielraum identifiziert wird (Objektdimension). Zweitens ist es möglich, die Anordnungsqualität derjenigen Ereignisse zu beleuchten, die in einem solchen Spielraum zur Disposition stehen (Anordnungsdimension). In der Objektdimension wird zwischen einer maschinen-⁴⁰ und einer auftragsorientierten⁴¹ Spielraumkonzeptualisierung unterschieden⁴². In der Anordnungsdimension stehen sich eine voll- und eine halbordnungsbezogene Konzeptualisierung von Spielräumen gegenüber.

In jedem der vier vorgenannten Fälle werden Koordinierungsspielräume auf der Grundlage von Arbeitsgängen festgelegt⁴³. Jeder Spielraum umfaßt die Startereignisse von Arbeitsgängen⁴⁴, mit deren Ausführung im betrachteten Systemzustand begonnen werden kann⁴⁵.

Bei der maschinenorientierten Konzeptualisierungsweise⁴⁶ wird zunächst für jede Maschine aus dem zugrundeliegenden Produktionssystem ein maschinen- und zustandsspezifischer Entscheidungsspielraum identifiziert. Er umfaßt die Startereignisse aller Arbeitsgänge, die mit Hilfe der jeweils betrachteten Maschine an allen Werkstücken ausgeführt werden können, die dort im aktuellen Zustand des Produktionssystems auf Bearbeitung warten⁴⁷. Die Maschinenbelegungsplanung (Sequencing⁴⁸, Scheduling⁴⁹)⁵⁰ legt für die Geschehnisse dieser Startereignisse eine zeitliche Anordnung fest⁵¹. Das Planungsergebnis ist eine zeitlich geordnete, maschinenspezi-

fische Arbeitsgangmenge für jede Maschine des Produktionssystems (Maschinenbelegungsplan). Die geordneten Arbeitsgangmengen werden zumeist als maschinenspezifische Arbeitsgang- oder als Auftragsfolgen angesprochen⁵²).

Die auftragsorientierte Konzeptualisierungsweise⁵³) geht von einer auftragspezifischen, nicht-leeren Menge von Arbeitsgängen aus⁵⁴). Hinzu kommt eine Menge von Reihenfolgebeziehungen (Präzedenzbeziehungen)⁵⁵), die zwischen den Arbeitsgängen bestehen⁵⁶). Sie heißt die Präzedenzstruktur des Auftrags⁵⁷). Die auftragsorientierte Konzeptualisierung legt für jeden Auftrag aus dem vorgegebenen Auftragspaket einen auftrags- und zustandsspezifischen Entscheidungsspielraum fest. Dieser Spielraum enthält die Startereignisse aller Arbeitsgänge, die an Werkstücken des Auftrags entweder im aktuellen Zustand des Produktionssystems oder aber in späteren Systemzuständen⁵⁸) ausgeführt werden können. Um welche Arbeitsgänge es sich dabei konkret handelt, bestimmen die aktuellen Bearbeitungszustände aller auftragszugehörigen Werkstücke und die auftragspezifische Präzedenzstruktur⁵⁹). Die Auftragsabwicklungsplanung (Routing⁶⁰) bestimmt für die Geschehnisse der Startereignisse aller betrachteten Arbeitsgänge eine zeitliche Anordnung⁶¹). Das Planungsergebnis stellt eine zeitlich geordnete, auftragspezifische Arbeitsgangmenge für jeden Auftrag des Auftragspakets dar (Auftragsabwicklungsplan). Die geordneten Arbeitsgangmengen heißen in der Regel auftragspezifische Arbeitsgang- oder aber Maschinenfolgen⁶²).

Hinsichtlich der Anordnungsqualität von Ereignisgeschehnissen und daraus abgeleiteten Arbeitsgangausführungen wird zwischen zeitlichen Voll- und zeitlichen Halbordnungen unterschieden. Bei einer zeitlichen Vollordnung wird eine maschinen- oder auftragspezifische Arbeitsgangfolge im aktuellen Zustand des Produktionssystems einmalig festgelegt und gilt dann für alle folgenden Systemzustände (statische Arbeitsgangfolge). Im Falle einer zeitlichen Halbordnung wird dagegen im aktuellen Systemzustand nur genau ein Arbeitsgang ausgewählt, um ihn als nächsten auszuführen⁶³). Durch die Aufeinanderfolge mehrerer Systemzustände wird eine entsprechende Auswahlfolge von Arbeitsgängen erzeugt (dynamische Arbeitsgangfolge).

Statische Arbeitsgangfolgen können auf unterschiedlichem Skalenniveau fixiert werden. Beim Ordinieren⁶⁴) von Arbeitsgängen wird die Abfolge von Arbeitsgangausführungen nur in ordinaler Weise festgelegt (Reihenfolgeplanung). Dazu dienen Präzedenzbeziehungen zwischen den Startereignissen der involvierten Arbeitsgänge. Hierdurch wird die relative zeitliche Anordnung der Arbeitsgangausführungen determiniert. Die absoluten Zeitpunkte (Termine), in denen die Startereignisse der ordinierten Arbeitsgänge geschehen sollen, bleiben hingegen unbestimmt. Das Terminieren⁶⁵) von Arbeitsgängen schließt diese Bestimmungslücke auf einer kardinalen Zeitskala (Terminplanung). Es werden dann Zeitpunkte fixiert, in denen die Startereignisse der terminierten Arbeitsgänge geschehen sollen⁶⁶).

Bei dynamischen Arbeitsgangfolgen läßt sich unterscheiden, ob die Auswahlakte von Arbeitsgängen entweder auf maschinen- oder aber auf auftragspezifische Entscheidungsspielräume bezogen werden. Wenn der ausgewählte Arbeitsgang mit seinem Startereignis zu einem maschinenspezifischen Entscheidungsspielraum gehört, wird davon gesprochen, daß der arbeitsgangzugehörige Auftrag an der betroffenen Maschine eingelastet worden ist (maschinenspezifische Auftragseinlastung)⁶⁷). Falls der ausgewählte Arbeitsgang mit seinem Startereignis zu einem auftragspezifischen Entscheidungsspielraum rechnet, wird davon geredet, daß für den betroffenen Auftrag diejenige Maschine eingeplant wurde, auf welcher der Arbeitsgang ausgeführt werden soll (auftragspezifische Maschineneinplanung)⁶⁸). Wenn zwischen der Einlastung eines Auftrages an einer Maschine und der Einplanung einer Maschine für einen Auftrag nicht näher unterschieden werden soll, wird nur auf die wechselseitige Zuordnung von Auftrag und Maschine Bezug genommen⁶⁹).

Abb. 3 auf der nächsten Seite faßt die voranstehend skizzierten Konzeptualisierungsarten für Koordinierungsspielräume zusammen. Zugleich sind den Konzeptualisierungsarten diejenigen Bezeichnungen zugewiesen, die in der produktionswirtschaftlichen Literatur vorherrschen und auch in dieser Arbeit benutzt werden⁷⁰⁾.

Bei der Konzeptualisierung von Entscheidungsspielräumen erlangt nicht nur die Art, sondern auch die Mächtigkeit der Spielraumstrukturierung Gewicht. Die Betrachtung dieser zweiten Strukturierungsdimension knüpft an die frühere Konzeptualisierung von Prozessen an, die es in einem Produktionssystem zu koordinieren gilt. Vor diesem Hintergrund lassen sich hinsichtlich ihrer Konzeptualisierungsmächtigkeit zwei *qualitativ* verschiedene Spielraumkategorien unterscheiden:

- Von einem *lokalen* Entscheidungsspielraum wird gesprochen, falls nur solche Ereignisgeschehnisse betrachtet werden, die im *selben* Systemzustand zulässig sind⁷¹⁾. Der spielraumschließende Entscheidungsakt besteht in der Auswahl von genau einer Ereignismenge⁷²⁾. Er leistet die eindeutige und konsistente Festlegung aller zustandstransformierenden Ereignisgeschehnisse⁷³⁾. Bei dieser Auswahlentscheidung spielen lediglich horizontale Abhängigkeiten eine Rolle, die zwischen den zulässigen Ereignisgeschehnissen des lokalen Spielraums bestehen können⁷⁴⁾. Jede Menge zulässiger Ereignisgeschehnisse, die alle horizontalen Ereignisabhängigkeiten einhalten, stellt eine lokale Entscheidungsalternative dar⁷⁵⁾. Die Lokalität dieser Spielraumkategorie liegt darin begründet, daß jeder spielraumschließende Entscheidungsakt ausschließlich den Übergang zu einem *benachbarten* Systemzustand zu bewirken vermag.
- Ein *globaler* Entscheidungsspielraum liegt dagegen vor, wenn zulässige Ereigniseintritte behandelt werden, deren Gesamtheit sich über mehrere aufeinander folgende⁷⁶⁾ Systemzustände erstreckt⁷⁷⁾. Um einen globalen Spielraum zu schließen, muß für jeden der involvierten Systemzustände genau eine Ereignismenge ausgewählt werden, die den dort vorliegenden lokalen Spielraum schließt⁷⁸⁾. Jedes Ensemble aus solchen lokalen Entscheidungsalternativen, das alle vertikalen Abhängigkeiten zwischen Ereignissen aus verschiedenen Systemzuständen⁷⁹⁾ beachtet, ist eine globale Entscheidungsalternative⁸⁰⁾. Die Globalität dieser Spielraumkategorie basiert darauf, daß sich jeder spielraumschließende Entscheidungsakt auch auf Übergänge zwischen solchen Systemzuständen auswirkt, die nicht miteinander benachbart sind⁸¹⁾.

Entsprechend zur voranstehenden Spielraumdifferenzierung wird von einem lokalen oder globalen Entscheidungsproblem genau dann gesprochen, wenn es durch einen lokalen bzw. globalen Spielraum konstituiert wird. Ein lokales Entscheidungsproblem erstreckt sich daher in der hier vorgenommenen Konzeptualisierung auf die Auswahl genau einer Ereignismenge. Ein globales Entscheidungsproblem betrifft dagegen die Auswahl eines Ensembles mehrerer Ereignismengen. Jede lokale (globale) Entscheidungsalternative ist eine zulässige Lösung⁸²⁾ für das jeweils betrachtete lokale (globale) Entscheidungsproblem⁸³⁾.

Für denselben Zustand eines Produktionssystems lassen sich lokale Entscheidungsprobleme verschiedenen quantitativen Ausmaßes betrachten. Sie unterscheiden sich durch die Anzahl derjenigen Ereignisse, deren Geschehnisse im Systemzustand zulässig sind und damit Kandidaten der auszuwählenden Ereignismenge darstellen⁸⁴⁾. Der qualitative Sprung globaler Entscheidungsprobleme kommt dadurch zustande, daß im Regelfall⁸⁵⁾ nicht nur horizontale Ereignisabhängigkeiten zwischen Ereignisgeschehnissen desselben Systemzustands, sondern auch vertikale Ereignisabhängigkeiten zwischen Ereigniseintritten in verschiedenen Systemzuständen berücksichtigt werden müssen. Daher erfordert ein globales Entscheidungsproblem, Entscheidungen für mehrere - im allgemeinen interdependente - lokale Entscheidungsprobleme zu treffen⁸⁶⁾.

Arten der Spielraumkonzeptualisierung		Objektart			
		Maschinen	Aufträge		
Anordnungsqualität	zeitliche Halbordnung	Einlasten von Aufträgen zeitlich halbgeordnete, maschinenspezifische Arbeitsgangmenge maschinenspezifische dynamische Arbeitsgangfolge dynamische Auftragsfolge	Einplanen von Maschinen zeitlich halbgeordnete, auftragsspezifische Arbeitsgangmenge auftragsspezifische dynamische Arbeitsgangfolge dynamische Maschinenfolge	Zuordnen von Aufträgen und Maschinen	
	zeitliche Vollordnung	ordinale Präzedenzbeziehg.	maschinenorientiertes Ordinieren i.e.S. maschinenorientierte Reihenfolgeplanung	auftragsorientiertes Ordinieren i.e.S. auftragsorientierte Reihenfolgeplanung	Ordinieren i. w. S.
		ordinal/kardinal	zeitlich vollgeordnete, maschinenspezifische Arbeitsgangmenge maschinenspezifische statische Arbeitsgangfolge statische Auftragsfolge	zeitlich vollgeordnete, auftragsspezifische Arbeitsgangmenge auftragsspezifische statische Arbeitsgangfolge statische Maschinenfolge	
		kardinale Termine	maschinenorientiertes Terminieren	auftragsorientiertes Terminieren	
		maschinenorientierte Spielraumkonzeptualisierung Maschinenbelegungsplanung Sequencing/Scheduling Planung von Auftragsfolgen	auftragsorientierte Spielraumkonzeptualisierung Auftragsabwicklungsplanung Routing Planung von Maschinenfolgen	Arten der Spielraumkonzeptualisierung	

Abb. 3: Arten der Konzeptualisierung von Koordinierungsspielräumen

Entscheidungsprobleme, die sich auf Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen beziehen, zeichnen sich vor dem Hintergrund der voranstehenden Differenzierung durch ihren ambivalenten Charakter aus: Einerseits handelt es sich im allgemeinen um Entscheidungsprobleme, die sich über mehrere Zustände von Produktionssystemen erstrecken. Wegen der vertikalen Ereignisabhängigkeiten erfordern sie dabei einen *globalen* Lösungsansatz⁸⁷⁾. Andererseits liegt eine Lösung für ein globales Entscheidungsproblem erst dann vor, falls ein Ensemble mehrerer Ereignismengen fixiert ist, die - unter Beachtung aller vertikalen Ereignisabhängigkeiten - jeweils ein *lokales* Entscheidungsproblem lösen. Folglich besitzen die hier betrachteten Koordinierungsprobleme eine Entscheidungsstruktur, die einen globalen, von vertikalen Ereignisabhängigkeiten vermittelten Zusammenhang lokaler Entscheidungsprobleme darstellt. Sie resultiert aus der früheren ereignis- und zustandsbezogenen Strukturierung von Produktionsprozessen auf kausaler Grundlage.

Mit der voranstehend entfalteten Struktur von Entscheidungsproblemen, die Prozeßkoordinierungen in kausal fundierten Produktionssystemen betreffen, stimmen auf jeden Fall solche Lösungstechniken überein⁸⁸⁾, die zwei Bedingungen erfüllen. Sie müssen es erstens gestatten, für alle interessierenden Systemzustände die lokalen Spielräume zulässiger Ereignisgeschehnisse unter Einhaltung aller vertikalen Ereignisabhängigkeiten aufzuzeigen. Hierdurch wird der Eigenart komplexer Koordinierungsaufgaben Rechnung getragen, durch Spielräume und Restriktionen für prozeßvorantreibende Ereignisgeschehnisse konstituiert zu werden. Zweitens müssen die Lösungskonzepte die selektive Funktion besitzen, jeden lokalen Entscheidungsspielraum durch Auswahl einer spielraumspezifischen Ereignismenge⁸⁹⁾ zu schließen. Mit der Hilfe solcher strukturkongruenten Lösungstechniken⁹⁰⁾ ist es möglich, die vorgegebenen globalen Koordinierungsprobleme durch das Identifizieren und Schließen aller involvierten lokalen Entscheidungsspielräume zu lösen⁹¹⁾.

Die hier vorgenommene Differenzierung - und nachträgliche Integration - von lokalen und globalen Entscheidungsproblemen spielt nicht nur für die Identifizierung strukturkongruenter Lösungstechniken eine Rolle. Darüber hinaus erlaubt sie auch, entscheidungstheoretische Problemstrukturierungen an das praktische Verhalten von Entscheidungsträgern bei der kurzfristigen Planung und Steuerung von Produktionsprozessen anzunähern.

Dagegen ist die Differenzierung zwischen lokalen und globalen Entscheidungsproblemen bei der konventionellen Modellierung von Koordinierungsproblemen auf entscheidungstheoretischer Basis unüblich⁹²⁾. Dort werden im allgemeinen Entscheidungsmodelle als Ganzheiten formuliert, die aus Variablen und darüber definierten Relationen bestehen. Der ganzheitliche Modellcharakter wird vor allem dadurch deutlich, daß als Entscheidungsalternative ein Lösungsvektor betrachtet wird, der *allen* Modellvariablen *simultan* einen lösungsspezifischen konstanten Wert zuweist⁹³⁾. Dies betont einseitig den *globalen* Aspekt der modellierten Koordinierungsprobleme. Zugleich wird die Identifizierung lokaler Spielräume für Ereignisgeschehnisse erheblich behindert⁹⁴⁾. Im allgemeinen finden solche lokalen Spielräume überhaupt keine explizite Beachtung⁹⁵⁾.

In der betrieblichen Praxis herrscht jedoch ein Entscheidungsverhalten vor, das vorrangig an *lokalen* Entscheidungsspielräumen anknüpft⁹⁶⁾. Dies wird besonders⁹⁷⁾ deutlich anhand der Beliebtheit, die Prioritätsregeln⁹⁸⁾ bei der heuristischen Auflösung von Ressourcenzugriffskonflikten genießen. Solche Konflikte liegen immer dann vor, wenn im selben Zustand des Produktionssystems die Startereignisse mehrerer Arbeitsgänge zwar jeweils einzeln zulässig sind, jedoch wegen des gemeinsamen Zugriffs auf eine knappe Ressource höchstens eines von ihnen tatsächlich geschehen darf⁹⁹⁾. Dann besteht der lokale Spielraum aus den Optionen, jeweils genau eines dieser Startereignisse geschehen zu lassen¹⁰⁰⁾ oder überhaupt keines¹⁰¹⁾. Durch eine Prioritätsregel läßt sich dieser lokale Entscheidungsspielraum schließen: Entweder wird eine Prioritätsregel angewandt, um dasjenige zulässige Ereignisgeschehnis mit der höchsten regelspezifischen Priorität auszuwählen¹⁰²⁾. Oder es wird die Unterlassungsalternative gewählt, überhaupt kein

zulässiges Ereignis geschehen zu lassen. Daher ermöglichen Prioritätsregeln die Lösung lokaler Entscheidungsprobleme.

Angesichts ihrer häufigen praktischen Anwendung liegt es zumindest im Interesse einer realitätsnahen Modellierung von Koordinierungsproblemen nahe¹⁰³), Prioritätsregeln zu berücksichtigen. Dazu müssen die Koordinierungsprobleme so konzeptualisiert werden, daß lokale Entscheidungsspielräume, in denen sich Prioritätsregeln aus der betrieblichen Koordinierungspraxis anwenden lassen, explizit und unmittelbar ausgewiesen werden. Genau dies leistet die oben vorgestellte Problemstrukturierung. Die zuvor angesprochenen konventionellen Modellierungen von Koordinierungsproblemen, die den globalen Konzeptualisierungsansatz des entscheidungstheoretischen Strukturierungsparadigmas nicht verlassen, sind dazu nicht in der Lage¹⁰⁴).

Allerdings kranken Prioritätsregeln in der Art, wie sie praktisch eingesetzt werden, an einer *einseitigen* Herauskehrung des lokalen Aspekts dynamischer Koordinierungsprobleme. Insofern verhalten sie sich komplementär zu den oben erwähnten konventionellen Entscheidungsmodellen, die den konkurrierenden globalen Aspekt überbetonen. Denn Algorithmen für die Lösung von Koordinierungsproblemen auf der Basis von Prioritätsregeln lassen bei der Lösung lokaler Entscheidungsprobleme im allgemeinen die vertikalen Ereignisabhängigkeiten außer acht, die zwischen aufeinander folgenden lokalen Entscheidungsproblemen bestehen. Statt dessen werden die Prioritätsregeln auf lokale Entscheidungsprobleme angewendet, ohne dabei die vertikalen Auswirkungen auf nachgelagerte lokale Entscheidungsprobleme zu beachten. Die daraus gewonnenen lokalen Problemlösungen werden derart propagiert, daß sie als zusätzliche dispositive Restriktionen die Spielräume aller nachfolgenden lokalen Entscheidungsprobleme reduzieren. Diese progressive Spielraumverengung kann bewirken, daß die gefundenen globalen Problemlösungen weitab vom theoretischen Optimum liegen¹⁰⁵). Ebenso ist es möglich, die Spielräume zukünftiger lokaler Entscheidungsspielräume so weit zusammenzuschnüren, daß überhaupt keine zulässige globale Problemlösung mehr gefunden wird - obwohl eine solche Problemlösung tatsächlich existiert¹⁰⁶). Beide Aspekte, die sich auf die Lösungsgüte heuristischer Prioritätsregelalgorithmen nachteilhaft auswirken, lassen sich zwar durchaus durch den praktischen Anwendungserfolg von Prioritätsregeln rechtfertigen. Doch erachtet es der Verf. als wünschenswert, darüber hinaus die Minderung der Lösungsgüte auch exakt beurteilen zu können.

Es wurde zwar eine Vielzahl von Evaluationen vorgelegt, die sich mit der Lösungsgüte von prioritätsregelgestützten Koordinierungsalgorithmen auseinandersetzen¹⁰⁷). Aber sie leiden unter der gemeinsamen Schwäche, nur einen relativen Gütevergleich zwischen alternativen Prioritätsregeln durchzuführen¹⁰⁸). Eine absolute Beurteilung, welcher Verzicht gegenüber der Lösungsgüte von Optimierungskalkülen damit verbunden ist, läßt sich aus jenen Evaluationsstudien nicht gewinnen¹⁰⁹). Dies wäre nur dann exakt möglich, wenn jeweils *dieselben* Entscheidungsmodelle einerseits mit Hilfe von prioritätsregelgestützten und andererseits durch optimierende Lösungsalgorithmen bearbeitet würden. Denn nur die Voraussetzung identischer Entscheidungsmodelle gestattet es, Abweichungen der Lösungsgüte alternativer Lösungsalgorithmen diesen Algorithmen verursachungsgerecht zuzurechnen. Andernfalls könnten unterschiedliche Lösungsgüten - zumindest partiell - auch dadurch verursacht sein, daß die beurteilten Lösungsalgorithmen auf verschiedene, jeweils algorithmenspezifisch konzeptualisierte Entscheidungsmodelle angewendet worden sind¹¹⁰). Die einseitige Zurechnung der beobachteten Lösungsgüte auf den untersuchten Lösungsalgorithmus wäre dann potentiell invalide¹¹¹). Denn denkmögliche Einflüsse, die von unterschiedlich formulierten Entscheidungsmodellen auf die Güte der modellabhängig eingesetzten Lösungsalgorithmen ausstrahlen könnten, würden ausgeblendet.

Daher ist eine Modellierung von Koordinierungsproblemen erforderlich, die *unabhängig* von denjenigen Algorithmen erfolgt, die später für die Modellösung eingesetzt werden (sollen). Dies gilt zumindest dann, wenn eine valide¹¹²) Beurteilung der Lösungsgüte jener Algorithmen angestrebt wird. Diesem Postulat räumt der Verf. großes Gewicht ein. Aufgrund theoretischer Bedenken¹¹³) wird es jedoch nicht in seiner reinen, sondern nur in einer abgeschwächten Form

verfolgt: Es soll zumindest die *Invarianz* der Modellkonstruktion gegenüber der algorithmischen Modelllösung sichergestellt werden (Invarianzpostulat).

Aber selbst das Invarianzpostulat wird von der Modellierungspraxis im allgemeinen nicht erfüllt. Dies gilt zumindest für den hier betrachteten Bereich der Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen. Das im einzelnen zu belegen überstiege den thematischen Rahmen dieser Arbeit. Doch es lassen sich ohne Schwierigkeiten drei verdeutlichende Beispiele anführen, die sich gemeinsam auf Koordinierungsprobleme der Maschinenbelegungsplanung bei Werkstattfertigung oder Flexiblen Fertigungssystemen beziehen.

Entscheidungsmodelle, für deren Lösung Prioritätsregeln vorgesehen sind, werden von vornherein so konzeptualisiert, daß lokale Entscheidungsprobleme dominieren. Die Lösungsorientierung dieser Problemstrukturierung ist angesichts früherer Erläuterungen offensichtlich. Jedes dieser lokalen Entscheidungsprobleme wird durch einen maschinenspezifischen Spielraum konstituiert: Es gilt, aus der Warteschlange von Werkstücken, die vor einer Bearbeitungsstation auf Bearbeitung warten, genau ein Werkstück durch Anwenden einer Prioritätsregel auszuwählen¹¹⁴). Der globale Aspekt dynamischer Koordinierungsprobleme, der auf vertikalen Ereignisinterdependenzen beruht, wird jedoch - wie bereits ausgeführt - vernachlässigt.

Entscheidungsmodelle, zu deren Lösung konventionelle Optimierungsalgorithmen des Operations Research eingesetzt werden sollen, verzichten dagegen zumeist¹¹⁵) auf die Konzeptualisierung lokaler Werkstückwarteschlangen vor Bearbeitungsstationen. Statt dessen dominiert dort die konventionelle Formulierung von linearen, gemischt-ganzzahligen OR-Programmen¹¹⁶). Sie stellen strukturierte Komplexe aus Variablen und darüber definierten Relationen dar¹¹⁷), die durch einen Optimierungsoperator ergänzt wurden. Auf die einseitige Betonung des globalen Aspekts dynamischer Koordinierungsprobleme durch solche variablen- und relationenorientierten Entscheidungsmodelle wurde schon eingegangen. Darüber hinaus bleiben die Definitionsbereiche der Variablen auf numerische Werte beschränkt. Daher bereitet es große Schwierigkeiten, nicht-numerische Entscheidungsdeterminanten adäquat auszudrücken. Trotz ihrer einseitig globalen Ausrichtung und ihrer mangelbehafteten Ausdruckskraft erfreuen sich OR-Programme einer großen Beliebtheit bei der Modellierung von Maschinenbelegungsplanungen¹¹⁸). Dieser Sachverhalt läßt sich darauf zurückführen, daß für OR-Programme ein breiter Fundus von etablierten Optimierungsalgorithmen zur Verfügung steht. Daher tritt auch hier die Orientierung der Modellformulierung an den verfügbaren Lösungsalgorithmen offen zu Tage¹¹⁹).

Eine bemerkenswerte Ausnahme stellen Warteschlangenmodelle¹²⁰) dar. Sie verbinden die Konzeptualisierung lokaler Entscheidungsprobleme in der Gestalt von Warteschlangen vor Bearbeitungsstationen mit einem globalen Optimierungsansatz. Hierdurch wird zwar vermieden, entweder lokale oder aber globale Aspekte - wie die zuvor kritisierten Entscheidungsmodelle auf der Basis von Prioritätsregeln bzw. von OR-Programmen - einseitig überzubetonen. Dennoch leiden auch die Warteschlangenmodelle daran, daß ihre Konzeptualisierung lösungsorientiert erfolgt¹²¹). Denn die Modellformulierung ist einseitig darauf zugeschnitten, Lösungsalgorithmen anwenden zu können, die vornehmlich aus dem Bereich stochastischer MARKOV-Systeme stammen¹²²). Entsprechend werden für die Bearbeitungsstationen und ihre Warteschlangen von vornherein stochastisch verteilte Bedienungs- bzw. Ankunftsdaten formuliert. Realitätsannäherungen, die ein Abweichen von den mathematisch noch bewältigbaren Wahrscheinlichkeitsverteilungen oder Dichtefunktionen erforderten, decken diese Warteschlangenmodelle nicht mehr ab¹²³). Warteschlangenmodelle leiden daher unter einer mangelhaften Realitätsadäquanz¹²⁴).

Beispielsweise schließen die vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen oder Dichtefunktionen für Bedienungs- und Ankunftsdaten aus, unvorhergesehene Produktionsstörungen zu berücksichtigen¹²⁵). Dies ist angesichts der großen Rolle, die solche Störungen für den Betrieb Flexibler Fertigungssysteme spielen können, ein erheblicher Nachteil von Warteschlangenmodellen. Es besteht noch nicht einmal die Möglichkeit, Entscheidungsalternativen¹²⁶) so zu modellieren, daß sich die Auswirkungen einzelner Alternativen separat erfassen lassen¹²⁷).

Ebensowenig ist es möglich, einzelne Werkstücke bei der Abwicklung eines Produktionsauftrags individuell zu verfolgen¹²⁸). Daher erlauben Warteschlangenmodelle nicht, Maschinenbelegungspläne aufzustellen, in denen jeder Bearbeitungsstation die dort zu bearbeitenden, auftragszugehörigen Werkstücke in Abhängigkeit von der fortschreitenden Produktionszeit zugewiesen sind¹²⁹). Aus den vorgenannten Gründen erweisen sich Warteschlangenmodelle für die Prozeßkoordinierung Flexibler Fertigungssysteme im allgemeinen als ungeeignet¹³⁰).

Die drei skizzierten Modellierungskonzepte lassen deutlich erkennen, daß die Forderung, die Modellkonzeptualisierung solle sich gegenüber der intendierten algorithmischen Modellösung invariant verhalten, bei weitem nicht eingelöst wird. Daher besteht ein wesentliches Ziel dieser Arbeit, der Erfüllung des Invarianzpostulats gerecht zu werden. Daher wird ein Modellierungskonzept erarbeitet, in dem die Modellformulierung und die Modellauswertung (Modellösung)¹³¹) strikt voneinander getrennt werden. Dies äußert sich vor allem¹³²) in zwei Hinsichten.

Erstens werden Transformationsmethoden vorgestellt, die es gestatten, Problemkonzeptualisierungen in Netzmodelle zu übersetzen, die zunächst nur natürlichsprachlich umschrieben und dann prädikatenlogisch präzisiert wurden. Die natürlichsprachlichen bzw. prädikatenlogischen Strukturierungen von Koordinierungsproblemen besitzen genuin *deskriptiven* Charakter, der über den Zweifel der verkappten Lösungsorientierung erhaben ist¹³³). Zweitens wird das Modellierungskonzept so angelegt, daß sich die bevorzugte Auswertungstechnik - die Erreichbarkeitsanalyse - *grundsätzlich* invariant gegenüber dem jeweils verfolgten Auswertungszweck verhält. Daher wird es später gelingen, Modelle von Koordinierungsproblemen unterschiedlichsten Auswertungen zu unterziehen. Insbesondere wird aufgezeigt werden, daß sich *dieselben* Netzmodelle sowohl durch heuristische Entscheidungsregeln als auch durch exakte Optimierungsalgorithmen auswerten lassen. Auf diese Weise wird es möglich, das oben aufgestellte Desiderat einzulösen, die Lösungsgüte von prioritätsregelgestützten Algorithmen mit derjenigen von Optimierungsalgorithmen exakt zu vergleichen¹³⁴).

Bisher wurde nur die dynamische Entscheidungsstruktur von Koordinierungsproblemen auf dem Fundament von lokalen Entscheidungsspielräumen herausgearbeitet. Gegen diese entscheidungstheoretische Strukturierung von Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen lassen sich aber zumindest¹³⁵) drei wesentliche Einwände vortragen:

- ❑ Die Problemstrukturierung sei unrealistisch, weil die produktionswirtschaftlich üblichen Formalziele bei der Planung und Steuerung von Produktionsprozessen in der betrieblichen Praxis keine - oder allenfalls rudimentäre - Beachtung fänden (Kritik mangelnder Praxisrelevanz).
- ❑ Die Problemkonzeptualisierung führe sich selbst ad absurdum, da eine konsequente Entscheidungsorientierung letztlich dazu führe, daß den Entscheidungsalternativen überhaupt keine entscheidungsrelevanten Formalzielbeiträge zugeordnet werden können (Kritik drohender Selbstaufhebung).
- ❑ Die Problemstrukturierung sei auch vor dem Hintergrund Flexibler Fertigungssysteme wenig hilfreich, weil der entscheidungstheoretische Ansatz ein Verfestigen "optimaler" Problemlösungen bewirke, anstatt die immanente Flexibilität solcher Produktionssysteme auszuschöpfen (Kritik unzureichender Flexibilität).

Der Diskussion dieser Vorhaltungen widmen sich die anschließenden Erörterungen. Sie dienen nicht nur dazu, die vorgenannte Kritik einzudämmen. Vielmehr zielen sie ebenso darauf ab, einige derjenigen Konzeptualisierungsmerkmale herauszuarbeiten, die in dieser Arbeit bei Entscheidungen über Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen eine besondere Rolle spielen werden.

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Bei diesen sachlichen Problemeterminanten handelt es sich aus entscheidungstheoretischer Perspektive um die Beschreibung der Entscheidungssituation und aus regelungstheoretischem Blickwinkel um die Spezifizierung der Regelstrecke. Entscheidungsträger bzw. Regler kommen daher im systemtheoretischen Strukturierungsansatz zu kurz.

2) Die Koordinierungsfähigkeiten werden vor allem unter dem handlungstheoretischen Aspekt relevant, daß Koordinierungsentscheidungen oftmals einer begrenzten Aufmerksamkeitsspanne unterliegen (Näheres dazu später).

3) Die Koordinierungsinteressen werden nachfolgend als global definierte Formalziele und als lokal ausgerichtete Entscheidungsheuristiken, wie vor allem Prioritätsregeln, thematisiert.

4) Vgl. dazu die frühere Festlegung, daß Koordinierungsentscheidungen, die kausal eröffnete Spielräume bei Prozeßkoordinierungen schließen können, ausgeklammert bleiben. Sie finden als Determinanten des Entscheidungs- oder Informationssystems bei der systemtheoretischen Strukturierung des Produktionssystems, das nur als Basis- oder Realsystem konzeptualisiert wurde, noch keine Berücksichtigung. Es wird keineswegs bestritten, daß sich systemtheoretische Problemkonzeptualisierungen auch um die nachfolgend erörterten Aspekte *innerhalb* eines systemtheoretisch motivierten Bezugsrahmens bereichern lassen. Dazu bräuchte lediglich ein weiter definiertes Systemverständnis vertreten zu werden. Beispielsweise ließe sich in die Konzeptualisierung des Produktionssystems ebenso das Entscheidungs- oder Informationssystem einbeziehen. Damit könnten alle Determinanten des entscheidungstheoretischen Strukturierungsparadigmas in den systemtheoretischen Ansatz integriert werden. Einen Streit über die "adäquate" Auslegung des systemtheoretischen Strukturierungsparadigmas zu führen, hält der Verf. jedoch für müßig. Statt dessen verweist er auf den überwiegenden Gebrauch dieses Konzeptualisierungsansatzes, wie er in den früher angeführten Quellenangaben dokumentiert ist. Dort werden die meisten Aspekte der entscheidungstheoretischen Strukturierung nicht - oder allenfalls in kryptischer oder inferiorer Weise - berücksichtigt. Nur die regelungstheoretischen Erwägungen, die später einfließen, werden oftmals als Bestandteile des systemtheoretischen Ansatzes thematisiert. Gerade diese kybernetischen Aspekte gehören aber auch nicht zum konventionellen entscheidungstheoretischen Paradigma. Statt dessen werden sie später nur angeführt, um Erweiterungen dieses Paradigmas zu motivieren.

5) Ein Koordinierungsträger wird als Entscheidungsträger bezeichnet, sofern nur seine Funktion betrachtet wird, Spielräume bei der Prozeßausführung zwecks Prozeßkoordinierung auszuschöpfen. Die früher dargelegte potentielle Multipersonalität des Koordinierungsträgers gilt hier ebenso für den Entscheidungsträger. Vgl. auch ACKOFF (1962), S. 30f.; ACKOFF (1978), S. 11; JACKSON, M.C. (1984), S. 476. Auf spezielle entscheidungstheoretische (Meta-)Probleme, die aus der Entscheidungsfindung von multipersonalen Entscheidungsträgern resultieren können, wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen. Vgl. zu solchen Problemen, die oftmals unter den Stichworten der Gruppenentscheidungen oder -präferenzen behandelt werden, z.B. KERN, W. (1972b), S. 363f.; RAIFFA (1973), S. 265ff., insbesondere S. 282ff.; BIDLINGMAIER (1976), Sp. 4731ff.; KIRSCH (1978), S. 75ff., insbesondere S. 81ff.; PFOHL (1981), S. 288ff. u. 426ff.; MASON, R. (1981), S. 39ff.; LAUX (1982), S. 121ff.; JACKSON, M.C. (1984), S. 479ff.; BAMBERG (1989), S. 198ff.; SIEBEN (1990), S. 186ff. u. 195f.; BOSSERT (1990), S. 1ff. u. 74ff.; HEINEN (1991b), S. 37ff.; FRESE (1991), S. 45; GALAM (1991), S. 40ff.; VETSCHERA (1991a), S. 373 (als "voting power" und als "weight for the group ranking"); GEIBEL (1992), S. 15ff., 19ff. u. 54ff., sowie die Beiträge im Sammelwerk MAIER, N. (1970), S. 216ff. Vgl. zur inhaltlich ähnlichen Diskussion der Fragmentierung von Planungsprozessen MEYER ZU SELHAUSEN (1989), Sp. 748 u. 750f. Vgl. auch am Rande STAUDT (1979a), S. 90.

6) Vgl. zu Überblicken über das entscheidungstheoretische Paradigma KOSIOL (1968), S. 248ff.; HEINEN (1969), S. 208ff.; HEINEN (1971), S. 21ff.; KOSIOL (1972), S. 206ff.; KIRSCH (1972), S. 157ff.; SCHANZ (1973), S. 140ff. u. 152; RAFFEE (1974), S. 94ff.; KIRSCH (1977a), S. 27ff.; WITTE, T. (1979a), S. 56ff.; CHMIELEWICZ (1979), S. 171ff.; ULRICH, P. (1979), S. 173f.; HEINEN (1980), S. 215ff.; WERHAHN (1980), S. 153ff. u. 358ff.; ADAM, D. (1980d), S. 48ff.; PFOHL (1981), S. 21ff. u. 134ff.; ADAM, D. (1983a), S. 484ff.; ADAM, D. (1983b), S. 11ff.; FRESE (1984), S. 173ff.; KIRSCH (1984), S. 36ff.; SCHANZ (1988c), S. 76ff.; BAMBERG (1989), S. 1ff.; SCHANZ (1990a), S. 109ff.; SCHWEITZER, M. (1990a), S. 41f. u. 50ff.; SIEBEN (1990), S. 1ff.; HEINEN (1990), S. 319ff.; HEINEN (1991b), S. 12ff. u. 23ff. Vgl. ebenso die Beiträge im Sammelwerk GROCHLA (1975a), Teil D (S. 297ff.). Vgl. aber auch die betont kritischen Erörterungen des entscheidungstheoretischen Paradigmas bei SCHAFFITZEL (1982), S. 344ff.; KURRAS (1984), S. 140ff.; HEINHOLD (1989), S. 691ff.; BÄUERLE, P. (1989), S. 175ff.; LAUX (1990b), S. 37ff.

Das entscheidungstheoretische Paradigma wird in den vorgenannten Quellen keineswegs so eng aufgefaßt, daß es ausschließlich den Bereich betriebswirtschaftlicher Entscheidungsmodelle umgreift. Diese Entscheidungsmodelle stellen vielmehr einen Strukturierungsansatz dar, der das entscheidungstheoretische Paradigma vornehmlich in formaler Hinsicht konkretisiert - aber zugleich auch verfestigt - hat. Die dort vorherrschende Strukturierung von Entscheidungsproblemen wird im folgenden so weit übernommen, wie nicht auf Abweichungen ausdrücklich hingewiesen wird. Ausführlichere Darstellungen der konventionellen Problemstrukturierung durch betriebswirtschaftliche Entscheidungsmodelle finden sich bei BITZ (1977), S. 65ff.; DINKELBACH (1979), Sp. 1380ff.; PFOHL (1981), S. 26ff.; BAMBERG (1989), S. 12ff.; SIEBEN (1990), S. 15ff.; LAUX (1990b), S. 42ff.; HEINEN (1991b), S. 26ff. Die De-

vianzen gegenüber konventionellen Entscheidungsmodellen, die hier im Rahmen des entscheidungstheoretischen Paradigmas erörtert werden, betreffen z.B. handlungs- und regelungstheoretische Aspekte. Darüber hinaus werden auch Erweiterungen konventioneller Entscheidungsmodelle berücksichtigt, die der oben angedeuteten Verfestigung der vorherrschenden Modellierungspraxis entgegenwirken. Dazu gehört das Konzept des Outranking, das in einer der nachfolgenden Anmerkungen vorgestellt wird.

7) Es werden - falls nicht ausdrücklich abweichende Festlegungen erfolgen - nur wohldefinierte und nicht-entartete Spielräume betrachtet, die jeweils mindestens ein disponibles Ereignis umfassen. Entscheidungsprobleme, die diese Voraussetzung erfüllen, stellen echte Entscheidungsprobleme dar. Ein Entscheidungsproblem mit entartetem Spielraum wird dagegen als unechtes Entscheidungsproblem bezeichnet. Dort existiert überhaupt kein disponibles Ereignis, über dessen Geschehen entschieden werden könnte. Von einem unechten Entscheidungsproblem wird ebenso gesprochen, wenn es nicht wohldefiniert ist, weil die spielraumbegrenzenden Restriktionen inkonsistent sind. Dann können wegen des "ex falso quodlibet"-Prinzips unendliche viele verschiedene Spielräume "gefolgert" werden, von denen jedoch keiner widerspruchsfrei bleibt.

8) Insofern wird in diesem Kapitel keine rein entscheidungstheoretische Strukturierung der Prozeßkoordinierung thematisiert, sondern eine Kombination aus system- und entscheidungstheoretischen Strukturierungsbeiträgen. Vgl. dazu auch die Ansicht von RAFFEE (1974), S. 118, system- und entscheidungstheoretische Konzeptualisierungen erwiesen sich als besonders leistungsfähig, wenn sie miteinander kombiniert würden.

9) Der Objektivitätsbegriff wird hier nur im eingeschränkten entscheidungstheoretischen Verständnis der Unabhängigkeit von entscheidungsfällenden Subjekten verwendet. Objektive Entscheidungsdeterminanten umfassen daher jene Einflußgrößen, die ein Entscheidungsproblem sachlich konstituieren, aber nicht von denjenigen Personen abhängen, die als Entscheidungsträger in die Entscheidungsfindung involviert sind. Mit dem entscheidungstheoretischen wird jedoch nicht auf den erkenntnistheoretischen Objektivitätsbegriff abgezielt. Denn aus den später erfolgenden Ausführungen zur Abhängigkeit der Problembeschreibung von Konzeptualisierungsprämissen des Modellierungsträgers folgt, daß in erkenntnistheoretischer Hinsicht nur subjektiv beeinflusste Strukturierungen von Entscheidungsproblemen möglich sind. Allerdings kann ein subjektiv konzeptualisiertes Entscheidungsproblem als expliziertes, zunächst noch informal beschriebenes Entscheidungsmodell zu einem Objekt der Kommunikation über die subjektiv gesetzten Konzeptualisierungsprämissen werden. Dadurch erhält es intersubjektiven Charakter.

10) Zu den subjektiven Determinanten eines Entscheidungsproblems gehört strenggenommen auch das Präferenzsystem des Entscheidungsträgers. Es bestimmt, wie der Entscheidungsträger einzelne Formalzielbeiträge durch seine Arten-, Höhen-, Risiko- und Zeitpräferenzen zu Gesamtentscheidungen integriert. Diese Präferenzaspekte interessieren jedoch in dieser Arbeit nicht weiter. Denn die später präsentierten Erreichbarkeitsgraphen, die mit Formalzielbeiträgen beschriftet werden, verhalten sich neutral gegenüber beliebigen Präferenzsystemen. Daher spielt es für die Konstruktion von Netzmodellen, die mit der Hilfe von Erreichbarkeitsgraphen ausgewertet werden, keine Rolle, welche Präferenzen ein Entscheidungsträger verfolgt. Die Präferenzen erlangen erst dann Bedeutung, wenn ein Erreichbarkeitsgraph zur Lösung eines Koordinierungsproblems konkret ausgewertet werden soll. Wie dies im einzelnen geschehen kann, wird in dieser Arbeit anhand der später behandelten Optimierungsnetze exemplarisch dargestellt. Dort werden Höhenpräferenzen durch die Minimierungs- oder Maximierungsoperatoren der Transitionsbeschriftungen bereits berücksichtigt. Komplizierende Arten-, Risiko- oder Zeitpräferenzen lassen sich prinzipiell analog erfassen. Da hiervon jedoch keine neuartigen Erkenntnisse für das vorgelegte Modellierungskonzept zu erwarten sind, wird darauf verzichtet, dies im Detail auszuführen. Darüber hinaus würde die Abhängigkeit der Präferenzen vom jeweils agierenden Entscheidungsträger nur einzelfallbezogene Konzeptualisierungen von Präferenzsystemen zulassen.

Neben dieser subjektabhängigen Präferenzvariabilität müßte auch noch eine situationsabhängige Präferenzvariabilität in Rechnung gestellt werden. Sie wird zumeist als situative Bedingtheit, mitunter auch als zeitliche Variabilität von Zielen oder von Zielgewichtungen thematisiert. Dazu gehört in der produktionswirtschaftlichen Literatur, die sich mit Produktionsprozeß- oder Ablaufplanungen befaßt, vor allem die Abhängigkeit der verfolgten Formalziele von der jeweils aktuellen Kapazitätsauslastung. Vgl. zur situativen oder zeitlichen Varianz von Präferenzsystemen LINDBLOM (1959), S. 82; GÜNTHER, H. (1971), S. 85; LINDBLOM (1976), S. 377f.; ELLINGER (1977a), S. 18ff.; STAUDT (1979a), passim, insbesondere S. 89f., 95f., 103, 137, 163, 165, 180, 183 u. 185; KERN, W. (1980), S. 62; MAIER, U. (1980), S. 101; KNOOP (1986), S. 24f.; MALIK (1986), S. 327ff., insbesondere S. 328; SCHEER (1987a), S. 32; HINTZ (1987), S. 84 u. 178; MEYER ZU SELHAUSEN (1989), Sp. 747f.; HEINHOLD (1989), S. 699; SIEBEN (1990), S. 187f.; MARCH (1990b), S. 301, 304, 309f., 313 u. 316f.; LORCH (1990), S. 13f.; FRESE (1991), S. 46; WINTER, R. O. (1991), S. 165. Vgl. darüber hinaus HERRMANN, T. (1979), S. 197. Er befaßt sich mit einer Metaebene, auf der die Tauglichkeit von Theoriekonstruktionen für das Lösen allgemeiner wissenschaftlicher Problemstellungen untersucht wird. Diesbezüglich stellt er fest, daß die Beurteilung der Theoriekonstruktionen u.a. auch davon abhängt, auf welche Problemlösungsstadien die Theoriekonstruktionen angewendet werden sollen. Diese Problemlösungsstadien entsprechen den hier interessierenden Anwendungssituationen von Modellierungskonzepten für Entscheidungsprobleme.

Die subjekt- oder situationsbezogene Variabilität von Präferenzen zu berücksichtigen entspräche jedoch nicht der Intention der vorliegenden Untersuchungen, die Modellierungsbeiträge des Petrinetz-Konzepts für einen möglichst breiten Bereich von Koordinierungsproblemen zu untersuchen. Daher wird darauf verzichtet, Präferenzaspekte weiter zu beachten. Vgl. statt dessen zu ausführlicheren Erläuterungen von Präferenzsystemen PFOHL (1981), S. 43ff., und SIEBEN (1990), S. 23, 25ff., 36f. u. 46ff. (sowie im weiteren passim).

11) Vgl. zur Differenzierung zwischen Sach- und Formalzielen KOSIOL (1968), S. 59 u. 261ff.; KERN, W. (1972a), S. 313; STAUDT (1979a), S. 105ff. versus S. 111ff.; KERN, W. (1990a), S. 61; LAUX (1990b), S. 41.

12) Vgl. zu den Sachzielen der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung HAHN, D. (1989a), S. 444.

13) Eine solche Auftragsmenge wird ebenso als Auftragspaket angesprochen. Das Auftragspaket wird als Paket einzuplanender oder durchzuschleusender Produktionsaufträge bezeichnet, wenn ein Koordinierungsproblem unter dem Aspekt der Planung bzw. Steuerung von Produktionsprozessen akzentuiert werden soll. In einem Auftragspaket sind alle herzustellenden Produkte hinsichtlich der betroffenen Produktarten und der erforderlichen Produktmengen spezifiziert. Die Spezifikationen führen aus der Perspektive der früheren systemtheoretischen Strukturierung von Koordinierungsproblemen zu Restriktionen dispositiver Art, welche die Spielräume zulässiger Ereignisgeschehnisse beschränken.

14) Vgl. zur Charakterisierung der zeitlichen Komponente von Zieldefinitionen im allgemeinen KERN, W. (1972a), S. 313; SCHNEIDER, D. (1973), S. 32f.; BIDLINGMAIER (1976), Sp. 4738f.; HEINEN (1991b), S. 14. Vgl. im besonderen zur zeitlichen Dimension der Spezifizierung von Sachzielen KOSIOL (1968), S. 261; HAHN, D. (1989a), S. 444. Der zeitliche Rahmen der Sachziele, die hier als Produktionsaufträge konzeptualisiert wurden, fällt mit den bereits eingeführten auftragspezifischen Abwicklungsintervallen zusammen. Er umfaßt daher alle frühest möglichen Einlastungs- und alle spätest zulässigen Fertigstellungstermine, die für die Auftragsabwicklung spezifiziert sind. Sie stellen wie die produktbezogenen Restriktionen aus der voranstehenden Anmerkung wiederum einen typischen Fall dispositiver Restriktionen dar. Der Zeitraum, innerhalb dessen die Abwicklung aller Produktionsaufträge konzeptualisiert wird, wird als Koordinierungszeitraum oder -intervall angesprochen. Das Koordinierungsintervall wird durch den Koordinierungsbeginn und das Koordinierungsende begrenzt. Es beginnt mit dem Zeitpunkt, in dem die Prozeßkoordinierung im zugrundeliegenden Produktionssystem starten soll. Sein Ende heißt der Koordinierungshorizont. Er muß die spätest zulässigen Fertigstellungstermine aller Aufträge zumindest überdecken (Konsistenzprämisse). Er kann jedoch auch darüber hinausreichen, um z.B. mögliche Terminüberschreitungen zu erfassen. Der Koordinierungshorizont darf auch unendlich groß sein. Dann stellt der Koordinierungszeitraum ein halboffenes, in die Zukunft unbegrenztes Intervall dar.

15) Strenggenommen müßte von einer *sachzielgerechten* oder *erfolgreichen* Auftragsabwicklung gesprochen werden. Denn eine Auftragsabwicklung könnte unter Umständen auch mit dem - unerwünschten - Ergebnis enden, daß der Auftrag z.B. wegen Minderqualität oder Ausschubfertigung nicht das gesteckte Sachziel erreicht. Sofern die speziellen Schwierigkeiten solcher Sachzielverfehlungen nicht thematisiert werden, wird der Einfachheit halber stets unterstellt, daß mit einer Auftragsabwicklung die sachzielgerechte Fertigstellung des Auftrags gemeint ist.

16) Als einzig neuartige - aber marginale - Komponente wurde in einer der voranstehenden Anmerkungen aus entscheidungstheoretischer Sicht der zeitliche Rahmen der Auftragsabwicklung eingeführt. Eine weiterführende Konkretisierung von Sachzielen erfolgt später im Rahmen des problemtheoretischen Strukturierungsparadigmas, wenn erwünschte Endzustände von Produktionssystemen identifiziert werden.

17) Vgl. zu typischen Formalzielen der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung, die oftmals auch als (Formal-)Ziele der betrieblichen Ablaufplanung bei Werkstattfertigung diskutiert werden, DICKHUT (1966), S. 66ff.; MUSCATI (1970), S. 40ff.; JUNGHANNS (1971), S. 168f.; HORMANN, D. (1973), S. 64f.; HAUKE (1973), S. 73; RÜGER (1974), S. 18ff.; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 102ff.; RÜGER (1974), S. 18f.; ELLINGER (1977a), S. 6ff.; BECKER, J. (1978), S. 508; EVERSHEIM (1981), S. 172; OSMAN (1982), S. 29ff.; WICHARZ (1983), S. 71ff. u. 103ff.; SELIGER (1983), S. 35; ELLINGER (1985), S. 47ff., insbesondere S. 60ff.; ALDINGER (1985a), S. 76; HELBERG (1987), S. 126 u. 192ff.; MISSBAUER (1987), S. 4, 24, 44, 48 u. 66; WILDEMANN (1988c), S. 41f. u. 58; WILDEMANN (1988f), S. 20, 101ff. u. 114ff.; WECK (1988c), S. 404; JAROSCH (1988), S. 200ff., 208, 210 u. 212; BEIER (1988a), S. 228f. u. 231ff.; URBAN (1988), S. 354ff. u. 359; MEYER, W. (1988a), S. 491; WALENDA (1989), S. 35; HAHN, D. (1989a), S. 445ff. Vgl. zu stützenden empirischen Untersuchungen über die Ziele, die im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung von betrieblichen Entscheidungsträgern tatsächlich verfolgt werden, ELLINGER (1977a), S. 5, 10f. u. 15ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 198f., mit unmittelbarem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme; ELLINGER (1985), S. 60ff.; WILDEMANN (1988f), S. 100ff. Speziell aus der Koordinierungsperspektive Flexibler Fertigungssysteme werden Formalziele thematisiert bei ROPOHL (1971), S. 88ff.; MAIER, U. (1980), S. 16, 24f., 86ff. u. 90ff.; NIEB (1980), S. 17ff.; SPUR (1980), S. 27, 301ff., 321, 349, 365f., 368f. u. 399ff.; DÖTTLING (1981), S. 28f. u. 93f.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 198f.; HARTLEY (1984), S. 1, 6, 68 u. 153; KNOOP (1986), S. 3, 23, 25, 120, 166, 188, 213 u. 215; HINTZ (1987), S. 3, 14ff., 30, 57, 66, 68, 152ff., 160, 166f. u. 190; ARNING (1987), S. 112f.; NIEDERHAUSEN (1988), S. 403; O.V. (1988n), S. 25; ZHANG, S. (1989), S. 97f.; KOHEN (1989), S. 41. Sofern aus dem Argumentationskontext ersichtlich ist, daß ausschließlich

Formalziele gemeint sind, wird das Formalzielsystem fortan auch kurz als Zielsystem des Entscheidungsträgers angesprochen.

18) Die Beschreibung des Zielsystems könnte - analog zur Konzeptualisierung des Entscheidungsfelds - einer weiterführenden systemtheoretischen Strukturierung unterzogen werden. Betriebswirtschaftlich üblich ist hierbei die Strukturierung mit Hilfe der zwei inversen zweistelligen Relationen "... ist Ober-/Unterziel von ..." zwischen den Einzelzielen als Systemelementen. Es resultieren Zielsysteme, die in der Regel hierarchisch, in seltenen Fällen auch heterarchisch strukturiert sind. Vgl. zu solchen Zielsystemstrukturierungen KERN,W. (1972b), S. 360ff.; SCHNEIDER,D. (1978), S. 9ff.; KUPSCH (1979), S. 67ff., insbesondere S. 86ff.; HAUSCHILDT,J. (1980), Sp. 2420ff.; HEINEN (1991b), S. 16f. Auf solche Verfeinerungen wird jedoch in dieser Arbeit verzichtet. Vgl. dazu die Argumente, die in einer früheren Anmerkung rechtfertigten, unterschiedliche Formalzielarten und Präferenzstrukturen nicht näher zu untersuchen. Vgl. ebenso die grundsätzlichen Bedenken gegenüber der Ansicht, stringente Ober-/Unterziel-Relationen zur Strukturierung von Zielsystemen "logisch deduktiv" gewinnen zu können, BRETZKE (1980), S. 78ff., und GEIBEL (1992), S. 63ff., insbesondere S. 63 u. 68.

19) Die Differenzierung der drei zuerst genannten Formalzielkategorien lehnt sich an die übliche Unterscheidung von Zielkriterien an, die oftmals auch als angestrebtes Zielausmaß oder als Zielmaßstab thematisiert werden. Vgl. KOSIOL (1968), S. 249; KERN,W. (1972a), S. 313; SCHNEIDER,D. (1973), S. 31f.; BIDLINGMAIER (1976), Sp. 4738; PFOHL (1981), S. 44f.; SCHWEITZER,M. (1990a), S. 37. In den vorgenannten Quellen wird allerdings zumeist nur zwischen Extremierungs- oder Optimierungszielen auf der einen und Satisfizierungszielen auf der anderen Seite unterschieden. Mitunter kommen Punkt- oder Fixierungsziele als Formalzielkategorie sui generis hinzu. Die nachfolgenden drei Formalzielkategorien stimmen damit nur hinsichtlich der beiden ersten Zielkriterien überein. Die Fixierungs- werden unter die Satisfizierungsziele subsumiert. Zusätzlich werden Meliorisierungsziele als Formalzielkategorie eigener Art eingeführt. Sie werden zwar in den o.a. Quellen nicht thematisiert. Dennoch erscheinen sie dem Verf. wichtig, weil weder Extremierungs- noch Satisfizierungs- oder Fixierungsziele in der Lage sind, komparative Modellanalysen überzeugend zu motivieren. Da diese Untersuchungsvariante betriebswirtschaftlich durchaus von Interesse ist, werden die Meliorisierungsziele gesondert aufgeführt.

20) Die Formalzielkategorien begründen später für Netzmodelle unterschiedliche Analysearten. Dagegen braucht innerhalb dieser Analysearten nicht zwischen einzelnen Formalzielarten differenziert zu werden. Denn die spätere Beschriftung von Erreichbarkeitsgraphen mit Formalzielbeiträgen ist so allgemein konzipiert, daß sie für *beliebige* Formalzielarten stets in der gleichen Weise geschieht. Darüber hinaus ist die Beschriftung von Erreichbarkeitsgraphen keineswegs auf skalare Formalzielbeiträge beschränkt, sondern kann ebenso Beitragsvektoren umfassen. Daher ermöglicht sie auch, die Auswirkungen von Koordinierungsentscheidungen auf mehrere verschiedene Formalzielarten zu berücksichtigen.

21) Vgl. zur zunehmenden Anerkennung der Bedeutung, die Satisfizierungszielen (und Anspruchsniveaus) bei Bemühungen um realitätsnahe Formulierungen von Formalzielsystemen zukommen kann, SIMON,H. (1959), S. 259f., 262ff. u. 277; CYERT (1963), S. 10, 20, 28, 32, 66 112f., 115, 117, 121 u. 266; HEINEN (1966), S. 8; KRELLE (1968), S. 28ff.; KERN,W. (1972a), S. 313; SCHNEIDER,D. (1973), S. 31f.; BIRCHER (1976), S. 102f.; BIDLINGMAIER (1976), Sp. 4738; KISTNER (1981c), S. 74 u. 78; PFOHL (1981), S. 44f. u. 395ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 244, 290f., 392f. u. 809ff.; ZIMMERMANN,H. (1987b), S. 8; HEINHOLD (1989), S. 698; SIEBEN (1990), S. 25, 37f. u. 179f.; RABL (1990), S. 162f.; ZIONTS (1991), S. 378ff.; LAUX (1991), S. 52ff.; GEIBEL (1992), S. 5f. Satisfizierungsziele haben allerdings für Zwecke der Koordinierung von Produktionsprozessen zumeist nur untergeordnete Beachtung. Sie werden nur selten - und dann auch nur in recht globaler Weise - gewürdigt. Vgl. z.B. FOX,M. (1983a), S. 4f. u. 9; MISSBAUER (1987), S. 44 ("zufriedenstellende Kapazitätsauslastung"); HINTZ (1987), S. 4 ("zufriedenstellende Ergebnisse in der Produktionsplanung und -steuerung"), 85 (Forderung, "daß mit einem vertretbaren Rechenaufwand eine bezüglich aller Ziele zufriedenstellende Lösung erreicht wird"; Fettdruck des Originals hier unterlassen), 90, 116 u. 166; MÜLLER,A. (1987), S. 16; SCHEER (1990c), S. 205 ("befriedigendes Ergebnis"). Zu den wenigen Ausnahmen, die Satisfizierungsziele in den Mittelpunkt von Produktionsplanungen und PPS-Systemen stellen, gehören dagegen GELDERS (1982), S. 34, und WINTER,RO. (1991), S. 7, 13, 165, 184, 188, 211, 237f., 302, 309ff., 332 u. 337. WINTER spricht zwar zumeist nur von der Suche nach zulässigen Produktionsplänen. Aber seine Ausführungen lassen erkennen, daß er in die Zulässigkeit von Produktionsplänen die Erfüllung von Anspruchsniveaus einbeziehen möchte. Daher bilden Satisfizierungsziele den Hintergrund seiner Argumentation. Auf S. 7 u. 332 erwähnt WINTER sogar explizit die "Idee der Satisfizierung". Ebenso tritt der Satisfizierungsgedanke deutlich hervor, wenn WINTER,RO. (1991), S. 315, die Zulässigkeit von Produktionsplänen u.a. an einen qualifikationsgerechten Einsatz von Arbeitskräften bindet.

Aufgrund der vorgegebenen Anspruchsniveaus, die mindestens erfüllt werden sollen, besitzen Satisfizierungsziele den formalen Charakter von Restriktionen. Vgl. SIMON,H. (1957a), S. 250; KISTNER (1981c), S. 74; SIEBEN (1990), S. 37f. Daher wird oftmals empfohlen, in Entscheidungsmodellen zwischen Satisfizierungszielen und Restriktionen nicht weiter zu unterscheiden. Vgl. KISTNER (1981c), S. 74. Dennoch werden in dieser Arbeit Satisfizierungsziele klar abgegrenzt von allen Restriktionen, die bei der früheren systemtheoretischen Strukturierung des Entscheidungsfelds und bei der Formulierung von Sachzielen identifiziert wurden. Daher wird zwischen zwei Restriktionsarten

deutlich unterschieden: Die Klasse der formalen Restriktionen umfaßt alle Anspruchsniveaus, die auf Satisfizierungszielen beruhen. Dagegen gehören zur Klasse der sachlichen Restriktionen alle Einschränkungen, die im Entscheidungsfeld oder Sachzielsystem verankert sind. Lösungen eines Entscheidungsproblems werden als sachlich oder technisch zulässige Problemlösungen bezeichnet, wenn sie alle sachlichen Entscheidungsrestriktionen erfüllen. Dagegen wird von formal oder organisatorisch zulässigen Problemlösungen gesprochen, wenn es sich um sachlich zulässige Problemlösungen handelt, die darüber hinaus alle formalen Entscheidungsrestriktionen erfüllen. Die Differenzierung zwischen sachlichen und formalen Restriktionen wird im später entfalteten Modellierungskonzept besonders deutlich: Dort fließen nur die sachlichen Restriktionen in die Netzmodelle ein, welche die zugrundeliegenden Produktionssysteme repräsentieren. Die formalen Restriktionen können sich dagegen nur auf die Auswertung der Erreichbarkeitsgraphen jener Netzmodelle auswirken. Beispielsweise beeinflussen sie die Extensionen der später definierten formal zulässigen Prozeßmengen. Im Rahmen des Petrinetz-Konzepts ist es daher möglich, durch die Unterscheidung zwischen Netzen und ihren Erreichbarkeitsgraphen die darin repräsentierten sachlichen bzw. formalen Restriktionen streng auseinanderzuhalten. Dies ist in konventionellen Modellierungen auf entscheidungstheoretischer Basis nicht möglich. Insofern zeigt sich eine höhere Differenzierungskraft des Petrinetz-Konzepts.

Darüber hinaus könnten Satisfizierungsziele als Sonderfälle von Optimierungszielen behandelt werden. Denn es ist mit der Hilfe eines speziellen Typs von Höhenpräferenzen möglich, jedes Satisfizierungsziel in ein äquivalentes Extremierungsziel vom Maximierungstyp zu transformieren. Dazu braucht lediglich eine Höhenpräferenz gewählt zu werden, die bei Erfüllung des Anspruchsniveaus einen konstanten maximalen Nutzenbetrag aufweist. Solange dieses Niveau noch nicht erreicht ist, kann die Höhenpräferenz den Nutzenbetrag entweder auf einem konstanten minimalen Wert fixieren oder aber mit abnehmendem Abstand vom Anspruchsniveau positiv monoton bis auf den vorgenannten maximalen Wert anwachsen lassen. Vgl. zu diesen Transformationsmöglichkeiten ZELEWSKI (1986a), S. 244; SIEBEN (1990), S. 25, 38 u. 47. Für die praktische Bewältigung von Entscheidungsproblemen spielt jedoch diese *formale* Transformationsmöglichkeit keine Rolle. Vielmehr erweisen sich die beiden Kategorien von Satisfizierungs- und Optimierungszielen als *materiell* grundverschieden. Denn Optimierungsziele können immer erfüllt werden, falls das Zielsystem konsistent formuliert ist. Sie führen im Regelfall zu wenigen, oftmals sogar eindeutigen Problemlösungen (sofern von den besonderen Komplikationen multidimensionaler Formalzielsysteme abgesehen wird). Bei Satisfizierungszielen lassen sich dagegen die Anspruchsniveaus so hoch oder so tief festlegen, daß überhaupt keine bzw. sehr viele Problemlösungen existieren. Wegen dieser materiell bedeutsamen Unterschiedlichkeit werden in dieser Arbeit Optimierungs- und Satisfizierungsziele nicht als Ausprägungen derselben Zielkategorie behandelt.

22) Anspruchsniveaus erlangen besondere Bedeutung im Zusammenhang mit Konzepten eingeschränkter Rationalität und im Rahmen der eng verwandten Anspruchsanpassungstheorie. Vgl. SIMON, H. (1955), S. 104ff.; SIMON, H. (1957a), S. 246ff. u. 261f.; SIMON, H. (1959), S. 263f.; SAUERMAN (1962), S. 579ff.; CYERT (1963), S. 10, 34; HEINEN (1966), S. 8; SCHMIDT-SUDHOFF (1967), S. 66ff.; KLEIN, H. (1971), S. 66ff.; GROCHLA (1972), S. 155ff.; SIMON, H. (1972), S. 170f.; KERN, W. (1972b), S. 365; SCHNEIDER, D. (1973), S. 53ff.; GÄFGEN (1974), S. 240ff.; HEINEN (1976), S. 239ff.; KIRSCH (1977a), S. 107ff.; PFOHL (1981), S. 395 u. 403ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 291 u. 809; SIEBEN (1990), S. 180 u. 188; MARCH (1990b), S. 307; ZIONTS (1991), S. 378f.; LAUX (1991), S. 53.

23) Die Anspruchsniveaus von Satisfizierungszielen können sowohl den Charakter von nicht zu überschreitenden Ober- als auch den von nicht zu unterschreitenden Untergrenzen besitzen. Ebenso ist es möglich, daß die intendierte Erfüllung eines Satisfizierungsziels durch zwei antipodische Satisfizierungsniveaus zugleich von oben und von unten begrenzt wird. Darauf wird später im regelungstheoretischen Kontext zurückgegriffen werden. Schließlich läßt sich vorstellen, daß die Ober- und die Untergrenze des Anspruchsniveaus eines Satisfizierungsziels zusammenfallen. Dann liegt ein Punkt- oder Fixierungsziel vor. Bei jedem Punktziel degeneriert das Anspruchsniveau zu einer Singularität. Vgl. zu den voranstehenden Festlegungen das ebenso weit aufgefaßte Konzept der Satisfizierungsziele bei PFOHL (1981), S. 44.

24) Verbesserungs- oder Meliorierungsziele finden in der betriebswirtschaftlichen Literatur nur selten direkte Erwähnung. Vgl. zu den wenigen Ausnahmen WITTE, T. (1979a), S. 175f.; BEST, G. (1986), S. 468; ZELEWSKI (1986a), S. 975; KLEIN, S. (1989), S. 19, 129 u. 132f.; HEINHOLD (1989), S. 689; HAHN, D. (1989a), S. 451 (mit expliziten Bezug auf PPS-Systeme). Allerdings liegt das Denken in der Kategorie von Meliorierungszielen zahlreichen betriebswirtschaftlichen Ansätzen indirekt zugrunde. Dazu gehört insbesondere der weite Bereich der inkrementellen Planungsstrategie. Vgl. LINDBLOM (1959), S. 79ff., insbesondere S. 81ff.; BRAYBROOKE (1963), S. 82ff. u. 147ff.; DROR, Y. (1964), S. 153ff. (distanziert mit einer wohlfundierten Kritik); LINDBLOM (1965), S. 144ff. u. 178f.; LINDBLOM (1976), S. 375ff. (der zunächst von einer "Methode der schrittweisen, begrenzten Vergleiche" (S. 375) spricht, aber auf S. 381, 383f. u. 386 explizit auf inkrementelle Veränderungen Bezug nimmt); OBERMEIER, G. (1977), S. 235ff., insbesondere S. 237ff.; WITTE, T. (1979a), S. 168ff.; PICOT (1979), S. 569ff. u. 591ff.; DURFEE (1986), S. 58ff.; MALIK (1986), S. 323; BÜHNER (1987), S. 252f.; MAG (1988), S. 770ff. (als "Denken in Änderungen"); ZWICKER (1988), S. 341ff.; MEYER ZU SELHAUSEN (1989), Sp. 746ff.; SCHWANINGER (1989), S. 380ff.; WINTER, R. O. (1991), S. 143. Darüber hinaus klingt die inkrementelle Planungsstrategie ebenso an bei CYERT (1963), S. 100ff. (S. 100: "process of short-run adaptive reactions"), 113 u. 119 ("organizations make decisions by solving a

series of problems"), und WILLI (1988), S. 190f. ("Agieren in kleinen Schritten"; S. 190). Sie liegt auch der "Stückwerktechnologie" zugrunde, die ausführlich von STAUDT (1979a), S. 86ff., insbesondere S. 97 u. 100ff, und von POPPER (1987), S. 47, 51ff., 68ff. u. 72f., dargestellt wird. Vgl. zu ihrer Einordnung in das Konzept inkrementeller Planung MEYER ZU SELHAUSEN (1989), Sp. 748. Vgl. zu ihrem Verbesserungscharakter STAUDT (1979a), S. 97; POPPER (1987), S. 53. Die inkrementelle Planungsstrategie genießt in ihren voranstehend angesprochenen Varianten bei der praktischen Bearbeitung *komplexer* Probleme große Verbreitung. Vgl. dazu die vorgenannten Quellen, insbesondere LINDBLOM (1976), S. 376 u. 387; PICOT (1979), S. 591; MEYER ZU SELHAUSEN (1989), Sp. 751f. Dies spricht für die betriebswirtschaftliche Relevanz der hier aufgeführten Meliorisierungsziele. In die gleiche Richtung weist das Streben nach "komparativer Verbesserung" bei LINDBLOM (1959), S. 83; BRAYBROOKE (1963), S. 149ff.; ALBERT, H. (1978a), S. 30f.; WESTMEYER (1979), S. 157; HERRMANN, T. (1979), S. 215; SIKORA, K. (1984c), S. 14; ALBERT, H. (1987), S. 89; WENKEL (1988), S. 3f., 108, 110, 115, 117f. u. 120; KLEIN, S. (1989), S. 19, 127 u. 134; ZELEWSKI (1989b), S. 44f. Das Verfolgen von Meliorisierungszielen klingt auch bei SIMON, H. (1957a), S. 253, und LAUX (1991), S. 53, an. Es wird dort allerdings unter dem Aspekt der sukzessiven Anpassung von Anspruchsniveaus thematisiert.

Aus produktionswirtschaftlicher Sicht finden Meliorisierungsziele vor allem im Rahmen von Verbesserungsverfahren Beachtung. Solche Verfahren werden häufig bei der innerbetrieblichen Standortplanung (Layoutplanung) angewendet. Vgl. LÜDER (1990), S. 74ff.; CORSTEN (1990a), S. 366ff. (dort als Vertauschungsverfahren thematisiert); KERN, W. (1990a), S. 269. Solche Verfahren werden ebenso auf die allgemeine Modellierung von Produktionssystemen angewandt, um zu schrittweise verbesserten Systementwürfen zu gelangen. Vgl. WIEST (1973), S. 122; HOCH (1973), S. 223. Die Verbesserungsverfahren entsprechen zwar der o.a. inkrementellen Planungsstrategie. Aber sie bleiben im allgemeinen auf die Planung von Systemstrukturen beschränkt. Lediglich WINTER, RO. (1991), S. 302ff., präsentiert ein detailliert ausgearbeitetes Verbesserungsverfahren für die Planung von Produktionsprozessen. Dabei wird für die Ausführung eines Produktionsauftrags zunächst ein zulässiger Produktionsplan gesucht. Danach wird eine Planverbesserung angestrebt, die auf eine Glättung der Kapazitätsinanspruchnahme abzielt. Zwar finden Meliorisierungsziele im Rahmen der Prozeßkoordination nur geringe Beachtung. Aus den vorgenannten Quellen befaßt sich im wesentlichen nur WINTER, RO. (1991) mit diesem Koordinierungsbereich. Dennoch werden Meliorisierungsziele in dieser Arbeit mit dem gleichen Gewicht wie Satisfizierungs- und Optimierungsziele behandelt. Denn der Verf. vertritt die Ansicht, daß Meliorisierungsziele in der betrieblichen Koordinierungspraxis, insbesondere auch im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung, eine herausragende Rolle spielen. Er vermag dies in der hier vorgelegten Ausarbeitung nicht näher zu belegen. Statt dessen verweist er auf die o.a. Quellen zum inkrementellen Planungsansatz. In ihnen wird die Praxisrelevanz des Verbesserungsdenkens besonders herausgearbeitet. Darüber hinaus wird die mutmaßliche Praxisnähe von Meliorisierungszielen in einer späteren Anmerkung anhand des Outranking-Konzepts in exemplarischer Weise ausführlicher begründet. Schließlich läßt sich auf das Petrinetz-Konzept verweisen. Es wird oftmals eingesetzt, um bei der Gestaltung komplexer Systeme nach besserstellenden Systemvarianten zu suchen. Vgl. MELDMAN (1971), S. 75; HERZOG, O. (1973), S. 3; HOLT, A. (1975d), S. 157; MERLIN, P. (1976a), S. 618f.; SZLANCO (1978), S. 75; WINAND (1980), S. 1253; PETERSON, J. (1981), S. 1, 4f., 40 u. 90. Daher würde an den Hauptanwendungen von Petrinetzen vorbeigegangen, wenn Meliorisierungsziele keine Beachtung fänden. Dies widerspräche aber der Zielsetzung dieser Arbeit, das Modellierungspotential des Petrinetz-Konzepts auszuloten.

25) Diese Entscheidungs- wird auch als Referenzalternative des Meliorisierungsziels bezeichnet. Es wird nicht vorausgesetzt, daß es sich stets um eine zulässige Entscheidungsalternative handeln muß. Denn es mag sich herausstellen, daß diese Referenzalternative z.B. mit den Restriktionen des Entscheidungsfelds oder mit anderen Formalzielen - etwa Satisfizierungszielen - nicht konsistent vereinbart werden kann.

26) Die Zielerfüllung der Referenzalternative stellt eine Restriktion formaler Art dar, die von allen auszuwählenden Entscheidungsalternativen übertroffen werden soll. Für sie gelten die gleichen Feststellungen, die in einer früheren Anmerkung hinsichtlich des restriktiven Charakters der Anspruchsniveaus von Satisfizierungszielen getroffen wurden.

27) Als Optimierungs- werden hier ausschließlich Minimierungs- oder Maximierungsziele betrachtet. Damit wird der Begriff optimaler Zielerfüllung im engen Verständnis eines Extremierungsbegriffs ausgelegt. Vgl. zur selben Ansicht SIMON, H. (1957a), S. 243 ("optimization might involve selection of a certain maximum"); KERN, W. (1987), S. 20; MAG (1988), S. 765. Explizit von Extremierungszielen oder -vorstellungen sprechen KERN, W. (1972a), S. 313, und PFOHL (1981), S. 44. Abweichende, weit gefaßte Optimierungsvorstellungen, die "optimal" im Sinne von "zielentsprechend" auslegen und dabei auch nicht-extremale Zielerfüllungen zulassen, finden sich dagegen bei KOSIOL (1968), S. 248f., und SCHWEITZER, M. (1990a), S. 36ff. Ihnen folgt der Verf. jedoch nicht (Näheres dazu später).

In der betriebswirtschaftlichen Literatur zur Prozeßkoordination in Produktionssystemen dominiert die Kategorie der Extremierungs- oder Optimierungsziele. Vgl. JUNGHANNS (1971), S. 168f. u. 172; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 102ff.; JUNGHANNS (1976), S. 122; STUTE (1978a), S. 12; SPUR (1980), S. 27f., 309f., 313ff., 232ff., 347f., 357, 365, 375, 378, 383, 396, 399ff. u. 441; NIEB (1980), S. 40; SPUR (1981a), S. 114 u. 118; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 533ff.; MERTINS (1985a), S. 93ff., 101, 118 u. 159ff.; MERTINS (1985b), S. 255ff.;

KOCHAN, D. (1986), S. 35, 60f., 68f., 76 u. 84f.; BÜHNER (1986c), S. 21f.; KNOOP (1986), S. 23 u. 65, der eine "ablaufbegleitende Optimierung" (S. 65) reklamiert; WILDEMANN (1987a), S. 30 u. 346ff.; SCHMIDT, R. (1987), S. 520; BÜHNER (1987), S. 262; KREIMEIER (1988), S. 395; WIENDAHL (1988b), S. 101 u. 112; VILLA (1988c), S. 360f. i.V.m. S. 362ff.; O.V. (1988n), S. 25. Allerdings läßt sich den vorgenannten Quellen mitunter nicht klar entnehmen, ob sie die explizit geforderte Optimalität im Sinne eines Extremierungsziels auffassen - oder ob sie auf das oben angedeutete weite Begriffsverständnis eines "zielentsprechenden" Verhaltens abzielen. Vgl. etwa KNOOP (1986), S. 65, der eine "ablaufbegleitende Optimierung" reklamiert. In O.V. (1988n), S. 25, wird im Hinblick auf den täglich erstellten Produktionsplan behauptet, es werde "... aus der Vielzahl der theoretischen Möglichkeiten der technisch und wirtschaftlich optimale Ablauf ermittelt." Dieser führe zu einer "... auf eine optimale Kapazitätsauslastung ausgerichteten Maschinenbelegungsplanung ...". Der Verf. hegt erhebliche Zweifel, ob in den voranstehenden Zitaten tatsächlich eine Optimierung im strengen, extremierenden Verständnis gemeint ist.

28) Falls die Teilmenge bestmöglicher Entscheidungsalternativen genau ein Element umfassen soll, wird von einer schwachen Optimierung gesprochen. Wenn die Teilmenge alle bestmöglichen Entscheidungsalternativen enthalten soll, liegt eine starke Optimierung vor. Sofern die Menge aller bestmöglichen Entscheidungsalternativen nur genau ein Element umgreift, fallen schwache und starke Optimierung zusammen. Wenn die Menge aller bestmöglichen Entscheidungsalternativen kein Element umfaßt, weil wegen inkonsistenter Problemformulierung keine zulässige Entscheidungsalternative existiert, sind weder die schwache noch die starke Optimierung definiert. Falls zur Menge aller bestmöglichen Entscheidungsalternativen drei oder mehr Elemente zählen, kann auch nach Teilmengen gesucht werden, die weder genau eine noch alle bestmöglichen Entscheidungsalternativen umfaßt. Dann liegt weder eine schwache noch eine starke Optimierung vor. Dieser Zwischenfall wird fortan nicht mehr explizit berücksichtigt.

Die Suche nach mehreren bestmöglichen Entscheidungsalternativen erscheint prima facie als irrational. Denn einerseits müssen zusätzliche Informationsverarbeitungsressourcen eingesetzt werden, um nach dem Erkennen der ersten bestmöglichen Entscheidungsalternative nach weiteren bestmöglichen Alternativen zu forschen. Andererseits kann von diesem Ressourceneinsatz keine verbesserte Lösung des untersuchten Entscheidungsproblems erwartet werden, weil qua Voraussetzung schon eine *bestmögliche* Entscheidungsalternative bestimmt worden ist. Dennoch läßt sich die Ermittlung mehrerer bestmöglicher Entscheidungsalternativen - sofern sie überhaupt existieren - aus zwei Gründen rechtfertigen. Erstens ist es möglich, daß sich die zuerst ermittelte bestmögliche Entscheidungsalternative infolge von Realisierungswiderständen nicht verwirklichen läßt. Dann kann unmittelbar auf eine der weiteren, bereits bekannten bestmöglichen Entscheidungsalternativen als gleichwertige Substitute zurückgegriffen werden. Eine aufwendige neue Lösungssuche wird auf diese Weise vermieden. Vgl. SIEGEL, T. (1974), S. 58. Allerdings muß dem ersparten zweiten Suchprozeß der Ressourceneinsatz gegenübergestellt werden, der für die Bestimmung (mindestens) einer weiteren bestmöglichen Entscheidungsalternative erforderlich war. Zweitens kann ein theoretisches Interesse daran bestehen, ein vertieftes Problemverständnis durch die Erkenntnis aller bestmöglichen Entscheidungsalternativen zu erlangen. Beispielsweise läßt sich vorstellen, daß ein Modellierungsträger wissen möchte, ob die Menge bestmöglicher Entscheidungsalternativen für ein Entscheidungsmodell entweder eindeutig oder aber mehrdeutig ist. Dieses theoretische Erkenntnisinteresse geht über das praktische Anliegen, ein modelliertes Entscheidungsproblem bestmöglich zu lösen, deutlich hinaus.

29) Falls mehrere Formalzielarten simultan betrachtet werden, läßt sich der Begriff bestmöglicher Entscheidungsalternativen durch das Dominanzkonzept der Vektoroptimierung konkretisieren: Bestmöglich ist eine Entscheidungsalternative genau dann, wenn sie zulässig ist und von keiner anderen zulässigen Entscheidungsalternative dominiert wird. Darauf wird später zurückgekommen.

30) Es handelt sich um eine Formalzielkategorie *sui generis*, weil sie auf einer anderen Ebene als die Kategorien der Satisfizierungs-, Meliorisierungs- und Extremierungsziele angesiedelt ist. Die letztgenannten drei Formalzielkategorien betreffen die Ebenen der *Lösung* von Entscheidungsmodellen. Die Kategorie des Konsistenzziels richtet sich dagegen auf die Ebene der *Konstruktion* von Entscheidungsmodellen. Wegen des besonderen Stellenwertes, den die Modellkonstruktion in dieser Arbeit einnimmt, sieht der Verf. nicht ein, warum Formalziele auf die Ebene der Modelllösung beschränkt bleiben sollten.

31) Sie schließen die Sachziele in Gestalt von Restriktionen für Produktmengen und Abwicklungstermine ein.

32) Die Möglichkeit, daß die Restriktionen inkonsistent aufgestellt sind, wurde bereits angesprochen. Unter den Formalzielen besitzen auch die Kategorien der Satisfizierungs- und Meliorisierungsziele restriktiven Charakter. Daher lassen sich auch diese Formalziele so formulieren, daß das Formalzielsystem in sich widersprüchlich ist. Schließlich kann ebenso der Fall eintreten, daß innerhalb der Restriktionen einerseits und innerhalb des Formalzielsystems andererseits zwar keine Widersprüche bestehen, sich jedoch die Restriktionen, Satisfizierungs- und Meliorisierungsziele nicht insgesamt miteinander konsistent vereinbaren lassen.

33) Es hängt von der jeweils vorausgesetzten Problemkonzeptualisierung ab, wann ein Ereignisgeschehnis als eindeutig fixiert gilt. So liegt bei einer rein ordinalen Betrachtung der Eintritt eines Ereignisses schon dann eindeutig fest, wenn bezüglich jedes anderen Ereignisses bekannt ist, ob das erste Ereignis vor, nach oder zusammen mit dem

Referenzereignis geschieht. Wird statt dessen eine metrische Konzeptualisierung gewählt, müßte zwecks Eindeutigkeit auch noch der exakte Zeitpunkt des Ereigniseintritts festgelegt werden.

34) Damit werden alle Festlegungen von Ereignisgeschehnissen ausgeschlossen, welche die vorgegebenen Restriktionen verletzen würden.

35) Von einer Lösung des spielraumbezogenen Entscheidungsproblems wird gesprochen, wenn es gelingt, durch die eindeutige und konsistente Festlegung aller disponiblen Ereignisgeschehnisse den Spielraum zu schließen. Ein geschlossener Spielraum kann durchaus noch Ereignisse enthalten, deren Geschehnisse zwar zulässig sind, aber noch nicht festliegen. Dafür kommen aber nur noch autonome Ereignisse in Betracht, die ohnehin nicht in der Dispositionsmacht des Entscheidungsträgers stehen. Ein Spielraum wird durch die Lösung eines Entscheidungsspielraums also nicht unbedingt in einem absoluten Sinn, sondern immer nur relativ zum Dispositionsvermögen des Entscheidungsträgers geschlossen. Ein wohldefinierter, aber entarteter Spielraum ist von vornherein geschlossen, weil er überhaupt kein disponibles Ereignis umfaßt. Für ein unechtes Entscheidungsproblem mit entartetem Spielraum steht daher die "Lösung" als Nichthandeln des Entscheidungsträgers von vornherein fest. Es kann jedoch während eines Lösungsversuchs erkannt werden, daß die beabsichtigte Spielraumschließung überhaupt nicht möglich ist, weil das spielraumbezogene Entscheidungsproblem inkonsistent formuliert ist. Dann muß ein Entscheidungsproblem untersucht worden sein, dessen Spielraum wegen widersprüchlicher Restriktionen nicht wohldefiniert ist. In diesem Fall wird von einem unlösbaren Entscheidungsproblem gesprochen. Ein Entscheidungsproblem wird bewältigt, indem es entweder gelöst oder aber seine Unlösbarkeit erkannt wird.

36) Die Entscheidungsalternativen, die als Lösungen von Entscheidungsproblemen nach Maßgabe der Interessen eines Entscheidungsträgers ausgewählt werden sollen, heißen fortan auch intendierte Problemlösungen. Je nach der Kategorie der zugrundeliegenden Formalziele können diese intendierten Lösungen als satisfizierende (zufriedenstellende), meliorisierende (besserstellende) oder extremierende (optimale) Problemlösungen bezeichnet werden. Wenn auf die Modelle Bezug genommen wird, welche die zu lösenden Entscheidungsprobleme repräsentieren, läßt sich analog von satisfizierenden, meliorisierenden oder extremierenden Modelllösungen sprechen.

37) Realtypische Koordinierungsprobleme fallen bei Werkstattfertigung erheblich komplexer aus, als es bei der hier zugrundegelegten idealtypischen Modellierungsweise unterstellt wird. Dies wird schon aus der Diskrepanz deutlich, die zwischen den vieldimensionalen Determinantenkatalogen für reale Koordinierungsprobleme auf der einen Seite und der dreidimensionalen Zuordnung von Arbeitsgängen, Maschinen und Startzeitpunkten der Arbeitsgangausführungen bei idealtypischen Maschinenbelegungs- oder Ablaufplanungsproblemen auf der anderen Seite klafft. Vgl. darüber hinaus diese idealtypische Modellierung von Koordinierungsproblemen mit der realtypischen Beschreibung von Entscheidungsaufgaben, die von Disponenten der Werkstattsteuerung erfüllt werden müssen, bei MERTINS (1985a), S. 103ff. u. 123ff. Der Verf. zielt aber *an dieser Stelle* noch nicht auf eine realitätsnahe Konzeptualisierung von Entscheidungsspielräumen ab. Das geschieht erst später anhand einer Fallstudie. Statt dessen interessiert hier nur, die *wesentlichen* Koordinierungsdimensionen bei Maschinenbelegungs- und werkstatorientierten Ablaufplanungen herauszustellen. Wesentlichkeitskriterium ist dabei die Konzeptualisierungsweise, die in der produktionswirtschaftlichen Literatur bei den vorgenannten Planungsaufgaben dominiert.

38) Konventionelle Maschinenbelegungsplanungen und werkstatorientierte Ablaufplanungen lassen sich zumeist auf eine gemeinsame Konzeptualisierungsgrundlage zurückführen. Es handelt sich um die ablauforganisatorische Strukturierung von Aktionsgefügen, Aufgabenkomplexen oder Arbeitsprozessen. Sie findet sich - mit Nuancen im Detail - bei KOSIOL (1962), S. 43f.; SCHWEITZER, M. (1964b), S. 186; SCHWEITZER, M. (1966), S. 41ff.; WILD (1966), S. 89ff.; MUSCATI (1967), S. 297ff.; MUSCATI (1970), S. 10ff.; KOSIOL (1972), S. 89ff.; MATTHES, W. (1972), S. 7ff.; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 97ff., insbesondere S. 99ff.; MATTHES, W. (1988a), S. 77ff.

Ausgangspunkt der ablauforganisatorischen Strukturierungsweise ist der Aktionsbegriff. Er wird über seine Konnotationen und Merkmale inhaltlich festgelegt: Durch das Ausführen einer Aktion werden Produktionsfaktoren als Aktionsinput miteinander kombiniert (kombinative Aktionsdimension) und in Produkte als Aktionsoutput transformiert (transformative Aktionsdimension). Eine Aktion läßt sich durch sieben elementare Merkmale charakterisieren. Es handelt sich um Aktionsziel, -subjekt, -mittel, -art (oder -verfahren), -objekt, -ort und -zeit. Vgl. MATTHES, W. (1972), S. 9. Darüber hinaus thematisiert MATTHES, W. (1972), S. 13ff., "ergänzende Aktionsmerkmale", die hier jedoch nicht weiter beachtet werden. Aktionsziele werden anschließend nicht besonders herausgehoben. Es handelt sich um die Sach- und Formalziele der Prozeßkoordinierung. Sie werden an anderen Stellen ausführlicher erörtert. So wurde das Paket aller Produktionsaufträge, die in einem Produktionssystem abgewickelt werden sollen, bereits als Sachziel der Produktion identifiziert. Auf Formalziele wurde schon zu Beginn dieses Kapitels eingegangen. Auch die Aktionssubjekte bedürfen keiner weiteren Erläuterung. Sie fallen mit den ausführenden Arbeitskräften zusammen. Aktionsmittel und -orte werden vereinfacht mit den ortsfesten Maschinen gleichgesetzt. Sie entsprechen den Bearbeitungsstationen aus der systemtheoretischen Problemkonzeptualisierung. Von anderen Arbeitsmitteln - wie etwa Werkzeugen oder Transportmitteln - wird hier abstrahiert. Die Aktionsart wird durch diejenigen Einrichtungen bestimmt, die an den Maschinen für den Vollzug einer Aktion ausgeführt werden sollen. Jede Einrichtung stellt eine zeitverbrauchende reale Operation im Sinne der früheren systemtheoretischen Problemkonzeptualisierung dar. Ebenso kann im Sinne von KRAUSE, F. (1989b), S. 553, ein "statement" aus dem

Steuerungsprogramm einer NC-Maschine als Spezifizierung einer Verrichtung aufgefaßt werden. Die Aktionsart selbst stellt eine nicht-leere Menge von Verrichtungen dar. Sie wird kurz als Verrichtungsmenge der Aktion bezeichnet. Alle Verrichtungen aus dieser Menge heißen aktionsspezifische Verrichtungen. Das Aktionsobjekt ist dasjenige Werkstück, das durch den Vollzug einer Aktion an einer Maschine bearbeitet werden soll. Die Aktionszeit wird zunächst durch dasjenige Zeitintervall spezifiziert, in dem alle aktionszugehörigen Verrichtungen ausgeführt werden sollen. In dieses Zeitintervall fließen die Ausführungsdauern und die zeitliche Anordnung aller Verrichtungen aus der aktionsspezifischen Verrichtungsmenge ein. Es wird unterstellt, daß die Ausdehnung des Zeitintervalls als Aktionsdauer exogen fixiert und bekannt ist. Dabei brauchen die Ausführungsdauern und die Anordnung der Verrichtungen innerhalb des Zeitintervalls keineswegs festzuliegen. Die zeitliche Ordnung der Elemente aus der Verrichtungsmenge wird daher nicht näher spezifiziert. Statt dessen wird offengelassen, ob einzelne Verrichtungen aus dieser Menge auf der Bearbeitungsstation zeitlich nacheinander, überlappend oder parallel ausgeführt werden. Vgl. dazu die spätere Erörterung des bearbeitungsparallelen Umrüstens. Unter den vorgenannten Voraussetzungen läßt sich die Aktionszeit vereinfacht mit dem Beginn desjenigen Zeitintervalls identifizieren, in dem alle aktionszugehörigen Verrichtungen ausgeführt werden. Er fällt in der Regel mit dem Startzeitpunkt der ersten aktionsspezifischen Verrichtungsausführung zusammen. Das Ende des Zeitintervalls, in dem die gesamte Aktion vollzogen wird, liegt dann aufgrund der fixierten und bekannten Aktionsdauer ebenso fest.

Aktionsart und -objekt werden zu einem Arbeitsgang zusammengefaßt. Jeder Arbeitsgang besteht daher aus einer nicht-leeren Verrichtungsmenge und aus einem Werkstück, zu dessen Bearbeitung die aktionsspezifischen Verrichtungen beitragen sollen. Arbeitsgänge bilden den zentralen Anknüpfungspunkt der meisten Modellierungen, die sich mit der Koordinierung von Produktionsprozessen befassen. Vgl. z.B. WEDEKIND (1988a), S. 35ff., insbesondere S. 36. Auch SCHNEEWEIS, C. (1988), S. 288, behandelt Arbeitsgänge als kleinste Einheiten der Prozeßkoordinierung. Eine arbeits(vor)gangorientierte Strukturierung liegt ebenso Datenbanksystemen zugrunde, die neuerdings als Kostenrechnungssysteme für Flexible Fertigungssysteme konzipiert werden; vgl. SCHMIDT, HU. (1989), S. 98, und KLEINER, F. (1991), S. 51f. u. 69. Von KRAUSE, F. (1989b), S. 553, wird die Auffassung übernommen, daß Arbeitsgänge ununterbrochen ohne Maschinen- oder Werkzeugwechsel ausgeführt werden sollen. (In der vorgenannten Quelle wird zwar von Operationen gesprochen. Aber die dort angesprochenen Operationselemente entsprechen hier den arbeitsgangspezifischen Verrichtungen.) Auf den Sonderfall, daß *nicht intendierte* Unterbrechungen von Arbeitsgangausführungen eintreten können, wird erst später in der Fallstudie aus der Perspektive von Produktionsstörungen näher eingegangen. In der Literatur zur Maschinenbelegungsplanung werden dagegen mitunter *planmäßige* Unterbrechungen von Arbeitsgangausführungen zugelassen. Diese Option findet in der hier vorgelegten Ausarbeitung jedoch grundsätzlich keine Beachtung. Denn sie erscheint dem Verf. als eine künstliche Eigenart von Planungsmodellen, die sich auf keine Entsprechung in der betrieblichen Koordinierungspraxis zu berufen vermag.

Arbeitsgangdefinitionen, die den zuvor erfolgten Festlegungen nahekommen, aber inhaltlich weiter gefaßt sind, finden sich z.B. bei KOSIOL (1962), S. 216 u. 219, und KOSIOL (1972), S. 91. Dort wird vor allem das Aktionssubjekt zum Arbeitsgang gerechnet. Hiervon wird in dieser Arbeit abgesehen, um bei der Zuordnung von Arbeitsgängen zu Bearbeitungsstationen (Aktionsmitteln und -orten) die Auswahl der Arbeitskräfte (Aktionssubjekte) als flexibilitätsstiftenden Freiheitsgrad konzeptualisieren zu können. Vgl. zu weiteren, aber stärker abweichenden Arbeitsgangdefinitionen, die vor allem die Kombination eines Auftrags mit einer Maschine einschließen, SCHWEITZER, M. (1964b), S. 185; SCHWEITZER, M. (1966), S. 43; MUSCATI (1970), S. 20f. (i.V.m. S. 19); OSMAN (1982), S. 24f., und WEDEKIND (1988a), S. 35f. Der Maschinenaspekt wird hier aus den gleichen Gründen nicht berücksichtigt, die zuvor hinsichtlich der Arbeitskräfte angeführt wurden. Dagegen übernimmt der Verf. den Auftragsbezug. Jedem Produktionsauftrag wurde schon an früherer Stelle ein auftragspezifischer Werkstückkomplex zugeordnet. Deshalb läßt sich jede Werkstückbearbeitung mit der Abwicklung eines Produktionsauftrags verknüpfen. Die Menge aller Aufträge eines vorgegebenen Auftragspakets bildet dabei eine vollständige und disjunkte Zerlegung der Menge aller Arbeitsgänge. Daher gehört jeder Arbeitsgang zu mindestens einem (Konsequenz der Vollständigkeit) und zugleich auch zu höchstens einem (Konsequenz der Disjunktheit) Auftrag. Folglich verweist ein Arbeitsgang nicht nur auf Verrichtungen an einem Werkstück, sondern ebenso auf genau einen zugrundeliegenden Auftrag. Darüber hinaus werden Arbeitsgänge so abgegrenzt, daß in jedem Zeitpunkt an jeder Maschine höchstens jeweils ein Arbeitsgang ausgeführt werden kann. Dies betrifft jedoch nur die hier konzeptualisierten Arbeitsgänge. Es wird keineswegs ausgeschlossen, daß ein Arbeitsgang aus mehreren Verrichtungen zusammengesetzt ist, die sich auf derselben Maschine nebenläufig ausführen lassen. Diese arbeitsgangzugehörigen Verrichtungen sind aber keine Objekte der hier betrachteten Maschinenbelegungs- oder Ablaufplanung. Sie werden erst später auf dem höheren Detaillierungsniveau des Petrinetz-Konzepts im Rahmen einer Fallstudie für Flexible Fertigungssysteme erfaßt. Dort werden Bearbeitungs- und Rüstoperationen als Verrichtungen unterschieden, die zur Ausführung *desselben* Arbeitsgangs gehören können. Eine weitere Auffächerung der Bearbeitungsoperationen in Teiloperationen ist grundsätzlich möglich, wird in dieser Arbeit aber nicht vollzogen.

Angesichts der voranstehend skizzierten Konzeptualisierungsgrundlage stellt sich ein Maschinenbelegungsproblem als eine ablauforganisatorische Synthesaufgabe dar, für die gilt: Es muß eine dreidimensionale Zuordnung zwischen Maschinen, Arbeitsgängen und Startzeitpunkten der Arbeitsgangausführungen vorgenommen werden. Die Startzeitpunkte können einerseits explizit geplant werden. Andererseits ist es ebenso möglich, sie durch Präzedenzbeziehungen zwischen den Startereignissen der Arbeitsgangausführungen implizit festzulegen. Vgl. zu dieser cha-

rakteristischen Dreidimensionalität von konventionellen Maschinenbelegungs- oder werkstatorientierten Ablaufplanungsproblemen die Darstellungen bei MUSCATI (1970), S. 19ff. u. 57; SEELBACH (1979), Sp. 18; MISSBAUER (1987), S. 24. Vgl. zu leicht abweichenden Konzeptualisierungen SCHWEITZER, M. (1966), S. 46ff. (i.V.m. S. 42ff.); KERN, W. (1967), S. 121ff., der Maschinenbelegungen als maschinenbezogenes Bilden von Arbeitsgangfolgen versteht (die Symmetrie des oben definierten dreidimensionalen Zuordnungsproblems zwischen Maschinen, Arbeitsgängen und Zeitpunkten ist hier zu einer Asymmetrie zugunsten der Maschinen modifiziert); OSMAN (1982), S. 23ff.; KERN, W. (1990a), S. 312 (Zuordnung von Arbeitsgängen und Arbeitsplätzen ohne explizite Berücksichtigung der Startzeitpunkte von Arbeitsgangausführungen, aber auf S. 308 Erfassung des Zeitaspekts). Schließlich läßt sich die hier vorgenommene Problemkonzeptualisierung auch mit der allgemeinen ablauforganisatorischen temporalen Aktionssynthese von WILD (1966), S. 135, vereinbaren. Die Aktionssynthese erfolgt bei WILD zwar nur zweidimensional, doch enthält sie die dritte Zuordnungsdimension implizit als Zuordnung zwischen Arbeitsgängen (Aktionsverrichtungen und -objekten) und Aktionsmitteln.

39) Des öfteren wurde schon darauf hingewiesen, daß Prozeßkoordinierungen in Flexiblen Fertigungssystemen komplexer ausfallen als Maschinenbelegungen oder Ablaufplanungen bei Werkstattfertigung. Es würde jedoch die Transparenz der nachfolgenden Ausführungen erheblich beeinträchtigen, wenn die Komplizierungen Flexibler Fertigungssysteme berücksichtigt werden müßten. Daher beschränkt sich der Verf. darauf, komplizierende Aspekte in den nachstehenden Anmerkungen gesondert herauszustellen.

40) Angesichts der früheren Benennung von Objektarten müßte strenggenommen von einer "bearbeitungsstationenorientierten" Spielraumkonzeptualisierung gesprochen werden. Der umfassender definierte Begriff der Bearbeitungsstation wird hier jedoch zur Diktionsvereinfachung durch den kompakteren Maschinenbegriff ersetzt. "Maschinen" stehen dabei als pars pro toto für alle Erscheinungsformen von Bearbeitungsstationen. Daher umgreift die nachfolgend angeschnittene Einplanung von Arbeitsgängen an Maschinen implizit ebenso die Arbeitsgangeinplanung, die beispielsweise an Spann- oder Montagearbeitsplätzen erfolgt. Neben dieser sprachlichen Vereinfachung entspricht die maschinenorientierte Redeweise auch eher der produktionswirtschaftlichen Terminologie.

41) Es wäre präziser, von einer "auftragsorientierten und werkstückkomplexspezifischen" Spielraumkonzeptualisierung zu reden. Denn die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen wird in dieser Arbeit so weit angelegt, daß für die Werkstückkomplexe, die zur Abwicklung eines Auftrags mit nicht-degenerierter Losgröße bearbeitet werden müssen, gilt: Sie brauchen weder die gleichen Maschinen zu belegen noch die gleichen Wege durch das Produktionssystem zu nehmen. Daher trifft das nachfolgend dargelegte Planen von Maschinenfolgen und Transportrouten im allgemeinen nur auf jeweils einen Werkstückkomplex zu. Lediglich in zwei Sonderfällen stimmt die werkstückkomplex- mit einer auftragspezifischen Planung überein. Entweder werden für alle Werkstückkomplexe desselben Auftrags mit nicht-degenerierter Losgröße identische Maschinenfolgen und identische Transportrouten geplant. Oder es liegt ein Auftrag mit der degenerierten Losgröße "Eins" vor, bei dem ohnehin nur genau ein Werkstückkomplex bearbeitet und transportiert werden muß. Bei konventioneller Werkstattfertigung herrscht dagegen die Koordinierungsweise vor, Aufträge mit größeren Losumfängen abzuwickeln und dabei alle loszugehörigen Werkstückkomplexe identisch zu behandeln. Daher wird in der produktionswirtschaftlichen Literatur, die sich überwiegend am Leitbild der Werkstattfertigung orientiert, zwischen Aufträgen und zugehörigen Werkstückkomplexen nicht näher differenziert. Vornehmlich wird dort von Maschinenfolgen und Transportrouten für Aufträge geredet. Um den terminologischen Anschluß zu wahren, wird auch hier von einer auftragsorientierten Spielraumkonzeptualisierung gesprochen, auch wenn damit implizit die werkstückkomplexspezifischen Spielräume für die Abwicklung eines Auftrags gemeint sind.

42) Die dichotome Unterscheidung zwischen Maschinen (Bearbeitungsstationen) und Aufträgen reflektiert hier nur die vorherrschende produktionswirtschaftliche Konzeptualisierungsweise. Vgl. zu ähnlichen dichotomen Differenzierungen GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 192 (sequencing und routing); SCHÄFER, E. (1978), S. 235 (scheduling und routing). Bei der maschinen- und der auftragsorientierten Spielraumkonzeptualisierung werden nur Teilspielräume gebildet. Denn nur solche Startereignisse finden Beachtung, für deren zugehörigen Arbeitsgänge gilt: Sie lassen sich entweder an der jeweils interessierenden Maschine einlasten oder für den jeweils betrachteten Auftrag als nächste ausführen. Damit bleiben alle anderen Startereignisse unberücksichtigt, die im aktuellen Systemzustand ebenso geschehen können, aber zu Arbeitsgängen an anderen Maschinen bzw. von anderen Aufträgen gehören. Neben Maschinen und Aufträgen können aber auch andere Objektarten für die Spielraumkonzeptualisierung herangezogen werden. Zu den wichtigsten Objektarten gehören die Arbeitsgänge. Vgl. zur arbeitsgangorientierten Spielraumkonzeptualisierung MAIER, U. (1980), S. 69, 73ff., 100 u. 103ff.; WARNECKE, H. (1980b), S. 202; KNOOP (1986), S. 40f. Bei dieser Spielraumkonzeptualisierung werden alle Startereignisse von Arbeitsgängen betrachtet, die im aktuellen Zustand des Produktionssystems geschehen können. Dadurch werden sowohl alle Arbeitsgänge erfaßt, die sich an den Maschinen des Produktionssystems einlasten lassen, als auch alle Arbeitsgänge, die für die Aufträge des vorgegebenen Auftragspakets als jeweils nächste ausgeführt werden können. Daher werden in einem Spielraum, der in arbeitsgangorientierter Weise konzeptualisiert wurde, alle maschinen- und alle auftragsorientiert gebildeten Teilspielräume zu einem Gesamtspielraum vereinigt. Im Rahmen der hier thematisierten idealtypischen Modellierung von Maschinenbelegungsproblemen handelt es sich sogar um einen *vollständigen* Spielraum für den

aktuellen Systemzustand. Denn bei dieser Modellierungsweise stellen die Startereignisse von Arbeitsgängen die einzigen Ereignisse dar, die im Produktionsmodell überhaupt geschehen können.

Des weiteren läßt sich eine transportmittelbezogene Identifizierung von Spielräumen vorstellen. Sie erlangt vor allem dann Bedeutung, wenn ein Transportmittel am Ausgangspuffer einer Bearbeitungsstation eintrifft und dort mehr Werkstücke auf Abtransport warten, als das Transportmittel aufzunehmen vermag. Dann ist es erforderlich, die Zuordnung der Werkstücke zum Transportmittel zu koordinieren. Ein analoger Koordinierungsspielraum läßt sich für die Einlagerung von Werkstücken oder -zeugen vorstellen, die im Eingangspuffer einer Lagerstation auf ihre Einlagerung warten. Ein anderer Spielraum bezieht sich auf die Schnittstelle zwischen einem Produktions- und seinem Umsystem. Dort gilt es festzulegen, welche Aufträge in das Produktionssystem als Ganzes eingelastet werden sollen (systembezogene Auftragsbelastung). Entsprechende Entscheidungsregeln können herangezogen werden, um diesen Spielraum zu schließen. Sie wählen aus jenen Aufträgen, die an der Schnittstelle des Produktionssystems auf Bearbeitung warten, einzelne Aufträge aus, die dann in das Produktionssystem eingeschleust werden. Solche Regeln wurden schon in einer früheren Anmerkung als System-Einlastungsregeln angesprochen. Vgl. zu solchen System-Einlastungsregeln, die oftmals auch als Einlastungsstrategien bezeichnet werden, HAUKE (1973), S. 45ff., 68 u. 75ff.; KAMP (1978), S. 60f., 78ff., 131, 140ff., 150ff. u. 162ff.; SPUR (1980), S. 309ff., 317ff., 347ff., 367ff. u. 401ff.; MAIER, U. (1980), S. 57 u. 66f.; SPUR (1981a), S. 114f.; KNOOP (1986), S. 42f., 147ff. u. 165ff.; HINTZ (1987), S. 45, 121 u. 149ff.; HELBERG (1987), S. 199. Zu diesen Einlastungsregeln oder -strategien gehört auch die Maßgabe, Aufträge mit relativ einfach, aber lange zu bearbeitenden Werkstücken bevorzugt den bedienungsarm betriebenen Schichten zuzuordnen. Vgl. SCHMIDT, H. (1989), S. 17; EVERSHEIM (1990c), S. 82.

Die Beispiele ließen sich fortsetzen. Darauf wird hier jedoch verzichtet. Statt dessen beschränkt sich der Verf. darauf, anhand der maschinen- und der auftragsbezogenen Spielraumidentifizierung die objektartbezogene Konzeptualisierungsweise exemplarisch zu verdeutlichen. Die Auswahl der Maschinen (Bearbeitungsstationen) und Aufträge als Objektarten erfolgte in Anlehnung an die oben belegten produktionswirtschaftlichen Usancen. Allerdings ist dabei zu beachten, daß jene Usancen von der Prozeßkoordination bei Werkstattfertigung geprägt sind. Die Spezifika von Flexiblen Fertigungssystemen werden dort noch kaum gewürdigt. Eine Objektart, die für die Spielraumidentifizierung in Flexiblen Fertigungssystemen typisch wäre, stellen z.B. Transportmittel. Die entsprechende transportmittelorientierte Konzeptualisierungsweise wurde schon oben angedeutet.

43) Strenggenommen werden hier nicht Arbeitsgänge, sondern Arbeitsgangausführungen betrachtet. Denn es kann nicht ausgeschlossen werden, daß derselbe Arbeitsgang bei der Abwicklung desselben Auftrags (oder bei der Benutzung derselben Bearbeitungsstation) wiederholt ausgeführt werden muß. Um diesen Wiederholungsfall auf der Grundlage von Arbeitsgängen zu erfassen, wäre die Verwendung von Multimengen erforderlich. Sie sind aber bei produktionswirtschaftlichen Modellierungen unüblich. In dieser Arbeit werden sie erst später im Zusammenhang mit dem Petrinetz-Konzept ausführlicher behandelt. Die Schwierigkeiten der wiederholten Arbeitsgangausführung entfallen jedoch, sobald Arbeitsgangausführungen anstelle von Arbeitsgängen betrachtet werden. Dieser Weg wird auch hier beschritten. Allerdings wird zwecks sprachlicher Vereinfachung zugelassen, die *ausgeführten* Arbeitsgänge kurz nur als Arbeitsgänge anzusprechen. Daher kann nachfolgend von Arbeitsgangmengen geredet werden, obwohl bei präziser Diktion Arbeitsgangausführungsmengen gemeint sind.

44) Deshalb erfolgt eine Arbeitsgangsteuerung im Sinne von KERN, W. (1990a), S. 346.

45) Dabei werden im allgemeinen nicht alle Arbeitsgänge, die im aktuellen Systemzustand ausgeführt werden könnten, zugleich berücksichtigt. Statt dessen erfolgt eine Fokussierung auf eine bestimmte Teilmenge jener Arbeitsgänge. Wie diese Fokussierung konkret ausfällt, hängt von der jeweils eingesetzten Konzeptualisierungsweise ab.

46) Vgl. KERN, W. (1967), S. 146; MUSCATI (1970), S. 22ff.; STUTE (1978a), S. 92ff.; MAIER, U. (1980), S. 69ff., 100f. u. 103; WARNECKE, H. (1980b), S. 202; ZÄPFEL (1982), S. 266ff.; OSMAN (1982), S. 23; MERTINS (1985a), S. 139f.; ALDINGER (1985a), S. 38; MÜLLER, A. (1987), S. 364f., 375 u. 377f.

47) Die Gesamtheit aller Arbeitsgänge, welche die beiden vorgenannten Bedingungen erfüllen, bildet die maschinen- und zustandsspezifische Arbeitsgangmenge. Wenn es nicht erforderlich erscheint, den aktuellen Zustand des Produktionssystems besonders hervorzuheben, wird fortan auch kurz von der maschinenspezifischen Arbeitsgangmenge gesprochen.

48) Vgl. KERN, W. (1967), S. 119; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 192. Abweichender Ansicht ist NIEB (1980), S. 16. Er faßt sowohl Sequencing als auch Routing in auftragsorientierter Weise auf, indem er Sequencing als Koordination des zeitlichen Auftragsdurchlaufs vom Routing als Koordination des örtlichen Auftragsdurchlaufs abgrenzt.

49) Vgl. SCHÄFER, E. (1978), S. 235.

50) Die Abgrenzung zwischen Sequencing- und Scheduling-Konzepten erfolgt in der Literatur unscharf und schwankend. In dieser Arbeit werden sie unterschiedslos im Sinne der hier definierten Maschinenbelegungsplanung behandelt.

51) Zunächst werden nur die Geschehnisse von Startereignissen zeitlich angeordnet. Jedes Startereignis identifiziert jedoch eindeutig seinen zugehörigen Arbeitsgang. Daher erfolgt mittelbar eine zeitliche Anordnung der Ausführungen aller Arbeitsgänge aus der maschinenspezifischen Arbeitsgangmenge. Die Art der zeitlichen Anordnung von Ereignisgeschehnissen bzw. Arbeitsgangausführungen wird hier bewußt nicht näher festgelegt. Dies läßt den Freiheitsgrad offen, sowohl zeitlich voll- als auch zeitlich halbgeordnete Arbeitsgangmengen zu bilden.

Zeitlich vollgeordnete Arbeitsgangmengen herrschen in der konventionellen Produktionsplanung vor. Dabei werden die Geschehnisse der Startereignisse von Arbeitsgängen aus der maschinenspezifischen Arbeitsgangmenge zeitlich vollständig geordnet. Es wurde vorausgesetzt, daß auf einer Maschine in einem Zeitpunkt nur höchstens ein Arbeitsgang ausgeführt werden kann. Daher impliziert die vollständige zeitliche Anordnung der Startereignisse, daß auch alle zugehörigen Arbeitsgänge nacheinander - nicht etwa zeitlich überlappend oder verschachtelt - ausgeführt werden. Die Reihenfolge der Arbeitsgangausführungen liegt für alle Arbeitsgänge aus der maschinenspezifischen Arbeitsgangmenge bereits im aktuellen Zustand des Produktionssystems fest. Daher liegt eine statische Arbeitsgangfolge vor.

Bei zeitlich halbgeordneten Arbeitsgangmengen wird hingegen darauf verzichtet, die Startereignisse der Arbeitsgänge aus der maschinenspezifischen Arbeitsgangmenge zeitlich vollständig zu ordnen. Statt dessen kann eine Vielzahl unterschiedlicher Halbordnungen vorgenommen werden, in denen die zeitliche Anordnung aller Startereignisse nicht mehr vollständig festliegt. Alle diese Halbordnungen müssen jedoch darin übereinstimmen, daß das Startereignis von genau einem Arbeitsgang zeitlich früher geschehen soll als die Startereignisse aller übrigen Arbeitsgänge aus der maschinenspezifischen Arbeitsgangmenge. Dies folgt unmittelbar aus der Prämisse, daß auf einer Maschine in jedem Zeitpunkt nur höchstens ein Arbeitsgang ausgeführt werden kann. Die Geschehnisse der Startereignisse aller übrigen Arbeitsgänge können dagegen beliebig angeordnet sein - bis hin zu dem Extremfall, daß zwischen ihnen überhaupt keine zeitliche Anordnung fixiert wird. In jedem aktuellen Zustand des Produktionssystems, in dem die betrachtete Maschine durch keinen anderen Arbeitsgang belegt ist, wird höchstens ein Arbeitsgang aus der maschinenspezifischen Arbeitsgangmenge zur Ausführung ausgewählt. Es kann sich nur um den genau einen Arbeitsgang handeln, dessen Startereignis vor den Startereignissen aller übrigen Arbeitsgänge angeordnet wurde. Statt dessen ist es aber auch möglich, im aktuellen Systemzustand überhaupt keinen Arbeitsgang auszuwählen. Dann wird die Maschine bewußt für spätere Arbeitsgangzuordnungen frei gehalten. Falls der eine in Betracht kommende Arbeitsgang tatsächlich ausgewählt wird, wird er aus der (alten) Arbeitsgangmenge gestrichen. Diese Vorgehensweise liegt der Prozeßkoordinierung durch maschinenbezogene Einlastungsentscheidungen zugrunde, auf die in Kürze zurückgekommen wird. Nach der Ausführung des ausgewählten Arbeitsgangs wird ermittelt, welche Arbeitsgänge sich im nunmehr aktuellen Zustand des Produktionssystems an der betrachteten Maschine ausführen lassen. Mit dieser neuen maschinenspezifischen Arbeitsgangmenge wird wie zuvor verfahren usw. Auf diese Weise resultiert im Zeitablauf wiederum eine Reihenfolge von Arbeitsgangausführungen. Im Gegensatz zum o.a. konventionellen Fall wird diese Reihenfolge jedoch nicht für eine maschinenspezifische Arbeitsgangmenge im ursprünglichen Zustand des Produktionssystems fixiert, sondern durch Auswahlakte in aufeinander folgenden Zuständen des Produktionssystems schrittweise erzeugt. Daher wird von einer dynamischen Arbeitsgangfolge geredet. Solche dynamischen Arbeitsgangfolgen resultieren, wenn eine Prozeßkoordinierung das Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließungen erfüllt. Darauf wird später ausführlicher eingegangen.

52) Jede maschinenspezifische Arbeitsgangfolge bedeutet zunächst nur, daß Arbeitsgänge an Werkstücken in einer bestimmten Reihenfolge ausgeführt werden. Diese Werkstücke gehören jedoch zu jeweils einem Auftrag. Daher ist mittelbar auch die Reihenfolge bekannt, in der die Aufträge an einer Maschine durch Ausführung von Arbeitsgängen an den auftragszugehörigen Werkstücken bedient werden. In diesem mittelbaren Sinne kann ebenso von einer maschinenspezifischen Auftragsfolge geredet werden.

53) Vgl. MUSCATI (1970), S. 21 u. 25; HAUK (1973), S. 41ff.; MAIER,U. (1980), S. 69, 75ff., 100f. u. 103; WARNECKE,H. (1980b), S. 202; KNOOP (1986), S. 40; MÜLLER,A. (1987), S. 364f. u. 375ff.

54) Diese Menge wird auch kurz als auftragspezifische Arbeitsgangmenge bezeichnet.

55) Reihenfolge- und Präzedenzbeziehungen werden in dieser Arbeit synonym behandelt. Die Reihenfolgebeziehungen werden auch als (produktions-)technische oder dispositive Präzedenzbeziehungen bezeichnet je nachdem, ob sie (produktions-)technisch bzw. dispositiv bedingte Restriktionen für die Arbeitsgangausführung darstellen.

56) Strenggenommen erstrecken sich die Reihenfolgebeziehungen zwischen den Geschehnissen der Start- oder Endereignisse von Arbeitsgangausführungen. Der kürzeren Diktion halber wird aber vereinfacht davon gesprochen, die Reihenfolgebeziehungen bestünden zwischen den Arbeitsgängen. Die Menge der Reihenfolgebeziehungen stellt eine zweistellige Präzedenzrelation über der Menge aller Arbeitsgänge des betrachteten Auftrags dar. Die relationskonstituierende Menge kann auch leer sein. Das ist für Aufträge, die nur aus genau einem Arbeitsgang bestehen, immer der Fall. Denn derselbe Arbeitsgang kann niemals mit sich selbst in einer zweistelligen Präzedenzbeziehung stehen. Aber auch wenn ein Auftrag mehrere Arbeitsgänge umfaßt, kann die Menge seiner Präzedenzbeziehungen zur leeren Menge degenerieren. Dies geschieht immer dann, wenn zwischen den Arbeitsgängen des Auftrags über-

haupt keine Reihenfolgebeziehungen bestehen. In der betrieblichen Praxis ist mit der Existenz eines solchen denkmöglichen Degenerationsfalls allerdings kaum zu rechnen.

57) Die Präzedenzstruktur ist die Gesamtheit aller Reihenfolge- oder Präzedenzbeziehungen, die für die Arbeitsgänge aus der auftragsspezifischen Arbeitsgangmenge definiert sind. Sie stellt daher eine auftragsspezifische Präzedenzrelation dar. Sofern nur die Teilmenge entweder aller technischen oder aber aller dispositiven Präzedenzbeziehungen betrachtet wird, kann auch von der technischen bzw. dispositiven Präzedenzstruktur des Auftrags gesprochen werden.

58) Die Einbeziehung späterer Systemzustände ist notwendig, um anschließend das Planen einer statischen Maschinenfolge für einen Auftrag definieren zu können. Denn eine solche Maschinenfolge umfaßt Arbeitsgänge, die aufgrund technisch bedingter Präzedenzbeziehungen an den Werkstücken eines Auftrags zeitlich nacheinander ausgeführt werden müssen. Dies läßt sich nur erfassen, wenn aufeinander folgende Zustände des Produktionssystems betrachtet werden. Die Präzedenzbeziehungen zwischen den Arbeitsgängen konstituieren eine vertikale Abhängigkeit ihrer Startereignisse. Daher kann eine statische Maschinenfolge nur dann geplant werden, wenn ihr ein *global* konzeptualisierter Spielraum zugrundeliegt, der sich über mehrere lokale, jeweils auf einen Systemzustand bezogene Spielräume erstreckt. Vgl. dazu die Erläuterungen zu lokalen und globalen Entscheidungsspielräumen, die in Kürze erfolgen. In dieser Hinsicht herrscht eine bemerkenswerte Asymmetrie zwischen maschinen- und auftragsorientierter Spielraumkonzeptualisierung. Denn die oben eingeführten maschinenspezifischen Entscheidungsspielräume galten zugleich auch immer speziell für einen Zustand des Produktionssystems. Zwischen den Startereignissen aus diesen maschinen- und zustandsspezifischen Spielräumen existieren keine vertikalen Ereignisabhängigkeiten. Daher handelt es sich dort stets um lokale Spielräume. Dagegen führt hier die Einbeziehung späterer Systemzustände bei auftragsorientierter Konzeptualisierungsweise dazu, daß globale Spielräume mit vertikalen Ereignisabhängigkeiten in den Vordergrund rücken.

59) Die Gesamtheit aller dieser Arbeitsgänge konstituiert die auftrags- und zustandsspezifische Arbeitsgangmenge. Sie ist eine Teilmenge der auftragsspezifischen Arbeitsgangmenge, die oben eingeführt wurde. Denn die auftrags- und zustandsspezifische Arbeitsgangmenge enthält nur noch jene Arbeitsgänge aus der auftragsspezifischen Arbeitsgangmenge, deren Startereignisse bis zum Erreichen des aktuellen Systemzustands noch nicht geschehen sind. Es kann auch kurz von der aktuellen Arbeitsgangmenge des betrachteten Auftrags gesprochen werden.

60) Vgl. KERN, W. (1967), S. 119; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 192; NIEB (1980), S. 16. Einen abweichenden Routingbegriff vertritt dagegen KERN, W. (1990a), S. 320, Abb. 98.

61) Für diese zeitliche Anordnung gelten die Ausführungen aus der früheren Anmerkung zur maschinenorientierten Konzeptualisierungsweise analog. Auch hier ist eine zeitliche Voll- oder Halbordnung der Geschehnisse von Startereignissen möglich. Dabei gilt es allerdings, die vertikalen Ereignisabhängigkeiten zu berücksichtigen, auf die bereits kurz zuvor in einer Anmerkung hingewiesen wurde. Die Anordnung der Ereignisgeschehnisse impliziert eine entsprechende zeitliche Voll- oder Halbordnung der Arbeitsgänge aus der auftrags- und zustandsspezifischen Arbeitsgangmenge. Im Fall einer zeitlichen Vollordnung resultiert wieder eine statische Arbeitsgangfolge, in der die Reihenfolge der Ausführungen aller Arbeitsgänge aus der Arbeitsgangmenge von vornherein fixiert sind. Für den Fall der zeitlichen Halbordnung ist abermals der Extremfall möglich, nur denjenigen Arbeitsgang auszuwählen, der als jeweils nächster ausgeführt werden soll. Es wird eine dynamische Arbeitsgangfolge erzeugt, indem in jedem aktuellen Zustand des Produktionssystems aus der dort gültigen auftrags- und zustandsspezifischen Arbeitsgangmenge je ein Arbeitsgang zur Ausführung ausgewählt wird.

Allerdings ist auf eine Besonderheit gegenüber der analogen Konzeptualisierung von maschinenbezogenen Spielräumen hinzuweisen. Die vorgenannten - statischen oder dynamischen - Arbeitsgangfolgen ergeben sich strenggenommen nur dann, wenn bei der Auftragsabwicklung nur genau ein auftragszugehöriges Werkstück bearbeitet wird. Andernfalls können im selben Zustand des Produktionssystems an unterschiedlichen Werkstücken und auf verschiedenen Maschinen mehrere Arbeitsgänge nebenläufig ausgeführt werden. Dies gilt sogar dann, wenn die Geschehnisse der arbeitsgangzugehörigen Startereignisse vollständig geordnet sind. Denn zwei Arbeitsgänge können an zwei unterschiedlichen Werkstücken auf zwei verschiedenen Maschinen auch dann überlappend oder verschachtelt ausgeführt werden, wenn ihre Startereignisse zeitlich nacheinander geschehen. Falls Arbeitsgänge desselben Auftrags nebenläufig ausgeführt werden, liegt keine auftragsspezifische Arbeitsgangfolge im intuitiven sequentiellen Begriffsverständnis mehr vor. Um hierfür keine neuartige Bezeichnungen einführen zu müssen, wird vereinbart, den Begriff der Arbeitsgangfolge ebenso auf den Fall nebenläufiger Arbeitsgangausführungen zu beziehen. Gleiches gilt für den daraus abgeleiteten Begriff der Maschinenfolge.

62) Eine auftragsspezifische Arbeitsgangfolge bedeutet zunächst nur, daß Arbeitsgänge an Werkstücken in einer folgenspezifischen - sequentiellen oder auch nebenläufigen - Art ausgeführt werden. Diese Arbeitsgänge werden aber jeweils auf einer Maschine ausgeführt. Daher ist mittelbar auch die zeitliche Anordnung bekannt, in der die Maschinen des Produktionssystems zur Ausführung von Arbeitsgängen an den auftragszugehörigen Werkstücken eingesetzt werden. In diesem mittelbaren Sinn kann ebenso von einer auftragsspezifischen Maschinenfolge gespro-

chen werden. Je nach Eigenart der zugrundeliegenden auftragsspezifischen Arbeitsgangfolge handelt es sich um eine sequentielle oder nebenläufige Maschinenfolge.

63) Strenggenommen wird hier nur der einfachste Sonderfall einer zeitlichen Halbordnung betrachtet. Denn eine zeitliche Halbordnung läßt ebenso zu, mehrere Arbeitsgänge auszuwählen, sofern sie im aktuellen Systemzustand gemeinsam als nächste ausgeführt werden können. Darauf wurde schon kurz zuvor in einer Anmerkung anhand nebenläufiger Arbeitsgangfolgen hingewiesen. Generell gilt daher für zeitliche Halbordnungen: Im aktuellen Systemzustand wird eine Menge von Arbeitsgängen ausgewählt, deren gemeinsame Ausführung als nächstes zulässig ist. Die Menge kann auch leer sein. Dieser Grenzfall tritt immer dann ein, wenn im aktuellen Systemzustand mit überhaupt keiner Arbeitsgangausführung begonnen werden soll (Wartezustand). Auch das wurde in einer früheren Anmerkung bereits erwähnt. Von solchen Komplizierungen wird aber hier der Übersichtlichkeit halber abgesehen.

64) Vgl. MUSCATI (1970), S. 24.

65) Vgl. MUSCATI (1970), S. 25.

66) Wenn die Zeitpunkte festliegen, in denen die Startereignisse zweier Arbeitsgänge geschehen sollen, dann ist hierdurch stets auch eine entsprechende Präzedenzbeziehung zwischen den beiden Startereignissen fixiert. Daher impliziert jedes Terminieren von Arbeitsgängen das Ordinieren derselben Arbeitsgänge in eindeutiger Weise. Die Umkehrung gilt jedoch nicht. Denn eine Präzedenzbeziehung zwischen den Startereignissen zweier Arbeitsgänge kann mit einer Vielzahl unterschiedlicher Zeitpunkte für die Geschehnisse dieser Startereignisse vereinbart werden. Daher wird fortan von einem Ordinieren i.e.S. gesprochen, wenn für die Startereignisse von Arbeitsgängen nur Präzedenzbeziehungen, aber keine Termine festliegen. Ein Ordinieren i.w.S. geschieht hingegen, wenn Arbeitsgänge entweder terminiert oder aber im engeren Sinne ordiniert werden. Wenn keine ausdrücklich anders lautenden Vereinbarungen getroffen werden, gilt als Ordinieren stets dessen weit gefaßte Version. Daher kann auf den Zusatz "i.w.S." verzichtet werden.

67) Oftmals interessiert die Auftragszugehörigkeit des ausgewählten Arbeitsgangs nicht näher. Dann wird auch von einer maschinenspezifischen Arbeitsgangeinlastung gesprochen. Entscheidungsregeln, die der maschinenspezifischen Einlastung von Aufträgen oder Arbeitsgängen dienen, lassen sich - im Gegensatz zu den früher angesprochenen System-Einlastungsregeln - als Arbeitsgang-Einlastungsregeln oder als Scheduling-Regeln bezeichnen. Vgl. zu solchen Regeln SCHWEITZER, M. (1967), S. 295; HAUKE (1973), S. 23ff.; SCHARF, P. (1976), S. 44f.; ELLINGER (1979), S. 161ff.; MAIER, U. (1980), S. 78ff.; SPUR (1980), S. 310, 313f., 321ff., 343, 365ff. u. 401ff.; DÖTTLING (1981), S. 94ff.; SPUR (1981a), S. 116; KNOOP (1986), S. 35, 114ff., 156f., 205 u. 213ff.; HINTZ (1987), S. 78, 80, 153ff., 167ff. u. 228ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 363f.; MERTENS (1988a), S. 177f.

68) Entscheidungsregeln für die auftragsspezifische Maschineneinplanung werden auch als Maschineneinplanungsregeln oder Routing-Regeln angesprochen. Ihre Anwendung führt dazu, daß der jeweils abgewickelte Auftrag auf eine bestimmte, regelabhängige Weise durch das Produktionssystem geschleust wird ("routing"). Vgl. zu solchen Regeln EVERSHEIM (1981), S. 171f.; SPUR (1981a), S. 116; KNOOP (1986), S. 155; HINTZ (1987), S. 155, 159f., 170f. u. 176ff.; MERTENS (1988a), S. 178.

69) Ebenso kann von der wechselseitigen Zuordnung zwischen Arbeitsgang und Maschine gesprochen werden, falls die Auftragszugehörigkeit des betroffenen Arbeitsgangs nicht näher interessiert.

70) Da bei konventionellen Modellierungen der Planungs- gegenüber dem Steuerungsaspekt dominiert, werden hier die Varianten der Prozeßkoordinierung nur in planungsbezogener Weise benannt. Es könnte jedoch ebenso von Maschinenbelegungs-, Auftragsabwicklungs- und Reihenfolgesteuerungen gesprochen werden. Auf weiterführende Koordinierungsvarianten wird hier nicht eingegangen, da sie für diese Untersuchungen keine Rolle spielen. Vgl. statt dessen z.B. den Klassifizierungsansatz von OSMAN (1982), S. 36ff.

71) Da echte Entscheidungsprobleme mit nicht-entarteten Spielräumen vorausgesetzt wurden, muß stets mindestens ein Ereignisgeschehnis zulässig sein. Im einfachsten Fall kann nur genau ein Ereignis eintreten. Dann besteht die Option, das betroffene Ereignis entweder geschehen zu lassen oder aber seinen Eintritt zu unterbinden. Darüber hinaus ist im Falle des Ereignisgeschehnisses unter Umständen auch dessen Zeitpunkt festzulegen. Wenn nur genau ein Ereignisgeschehnis zulässig ist, besteht der Entscheidungsspielraum also nur aus der Entscheidung für oder wider das Ereignisgeschehnis sowie - gegebenenfalls - aus der zusätzlichen Entscheidung über den Geschehniszeitpunkt. Wenn hingegen mehrere Ereignisgeschehnisse jeweils einzeln zulässig sind, umfaßt der Entscheidungsspielraum alle Ereignismengen, die aus diesen isoliert zulässigen Ereignisgeschehnissen gebildet werden können, ohne eine horizontale Ereignisabhängigkeit zu verletzen. Dies schließt die leere Ereignismenge als Unterlassung jedes zulässigen Ereignisgeschehnisses mit ein. Falls eine nicht-leere Ereignismenge ausgewählt wird, kann wiederum der zusätzliche Spielraum bestehen, ihren Zeitpunkt zu bestimmen. Weil zustandsverändernde Ereignismengen immer in genau einem Zeitpunkt geschehen, muß dann aber für alle Ereignisgeschehnisse aus derselben Ereignismenge derselbe Zeitpunkt festgelegt werden.

72) Der Entscheidungsakt besteht aus genau einer Auswahlentscheidung. Die Ereignismenge, die dabei selektiert wird, geschieht stets in einem Zeitpunkt (sofern eine zeitbezogene Konzeptualisierung erfolgt). Daher werden lokale Entscheidungsspielräume auch als Entscheidungspunkte bezeichnet.

73) Damit die Auswahl der Ereignismenge stets eine eindeutige und konsistente Festlegung aller Ereignisgeschehnisse liefert, werden folgende Vereinbarungen getroffen:

- Alle Ereignisse, die in der Ereignismenge enthalten sind, geschehen gemeinsam und bewirken dabei den Zustandsübergang.
- Falls das Koordinierungsproblem auf einer metrischen Zeitskala konzeptualisiert wird, erhält die Ereignismenge einen Verweis auf den Zeitpunkt des Zustandsübergangs.
- Alle Ereignisse, die in der Ereignismenge nicht vorkommen, treten auch nicht ein.
- Die Ereignismenge umfaßt nur solche Ereignisse, deren Geschehnisse im jeweils betrachteten Systemzustand zulässig sind.

Die ersten drei Vereinbarungen sorgen für die Eindeutigkeit; die vierte Festlegung stellt die Konsistenz sicher.

74) Dies ist z.B. der Fall, wenn aufgrund einer kausalen Ressourcenbeziehung nicht alle Ereignisse, deren Geschehnisse jeweils einzeln zulässig sind, gemeinsam eintreten können. Es ist aber auch möglich, daß alle zulässigen Ereignisgeschehnisse horizontal unabhängig sind.

75) Aufgrund dieser Konzeptualisierung werden ausschließlich zulässige Entscheidungsalternativen betrachtet. Auf das kennzeichnende Attribut "zulässig" kann daher verzichtet werden, wenn ersichtlich ist, daß die Erfüllung aller horizontalen Ereignisabhängigkeiten vorausgesetzt wird. Eine unzulässige Entscheidungsalternative stellt hingegen jede denkmögliche Ereignismenge dar, auf die wenigstens einer von den beiden nachfolgenden Fällen zutrifft: Entweder verletzt die denkmögliche Ereignismenge mindestens eine horizontale Ereignisabhängigkeit. Oder die denkmögliche Ereignismenge enthält mindestens ein Ereignis, dessen Geschehnis im betrachteten Spielraum überhaupt nicht zulässig ist.

Falls mindestens eine zulässige Entscheidungsalternative existiert, kommt stets noch die Unterlassungsalternative als zulässige Entscheidungsalternative *sui generis* in Betracht. Es handelt sich um die zusätzliche Entscheidungsoption, überhaupt keines der zulässigen Ereignisse geschehen zu lassen. Es wird dann die leere Ereignismenge ausgewählt. Vgl. zur Einbeziehung der Unterlassungsalternative in entscheidungstheoretischen Modellierungen PFOHL (1981), S. 26f., und SIEBEN (1990), S. 17. Die Unterlassungsalternative ist jedoch nur dann definiert, wenn die Menge zulässiger Ereignisse nicht leer ist. Andernfalls wäre es widersinnig, das Unterlassen unzulässiger Entscheidungsalternativen als eine eigenständige Entscheidungsalternative behandeln zu wollen. Denn zu diesem Unterlassen von Unzulässigem besteht in einem konsistenten Argumentationszusammenhang überhaupt keine Alternative. Daher wird die Unterlassungsalternative im folgenden immer nur auf nicht-entartete Entscheidungsspielräume bezogen.

Jede Entscheidung zugunsten einer Menge von zulässigen, alle horizontalen Ereignisabhängigkeiten beachtenden Ereignisgeschehnissen unterbindet zugleich die Auswahl einer anderen Ereignismenge. Entscheidungsalternativen werden in dieser Arbeit also grundsätzlich so aufgefaßt, daß sie sich wechselseitig ausschließen. Dies bedeutet, daß in jedem Entscheidungspunkt, in dem eine Auswahlentscheidung getroffen werden muß, nur genau eine Entscheidungsalternative gewählt werden kann. Dies schließt die Unterlassungsalternative als Entscheidungsalternative ein. Hiermit wird eine andere Konzeptualisierungsmöglichkeit ausgegrenzt, die Entscheidungen als mehrelementige Bündel einzelner "Alternativen" - treffender wäre: Maßnahmen - zuläßt. Vgl. zur Prämisse von Entscheidungsalternativen, die sich gegenseitig ausschließen, PFOHL (1981), S. 27; VON WEIZSÄCKER (1985), S. 99.

Darüber hinaus wird der Alternativenbegriff hier nicht in dem engen Verständnis von *genau* zwei sich gegenseitig ausschließenden Optionen aufgefaßt. Vielmehr wird eine Entscheidungsalternative immer als ein Element aus einer Menge von k wohlunterschiedenen, sich wechselseitig ausschließenden Alternativen mit k als einer beliebigen, von Null verschiedenen natürlichen Zahl verstanden. Dies läßt neben dem eng gefaßten Alternativenbegriff mit $k=2$ ebenso den Grenzfall des degenerierten Entscheidungspunkts mit $k=1$ zu, in dem nur genau eine Entscheidungsalternative zur "Auswahl" steht. In diesem Grenzfall kann aber immer noch zwischen der einen Entscheidungsalternative und der generellen Unterlassungsalternative gewählt werden. Ebenso eingeschlossen wird der Fall von mehr als zwei Alternativen ($k>2$). Vgl. zu einem derart weit gefaßten Alternativenbegriff das Konzept multipler Alternativen, das VON WEIZSÄCKER (1985), S. 99, beschreibt.

76) Es wird nicht gefordert, daß die Systemzustände linear aufeinander folgen müssen. Es wird lediglich vorausgesetzt, daß genau ein Ausgangszustand vorliegt und alle anderen Systemzustände daraus durch Geschehnisse der betrachteten Ereignisse hervorgehen können. Die Systemzustände sind daher kausal zusammenhängend. Andernfalls müssen mindestens zwei verschiedene Systemzustände vorliegen, die durch keine Geschehnisse der betrachteten Ereignisse aus anderen Systemzuständen hervorgehen können. Dann ist der Kausalzusammenhang der Systemzustände unvollständig. In diesem Fall wird das betrachtete Produktionssystem so lange in kausal unabhängige Subsysteme zerlegt, bis in jedem dieser Subsysteme alle darin auftretenden Systemzustände wieder kausal zusammenhängen.

- 77) Ein globaler Spielraum läßt sich daher als die Familie aller lokalen Spielräume auffassen, die in den jeweils involvierten Systemzuständen offenstehen.
- 78) Globale Entscheidungsspielräume können - im Gegensatz zu ihren lokalen Pendanten - nicht mehr als Entscheidungspunkte angesehen werden, weil die Entscheidungsakte nun aus *mehreren* (inter-)dependenten Auswahlentscheidungen bestehen. Die Auswahlentscheidungen beim Schließen eines globalen Entscheidungsspielraums stellen eine Sequenz von Entscheidungsakten dar, bei denen aufeinander folgende lokale Entscheidungsprobleme gelöst werden. Dies entspricht der Konzeptualisierung dynamischer Entscheidungsprobleme, wie sie vor allem im Rahmen der dynamischen Programmierung erfolgt. Vgl. z.B. HAX, H. (1974), S. 70ff.; SCHNEEWEIS, C. (1989b), S. 10. Allerdings wird dort beim Übergang zwischen zwei Systemzuständen immer nur jeweils *eine* zustandstransformierende Aktivität betrachtet. Im Rahmen des Petrinetz-Konzepts werden dagegen kompliziertere Entscheidungssequenzen betrachtet, deren Zustandstransformationen durch Schaltschritte erfolgen. Jeder dieser Schaltschritte stellt eine nicht-leere Ereignismenge dar. Die Entscheidungssequenzen äußern sich besonders anschaulich als Wege im Erreichbarkeitsgraphen eines Netzmodells. Dort alternieren Modellzustände als Knoten des Erreichbarkeitsgraphen und zustandstransformierende Schaltschritte als Beschriftungen der Kanten des Erreichbarkeitsgraphen.
- 79) Vertikale Ereignisabhängigkeiten können z.B. auf schwachen oder starken kausalen Folgebeziehungen beruhen. Zwei Ereignismengen heißen vertikal abhängig, falls sie sich auf unterschiedliche Systemzustände beziehen und mindestens ein Ereignis in einer der beiden Ereignismengen enthalten ist, das von mindestens einem Ereignis aus der jeweils anderen Ereignismenge vertikal abhängt. Nur in Ausnahmefällen verhalten sich alle betrachteten Ereignisse aus den Ereignismengen aller involvierten Systemzustände voneinander vertikal unabhängig.
- 80) Wiederum werden globale Entscheidungsalternativen von vornherein so konzeptualisiert, daß es sich um zulässige Entscheidungsalternativen handelt. Daher läßt sich auf das spezifizierende Attribut "zulässig" verzichten. Eine unzulässige globale Entscheidungsalternative liegt dagegen vor, wenn ihre zustandsspezifischen Ereignismengen mindestens eine vertikale Ereignisabhängigkeit verletzt oder falls mindestens eine dieser Ereignismengen keine zulässige lokale Entscheidungsalternative darstellt.
- 81) Ein globaler Spielraum umfaßt per definitionem zumindest Ereignisse, deren Geschehnisse in zwei aufeinander folgenden Systemzuständen zulässig sind. Dann verhalten sich der erste Systemzustand, der vor denjenigen Ereignisgeschehnissen vorliegt, die den ersten in den zweiten Systemzustand transformieren, und der dritte Systemzustand, der nach den Ereignissen vorliegt, die im zweiten Systemzustand geschehen sind, nicht zueinander benachbart.
- 82) Die Zulässigkeit der Lösung folgt unmittelbar daraus, daß lokale und globale Entscheidungsalternativen von vornherein als zulässige Entscheidungsalternativen konzeptualisiert werden. Daher können zulässige Lösungen auch kurz als Lösungen bezeichnet werden. Falls unzulässige Lösungen gemeint sind, wird darauf ausdrücklich hingewiesen. Lösungen von lokalen (globalen) Entscheidungsproblemen können auch verdeutlichend als lokale (globale) Problemlösungen angesprochen werden.
- 83) Die hier entfaltete Terminologie für Entscheidungsprobleme wird auf diejenigen (Entscheidungs-)Modelle unverändert übertragen, die zur Abbildung und Bewältigung von Entscheidungsproblemen dienen. Daher stellt eine Entscheidungsalternative genau dann eine (un-)zulässige Modelllösung dar, wenn es sich um eine (un-)zulässige Lösung des jeweils modellierten Entscheidungsproblems handelt.
- 84) Die Anzahlen zulässiger Ereignisgeschehnisse lassen sich auf zwei verschiedene Weisen begrenzen: Entweder werden nur solche Ereigniseintritte betrachtet, die in einem fest vorgegebenen Subsystem zulässig sind. Oder es wird eine maximale Anzahl zulässiger Ereignisgeschehnisse so vorgegeben, daß bei ihrem Erreichen die Suche nach weiteren zulässigen Ereigniseintritten abgebrochen wird. Beide Begrenzungsmodi können auch miteinander kombiniert werden.
- 85) Der Ausnahmefall eines fehlenden qualitativen Sprungs liegt nur dann vor, wenn die Geschehnisse aller betrachteten Ereignisse in den involvierten Systemzuständen vertikal voneinander unabhängig sind. Dann besteht das globale Entscheidungsproblem nur in einer quantitativen Vervielfachung von unabhängigen lokalen Entscheidungsproblemen. Von diesem seltenen Sonderfall wird fortan abgesehen, sofern auf ihn nicht ausdrücklich hingewiesen wird.
- 86) Darüber hinaus läßt sich auch das quantitative Ausmaß eines globalen Entscheidungsproblems in doppelter Hinsicht variieren: Sowohl die Anzahl der involvierten Systemzustände als auch die Umfänge der zustandsspezifischen lokalen Entscheidungsprobleme können verschieden groß ausfallen.
- 87) Rein lokale Entscheidungsprobleme der Prozeßkoordinierung liegen nur in Grenzfällen vor. Hierfür kommen einerseits Produktionssysteme in Betracht, die nur (höchstens) einen zulässigen Zustand - ihren Ausgangszustand - besitzen. Ihre lokalen Entscheidungsspielräume für Ereignisgeschehnisse sind leer, so daß unechte Entscheidungsprobleme vorliegen. Solche Produktionssysteme erscheinen "tot", weil in ihnen überhaupt keine zulässigen Prozesse ausgeführt - und erst recht keine Teilprozesse koordiniert werden können. Dieses Extrem wird später als tote

Ausgangsmarkierung von Netzmodellen erfaßt. Andererseits lassen sich auch Produktionssysteme vorstellen, die mehrere Systemzustände anzunehmen vermögen, in denen jedoch für die zustandstransformierenden Teilprozesse keine vertikalen Ereignisabhängigkeiten bestehen. Dies setzt voraus, daß zwei extreme Bedingungen erfüllt sind. Erstens muß es sich bei *jedem* der zu koordinierenden Teilprozesse entweder um einen *einfachen* Prozeß handeln, der aus nur genau einer Ereignismenge einschließlich des vorangehenden Start- und des nachfolgenden Zielzustands besteht, oder aber um einen zyklischen Prozeß, der immer wieder denselben Systemzustand in sich selbst überführt. Andernfalls würde mindestens ein Teilprozeß existieren, an dessen Konstitution mindestens zwei verschiedene, aber vertikal abhängige Ereignismengen teilhaben. Dann läge infolge vertikal abhängiger Ereignismengen notwendig ein globales Entscheidungsproblem vor. Zweitens darf kein Zielzustand von mindestens einem Teilprozeß der Startzustand von mindestens einem anderen Teilprozeß sein. Andernfalls wäre die Startereignismenge des zweiten Teilprozesses von der Zielergebnismenge des ersten Teilprozesses vertikal abhängig. Dann läge abermals notwendig ein globales Entscheidungsproblem vor. Fortan wird - wenn nicht ausdrücklich andere Festlegungen erfolgen - unterstellt, daß keiner der vorgenannten Grenzfälle vorliegt, in denen Koordinierungsprobleme zu unechten lokalen Entscheidungsproblemen oder zu Sammlungen von vertikal unabhängigen lokalen Entscheidungsproblemen entarten. Die verbleibenden "normalen" Koordinierungsprobleme betreffen dann qua Voraussetzung Prozesse, die sich über mehrere Systemzustände erstrecken und zustandstransformierende Ereignismengen umfassen, zwischen denen - zumindest partiell - vertikale Ereignisabhängigkeiten bestehen. In diesen Normalfällen wird im verdeutlichenden Sinne auch von "dynamischen" Koordinierungsproblemen gesprochen.

88) Damit wird nicht behauptet, daß keine andere Lösungstechniken zu korrekten Problemlösungen führen können. Nur stimmen die Lösungskonzepte jener Lösungstechniken nicht mehr unmittelbar mit der voranstehend entfalteten Eigenart globaler Entscheidungsprobleme für Prozeßkoordinierungen überein. Ob solche anderen Lösungstechniken dennoch korrekte Problemlösungen ermöglichen oder sogar garantieren, ist dann schwerer zu beurteilen. Daher bevorzugt der Verf. die oben charakterisierten "strukturkongruenten" Lösungstechniken.

89) Diese Ereignismengen müssen die vier Bedingungen eindeutiger und konsistenter Festlegungen von Ereignisgeschehnissen erfüllen, die in einer früheren Anmerkung genannt wurden.

90) Der Gesichtspunkt der Strukturkongruenz wird später bei der Betrachtung alternativer Auswertungstechniken für Petrinetze zugunsten von Erreichbarkeits- und Simulationsanalysen sprechen. Beide erfüllen die oben skizzierte Strukturkongruenz. Die Invariantenanalyse berücksichtigt dagegen weder lokale Spielräume noch vertikale Ereignisabhängigkeiten. Folglich überrascht es nicht, daß sie für manche Koordinierungsprobleme - wie etwa die Reproduzierbarkeit der Ausgangsmarkierung - zu fehlerhaften Resultaten führen kann (Näheres dazu später).

91) Dabei wird vorausgesetzt, daß für die globalen Koordinierungsprobleme zulässige Lösungen existieren. Inwiefern tatsächlich existierende Lösungen der globalen Koordinierungsprobleme aufgrund von Defiziten beim Identifizieren oder Schließen lokaler Entscheidungsspielräume übersehen werden können, wird später anhand der Postulate anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierungen und wirkungsminimaler Spielraumschließungen ausführlicher diskutiert. Aufgrund der dort aufgezeigten Probleme garantieren strukturkongruente Lösungstechniken im oben definierten Sinn keineswegs, daß *alle* Lösungen von globalen Koordinierungsproblemen gefunden werden können. Sie stellen nur sicher, daß überhaupt globale Problemlösungen resultieren, wenn die lokalen Entscheidungsprobleme in den einzelnen Entscheidungsspielräumen bearbeitet werden. Erst wenn die beiden oben erwähnten Postulate erfüllt werden, werden alle globalen Problemlösungen durch das Lösen der lokalen Entscheidungsprobleme mit Sicherheit entdeckt.

92) Mit konventionellen Modellierungen auf entscheidungstheoretischer Basis sind hier nur jene Koordinierungsmodelle gemeint, welche das übliche Strukturierungsparadigma von betriebswirtschaftlichen Entscheidungsmodellen einhalten. Vgl. dazu die Quellen, die in einer früheren Anmerkung zu betriebswirtschaftlichen Entscheidungsmodellen angeführt wurden. Solche entscheidungstheoretisch fundierten Problemkonzeptualisierungen finden sich vor allem in der breiten Literatur zur betriebswirtschaftlichen Ablaufplanung. Vgl. dazu - insbesondere hinsichtlich der hier vorrangig interessierenden Maschinenbelegungsplanung - beispielsweise SEELBACH (1975a), S. 40ff.; DREXL (1990a), S. 345ff. (allerdings in einer informatikbezogenen Anwendungsvariante).

Aus dem Bezugsbereich der hier angesprochenen konventionellen, entscheidungstheoretisch ausgerichteten Modellierungen ausgeschlossen sind zunächst alle Konzeptualisierungen von Koordinierungsproblemen, die ohnehin nicht das entscheidungstheoretische Strukturierungsparadigma einhalten. Dazu gehören z.B. Koordinierungsmodelle, die speziell auf die Anwendung von Prioritätsregeln zugeschnitten sind. Darauf wird noch zurückgekommen. Darüber hinaus werden jene Modellierungen nicht als konventionell eingestuft, die zwar auf entscheidungstheoretischer Grundlage vorgenommen werden, aber eine explizite Unterscheidung zwischen globalen und lokalen Problem-aspekten zulassen. Dazu rechnen vor allem Ansätze, die bei der Modellierung von dynamischen Entscheidungsproblemen verfolgt werden. Dort wird zwar die vorgenannte Aspektdifferenzierung im allgemeinen nicht explizit thematisiert. Doch lassen sich jene dynamischen Problemmodellierungen immerhin so interpretieren, daß in ihnen zwischen globalen und lokalen Entscheidungsproblemen differenziert wird. Daher werden sie von den hier vorge-tragenen Anmerkungen zu "konventionellen" Modellierungen auf entscheidungstheoretischer Basis ausdrücklich ausgenommen. Dies wird später durch Erläuterungen zum "konventionellen" Planungsverständnis vertieft. Auch

dort werden spezielle Konzeptualisierungsweisen, wie sie im Rahmen der Flexiblen und der Robusten Planung für dynamische Koordinierungsprobleme erfolgen, nicht unter die hier kritisierten konventionellen Modellierungen subsumiert.

93) Vgl. z.B. PFOHL (1981), S. 27. Die simultane Variablenbelegung bezieht sich nur auf den jeweils betrachteten Lösungsvektor. Es wird damit keineswegs verkannt, daß *während der Ermittlung* eines jeden Lösungsvektors den Entscheidungsvariablen im allgemeinen nicht uno actu jeweils ein konstanter Wert zugewiesen wird. Statt dessen kommt es hier nur darauf an, daß *bei der Konzeptualisierung* von Koordinierungsproblemen einzelne lokale Entscheidungsspielräume mit zugehörigen lokalen Problemlösungen keine Beachtung finden. Es wird jeweils nur *ein* - somit notwendig globales - Entscheidungsproblem wahrgenommen, für das nach nur *einem* Lösungsvektor gesucht wird. Auf der Ebene der Problemkonzeptualisierung bleibt es vollkommen irrelevant, wie dieser Lösungsvektor, der zunächst als eine in sich geschlossene Einheit behandelt wird, später auf der davon abweichenden Ebene der Lösungsermittlung konkret bestimmt wird. Dies wird besonders deutlich, wenn die Koordinierungsprobleme durch Entscheidungsmodelle in Vektornotation konzeptualisiert werden. Dort stellt im Rahmen der *Modellformulierung* jede angestrebte Modelllösung nur genau eine Vektorvariable dar.

94) Damit wird jedoch nicht behauptet, eine solche Identifizierung würde grundsätzlich ausgeschlossen. So ist es beispielsweise möglich, in einem Entscheidungsmodell der konventionellen Entscheidungstheorie die Wertermittlung jeder Variablen als genau ein - variablenpezifisches - lokales Entscheidungsproblem zu konzeptualisieren. Zwischen diesen lokalen Entscheidungsproblemen bestehen dann vertikale Abhängigkeiten derart, daß die Festlegung eines Variablenwerts die Festlegung bestimmter Werte anderer Variablen erzwingen oder verbieten kann. Dadurch resultiert insgesamt ein globales Entscheidungsproblem, das die gleiche dynamische Struktur wie die oben konzeptualisierten Probleme der Prozeßkoordination in komplexen Produktionssystemen besitzen kann. Entsprechend wird ein derart strukturiertes Entscheidungsproblem mit Hilfe der dynamischen Programmierung gelöst. Eine solche dynamische Strukturierung von konventionellen Entscheidungsmodellen ist jedoch nur eine theoretische Denkmöglichkeit, die bei der tatsächlichen Gestaltung konventioneller Entscheidungsmodelle kaum jemals Beachtung findet. Darüber hinaus brauchen lokale Entscheidungen, die jeweils die Wertfestlegung von genau einer Modellvariablen betreffen, keineswegs mit Entscheidungsalternativen aus der betrieblichen Koordinierungspraxis zusammenzufallen. So bedeutet z.B. die praktisch bedeutsame Entscheidung, aus einer Warteschlange von mehreren Werkstücken, die vor einer Bearbeitungsstation gemeinsam auf Bearbeitung warten, genau eines auszuwählen, in einem konventionellen Entscheidungsmodell die simultane Festlegung der Werte von genau so vielen Variablen, wie Werkstücke in der Warteschlange enthalten sind. Hier klafft also eine deutliche Konzeptualisierungslücke zwischen der einen tatsächlich zu treffenden Entscheidung einerseits und ihrer Abbildung auf mehrere "lokale" Wertfestlegungen von interdependenten Entscheidungsvariablen andererseits. Diese Diskrepanz tritt bei den oben konzeptualisierten lokalen Spielräumen dagegen grundsätzlich nicht auf.

95) Daher wird auch kurz von globalen Koordinierungsmodellen gesprochen.

96) Die lokalen Entscheidungsspielräume werden - trotz ihrer Bedeutung für die betriebliche Praxis - zumeist nicht explizit erwähnt. Zu den seltenen Ausnahmen zählt z.B. HELBERG (1987), S. 170, der ausdrücklich auf solche "Entscheidungsspielräume" im Kontext von PPS-Systemen Bezug nimmt. Insbesondere scheint er dabei auch die hier interessierenden *lokalen* Entscheidungsspielräume zu meinen, da er im selben Argumentationszusammenhang von Handlungsalternativen spricht, die den einzelnen Mitarbeitern im Produktionssystem bei der Prozeßkoordination innerhalb der erwähnten Spielräume konkret offenstehen. Des weiteren wird die Rolle, die Entscheidungsspielräume für die Bearbeitung von beliebigen Koordinierungsproblemen spielen, besonders von FRESE (1975), Sp. 2264 u. 2266, herausgestellt.

97) Vgl. darüber hinaus zur Bedeutung, die einfachen (lokalen) Entscheidungsregeln in der betrieblichen Praxis zukommt, CYBERT (1963), S. 78f., 99ff., 255, 266 u. 277ff., insbesondere S. 102 u. 113; SIEBEN (1990), S. 192ff. Vgl. am Rande auch die häufige Rekursion auf Entscheidungsregeln bei GOMEZ, P. (1978), S. 117, 129f., 137f., 175ff. u. 236ff., insbesondere S. 177. Allerdings argumentiert er im kybernetischen Kontext auf vornehmlich theoretische Weise.

98) Prioritätsregeln, die oftmals auch als Belegungs-, Zuordnungs-, Ablauf- oder Einlastungsregeln angesprochen werden, genießen bei der Prozeßkoordination im Bereich industrieller Stückgüterproduktionen breite Beachtung. Vgl. CONWAY, R. (1960), S. 221ff.; HOSS (1965), S. 157ff.; VON FALKENHAUSEN (1966), S. 97ff.; CONWAY, R. (1966), S. 601ff.; CONWAY, R. (1967), S. 141ff., insbesondere S. 152ff.; SCHWEITZER, M. (1967), S. 295; GRÄBLER (1968), S. 87ff.; MÜLLER-MERBACH (1969), S. 46ff.; JUNGHANN (1971), S. 169ff.; HAUKE (1972), S. 20ff., 34ff. u. 54ff.; HORMANN, D. (1973), S. 83ff.; HAUKE (1973), S. 7 u. 23ff.; HOCH (1973), S. 105ff.; DÖRKEN (1973a), S. 89ff.; DÖRKEN (1973b), S. 115ff.; NEW (1975), S. 38ff.; SCHEER (1976), S. 94ff.; BERR (1976), S. 7ff.; PANWALKAR (1977), S. 45ff.; LICHTER (1978), S. 300; DIETRICH, R. (1978), S. 397; NÜHRICH (1978), S. 458; ELLINGER (1979), S. 83f., 90, 100, 108f., 113f., 123ff. u. 161ff.; BERG (1979), Sp. 1427ff.; SEELBACH (1979), Sp. 23; NIEB (1980), S. 29ff.; GREEN, G. (1981), S. 197ff.; EVERSHEIM (1981), S. 171f.; BLACKSTONE (1982), S. 27ff.; KANET (1982), S. 167ff.; OSMAN (1982), S. 46 u. 54; WICHARZ (1983), S. 350ff.; WILSON, H. (1983), S. 320ff.; DINCEN (1984), S.

85ff.; BIENDL (1984), S. 65ff., 141ff. u. 267ff.; BAKER, K. (1984), S. 1093ff.; ALDINGER (1985a), S. 76ff., 94ff. u. 114ff.; WACKER, J. (1985), S. 77ff.; MERTINS (1985a), S. 105f.; KNOOP (1986), S. 33ff.; KRAMER (1986), S. 132ff.; WEISSE (1986), S. 9ff.; NORBIS (1986), S. 1207ff.; BEN-ARIEH (1986a), S. 361f.; SUBRAMANYAM (1986), S. 253; MÜLLER, A. (1987), S. 272ff. u. 363f.; RUSSELL, R.S. (1987), S. 1523ff.; VEPSALAINEN (1987), S. 1035ff.; SHANTHIKUMAR (1988), S. 1330; WITTE, T. (1988a), S. 109ff.; FRY (1988a), S. 1197ff.; MERTENS (1988a), S. 177f.; SCHNEEWEIß, C. (1988), S. 287; MATTHES, W. (1988a), S. 73f. u. 82ff.; ZELEWSKI (1988c), S. 43ff.; HAUPT (1989a), S. 4ff.; WIENDAHL (1989a), S. 36ff.; KERN, W. (1990a), S. 308f.; SCHWEITZER, M. (1990b), S. 657ff.; JEHL (1990), S. 70ff.; SCHEER (1990c), S. 203 u. 208; DREXL (1990a), S. 347f. (allerdings aus dem analogen Bereich der Prozeßkoordination in Automatischen Informationsverarbeitungssystemen). Vgl. darüber hinaus speziell zur Anwendung von Prioritätsregeln für die Koordination von Produktionsprozessen in Flexiblen Fertigungssystemen SCHARF, P. (1976), S. 44f.; KAMP (1978), S. 37ff. i.V.m. S. 60f.; MAIER, U. (1980), S. 55ff. u. 78ff.; SPUR (1980), S. 27f. u. 309ff., insbesondere S. 321ff., 347ff. u. 401ff.; DÖTTLING (1981), S. 93ff.; SPUR (1981a), S. 114ff.; KNOOP (1986), S. 35, 38ff., 114ff., 155ff., 205 u. 213ff.; KOCHAN, D. (1986), S. 135; HINTZ (1987), S. 56f., 69, 77ff., 152ff., 166ff. u. 228ff.; KNOOP (1987), S. 48, 51f. u. 55f.; STECKHAN (1989), S. 550; HAUPT (1989a), S. 13; KLEINER, F. (1991), S. 53 (für eine flexible Montagelinie).

99) Wegen der Konkurrenz der Ereignisgeschehnisse um die knappe Ressource liegt eine kausale Ressourcenbeziehung vor. Es besteht eine horizontale Ereignisabhängigkeit. Ein typischer Fall für einen solchen Ressourcenzugriffskonflikt ist gegeben, wenn vor einer Bearbeitungsstation (der knappen Ressource), auf der immer nur ein Werkstück Platz findet, mehrere Werkstücke warten, deren Bearbeitung auf dieser Station durch jeweils einen Arbeitsgang fortgesetzt werden könnte.

100) Gegebenenfalls kann auch noch die Festlegung des Zeitpunktes des Ereignisgeschehnisses hinzukommen. Im allgemeinen wird aber unterstellt, daß jedes tatsächlich geschehende Ereignis sofort geschieht.

101) Für ein beliebiges Subsystem eines Produktionssystems - etwa eine Bearbeitungsstation - wird die Menge aller Ereignisse betrachtet, deren Eintritte aktuellen (Sub-)Systemzustand zulässig sind. Der Verzicht auf das Geschehen aller dieser Ereignisse kann z.B. aufgrund fixer Liefertermine und hoher Kapitalbindungskosten wirtschaftlich vorteilhaft sein. Denn es ist unter Umständen am kostengünstigsten, alle Arbeitsgänge an Werkstücken in ihren jeweils spätest zulässigen Startzeitpunkten zu beginnen. Das kann dazu führen, daß in einem Systemzustand an einer Bearbeitungsstation trotz dort wartender Werkstücke überhaupt kein Arbeitsgang begonnen wird. Statt dessen können im Produktionssystem zunächst andere zustandsverändernde Ereignisse geschehen, wie z.B. der Start eines Arbeitsgangs an einer anderen Bearbeitungsstation.

102) Dabei wird vorausgesetzt, daß die Prioritätsregeln so formuliert sind, daß sie jeweils genau ein zulässiges Ereignisgeschehnis mit der höchsten Priorität auszeichnen. Falls mehreren Ereignisgeschehnissen zunächst dieselbe höchste Priorität zuerkannt wird, müssen verschiedene Prioritätsregeln so lange miteinander kombiniert oder durch eine Zufallsauswahl ergänzt werden, bis schließlich doch die eindeutige Geschehnisauszeichnung resultiert.

103) Der Verf. erachtet es grundsätzlich als vorteilhaft, in Modellierungskonzepten, die - wie das später entfaltete - zunächst auf einem breiten theoretischen Fundament ruhen, auch Aspekte der betrieblichen Praxis einzubinden. Dies sollte jedoch nicht im Sinne eines "Kotaus vor der Praxis" mißverstanden werden. Vielmehr lassen sich für die Beliebtheit von Prioritätsregeln überzeugende theoretische Argumente anführen. Davon seien hier nur zwei herausragende angeführt. Dabei werden Prioritätsregeln als Stellvertreter für das allgemeinere Konzept heuristischer Entscheidungsregeln (Heurismen) behandelt.

Erstens existiert für die Anwendung von Heurismen bereits innerhalb des entscheidungstheoretischen Paradigmas eine überzeugende Rechtfertigung. Sie setzt an der Kritik an, daß konventionellen Entscheidungsmodellen die implizite Prämisse zugrundeliegt, die Entscheidungsträger verfügten über eine unbeschränkte Informationsverarbeitungskapazität, deren Leistungen sogar kostenlos genutzt werden könnten. Beide Annahmen können jedoch bei Annäherungen an reale Entscheidungszusammenhänge nicht aufrechterhalten werden. Vielmehr müssen sowohl tatsächliche Kapazitätsbeschränkungen aktuell verfügbarer Informationsverarbeitungssysteme als auch die Kosten ihrer Inanspruchnahme berücksichtigt werden. Die denkmögliche Ermittlung "optimaler" Kapazitätsbereitstellungs- und -nutzungsgrade für Informationsverarbeitungssysteme scheidet jedoch - zumindest derzeit - an noch nicht überwundenen konzeptionellen Problemen. In diesem Zusammenhang wird vor allem auf ein spezielles Informationsverarbeitungsdilemma verwiesen. Ihm zufolge kann der Nutzen alternativer Konfigurationen von Informationsverarbeitungssystemen vor deren konkreter Anwendung nicht zuverlässig ermittelt werden. Nach ihrem Einsatz läßt sich der Systemnutzen zwar bestimmen. Dann besteht aber kein Entscheidungsproblem hinsichtlich der optimalen Systemkonfiguration mehr, weil die Systemkonfigurationen bereits realisiert sind. Folglich läßt sich zumindest die Nutzenkomponente von Optimierungskalkülen für das o.a. Ermittlungsproblem grundsätzlich nicht zufriedenstellend ermitteln. Dies entspricht dem allgemeinen Informationsdilemma. Ihm zufolge kann der Nutzen von Informationen erst dann exakt bestimmt werden, wenn hinsichtlich des optimalen Informationserwerbs kein Entscheidungsproblem mehr besteht, weil die fraglichen Informationen bereits beschafft worden sind. Vgl. zu diesem allgemeinen Informationsdilemma WILD (1971), S. 333 (allerdings mit einer wenig überzeugenden "Überwindung" des Dilemmas); ZIMMERMANN, GEB. (1988), S. 211f. Hinzu kommen noch erhebliche praktische Schwierigkeiten bei der

Aufgabe, die komplementären Kostenfunktionen für alternative Kapazitätsbereitstellungs- und -nutzungsgrade von Informationsverarbeitungssystemen konkret zu ermitteln.

Angesichts der voranstehend skizzierten Probleme, die Auslegung realer Informationsverarbeitungssysteme zu "optimieren", läßt sich eine evolutionstheoretische Perspektive rechtfertigen. Aus ihrem Blickwinkel konkurrieren alternative Konfigurationen von Informationsverarbeitungssystemen, deren Kosten-/Nutzen-Verhältnis ex ante weitgehend unbekannt ist, in der betrieblichen Praxis darum, sich ex post als wirtschaftlich vorteilhaft durchzusetzen. Aus diesem Blickwinkel stellt die praktische Beliebtheit von heuristischen Entscheidungsregeln (Prioritätsregeln) zumindest einen guten Indikator dafür dar, daß einfache heuristische Entscheidungskalküle bereits eine erfolgreiche Annäherung an das theoretische - aber opake - Optimum der Informationsverarbeitung bedeuten, sobald sich Kapazitätsbeschränkungen und Kosten von Informationsverarbeitungssystemen real auswirken. Der praktische Durchsetzungserfolg indiziert daher eine evolutionäre Überlegenheit des Kosten-/Nutzen-Verhältnisses von Heurismen, die mit ihren relativ geringen Ansprüchen an die Kapazitätsvorhaltung und -nutzung von Informationsverarbeitungssystemen im allgemeinen nur suboptimale Problemlösungen zu generieren vermögen. Bezugspunkt sind dabei exakte Optimierungskalküle, die ihre höhere Lösungsgüte mit entsprechend größerem Informationsverarbeitungsbedarf erkaufen. Angesichts ihrer geringen praktischen Verbreitung scheinen sie kein so günstiges Kosten-/Nutzen-Verhältnis wie die vorgenannten Heurismen aufzuweisen. Das gilt zumindest in bezug auf derzeit verfügbare Informationsverarbeitungskapazitäten und zugehörige Informationsverarbeitungskosten.

Es würde den Erkenntnisrahmen der hier vorgelegten Ausarbeitung übersteigen, die zuvor skizzierte, entscheidungs- und evolutionstheoretisch motivierte Rechtfertigung heuristischer Entscheidungsregeln detailliert zu belegen. Statt dessen wird auf die reichhaltige Literatur verwiesen, die sich mit dem Charakter und den - mutmaßlichen - Vorzügen von Heurismen auseinandersetzt. Vgl. BEER, S. (1972), S. 69ff.; WITTE, T. (1979a), S. 37ff. u. 129ff.; SIKORA, K. (1986), S. 22ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 228ff., 285ff., 374ff., 489ff. u. 1031ff., insbesondere S. 228f. u. 289f.; BAUERLE, P. (1989), S. 185ff.; HEINEN (1991b), S. 41ff.; FRESE (1991), S. 71 u. 76. Darüber hinaus lassen sich auch Argumentationen anführen, die - vornehmlich in volkswirtschaftlichen Kontexten - die Vorzüge herausarbeiten, die zugunsten einfacher Regeln für die Koordinierung komplexer Systeme sprechen. Dies wird besonders deutlich bei SÄLTER (1989), S. 33: "Was eine Regelsystem ... zu leisten vermag, ist die *Reduktion der Komplexität* von Rückkopplungsbeziehungen, d.h. ein Regelsystem kanalisiert Handlungsinterdependenzen auf ein Bündel von, für den Einzelnen vorhersehbaren ...mechanismen ... [Sie] *vermindern* ..., indem sie die potentielle Vielfalt der Systemumwelt reduzieren ..., die individuell notwendigen *Informations- und Entscheidungsaufwendungen* in dem Umfang, als ... konkurrierende Teilsysteme nicht länger im Entscheidungsprozeß berücksichtigt werden müssen." (kursive Hervorhebungen hier abweichend vom Original; Formulierung "eine Regelsystem" originalgetreu übernommen; Ergänzung [...] durch den Verf.). Vgl. ebenso die Ausführungen bei PROBST (1981), S. 3ff., 23ff., 32, 35, 38ff., 77 u. 174, zu Handlungsregeln, die es aufgrund ihres komplexitätsreduzierenden Charakters erlauben (sollen), relativ komplexe Koordinierungsaufgaben zu erfüllen. Vgl. insbesondere den Hinweis auf die evolutionäre Vorteilhaftigkeit von komplexitätsreduzierenden Regeln (S. 174). Auch MALIK (1986), S. 41, ordnet die herausragende Bedeutung, die verhaltensbestimmende Regeln bei der Beherrschung komplexer Probleme spielen, in den Kontext einer evolutionären Betrachtungsweise ein. Vgl. des weiteren zur evolutionären Rechtfertigung von regelgeleiteten Handlungsweisen VON HAYEK (1969), S. 84ff. u. 144ff., insbesondere S. 86, 146, 149 u. 151; VON HAYEK (1980), S. 29, 34ff. u. 66ff.; VANBERG (1984a), S. 90ff. Weitere Argumente zugunsten von regelorientierten Verhaltensweisen finden sich bei FRESE (1991), S. 45. Auf den Vorteil der Komplexitätsreduktion scheint auch WILDEMANN (1989a), S. 41 u. 43, abzielen, wenn er für die Steuerung von Produktionsprozessen die "Vereinfachung von Informations- und Kommunikationsaufgaben" (S. 43) durch selbststeuernde Regelkreise empfiehlt, in denen jeweils einfache Handlungsregeln befolgt werden. In ähnlicher Weise rät SAINIS (1982), S. 59f., Produktionssteuerungskonzepte von vornherein so auszulegen, daß sie nicht auf komplizierte Koordinierungsmodelle, sondern auf möglichst einfache Steuerungsstrategien Bezug nehmen. Dabei lassen sich diese Strategien im Sinne der hier thematisierten Koordinierungsregeln auslegen. Vgl. zur Reduzierung des Informationsverarbeitungsvolumens durch einfache Entscheidungsregeln auch HINTZ (1987), S. 82.

Ein zweites Argument zugunsten der Beachtung heuristischer Entscheidungsregeln bei Prozeßkoordinierungen beruft sich auf den Aspekt der Integrationsqualität von Modellierungskonzepten (Näheres dazu später). Ein bedeutender Zweig der KI-Forschung widmet sich derzeit dem "regelorientierten Paradigma" der Wissensrepräsentation (Darauf wird noch zurückgekommen.) Dies gilt insbesondere auch für Expertensysteme, die für die Maschinenbelegungsplanung bei Werkstattfertigung oder auch für die kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung bei flexiblen Fertigungssystemen auf Prioritätsregeln zurückgreifen. Vgl. ZELEWSKI (1988c), S. 46ff., 67f. u. 75f.; ZELEWSKI (1991h), S. 256ff. Der Verf. hält die Entwicklungen, die derzeit auf dem Gebiet der KI-Forschung erfolgen, für so fruchtbar, daß ein Modellierungskonzept zu deren Integration in der Lage sein sollte. Eine keineswegs hinreichende, jedoch notwendige Voraussetzung dafür ist es, angesichts der regelorientierten Strukturierung der Wissensbasen zahlreicher Expertensysteme die Einbindung heuristischer Entscheidungsregeln vorzusehen. Dieser Ansatz wird im Verlauf der hier vorgelegten Ausarbeitung intensiv weiterverfolgt werden. Vgl. dazu vor allem das Konzept der Produktionsregeln, das später ausführlicher diskutiert wird.

104) Es wird nochmals auf die Einschränkungen des Bezugsbereichs "konventioneller" Modellierungen hingewiesen, die in einer früheren Anmerkung erfolgten.

105) Das Ausmaß, in dem das theoretische Optimum verfehlt wird, ist bei der Anwendung von Prioritätsregeln grundsätzlich unbekannt (solange ihre Lösungsgüte nicht durch unabhängige Optimierungsverfahren überprüft wird). Dies schließt den Sonderfall ein, daß die Regelanwendung zufällig das theoretische Optimum erreicht. Da der Abstand vom Optimum auch dann unbekannt bleibt, läßt sich die okkasionelle Optimalität der Problemlösung jedoch nicht als solche erkennen. Das potentielle Verfehlen - allenfalls zufällige Erreichen - des Optimums und die Unkenntnis des tatsächlichen Abstands vom Optimum werden zumeist als "Suboptimalität" von Prioritätsregeln thematisiert. Konsequenz der Suboptimalität von Prioritätsregeln ist, daß mit ihrer Anwendung auf den Anspruch, ein Problem mit Sicherheit in optimaler (extremaler) Weise lösen zu können, verzichtet werden muß. Dieser Optimierungsverzicht ist in sich so schlüssig, daß seine Feststellung trivial erscheinen müßte. Beispielsweise wird er von MÜLLER, A. (1987), S. 273f., und DREXL (1990a), S. 348, klar konstatiert. Um so mehr erstaunt es, daß immer wieder versucht wird, den positiv besetzten Optimierungsbegriff in die Nähe von Prioritätsregeln zu rücken. So gibt ELLINGER (1979), S. 106, für ein prioritätsregelgestütztes Simulationssystem an, "Ziel des Einsatzes des Simulationssystems [sei es] ..., optimale Planungsergebnisse ... zu erhalten ..." (Ergänzung [...] und kursive Hervorhebung durch den Verf.). Ebenso wird in SPUR (1981a), S. 114, von lokalen Entscheidungsregeln als "Optimierungsstrategien" gesprochen. Die darauf beruhende Produktionssteuerung wird als "Fertigungsoptimierung" bezeichnet. Ähnliche Äußerungen finden sich nochmals bei SPUR (1980), S. 27f., 304, 313ff., 348, 357 u. 401ff., und SPUR (1981a), S. 118 (*obwohl* an anderer Stelle - vgl. SPUR (1980), S. 364, - die fehlende Optimalitätsgarantie eingeräumt wird). Einen anderen Weg schlägt KNOOP (1986), S. 166, ein, um den Optimierungsbegriff trotz Anerkennung seiner Verletzung zu retten. In bezug auf globale Formalziele, deren Erfüllungsgrade mit der Hilfe lokaler Entscheidungsregeln minimiert werden sollen, behauptet er: "Die nachfolgend genannten Zielkriterien stellen keine Optimalwerte im Sinne einer zu ... minimierenden Zielfunktion dar, sondern sind die durch eine Handlungsvorschrift ... ermittelten extremen Ausprägungen." Der Verf. vermag diese sophistisch anmutende Argumentationsfigur, insbesondere die angeblich "extremen Ausprägungen" inhaltlich nicht nachzuvollziehen.

106) Vgl. DREXL (1990a), S. 348 u. 351. Das Problem, tatsächlich existierende zulässige globale Problemlösungen zu übersehen, geht im Begriff der "Suboptimalität" zumeist unter.

107) Vgl. zu solchen evaluativen Studien von Prioritätsregelanwendungen oder zu entsprechenden Berichten über die Evaluationsergebnisse CONWAY, R. (1960), S. 221ff.; CONWAY, R. (1967), S. 219ff., insbesondere Table 11-1 auf S. 224; SCHWEITZER, M. (1967), S. 295; GRÄBLER (1968), S. 56ff.; HAUK (1973), S. 9 u. 20ff., insbesondere S. 26ff., 49ff. u. 75ff.; HOCH (1973), S. 111ff.; DÖRKEN (1973a), S. 91ff.; DÖRKEN (1973b), S. 115ff.; WEGNER, N. (1978), S. 7ff., 43ff. u. 68ff.; KANET (1982), S. 169ff.; ELLINGER (1979), S. 123ff.; KAMP (1978), S. 37ff., 43ff., 140ff., 150ff., 162ff. u. 166ff.; SPUR (1980), S. 412ff.; DÖTLING (1981), S. 95ff.; SPUR (1981a), S. 116ff.; OSMAN (1982), S. 92ff.; BIENDL (1984), S. 141ff., insbesondere S. 228ff.; MERTINS (1985a), S. 106; KNOOP (1986), S. 39ff. u. 165ff., insbesondere S. 168ff.; KOCHAN, D. (1986), S. 135; HINTZ (1987), S. 79ff. u. 190ff., insbesondere S. 199ff.; KNOOP (1987), S. 54ff.; RUSSELL, R.S. (1987), S. 1526ff.; WITTE, T. (1988a), S. 112ff.; SCHWEITZER, M. (1990b), S. 658f. Ebenso werden Simulationsstudien zur Bewertung von Prioritätsregeln oftmals in denjenigen Quellen thematisiert, die bereits in einer der voranstehenden Anmerkungen das betriebswirtschaftliche Interesse an Prioritätsregeln für Prozeßkoordinierungen belegten. Vgl. am Rande auch die frühe Skizzierung solcher Studien bei CLARKSON (1960), S. 923. Neuerdings wird sogar die Entwicklung von Expertensystemen angeregt, mit denen die Konsequenzen der Anwendung unterschiedlicher Prioritätsregeln simuliert und bewertet werden sollen. Vgl. NIEDERHAUSEN (1988), S. 402f.; ZELEWSKI (1988c), S. 47ff.; ZELEWSKI (1991h), S. 256ff.

108) Die Evaluationsstudien zeigen lediglich auf, daß sich einige Formalziele in den jeweils zugrundeliegenden Modellumgebungen durch manche Prioritätsregeln besser erfüllen lassen als durch andere Prioritätsregeln. Selbst wenn von den nachstehend angesprochenen Validitätsproblemen abgesehen wird, so leiden diese Evaluationen der relativen Lösungsgüte von Prioritätsregeln oftmals noch an einer unerwünschten Mehrdeutigkeit. Dies gilt zumindest dann, wenn multidimensionale Formalzielsysteme zugrundegelegt werden. In diesem Fall existiert oftmals keine dominante Prioritätsregel. Eine solche Prioritätsregel müßte sich bezüglich aller Formalziele gegenüber allen anderen Prioritätsregeln als mindestens gleichwertig erweisen und jede dieser Regeln im Hinblick auf mindestens ein Formalziel echt übertreffen. In seltenen Fällen lassen sich solche dominanten Regeln für spezielle Analyse-situationen tatsächlich feststellen. Vgl. SPUR (1980), S. 440f.; HINTZ (1987), S. 79f. Im allgemeinen liegt jedoch eine mehrelementige Menge von nicht-dominierten Prioritätsregeln vor. Jede nicht-dominierte Prioritätsregel zeichnet sich dadurch aus, daß keine andere Regel existiert, die alle Formalziele mindestens so gut wie die Referenzregel und mindestens ein Formalziel echt besser als die Referenzregel erfüllt. Sobald eine Evaluationsstudie mehrere Prioritätsregeln als nicht-dominierte Regeln ausweist, läßt sich über die relative Lösungsgüte der betroffenen Regeln keine eindeutige Aussage mehr treffen. Dieser mehrdeutige Fall tritt oftmals ein. Vgl. SCHWEITZER, M. (1967), S. 295; BERR (1970), S. 196; HAUK (1972), S. 104; HAUK (1973), S. 35 i.V.m. S. 26ff. u. S. 95 i.V.m. S. 75ff.; KNOOP (1986), S. 36, 41 u. 188ff.

109) Darüber hinaus beruhen die Prioritätsregelstudien, die in der voranstehenden Anmerkung angeführt wurden, zumeist auf recht einfach strukturierten Produktionsmodellen. Sie erreichen bei weitem nicht die Komplexität der später präsentierten Fallstudie auf Basis des Petrinetz-Konzepts. Daher sieht der Verf. einen Beitrag seiner Ausführungen

rungen u.a. auch darin, mit Hilfe der später präsentierten Netzmodule strukturreichere Produktionsmodelle für die Beurteilung der Lösungsgüte von Prioritätsregeln zu entwickeln. Ein Fernziel, dessen Realisierung in dieser Arbeit aber nicht mehr angestrebt wird, besteht daher in einem netzgestützten "Testbett": Mit Hilfe der hohen Ausdrucksmächtigkeit von Netzmodellen sollen komplexe Produktionssysteme - vornehmlich aus dem Bereich Flexibler Fertigungssysteme - möglichst realitätsnah abgebildet werden. In solchen strukturreichen Produktionsmodellen können Urteile über die Lösungsgüte alternativer Prioritätsregeln mit größerer Validität getroffen werden, als es die relativ strukturarmen Produktionsmodelle der derzeit dokumentierten Evaluationsstudien erlauben.

110) Vgl. zur Abhängigkeit der Evaluationsergebnisse von den jeweils zugrundegelegten (Entscheidungs-)Modellen WEGNER, N. (1978), S. 11ff.; KNOOP (1986), S. 36.

111) Der Validitätsbegriff lehnt sich an die früher thematisierte Validität von Modellen an: Die Zurechnung der beobachteten Lösungsgüte auf einen Algorithmus ist genau dann valide, wenn die Lösungsgüte ausschließlich eine kausale Folge der Algorithmusanwendung darstellt. Andernfalls - wenn die Lösungsgüte keine kausale Folge der Algorithmusanwendung ist oder zumindest auch noch auf anderen Ursachen beruht - handelt es sich bei der Zurechnung um ein invalides Urteil.

112) Den nunmehr präzisierten Sinn valider Algorithmusbeurteilungen intendierte die oben zunächst gebrauchte, umgangssprachliche Forderung nach "exakter" Beurteilung der Lösungsgüte.

113) Der Nachweis, daß eine Modellformulierung tatsächlich *unabhängig* von jedem Gedanken an potentielle Algorithmen für die Modelllösung erfolgte, läßt sich nach Ansicht des Verf. nicht stringent führen. Denn es kann niemals ausgeschlossen werden, daß in die Modellformulierung Komponenten des Hintergrundwissens eingeflossen sind, die u.a. auch durch den Fundus der subjektiv bekannten Lösungsalgorithmen geprägt sind. Ebenso mag sich die Modellformulierung an andere, bereits bekannte Formulierungsweisen anlehnen, ohne daß dabei durchschaut wird, in welchem Ausmaß jene Formulierungen sich bereits an verfügbare Lösungsalgorithmen anlehnen. Daher betrachtet der Verf. die Forderung, Entscheidungsmodelle sollten *algorithmusunabhängig* gestaltet werden, zwar als theoretisch berechtigt. Doch bleibt sie hinsichtlich ihrer Einlösung praktisch unüberprüfbar. Unüberprüfbare Postulate zu erheben erscheint jedoch höchst fragwürdig. Daher schwächt der Verf. die vorgenannte Unabhängigkeitsforderung zugunsten einer Bedingung ab, die für die Einlösung dieser Forderung zwar nicht hinreichend, jedoch immerhin notwendig ist. Es handelt sich um das Postulat, Entscheidungsmodelle sollten *algorithmusinvariant* formuliert werden. Der Übergang von der Unabhängigkeits- zur Invarianzforderung ist bedeutsam, weil sich die Einlösung des letztgenannten Postulats überprüfen läßt: Es kann ohne Schwierigkeiten festgestellt werden, ob sich unterschiedliche Lösungsalgorithmen jeweils auf dasselbe Entscheidungsmodell anwenden lassen. Im positiven Fall ist die Invarianzforderung hinsichtlich der tatsächlich angewandten Algorithmen erfüllt. Dies garantiert jedoch noch nicht, daß die Modellformulierung auch unabhängig von den betrachteten Lösungsalgorithmen erfolgte. Denn das Entscheidungsmodell kann gerade so gestaltet sein, daß es auf *gemeinsame* Spezifika der jeweils betrachteten Lösungsalgorithmen zugeschnitten ist. Dann verhält es sich zwar algorithmusinvariant, aber dennoch algorithmusabhängig. Daher ist die Erfüllung der Invarianz- nicht hinreichend für die Einlösung der Unabhängigkeitsforderung. Allerdings erweist sich die erste als notwendig für die zweite. Denn würde die Modellformulierung mit den jeweils angewandten Lösungsalgorithmen variieren, so wäre sie erst recht von jenen abhängig. Schließlich ist darauf hinzuweisen, daß die Erfüllung der Invarianzforderung immer nur relativen Charakter besetzt. Denn sie gilt lediglich in bezug auf jene Algorithmen, bezüglich derer die Invarianzanforderung tatsächlich überprüft wurde.

114) Ebenso kann auf die Auswahl von Arbeitsgängen Bezug genommen werden, die vor einer Bearbeitungsstation auf Ausführung warten.

115) Auf eine bedeutsame Ausnahme wird im nächsten Beispiel hingewiesen.

116) Auf OR-Programme wird an späterer Stelle noch zurückgekommen. Dort wird auch das Konzept der "OR-Programme" präzisiert, das hier als bekannt vorausgesetzt wird.

117) Darauf wurde bereits an früherer Stelle hingewiesen. Vgl. auch die dort angedeutete Kritik an dieser Konzeptualisierungsform.

118) Vgl. zur Verwendung von OR-Programmen für die Modellierung von Maschinenbelegungen bei Werkstattfertigung oder Flexiblen Fertigungssystemen SCHWEITZER, M. (1966), S. 46ff.; MUSCATI (1970), S. 57ff. u. 65ff.; SEELBACH (1975a), S. 40ff.; SEELBACH (1979), Sp. 18f.; STECKE (1983a), S. 275ff.; ALDINGER (1985a), S. 73ff.; GÜNTHER, H. (1986), S. 247f.; HINTZ (1987), S. 65ff.; MISSBAUER (1987), S. 135ff. u. 210ff. Zum vorgenannten Einsatzbereich von OR-Programmen gehören ebenso die "analytischen Verfahren der Ablaufplanung" bei KRYCHA (1972), S. 76ff., und NIEB (1980), S. 28f.

119) Diese Lösungsorientierung wird besonders deutlich bei STECKE (1983a), S. 275ff. Sie modelliert Maschinenbelegungen bei Flexiblen Fertigungssystemen zunächst mit der Hilfe eines nicht-linearen OR-Programms. Da sich dieses unter realen Ressourcenbeschränkungen für die Informationsverarbeitung kaum noch lösen läßt, wird es für praktische Anwendungen nachträglich linearisiert. Vgl. STECKE (1983a), S. 282ff.; HINTZ (1987), S. 67. Es resultiert

ein Ersatzprogramm, das zwar das Modellierungsobjekt nicht mehr so gut wie das ursprüngliche OR-Programm wiedergibt, sich dafür aber effizient lösen läßt.

Eine ähnliche Kritik am Modellierungskonzept der OR-Programme äußert NIEß (1980), S. 28f. (Er thematisiert OR-Programme als "analytische Verfahren".) NIEß beklagt die mangelhafte Praxisrelevanz von Modellen, die mit der Hilfe von OR-Programmen für die Ablaufplanung von Produktionsprozessen im Bereich der Werkstattfertigung oder bei Flexiblen Fertigungssystemen vorgelegt werden. Neben anderen Vorhaltungen stellt er heraus, daß die Modelle auf einfach handzuhabende Sonderfälle beschränkt bleiben. Sie deckten die Einflußgrößenvielfalt der betrieblichen Praxis bei weitem nicht ab. Vgl. auch die kritischen Anmerkungen von HINTZ (1987), S. 67ff., zu Mängeln der Realitätsadäquanz diverser OR-Programme.

120) Unter Warteschlangenmodellen werden hier nur Modellierungen aus dem Bereich der mathematischen Warteschlangentheorie verstanden. Vgl. zu solchen Warteschlangenmodellen für die Planung von Produktionsprozessen, die in Flexiblen Fertigungssystemen oder bei Werkstattfertigungen ausgeführt werden sollen, KOSIOL (1961a), S. 330ff. (Warteschlangenmodelle für Verteilungsprobleme, zu denen auch die "Verteilung" von Aufträgen auf Maschinen gehört); JACKSON, J. (1962), S. 19ff.; JACKSON, J. (1963), S. 131ff.; ELMAGHRABY (1966a), S. 289ff.; KERN, W. (1967), S. 145f.; OPITZ, H. (1968), S. 34f.; ELLINGER (1979), S. 14ff.; NIEß (1980), S. 34 (Andeutung eines Netzes aus Warteschlangen für die Modellierung eines Flexiblen Fertigungssystems); WIENDAHL (1984), S. 619ff.; ZIMMERMANN, G. (1984), S. 1020ff.; HARTLEY (1984), S. 256f.; BUZACOTT (1985), S. 873ff.; CONTERNO (1985b), S. 40ff.; STECKE (1985b), S. 884ff.; BUZACOTT (1986b), S. 259ff.; WANG, HE. (1986), S. 301ff.; MISSBAUER (1987), S. 54f.; HINTZ (1987), S. 61ff.; BITRAN (1988b), S. 75ff.; SHANTHIKUMAR (1988), S. 1331ff.; ELEFATHERIU (1988), S. 74ff.; SCHNEEWEIB, C. (1988), S. 286f.; ZÄPFEL (1989b), S. 236ff. (mit explizitem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme) u. S. 277ff.; ADAN (1989), S. 551ff.; ROMANIN-JACUR (1989), S. 214ff.; KISTNER (1990b), S. 89ff. Dagegen werden zu den Warteschlangenmodellen keine Simulationsmodelle gerechnet, die zwar als Systeme aus vernetzten Warteschlangen entworfen worden sind, jedoch von vornherein keinen Bezug auf die mathematische Warteschlangentheorie nehmen. Dazu gehören z.B. die Ausführungen von BERR (1976), S. 7ff., und LEWIS, W. (1987), S. 177ff.

121) Die Lösungsorientierung der Prämissen von Warteschlangenmodellen wird von HINTZ (1987), S. 61ff., besonders deutlich dargelegt: Einerseits lassen sich die "analytischen" Auswertungstechniken für die Lösung von Warteschlangenmodellen nur dann problemlos anwenden, wenn die einzelnen Warteschlangen innerhalb desselben Warteschlangenmodells voneinander unabhängig sind (S. 61f.). Andererseits sind realitätsferne Konzeptualisierungsprämissen erforderlich, um die Unabhängigkeit der einzelnen Warteschlangen sicherzustellen (S. 63f.). Folglich erzwingt die Fokussierung auf analytisch lösbare Warteschlangenmodelle deren geringe Realitätsadäquanz. Dies bestätigt indirekt auch der Hinweis von ELLINGER (1979), S. 16, daß sich nur einfache Warteschlangenmodelle analytisch bewältigen ließen. Anspruchsvollere Modellierungen von Warteschlangensystemen erforderten dagegen simulative Auswertungsrechnungen. Auf die Realitätsferne der Prämissen von analytischen Warteschlangenmodellen wird in Kürze zurückgekommen.

122) Bei diesen Lösungsalgorithmen handelt es sich um die algorithmischen Aspekte jener Auswertungstechniken für stochastische MARKOV-Systeme, die später für Stochastische Netze eine größere Rolle spielen werden. Vgl. die dort angeführten Quellen.

123) Einerseits werden Realitätsannäherungen durch die Voraussetzung stochastischer Unabhängigkeit behindert. Darauf wurde schon in der vorletzten Anmerkung hingewiesen. Andererseits entsprechen die POISSON- und Exponentialverteilungen, die stochastischen Warteschlangenmodellen im allgemeinen zugrundeliegen, mitunter nicht den realen Häufigkeitsverteilungen der repräsentierten Sachverhalte. So bezeichnet auch DOMSCHKE (1990), S. 178, die POISSON-Verteilung als "künstlich". Auf die Problematik der vorgenannten statistischen Verteilungsfunktionen wird später im Rahmen Stochastischer Netze noch einmal eingegangen.

124) Die Realitätsferne der Konzeptualisierungsprämissen von stochastischen Warteschlangenmodellen, mit deren Hilfe Produktionsprozesse in Flexiblen Fertigungssystemen oder bei Werkstattfertigungen modelliert werden sollen, ist schon des öfteren detailliert herausgearbeitet worden. Vgl. WIENDAHL (1984), S. 621f., mit einer umfangreichen empirischen Untersuchung; MISSBAUER (1987), S. 57ff. u. 64f.; HINTZ (1987), S. 62ff.

125) Vgl. VAN ZEELAND (1986b), S. 11; HINTZ (1987), S. 64. Die Unmöglichkeit, mit einem Warteschlangenmodell Produktionsstörungen explizit und einzelfallbezogen zu erfassen, beruht auf dem stochastischen Modellcharakter. Denn alle Störungen sind bereits implizit in die Verteilungs- oder Dichtefunktionen eingeflossen.

126) Dies betrifft z.B. die lokale Entscheidung, für die Bearbeitung eines Werkstücks eine von zwei technisch geeigneten Bearbeitungsstationen nicht schon während der Arbeitsplanung, sondern erst im Verlauf der Produktionsplanung und -steuerung auszuwählen. Die Option, Bearbeitungsstationen erst während der Ausführung von Produktionsprozessen festzulegen, spielt gerade als "Durchlauffreizügigkeit" für Flexible Fertigungssysteme eine große Rolle. Darauf wird später noch ausführlicher eingegangen.

127) Näheres dazu bei der Erörterung Stochastischer Netze. Dies äußert sich bei Warteschlangenmodellen schon darin, daß sie zwar "optimale" Durchlaufzeiten u.ä. zu ermitteln gestatten. Aber Entscheidungsvariablen, wie sie aus konventionellen Entscheidungsmodellen zur Abbildung von Entscheidungsalternativen vertraut sind, fehlen in Warteschlangenmodellen. Das gilt zumindest im Hinblick auf solche Entscheidungsalternativen, die für die Modellierung realer Koordinierungsprobleme von Interesse sind. Ein Beispiel dafür wurde bereits in der voranstehenden Anmerkung geliefert. Schwierigkeiten, stochastische Warteschlangenmodelle als Entscheidungsmodelle zu konzipieren, klingen auch an bei MAIER,U. (1980), S. 27 (dort werden die Warteschlangenmodelle unter dem Aspekt stochastischer Methoden angesprochen); HINTZ (1987), S. 64; ZIMMERMANN,H. (1987a), S. 220. Dort wird aufgezeigt, daß stochastische Warteschlangenmodelle in der Regel nicht zur "optimalen" Lösung von Koordinierungsproblemen, sondern allenfalls zur Problembeschreibung dienen. Dies wird durch die typischen Fragestellungen unterstrichen, die mit stochastischen Warteschlangenmodellen zumeist verknüpft sind. Es handelt sich - bezogen auf Maschinenbelegungsprobleme - vor allem um Auskünfte über den durchschnittlichen Auslastungsgrad von Betriebsmitteln, über die mittlere Anzahl von Werkstücken, die sich in einem Produktionssystem oder vor einer Bearbeitungsstation aufhalten, oder über die durchschnittliche Verweildauer (Durchlaufzeit) von Werkstücken im (durch das) Produktionssystem. Vgl. HINTZ (1987), S. 62.

128) Vgl. KAMP (1978), S. 35; HINTZ (1987), S. 64. Wegen der Unmöglichkeit, in Warteschlangenmodellen individuelle Objekte als solche zu erfassen, läßt sich mit ihrer Hilfe ein Produktionssystem immer nur als ein Ganzes behandeln. Vgl. HINTZ (1987), S. 64. Daher können über die Aufträge, die in einem Produktionssystem abgewickelt werden, nur statistisch anonymisierte Durchschnittserkenntnisse erzielt werden. Beispiele dafür wurden bereits in der voranstehenden Anmerkung erwähnt.

129) Vgl. KAMP (1978), S. 35; HINTZ (1987), S. 64.

130) Gleicher Ansicht ist HINTZ (1987), S. 64: "Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Modelle der Warteschlangentheorie für die Termin- und Ablaufplanung von Flexiblen Fertigungssystemen nicht geeignet sind." Auch MAIER,U. (1980), S. 55, äußert die Ansicht, stochastische Warteschlangenmodelle (dort als stochastische Methoden bezeichnet) eignen sich nicht für die Koordinierung Flexibler Fertigungssysteme. Auf eine weitere Unzulänglichkeit von Warteschlangenmodellen wird in KNOLMAYER (1990b), S. 429, hingewiesen (allerdings ohne Bezug auf Flexible Fertigungssysteme).

Allerdings wird ein wesentlicher Aspekt von Warteschlangenmodellen, der nicht von den zuvor skizzierten Einwendungen betroffen ist, in die Modellierung der hier betrachteten Koordinierungsprobleme einbezogen. Es handelt sich um den Ansatz, die Einlastung wartender Aufträge an einzelnen Bearbeitungsstationen mit der Hilfe von Prioritätsregeln auszuführen. Die Warteschlangenabarbeitung durch prioritätsregelgestützte Auftragseinlastungen wurde in der produktionswirtschaftlichen Literatur schon früh gewürdigt. Vgl. z.B. KERN,W. (1967), S. 145f. Die Verwendung von Prioritätsregeln wird daher oftmals als eine konzeptionelle Fortentwicklung von Warteschlangenmodellen aufgefaßt. Vgl. MAIER,U. (1980), S. 28; HINTZ (1987), S. 69. In diesem Zusammenhang läßt sich ebenso auf Simulationskonzepte für Flexible Fertigungssysteme verweisen, die auf Warteschlangen vor Bearbeitungsstationen aufbauen. Die Warteschlangen werden auch dort nach der Maßgabe von Prioritätsregeln abgearbeitet. Vgl. SELIGER (1983), S. 55. In diese Richtung deutet ebenso die Bemerkung von MÜLLER,A. (1987), S. 348, das Konzept der Warteschlangenmodelle bilde die "Grundlage" stochastischer Simulationssysteme.

131) Der Begriff der Modellauswertung wird in dieser Arbeit weiter gefaßt als der entscheidungstheoretische Begriff der Modelllösung. Denn Netzmodelle sollen nicht nur die Lösung von Entscheidungsproblemen gestatten, sondern auch die Untersuchung "interessanter Modelleigenschaften" (Näheres dazu später). Allerdings spielt diese Differenzierung in der einleitenden Rahmenlegung noch keine Rolle. Daher werden hier Modellauswertungen und -lösungen nicht weiter unterschieden.

132) Daneben ist auch auf die später präsentierte Fallstudie zu verweisen. Sie beschäftigt sich ausschließlich mit Ansätzen für eine möglichst realitätsnahe, strukturreiche Modellierung von Koordinierungsproblemen. Aspekte der möglichst effizienten Modellauswertung werden dagegen nicht thematisiert.

133) Dies läßt sich in zweifacher Hinsicht unterstreichen. Erstens erweist sich die Prädikatenlogik als so ausdrucksstark, daß sie dem später eingeführten Primat der Ausdruckskraft eines Modellierungskonzepts - zu Lasten seiner Lösungseffizienz - in besonderer Weise gerecht wird. Zweitens wird sich später zeigen, daß gerade die große Ausdruckskraft der Prädikatenlogik zu erheblichen Auswertungsschwierigkeiten von prädikatenlogisch basierten Modellen führt. Dies wird anhand der prädikatenlogischen Semi-Entscheidbarkeit ausführlich erläutert werden.

134) Diese Arbeit beschränkt sich darauf, die prinzipielle Vergleichsmöglichkeit konkret nachzuweisen. Vergleiche für einzelne Prioritätsregeln anhand "repräsentativer" Produktionsmodelle werden hier jedoch nicht mehr realisiert. Dies liegt vor allem daran, daß dem Verf. die Informationsverarbeitungsressourcen, die für die aufwendige Auswertung von Optimierungsnetzen erforderlich wären, nicht zur Verfügung standen. Vgl. auch die entsprechenden Anmerkungen im abschließenden Ausblick.

135) Darüber hinaus ließen sich sicherlich noch weitere Vorbehalte aufstellen. Beispielsweise wäre daran zu denken, schon die zugrundeliegende systemtheoretische Konzeptualisierung in Frage zu stellen. Dies begründete dann auch entsprechende Zweifel an der darauf aufbauenden Unterscheidung zwischen lokalen und globalen Entscheidungsproblemen. Wegen der früheren Rechtfertigung der systemtheoretischen Problemstrukturierung - insbesondere ihrer Verankerung in kausalen Denkmustern - wird jedoch auf eine solche tieferreichende Kritikmöglichkeit hier nicht mehr eingegangen.

2.4.2 Problematisierungen und Verfeinerungen

2.4.2.1 Anmerkungen zur Praxisrelevanz

Zum Abschluß des voranstehenden Kapitels wurde der Vorwurf angesprochen, die entscheidungstheoretische Problemstrukturierung falle hinsichtlich ihrer Formalzielorientierung unrealistisch aus. Die Formalziele, die entscheidungstheoretischen Konzeptualisierungen von kurzfristigen Produktionsplanungs- und -steuerungsproblemen im allgemeinen zugrundegelegt würden¹⁾, stießen bei der Koordinierung von Produktionsprozessen in der betrieblichen Praxis kaum auf Resonanz.

Diese Kritik mangelnder Praxisrelevanz kann zunächst nicht von der Hand gewiesen werden. Die Entscheidungskriterien, anhand derer Mitarbeiter im Werkstattbereich Produktionsprozesse koordinieren, weichen tatsächlich von den entscheidungstheoretisch präferierten Formalzielen zumeist erheblich ab. Gleiches gilt für die Entscheidungsmechanismen, die in den Prozeduren von automatengestützten PPS-Systemen²⁾ implementiert sind³⁾. In beiden Fällen erfolgen die Koordinierungsentscheidungen auf der Grundlage von heuristischen Entscheidungsregeln, die in der betrieblichen Praxis als bewährt gelten. Oftmals fallen sie mit den Prioritätsregeln zusammen, die schon an früherer Stelle herausgestellt wurden. Bei diesen Heurismen tritt die Diskrepanz zwischen praktisch angewandten Entscheidungskriterien und theoretisch angenommenen Formalzielen besonders deutlich hervor⁴⁾. Dennoch hält der Verf. die Kritik, der entscheidungstheoretischen Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen fehle die Praxisrelevanz, aus zwei Gründen nicht für stichhaltig.

Erstens wurde die Entscheidungsstruktur von Koordinierungsproblemen so entworfen, daß die Identifizierung lokaler Entscheidungsspielräume von vornherein große Beachtung erfuhr. Die Möglichkeit, diese Spielräume durch die Anwendung eigenständiger Entscheidungskriterien zu schließen, wurde im Hinblick auf Prioritätsregeln besonders betont. Daher lassen sich die oben angeführten heuristischen Entscheidungsregeln ohne Schwierigkeiten in die hier vorgenommene entscheidungstheoretische Problemstrukturierung einbetten. Folglich verhält sich diese Strukturierungsweise nicht generell praxisfern. Allenfalls trifft dieser Vorwurf auf den Ansatz zu, die spielraumschließenden Auswahlentscheidungen produktionswirtschaftlichen Formalzielen zu unterwerfen.

Zweitens vertritt der Verf. den normativen Standpunkt, daß ein Modellierungskonzept zwar in der Lage sein sollte, Usancen der betrieblichen Praxis abzubilden⁵⁾. Doch darf diese Praxisorientierung nicht dazu führen, von vornherein solche Modellierungsoptionen auszugrenzen, die von der aktuell vorherrschenden betrieblichen Praxis abweichen. Denn gerade die Modellierung von praxisfernen Koordinierungsaspekten bietet die Chance, neuartige Einsichten in die Bewältigung von Koordinierungsproblemen zu gewinnen. Dies kann einerseits dazu führen, daß sich "praktisch bewährte" Entscheidungskriterien anhand produktionswirtschaftlicher Formalziele theoretisch rechtfertigen lassen. Andererseits ist es ebenso möglich, auf diese Weise Verbesserungen praktischer Produktionsplanungs- und -steuerungskonzepte zu erkennen. Im Rahmen dieser Ausarbeitung werden zwar beide Optionen nicht konkret realisiert, weil dies außerhalb des hier gesetzten thematischen Rahmens läge. Aber das Modellierungskonzept wird so weit ausgelegt, daß es die vorgenannten Einsichtsmöglichkeiten grundsätzlich eröffnet.

So lassen sich beispielsweise dieselben Netzmodelle von Produktionssystemen das eine Mal mit der Hilfe von lokal definierten Heurismen und das andere Mal durch einen globalen Optimierungsansatz auf der Basis von Formalzielen auswerten⁶⁾. Dann kann die Qualität "praktisch bewährter" Entscheidungskriterien vor dem Hintergrund theoretisch bestmöglicher Koordinierungsentscheidungen beurteilt werden. Ebenso ist es möglich, das Netzmodell eines realen Produktionssystems als eine Testumgebung zu benutzen, in dem alternative Entscheidungskriterien

für die Lösung lokaler Entscheidungsprobleme untersucht werden⁷⁾. Dabei kann die Eignung der Entscheidungskriterien in bezug auf verschiedene Formalziel(system)e ermittelt werden⁸⁾. Zusätzlich läßt sich untersuchen, wie sich verschiedene Produktionssituationen⁹⁾ auf die Formalzielerfüllung auswirken¹⁰⁾.

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse gestatten Aussagen darüber, welche Entscheidungskriterien für welche Produktionssysteme bei der Verfolgung welcher Formalziele und in welchen Produktionssituationen vorzuziehen sind. Damit wird es möglich, theoretisch fundierte Verbesserungsvorschläge für praktisch beliebte Koordinierungskonzepte, wie etwa Prioritätsregeln, zu unterbreiten¹¹⁾. Dieser Ansatz ist zwar in bezug auf Prioritätsregeln keineswegs neuartig. Aber die Verknüpfung mit strukturreichen Modellierungen von Produktionssystemen, wie sie in der späteren Fallstudie angedeutet werden, hat bislang kaum Berücksichtigung gefunden¹²⁾. Gleiches gilt für den Vergleich der Entscheidungsqualität von heuristischen Entscheidungskriterien mit den jeweils bestmöglichen Koordinierungsentscheidungen.

Anmerkungen zum Kapitel:

- 1) Diese Formalziele wurden schon zu Beginn der entscheidungstheoretischen Rahmenlegung angesprochen.
- 2) Es werden hier ausschließlich PPS-Systeme betrachtet, die mit Hilfe der Automatischen Informationsverarbeitung realisiert sind (automatengestützte PPS-Systeme). Auf Abhandlungen über PPS-Systeme und zugrundeliegende PPS-Konzepte wurde bereits in einer früheren Anmerkung verwiesen.
- 3) Besonders deutlich weist KERN,W. (1990a), S. 323f., darauf hin, daß an PPS-Systemen "vor allem der meist fehlende Bezug auf ökonomische Ziele (Kosten und Erlöse) und das Fehlen einer expliziten entscheidungsorientierten Aufbereitung der Informationen ... bemängelt" werde. Ähnlich äußern sich auch SCHRÖDER,H. (1989), S. 8, und ADAM,D. (1990a), S. 809.
- 4) Vgl. dazu die Vielfalt von Prioritätsregeln mit den Formalzielen der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung.
- 5) Dies ist hier - wie voranstehend hinsichtlich der "praktisch bewährten" Entscheidungskriterien aufgezeigt - auch der Fall.
- 6) Diese Möglichkeit wurde bereits an früherer Stelle erörtert.
- 7) Ausführlicher ist der Verf. auf die modellgestützte Beurteilung von heuristischen Entscheidungskriterien in ZELEWSKI (1988c), S. 45ff., eingegangen. Dort wurden Prioritätsregeln für Maschinenbelegungsplanungen betrachtet.
- 8) Die Kriterieneignung gilt jedoch zunächst nur für das modellierte Produktionssystem. Generelle Eignungsurteile erforderten den Nachweis, daß ein "repräsentatives" Produktionssystem modelliert worden sei. Gegenüber der Stringenz solcher angeblichen Repräsentativitätsnachweise hegt der Verf. allerdings erhebliche Bedenken. Dies wird hier aber nicht weiter ausgeführt.
- 9) Eine Produktionssituation wird hier als Gesamtheit aus einem Produktionssystem in seinem aktuellen Systemzustand sowie aus dem jeweils gültigen Sach- und Formalzielsystem verstanden. In die Beschreibung der Produktionssituation kann z.B. das abzuwickelnde Auftragspaket als Sachzielfacetten eingehen. Exogene Variationen des vorgegebenen Auftragspakets durch neu hinzukommende oder aber stornierte Produktionsaufträge bedeuten daher eine Veränderung der Produktionssituation. Die Situationsbeschreibung erstreckt sich ebenso auf Zustandsaspekte des Produktionssystems, wie z.B. die aktuellen Betriebsbereitschaftsgrade von Bearbeitungsstationen. HAUKE (1973), S. 75, betrachtet die Auslastung der quantitativen Gesamtkapazität eines flexiblen Fertigungssystems als Determinante der Produktionssituation (von den Schwierigkeiten, eine solche Gesamtkapazität zu definieren, wird hier abgesehen). HINTZ (1987), S. 163, unterscheidet Produktionssituationen danach, ob sich ein flexibles Fertigungssystem in seiner Anlauf-, Normalbetriebs- oder aber Auslaufphase befindet. SCHMIDT,HU. (1989), S. 119, bezieht sich auf Situationen, in denen flexible Fertigungssysteme entweder zur Abdeckung besonders hohen oder aber außergewöhnlich niedrigen Kapazitätsbedarfs eingesetzt werden. Hinsichtlich des zweiten Falls differenziert er ähnlich wie HINTZ zwischen An- und Auslaufphasen. Ebenso können Produktionssituationen durch ihren "Arbeitsinhalt" charakterisiert werden. Dabei wird als aktueller Arbeitsinhalt gemessen, welche Restbearbeitungen noch ausgeführt werden müssen, um das insgesamt abzuwickelnde Auftragspaket vollständig abzuarbeiten; vgl. DÖTTLING (1981), S. 97.
Aus der Perspektive des entscheidungstheoretischen Paradigmas wird die Produktionssituation bei Entscheidungen über Prozeßkoordinierungen auch als Entscheidungssituation bezeichnet. Das hier vertretene Verständnis der Produktionssituation entspricht dem weit aufgefaßten Situationsbegriff von DORN (1989), S. 6f. Er merkt an: "Eine Situation stellt den gesamten Zustand der relevanten Dinge während eines gewissen Zeitraumes dar." (S. 6). Dabei entspricht der Zeitraum demjenigen Zeitintervall, in dem der aktuelle Zustand des betrachteten Produktionssystems unverändert vorliegt. Der Bezug auf "relevante Dinge" schließt auch das gesamte Zielsystem ein.
- 10) Es wurden bereits mehrere Studien präsentiert, in denen untersucht wird, wie sich unterschiedliche Produktionssituationen auf die Formalzielerfüllung durch alternative Entscheidungskriterien auszuwirken vermögen. Bei diesen Untersuchungen handelt es sich um Verfeinerungen der schon früher angesprochenen Evaluationsstudien, in denen die relative Lösungsgüte von Prioritätsregeln ermittelt wird. Vgl. zu solchen situationsbezogenen Evaluierungen von Entscheidungskriterien (Prioritätsregeln) HAUKE (1973), S. 75ff.; HINTZ (1987), S. 81 (ansatzweise). Diese Studien haben dazu geführt, bei der Kriterien- bzw. Regelbeurteilung die aktuelle Produktionssituation zunehmend als intervenierende Variable zu beachten; vgl. KNOOP (1986), S. 157f. u. 191ff.; HINTZ (1987), S. 84 u. 163. Die Produktionssituationen können einerseits dadurch berücksichtigt werden, daß in Abhängigkeit von der jeweils aktuellen Situation unterschiedliche, jedoch als solche unveränderte Prioritätsregeln zur Anwendung gelangen; vgl. DÖTTLING (1981), S. 97; KNOOP (1986), S. 157f. Andererseits lassen sich aber auch variabel formulierte Regeln benutzen, die situationsentsprechend modifiziert werden; vgl. KNOOP (1986), S. 157.
In neuerer Zeit wurden die Studien zur situationsabhängigen Zielwirksamkeit von Prioritätsregeln durch Beiträge aus der Erforschung Künstlicher Intelligenz bereichert; vgl. CHANG,F. (1985), S. 45ff. i.V.m. S. 38ff.; ROBBINS

(1985), S. 13-11 u. 13-15ff.; SUBRAMANYAM (1986), S. 253ff.; THESEN (1986), S. 561ff.; BENSANA (1986), S. 1648f.; ZELEWSKI (1988c), S. 47ff. (insbesondere S. 51) u. 67f.; ZELEWSKI (1990a), S. 58f.; ZELEWSKI (1990b), S. 70; vgl. auch als konzeptionelle Vorstudien MATTHES,W. (1986a), S. IIIff.; WEISSE (1986), S. 18ff.; MATTHES,W. (1986c), S. 1ff.; BÜNGER (1988), S. 95ff. i.V.m. mit dem Aktionsparameter "Planungsverfahren" aus Tab. 5 auf S. 92; MATTHES,W. (1988a), S. 73ff.

Die situationsbezogene Evaluierung der Zielwirksamkeit von Prioritätsregeln basiert im Kontext der KI-Forschung auf dem Konzept mustererkennender Expertensysteme. Zunächst werden Informationssammlungen, die anhand von Produktionsmerkmalen mögliche Produktionssituationen beschreiben, mit der Hilfe von mustererkennenden und -verarbeitenden KI-Techniken bearbeitet. Auf diese Weise wird eine kleine Anzahl von charakteristischen Informationsmustern (Merkmalskombinationen) herausgefiltert, die jeweils eine typische Produktionssituation repräsentieren. Anschließend wird eine Lernphase durchlaufen, in der ein Expertensystem anhand seines Simulationsmodells von einem Produktionssystem erforscht, welche Prioritätsregeln sich in welchen Produktionssituationen als besonders erfolgreich erweisen. In späteren Anwendungsphasen kann dieses erlernte Wissen über den situationsabhängigen Regelerfolg zur Unterstützung von Koordinierungsentscheidungen eingesetzt werden. Dabei wird zuerst auf die automatische Mustererkennung zurückgegriffen, um aus Informationen über den aktuellen Zustand des Produktionssystems, über die abzuarbeitenden Produktionsaufträge und über die verfolgten Formalziele die aktuelle Produktionssituation zu extrahieren. Anschließend wird die Anwendung derjenigen Prioritätsregel(n) empfohlen, die sich während der früheren Lernphase hinsichtlich der nunmehr diagnostizierten aktuellen Produktionssituation besonders zielwirksam erwiesen hat (haben). Darüber hinaus läßt sich im Rahmen der konventionellen Automatischen Informationsverarbeitungssysteme an die wissensbasierte Regelempfehlung eine vollautomatische Regelanwendung anschließen.

11) So konnte in mehreren Simulationsexperimenten für fiktive Ablaufplanungsprobleme nachgewiesen werden, daß die von einem Expertensystem situationsabhängig ausgewählten Prioritätsregeln stets zu deutlich größeren Erfüllungsgraden der jeweils verfolgten Planungsziele führten als die konventionelle Anwendung starr definierter, ex ante festgelegter Prioritätsregeln. Vgl. dazu die Dokumentationen solcher Simulationen bei CHANG,F. (1985), S. 53ff.; THESEN (1986), S. 561ff.

12) Vgl. dazu auch die kritische Einschätzung in einer früheren Anmerkung, die sich auf konventionelle Evaluationsstudien von Prioritätsregeln bezog.

2.4.2.2 Das Problem der Selbstaufhebung

Die bereits angedeutete Kritik, das entscheidungstheoretische Paradigma drohe sich selbst aufzuheben, knüpft an ein Kohärenzargument an. Ihm zufolge erweist sich eine entscheidungstheoretische Strukturierung von Koordinierungsproblemen nur dann als konsequent, wenn auch die Bewertung der Koordinierungsalternativen entscheidungsbezogen geschieht. Dies erfordert für die Bereitstellung der Bewertungsinformationen eine entscheidungsorientierte Kosten- und Leistungsrechnung¹⁾. Das gilt zumindest für den hier interessierenden Bereich der Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen²⁾, insbesondere Flexiblen Fertigungssystemen³⁾.

Nach dem Marginalprinzip⁴⁾ können einer Entscheidungsalternative nur diejenigen Problem-Aspekte zugeordnet werden, deren Entstehen entweder dadurch verursacht oder aber verhindert wird, daß die Alternative - *ceteris paribus*⁵⁾ - ausgewählt und verwirklicht bzw. abgelehnt und nicht verwirklicht wird⁶⁾. Die derart bestimmten Problemaspekte werden auch als (entscheidungs-)relevante oder verursachungsgerechte Konsequenzen der betrachteten Entscheidungsalternative bezeichnet⁷⁾. Es werden zwei Kategorien von Entscheidungskonsequenzen unterschieden⁸⁾:

- Die sachlichen Entscheidungskonsequenzen stellen reale Auswirkungen von Koordinierungsentscheidungen dar, welche die Prozeßausführungen im Produktionssystem betreffen.
- Die formalen Entscheidungskonsequenzen umfassen diejenigen Auswirkungen von Koordinierungsentscheidungen, die den Erfüllungsgrad des vorausgesetzten Formalzielsystems⁹⁾ beeinflussen¹⁰⁾.

Das Marginalprinzip wird in dieser Arbeit durch das Identitätsprinzip¹¹⁾ konkretisiert¹²⁾. Nach dem Identitätsprinzip besteht ein Dreiecksverhältnis. Es erstreckt sich bei der Koordinierung von Prozessen in Produktionssystemen:

- erstens auf die Koordinierungsentscheidungen, durch die Entscheidungsalternativen ausgewählt oder abgelehnt werden;
- zweitens auf die sachlichen Entscheidungskonsequenzen, die von den Koordinierungsentscheidungen im Produktionssystem bewirkt werden;
- drittens auf die formalen Entscheidungskonsequenzen, die durch die Koordinierungsentscheidungen hervorgerufen und im Informationssystem festgestellt werden¹³⁾.

Dieses trianguläre Verhältnis wird durch die Koordinierungsentscheidungen konstituiert. Sie verursachen gemeinsam - "identisch" - sowohl die sachlichen als auch die formalen Entscheidungskonsequenzen¹⁴⁾. Die letztgenannten Beiträge zur Formalzielerfüllung können entweder den zugrundeliegenden Entscheidungen unmittelbar zugerechnet werden. Statt dessen ist es ebenso möglich, die Zielbeiträge vermittelt der identisch zugrundeliegenden Entscheidungen den korrespondierenden sachlichen Entscheidungskonsequenzen mittelbar zuzuordnen. Im ersten Fall erfolgt eine Zurechnung der formalen Entscheidungskonsequenzen auf dispositive, im zweiten Fall dagegen auf reale Bezugsobjekte.

Im Rahmen der Entscheidungstheorie werden die Zielbeiträge unmittelbar den Entscheidungen als dispositiven Bezugsobjekten zugerechnet, ohne daß dabei explizit auf das Identitätsprinzip Bezug genommen würde. In Kosten- und Leistungsrechnungen dominiert hingegen die mittelbare Zuordnung der Zielbeiträge zu den sachlichen Entscheidungskonsequenzen als realen Bezugsobjekten¹⁵⁾. Auf dieser kalkulatorischen Sicht beruht der entscheidungsorientierte Kosten- und Leistungsbegriff¹⁶⁾: Die entscheidungsrelevanten Kosten oder Leistungen¹⁷⁾ eines realen Bezugsobjekts bestehen aus denjenigen Kosten bzw. Leistungen, die von genau¹⁸⁾ jener Entscheidung verursacht wurden, die sowohl dem realen Bezugsobjekt als auch den betrachteten

Kosten bzw. Leistungen identisch zugrundeliegt. Bei der Bewertung von Koordinierungsalternativen werden solche entscheidungsrelevanten Kosten und Leistungen fortan vorausgesetzt¹⁹⁾.

Darüber hinaus werden Kosten und Leistungen auf der Grundlage²⁰⁾ des pagatorischen Kostenbegriffs²¹⁾ aus Ausgaben bzw. Einnahmen abgeleitet, die in der betrieblichen Beschaffungsbzw. Absatzsphäre tatsächlich angefallen sind. Der pagatorische Kostenbegriff wird hier bewußt anstelle des sonst überwiegend gebräuchlichen wertmäßigen Kostenbegriffs²²⁾ gewählt. Denn eine Kosten- und Leistungsrechnung kann auf der Basis des Identitätsprinzips nur dann kohärent ausgestaltet werden, wenn sie sich auf Ausgaben und Einnahmen als originäre Wertgrößen bezieht²³⁾. Darüber hinaus besitzen Ausgaben und Einnahmen den Vorzug, sich unmittelbar auf beobachtbare Größen zu beziehen²⁴⁾. Sie bleiben damit - im Gegensatz zum wertmäßigen Kostenbegriff - von theoretischen Bewertungskonstrukten weitgehend²⁵⁾ frei²⁶⁾. Entsprechend entfallen die Schwierigkeiten, solche Bewertungskonventionen im einzelnen zu rechtfertigen.

Die Gefahr, daß sich die entscheidungstheoretische Problemkonzeptualisierung im Hinblick auf eine entscheidungsorientierte Kosten- und Leistungsrechnung selbst aufhebt, knüpft an die hier besonders interessierenden Flexiblen Fertigungssysteme an. Ihre hohe Anlagen- oder Kapitalintensität²⁷⁾, die weitgehende Unabhängigkeit der Arbeitsentgelte von den Produktionsmengen²⁸⁾ und die Verlagerung menschlicher Arbeit von ausführenden zu dispositiven Tätigkeiten²⁹⁾ führen dazu, daß die Gemein- zu Lasten der Einzelkosten stark ansteigen³⁰⁾. Als Einzelkosten bleiben dann fast nur noch Material-, Teile der Energie- und Sondereinzelkosten der Fertigung³¹⁾ übrig³²⁾. Die ausbringungsunabhängigen Gemeinkosten übersteigen dagegen im allgemeinen 50% der Gesamtkosten, die beim Betrieb eines Flexiblen Fertigungssystems anfallen³³⁾.

Folglich verlieren Grenzplankosten- und Deckungsbeitragsrechnungen ihre Aussagekraft³⁴⁾, *sofern* sie nur auf Entscheidungen über Produktionsmengen bezogen sind³⁵⁾. Denn der Anteil der entscheidungsrelevanten, von der Produktionsmenge abhängigen Einzelkosten verliert für Flexible Fertigungssysteme aufgrund der o.a. Tendenzen immer mehr an Bedeutung. Konventionelle Kosten- und Leistungsrechnungen beschränken sich in der Tat darauf, Variationen der Produktionsmengen als Bezugsobjekte anzusetzen³⁶⁾. Solche Rechnungslegungen erfordern daher umfangreiche³⁷⁾ Verrechnungen des Gemeinkostenblocks³⁸⁾. Dies widerspricht aber den Marginal- und Identitätsprinzipien, die für streng verursachungsgerechte Kosten- und Leistungsrechnungen vorausgesetzt wurden³⁹⁾.

Daher impliziert die Forderung nach Verursachungsgerechtigkeit, für Flexible Fertigungssysteme neuartige Kosten- und Leistungsrechnungen⁴⁰⁾ zu konzipieren⁴¹⁾. Im Gegensatz zu konventionellen Rechnungslegungen⁴²⁾ ist die einseitige Ausrichtung an Produktionsmengenvariationen aufzugeben⁴³⁾. Entscheidungen über Produktionsmengen stellen bei den hier betrachteten kurzfristigen Planungs- und Steuerungsaufgaben einen Entscheidungstatbestand von peripherer Bedeutung dar. Er kommt nur dann zum Tragen, wenn zu entscheiden ist, ob innerhalb des betrachteten Koordinierungszeitraums ein Produktionsauftrag in das Produktionssystem eingelastet werden soll⁴⁴⁾. Außer dieser systembezogenen Einlastungsentscheidung stehen jedoch bei der Prozeßkoordinierung kaum⁴⁵⁾ Entscheidungen über Produktionsmengen an. Statt dessen dominieren Entscheidungen darüber, welche Produktionsfaktoren zwecks Ausführung von Arbeitsgängen miteinander kombiniert werden und zu welchen Zeitpunkten die Startereignisse der Arbeitsgänge geschehen sollen⁴⁶⁾. Eine verursachungsgerechte Kosten- und Leistungsrechnung muß daher vornehmlich an Entscheidungen über Faktorzuordnungen sowie über das Starten von Arbeitsgängen ausgerichtet sein⁴⁷⁾.

Eine solche zuordnungs- und arbeitsgangbezogene, im weitesten Sinne ereignis- und prozeßbezogene⁴⁸⁾ Kosten- und Leistungsrechnung steht zur Zeit nicht zur Verfügung⁴⁹⁾. Einen fruchtbaren Ansatz sieht der Verf. jedoch im Konzept der Einflußgrößenrechnung⁵⁰⁾. Sie wurde im Bereich der stahlerzeugenden Industrie entwickelt. Zwar ähneln die dort anstehenden Koordinierungsprobleme⁵¹⁾ kaum denen der hier thematisierten Flexiblen Fertigungssystemen. Aber die

Basisidee dieser Rechnungslegung, läßt sich grundsätzlich auf die Prozeßkoordinierung bei Flexiblen Fertigungssystemen übertragen⁵²). Sie besteht darin, die Vielfalt koordinierungsrelevanter Einflußgrößen zu identifizieren⁵³) und zum Fundament einer Kosten- und Leistungsrechnung zu erheben⁵⁴).

Bei Flexiblen Fertigungssystemen stellen die oben dargelegten Entscheidungen über Faktorzuordnungen und Arbeitsgangausführungen die wesentlichen Einflußgrößen dar. Allerdings entfernt sich eine solche zuordnungs- und arbeitsgangbezogene Einflußgrößenrechnung erheblich vom vertrauten Bild konventioneller Kosten- und Leistungsrechnungen. Denn die Entscheidungen über Faktorzuordnungen und Arbeitsgänge lassen sich kaum⁵⁵) mit streng verursachungsgerechten Kosten oder Leistungen verknüpfen: Die entscheidungsrelevanten Kosten und Leistungen, die sich solchen Koordinierungsentscheidungen nach Maßgabe des Identitätsprinzips zuordnen lassen, betragen im allgemeinen Null⁵⁶). Dieses bemerkenswerte Resultat folgt daraus, daß die kosten- und leistungsdeterminierenden Ausgaben bzw. Einnahmen⁵⁷) nicht *innerhalb* eines Produktionssystems realisiert werden. Vielmehr entstehen sie *außerhalb* des Produktionssystems im Beschaffungs- und Absatzbereich einer Unternehmung⁵⁸). Diese Umsysteme des Produktionssystems wurden jedoch in dieser Arbeit aus der Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen ausgeschlossen. Daher bleiben hier die monetären Auswirkungen von Koordinierungsentscheidungen unbekannt.

Selbst dann, wenn Beschaffungs- und Absatzbereich in die Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen in Produktionssystemen einbezogen würden, ergäbe sich kein wesentlich anderes Bild. Denn die produktionssystembezogenen Koordinierungsentscheidungen stimmen im Regelfall nicht mit den Beschaffungs- und Absatzentscheidungen überein⁵⁹). Daher fehlt den sachlichen Entscheidungskonsequenzen aus dem Produktionssystem (den Faktorzuordnungen und Arbeitsgangausführungen) und den formalen Entscheidungskonsequenzen aus dem Beschaffungs- oder Absatzbereich (den Ausgaben und Einnahmen) die gemeinsame Basis je einer identisch zugrundeliegenden Entscheidung⁶⁰). Statt dessen beziehen sich die sachlichen und die formalen Konsequenzen auf jeweils *andere*, nämlich produktions- bzw. beschaffungs- oder absatzspezifische Entscheidungen. Folglich ist es nach dem Identitätsprinzip unzulässig, die Ausgaben und Einnahmen, die *außerhalb* des Produktionssystems durch Beschaffungs- bzw. Absatzentscheidungen verursacht werden, den Koordinierungsentscheidungen, die *innerhalb* des Produktionssystems über Faktorzuordnungen und Arbeitsgangausführungen getroffen werden, als deren verursachungsgerechte Kosten und Leistungen zuzuordnen.

Aus der Forderung nach einer entscheidungsorientierten Kosten- und Leistungsrechnung resultiert also unter den voranstehenden Voraussetzungen einer strengen Verursachungsgerechtigkeit ein paradox anmutendes Ergebnis: Eine entscheidungsorientierte Rechnungslegung kann kaum noch Entscheidungsrelevanz für Koordinierungsentscheidungen besitzen, die sich auf Produktionsprozesse innerhalb eines Produktionssystems beziehen. Denn den Entscheidungen über Faktorzuordnungen und Arbeitsgangausführungen lassen sich im allgemeinen keine Kosten oder Leistungen zuordnen, die sowohl entscheidungsrelevant sind als auch streng verursachungsgerecht ermittelt wurden⁶¹).

Die weitgehende Irrelevanz entscheidungsorientierter Kosten- und Leistungsrechnungen für den Produktionsbereich widerspricht zwar etablierten konventionellen Rechnungslegungen. Dort werden den Entscheidungen im Produktionsbereich ohne nähere Problematisierung Kosten- oder Leistungsgrößen zugeschrieben. Doch impliziert die stringente Anwendung des oben skizzierten Prinzips der Verursachungsgerechtigkeit, daß sich einer Koordinierungsentscheidung in Flexiblen Fertigungssystemen kaum noch entscheidungsrelevante Kosten oder Leistungen zuordnen lassen⁶²). Daher trifft die eingangs angeführte Kritik, dem entscheidungstheoretischen Ansatz drohe seine Selbstaufhebung, durchaus zu⁶³). Dies gilt auf jeden Fall dann, wenn die Entscheidungsorientierung auf der Basis von Marginal- und Identitätsprinzip konsequent zu Ende gedacht wird⁶⁴).

Darüber hinaus muß eingeräumt werden, daß Kosten- und Leistungsrechnungen, die streng verursachungsgerecht konzipiert sind, nicht nur auf die voranstehend skizzierten theoretischen Schwierigkeiten stoßen. Hinzu kommen in der betrieblichen Praxis auch deutliche Akzeptanzdefizite⁶⁵). Sie lassen sich vor allem auf zwei Gründe zurückführen⁶⁶). Erstens wird es als unrealistisch erachtet, die Gesamtheit aller kosten- und leistungsverursachenden Entscheidungen exakt identifizieren zu wollen⁶⁷). Aber selbst dann, wenn dies theoretisch möglich sein sollte, wird zweitens bemängelt, eine entsprechend differenzierte Kosten- und Leistungsrechnung erweise sich als "inoperational"⁶⁸). Sie erfordere einen Durchführungsaufwand, der jenseits aller praktisch akzeptablen Grenzen⁶⁹) liege⁷⁰).

Das Modellierungskonzept, das in dieser Arbeit für Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen vorgelegt wird, soll jedoch nicht von vornherein dadurch disqualifiziert werden, daß es sich theoretisch selbst aufhebt oder vehemente praktische Vorurteile provoziert. Daher wird eine Aufweichung der Entscheidungsorientierung von Kosten- und Leistungsrechnungen, die für die Bewertung von Entscheidungsalternativen bei Prozeßkoordinierungen herangezogen werden, in Kauf genommen⁷¹). Aus diesem Blickwinkel werden alle Kosten und Leistungen für die Bewertung von Koordinierungsentscheidungen zugelassen, die vom Entscheidungsträger als entscheidungsrelevant erachtet werden⁷²). Sofern diese monetären Entscheidungswirkungen das Ideal strenger Verursachungsgerechtigkeit auf der Grundlage des Identitätsprinzips *drastisch* verletzen, wird hierauf im Einzelfall explizit hingewiesen⁷³). Andernfalls werden Abweichungen gegenüber einer streng verursachungsgerechten Kosten- und Leistungsrechnung jedoch nicht mehr thematisiert. Statt dessen liegt der Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen von vornherein eine Kompromißstrategie⁷⁴) zugrunde: Einerseits wird der Anschluß an Bewertungssusancen der betriebswirtschaftlichen Praxis gewahrt⁷⁵). Andererseits wird aber auch versucht, dem Ideal einer streng verursachungsgerechten Alternativenbewertung möglichst nahe zu kommen⁷⁶).

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Die entscheidungsorientierte Kosten- und Leistungsrechnung ist für die kohärente Alternativenbewertung nur in dem Ausmaß notwendig, wie das zugrundeliegende Formalzielsystem Kosten- und Leistungsziele umfaßt. Dies wird fortan vorausgesetzt. Auf andere Formalziele, die nicht in der Begrifflichkeit von Kosten und Leistungen ausgedrückt sind, erstrecken sich die nachfolgenden Erläuterungen nicht. Dabei kann es sich z.B. um das Formalziel handeln, die Prozesse in einem Produktionssystem so zu koordinieren, daß die durchschnittliche Lieferterminüberschreitung für alle abgewickelten Aufträge minimiert wird. Grundsätzlich lassen sich die anschließenden Ausführungen aber auch auf alle anderen Bewertungskonzepte übertragen, die keine Kosten- und Leistungsrechnungen darstellen. Die hier betrachteten Kosten- und Leistungsziele bräuchten dort lediglich durch alternative Formalziele ersetzt zu werden. Die hier thematisierten Auswirkungen von Koordinierungsentscheidungen auf Kosten- und Leistungsziele vertreten daher analoge Betrachtungen der Entscheidungswirkungen auf beliebige andere Formalziele. Aufgrund dieser Stellvertreterfunktion werden die nachfolgenden Ausführungen von dem denkmöglichen Einwand, Prozeßkoordinierungen würden von Zeit- anstelle von Wertzielen dominiert, nicht tangiert. Zwar räumt der Verf. durchaus ein, daß zeitbezogene Formalziele für die Koordinierung von Produktionsprozessen eine herausragende Rolle spielen. Er hat selbst darauf in einer anderen Anmerkung hingewiesen. Doch bereitet die Aufgabe, die entscheidungsrelevanten Auswirkungen von Koordinierungsentscheidungen auf solche Zeitziele zu erfassen, Schwierigkeiten der gleichen Art wie die anschließend erörterte Erfassung von kosten- und leistungsbezogenen Entscheidungswirkungen. Analoge Probleme mehrfach zu thematisieren, erachtet der Verf. jedoch als unnötig.

Schließlich könnte gegen die Betrachtung von Kosten- und Leistungszielen noch eingewendet werden, die Zielerfüllung ließe sich nicht befriedigend operationalisieren. Insbesondere werden Bedenken erhoben, eine verursachungsgerechte Zurechnung der entscheidungsrelevanten Kosten sei unmöglich, diese Kosten könnten nicht hinreichend genau quantifiziert werden, sie ließen sich aus den üblichen Kostenrechnungssystemen nicht in der erforderlichen Differenziertheit gewinnen, die Kostenerfassung erweise sich für Zwecke der kurzfristigen Prozeßkoordinierung nicht als hinreichend zeitnah, oder die kostenorientierte Prozeßkoordinierung scheitere an ihrer praktisch nicht bewältigten Komplexität. Vgl. zu Vorbehalten dieser Art DICKHUT (1966), S. 65 (in bezug auf Gewinngrößen); KRYCHA (1978), S. 112; WICHARZ (1983), S. ; HOITSCH (1985), S. 192f.; KNOOP (1986), S. 23f.; HINTZ (1987), S. 14; MÜLLER, A. (1987), S. 12f., 270 u. 273; BEIER (1988a), S. 224f.; HORVATH (1988b), S. 113f., der sich speziell auf Flexible Fertigungssysteme bezieht; HAHN, D. (1989a), S. 448.

Der Verf. stimmt den vorgetragenen Bedenken grundsätzlich zu. Dies gilt insbesondere hinsichtlich des Anspruchs einer streng verursachungsgerechten Erfassung und Zurechnung von Kosten (und Leistungen). Dieser Aspekt wird anschließend intensiv diskutiert. Darin sieht der Verf. jedoch kein Argument, auf eine kostenbezogene Prozeßkoordinierung von vornherein zu verzichten. Denn es wird sich zeigen, daß die Anforderungen einer streng verursachungsgerechten Kosten- und Leistungsrechnung weder in der betrieblichen Praxis noch in der einschlägigen Literatur konsequent durchgehalten wird. Sofern die dort konzipierte Abschwächung der Verursachungsgerechtigkeit akzeptiert wird, lassen sich auch "verursachungsgerechte" Kosten- und Leistungsrechnungen für Prozeßkoordinierungen im Produktionsbereich aufstellen. Insofern erkennt der Verf. die Berechtigung des ersten von den o.a. Vorbehalten grundsätzlich an, ohne deswegen auf eine Kosten- und Leistungsrechnung als Entscheidungsgrundlage für Prozeßkoordinierungen generell zu verzichten.

Alle übrigen vorgetragenen Bedenken hält der Verf. dagegen für nicht stichhaltig. Denn sie beziehen sich inhaltlich nur auf solche Kosten- und Leistungsrechnungen, wie sie konventionell konzipiert und implementiert sind. Über das Koordinierungspotential denkmöglicher Kosten- und Leistungsrechnungskonzepte, die speziell auf die Belange von Prozeßkoordinierungen zugeschnitten sind, sagen jene Vorbehalte nichts aus. Sie enthalten keine stringenten Hinweise darauf, warum die Beachtung von Kosten- und Leistungszielen bei Entscheidungen über Prozeßausführungen in Produktionssystemen *grundsätzlich* unmöglich, widersprüchlich oder unfruchtbar sein sollte. Daher werden die Bedenken hier nicht als Argumente betrachtet, die von einer kosten- und leistungsbezogenen Koordinierungsperspektive abraten. Vielmehr erweisen sie sich in umgekehrter Richtung als Stimuli: Sie regen an, die Möglichkeiten und Grenzen von Kosten- und Leistungsrechnungen auszuloten, die Koordinierungsentscheidungen im Produktionsbereich unterstützen sollen. Daß solche Möglichkeiten tatsächlich bestehen, wird später anhand der zeitnahen Erfassung von Kapitalbindungskosten exemplarisch aufgezeigt. Sie widerlegt den o.a. Vorbehalt mangelhafter Zeitnähe von Kostenrechnungen für den Produktionsbereich. Vgl. dazu die Ausführungen in einer Anmerkung zum Abschluß dieses Kapitels. In die gleiche Forschungsrichtung weist auch die programmatische Erklärung von HORVATH (1988b), S. 114 (u. 126), einen der "Aufgabenschwerpunkte" der "Kostenrechnung im Produktionsbereich" bilde die "Entscheidungsunterstützung zur Planung und Steuerung der Produktion".

Schließlich läßt sich auf mehrere Autoren verweisen, die koordinierungsbedingte Prozeßausführungs- oder Produktionskosten explizit als beachtenswerte Formalziele anführen; vgl. HORMANN, D. (1973), S. 65; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 102 u. 104; ELLINGER (1977a), S. 11; SPUR (1980), S. 400; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 198f.; WICHARZ (1983), S. 103; KNOOP (1986), S. 3, 23, 25, 71, 119, 166, 188, 213 u. 215; MISSBAUER (1987), S. 24; NIEDERHAUSEN (1988), S. 403; HAHN, D. (1989a), S. 445ff. u. 449ff.; SCHRÖDER, H. (1989), S. 8 (indirekt); ZHANG, S. (1989), S. 98; KERN, W. (1990a), S. 323f. (indirekt); KLEINER, F. (1991), S. 23 (Wiedergabe von KNOOP).

Besonders deutlich bekennen sich KNOOP (1986), S. 25, 71 u. 119, und ZHANG, S. (1989), S. 98, zu ihrer Präferenz, bei Prozeßkoordinierungen (Ablaufplanungen) in Flexiblen Fertigungssystemen das Kostenziel gegenüber alternativen, zumeist rein zeitlich definierten Formalzielen vorzuziehen.

Das komplementäre Formalziel, die koordinierungsbedingten Leistungen zu vergrößern, wird dagegen kaum erwähnt. Zwar führt MUSCATI (1970), S. 39 i.V.m. S. 26 u. 26ff., das Gewinnziel an, welches das Leistungsziel als Subziel umgreift. Doch bleiben seine Ausführungen insofern problematisch, als er nur Kostengrößen explizit berücksichtigt. Absatzerlöse erfaßt er dagegen nur implizit mit der Hilfe von Opportunitätskosten. Explizit fordert dagegen VOIGT, J. (1990), S. 63, Kosten- und Erlösziele in PPS-Systeme einzubeziehen. HAHN, D. (1989a), S. 445f. u. 449f., gibt für PPS-Systeme das Ziel der Deckungsbeitragsmaximierung vor. Es schließt die Erlöse des jeweils geplanten Produktionsprogramms ausdrücklich ein. Dies wird besonders deutlich bei HAHN, D. (1989a), S. 451 (letzter Punkt).

Tatsächlich lassen sich für Prozeßkoordinierungen aber durchaus echte Leistungsarten identifizieren; vgl. dazu die Beispiele in einer anderen Anmerkung. Daher werden Leistungs- und Kostenziele in diesem Kapitel als prinzipiell gleichwertige Formalziele behandelt.

2) Infolge des Koordinierungsbezugs auf Produktionsprozesse könnte auch auf das neuere Konzept der Prozeßkostenrechnung eingegangen werden. Dies gilt insbesondere hinsichtlich des hier gewählten Ansatzes, Koordinierungsentscheidungen über die Geschehnisse von Ereignissen treffen zu lassen, die (u.a.) Startereignisse von Arbeitsgängen darstellen. Denn die Arbeitsgänge lassen sich als ein Spezialfall der "Prozesse" oder "Aktivitäten" (activities) der Prozeßkostenrechnung auffassen. Das gilt allerdings nur in dem Ausmaß, in dem die Prozeßkostenrechnung auf die Koordinierung von Produktionsprozessen fokussiert wird.

Unter den vorgenannten Voraussetzungen liegt es nahe, im Rahmen einer Prozeßkostenrechnung jedem initialisierten Arbeitsgang jene Kosten verursachungsgerecht zuzuordnen, die durch die Koordinierungsentscheidung zugunsten des Startereignisses dieses Arbeitsgangs nach dem Identitätsprinzip bewirkt wurden. Auf diese Weise erhalte die Prozeßkostenrechnung ein streng verursachungsgerechtes, entscheidungsorientiertes Fundament. Es basierte auf dem hohen Detaillierungsniveau von Arbeitsgängen. Eine derart begründete Rechnungslegung erfüllte die programmatischen Ansprüche an eine Prozeßkostenrechnung, wie sie vor allem von HORVATH (1990a), S. 101, herausgestellt werden. Der Verf. vermag jedoch in der Prozeßkostenrechnung - über deren terminologischen Besonderheiten hinaus - keinen neuartigen konzeptionellen Beitrag zu erkennen, der über eine entscheidungsorientierte Kosten- und Leistungsrechnung hinausginge. Statt dessen lassen sich die "Kostentreiber", die von den Anhängern der Prozeßkostenrechnung als neuartige Kosteneinflußgrößen herausgestellt werden, ohne Schwierigkeiten auf Entscheidungen zurückführen. Es handelt sich um Entscheidungen darüber, ob die kostentreibenden Aktivitäten - wie z.B. Arbeitsgänge - ausgeführt werden sollen oder nicht. Daher bietet die Prozeßkostenrechnung auf ihrer programmatischen Ebene nicht mehr an, als eine konsequente Entscheidungsorientierung im neuen terminologischen Gewand von kostentreibenden Aktivitäten zu empfehlen. Darüber hinaus bleiben die bisher vorgelegten Beschreibungen der Prozeßkostenrechnung hinter ihren programmatischen Ansprüchen beträchtlich zurück. Dies gilt insbesondere hinsichtlich ihrer postulierten Verursachungsgerechtigkeit. Denn es werden weiterhin Schlüsselungen und Proportionalisierungen vorgenommen. Dies wird besonders deutlich bei HORVATH (1989), S. 217 ("Ermittlung von Prozeßkostensätzen") u. 218f.; RIEDLINGER (1989), S. 366; FRANZ, K. (1990a), S. 198f., 202, 206 u. 208f.; FRANZ, K. (1990b), S. 115 ("Vollkosten") 123ff. (S. 123: "Aktivitäts- bzw. Prozeßkostensätzen"), 128ff. u. 133 (distanziert); MÄNNEL (1990), S. 135 (distanziert); VIKAS (1991), S. 12; WARNICK (1991a), S. 55f. (S. 55: "proportionalisierte Zurechnung von Kosten"); KLEINER, F. (1991), S. 45f. u. 115 (S. 46: "Vollkostensätze"); BIEL (1991), S. 85 ("Die Kalkulation erfolgt weitgehend über Verrechnungssätze ...") u. 89 ("Schlüsselproblematik" und "Vollkostenrechnung").

Falls von der mangelnden Verursachungsgerechtigkeit abgesehen wird, läßt sich jedoch in der umgekehrten Richtung ein befruchtender Impuls erkennen, den das Petrinetz-Konzept zur Fortentwicklung von prozeßbezogenen Kostenrechnungen beisteuern kann. Er bezieht sich auf den Umstand, daß die Prozeßkostenrechnung zwar an einzelnen Prozessen, Aktivitäten, Vorgängen o.ä. als primären Kostenzurechnungsobjekten anknüpft. Aber sie kümmert sich nicht darum, eine präzise Definition der jeweils relevanten Prozesse vorzulegen. Im Rahmen des Petrinetz-Konzepts liegen dagegen konkrete und detaillierte Prozeßdefinitionen vor. (Zwei Definitionsvarianten werden in dieser Arbeit an anderer Stelle näher ausgeführt.) Daher läßt sich vorstellen, einer Prozeßkostenrechnung ein Netzmodell zugrundezulegen, in dem die kostentreibenden Prozesse klar definiert sind. Beispielsweise ist es möglich, jeder Transition, die das Ende eines kostentreibenden Prozesses darstellt, einen prozeßspezifischen Kostenbetrag als Schaltkosten zuzuordnen. Am Ende jeder erfolgreichen Prozeßausführung werden dann die Ausführungskosten durch den Schalttakt der Transition jenen Objekten zugewiesen, die aus der Prozeßausführung hervorgehen. Dieser Ansatz von prozeßspezifischen Schaltkosten wird später vorbereitet, indem Transitionen um Schaltwerte erweitert werden. Diese allgemeinen Schaltwerte lassen sich jederzeit als Schaltkosten konkretisieren. Darüber hinaus wird in der Fallstudie an zwei Stellen aufgezeigt, wie sich Schaltkosten von Transitionen im Einzelfall benutzen lassen, um die Kosten von Prozeßausführungen im Stile einer Prozeßkostenrechnung zu erfassen. Dabei handelt es sich erstens um den Transportkostenbetrag, der beim Abschluß jeder Transportaktivität dem jeweils ausgeführten Transportauftrag angelastet wird. Zweitens wird für eine Bearbeitungsstation aufgezeigt, wie sich am Ende jeder Arbeitsgangausführung ein Bearbeitungskostenbetrag dem jeweils bearbeiteten Werkstück zuweisen läßt.

Es bereitet also keine grundsätzlichen Schwierigkeiten, das Gedankengut der Prozeßkostenrechnung in die hier verfolgte Entscheidungsorientierung aufzunehmen und gleichzeitig durch eine Präzisierung des Prozeßbegriffs zu bereichern. Daher wird auf die Prozeßkostenrechnung im folgenden nicht mehr detailliert eingegangen. Vgl. statt dessen zu Darstellungen der Prozeßkostenrechnung (activity-based costing) WÄSCHER (1987), S. 307ff. (mit einer frühen, aber auch sehr klaren Erörterung von kostentreibenden Aktivitäten im Produktionsbereich); JOHNSON, H. (1987), S. 229ff.; JOHNSON, H. (1988), S. 24ff., insbesondere S. 29f.; COOPER (1988), S. 96; KAPLAN (1988), S. 63ff.); BERLINER (1988), S. 7ff.; HORVATH (1989), S. 216ff.; FRÖHLING (1989), S. 67ff.; RIEDLINGER (1989), S. 364ff.; STRIENING (1989), S. 324ff.; COOPER (1990a), S. 210ff.; COOPER (1990b), S. 271ff.; COOPER (1990c), S. 345ff.; HORVATH (1990a), S. 101ff.; FRÖHLING (1990a), S. 553ff.; FRÖHLING (1990b), S. 223ff.; FRANZ, K. (1990a), S. 196ff.; FRANZ, K. (1990b), S. 112ff.; SCHIMANK (1990), S. 234ff.; REICHMANN (1990a), S. 60ff.; MAYER, R. (1990b), S. 307ff.; WITT, F. (1990), S. 35ff.; OLSHAGEN (1991); KLOOCK (1991), S. 2ff.; PFOHL (1991), S. 1281ff.; COENENBERG (1991a), S. 21ff.; RENNER, A. (1991a), S. 96ff.; VIKAS (1991), S. 11ff. (auf S. 12f. mit deutlicher und fundierter Kritik); WÄSCHER (1991a), S. 190ff.; FRANZ, K. (1991a), S. 176ff.; RAU (1991a), S. 13ff.; RAU (1991c), S. 203ff.; GLASER, H. (1991c), S. 222ff.; EBERLE, R. (1991), S. 297ff.; KAPLAN (1991), S. 18ff.; WARNICK (1991a), S. 53ff.; WARNICK (1991b), S. 319ff.; KELLER, W. (1991), S. 231ff.; STRECKER (1991), S. 7ff., 31ff. u. 197ff.; KAISER, K. (1991), S. 69ff.; HERZOG, E. (1991a), S. 121ff.; HERZOG, E. (1991b), S. 205ff.; HORVATH (1991a), S. 1ff.; COOPER (1992), S. 360ff.; HORVATH (1992a), S. 504ff.; WÄSCHER (1992), S. 51ff.; GLASER, H. (1992b), S. 275ff.; NIEMAND (1992a), S. 160ff.; FRÖHLING (1992a), S. 385ff.; FRÖHLING (1992b), S. 347ff.; FRÖHLING (1992c), S. 723ff.; SCHMITT, A. (1992), S. 44ff.; SERFLING (1992), S. 190ff.; BÜRGEL, H. (1992), S. 80ff. Vgl. darüber hinaus die ähnlich konzipierte "prozeßorientierte Kostenrechnung", die KNOOP (1987), S. 48ff., speziell für Flexible Fertigungssysteme konzipiert hat. Der Gedanke einer verstärkten Prozeßorientierung der Rechnungslegung findet sich ebenso bei SCHEER (1989d), S. 82, und NAUNDORF (1991), S. 70.

3) Auf Ansätze, die speziell als Kosten- und Leistungsrechnungen für Flexible Fertigungssysteme konzipiert wurden, wird im folgenden näher eingegangen.

4) Vgl. DELLMANN (1979), S. 321; HUMMEL, S. (1983), S. 1207; HUMMEL, S. (1986), S. 57; KNOOP (1986), S. 75.

Das Marginalprinzip, nur die entscheidungsrelevanten Problemaspekte in die Entscheidungsbewertung einzubeziehen, wird zumeist im Kontext der Kosten- und Leistungsrechnung erörtert. Es läßt sich jedoch allgemein auf jedes entscheidungsorientierte Bewertungskonzept anwenden.

5) Die ceteris paribus-Prämisse ist im allgemeinen durchaus umstritten, da sie zur Ausblendung interessanter Sachverhalte, zu Theorie-Immunsierung und zu Modell-Platonismus führen kann. Vgl. zu solchen kritischen Einwendungen gegen diese Prämisse ALBERT, H. (1964), S. 31f.; GRUNBERG (1964), S. 142f.; HUTCHISON (1964), S. 281f.; ALBERT, H. (1965b), S. 411f. u. 417; RAFFEE (1974), S. 41; KNAPP (1977), S. 163; VAN LITH (1980), S. 341. Die voranstehend angedeutete Kritik an der ceteris paribus-Prämisse trifft jedoch nicht den speziellen Zusammenhang der hier erörterten Bestimmung entscheidungsrelevanter Konsequenzen von Entscheidungsalternativen. Vgl. darüber hinaus zur Rechtfertigung der ceteris paribus-Prämisse als Instrument der praktischen Argumentationsvereinfachung auch KOCH, H. (1975), S. 179.

6) Eine ausgewählte Entscheidungsalternative muß nicht unbedingt verwirklicht werden. Realisierungswiderstände können dies verhindern. Das Marginalprinzip knüpft aber an die Konsequenzen von verwirklichten Entscheidungsalternativen an. Daher wird fortan von allen Schwierigkeiten der Alternativenrealisierung abstrahiert. Statt dessen wird unterstellt, daß jede ausgewählte Alternative auch tatsächlich verwirklicht wird. Analog wird angenommen, daß jede nicht ausgewählte Entscheidungsalternative auch nicht verwirklicht wird. Vgl. dagegen zu den Komplikationen, die beim Auseinanderklaffen von Auswahlentscheidungen und Entscheidungsrealisierungen aus kostenrechnerischer Sicht entstehen können, z.B. SCHWEITZER, M. (1986), S. 139. Vgl. zu analogen Schwierigkeiten aus einer speziellen "prozeßwirtschaftlichen" Perspektive LANGEN (1983), S. 759ff.

7) Vgl. KNOOP (1986), S. 75: "Bei ökonomischen Wahlhandlungen werden nur diejenigen Kosten für eine rationale Entscheidung benötigt (relevante Kosten), die durch das betrachtete Wahlproblem hinzukommen oder wegfallen (Marginalprinzip)."; vgl. zur Bedeutung relevanter Kosten für rationale Auswahlentscheidungen auch DELLMANN (1979), S. 321ff., insbesondere S. 321.

8) Vgl. dazu die analoge Differenzierung von Entscheidungswirkungen je danach, ob sie sich entweder auf Real- oder aber auf Nominalgüter beziehen, bei RIEBEL (1990), S. 421.

9) Da hier nur Kosten- und Leistungsrechnungen betrachtet werden, interessieren nur diejenigen Ausschnitte des Formalzielsystems, die in der Begrifflichkeit von Kosten und Leistungen ausgedrückt sind. Darüber hinaus wird in Kürze der pagatorische Ansatz für die Bestimmung von Kosten- und Leistungsgrößen zugrundegelegt. Daher werden hier als Formalziele ausschließlich monetär bemessene Kosten- und Leistungsziele thematisiert.

10) Die formalen Entscheidungskonsequenzen werden auch kurz als Zielbeiträge bezeichnet, da sie zum Erfüllungsgrad des Formalzielsystems beitragen. Dabei wird der Erfüllungsgrad entweder skalar oder aber vektorieLL gemessen je nachdem, ob ein mono- bzw. multidimensionales Formalzielsystem betrachtet wird. Weil nur Zielbeiträge eine

Rolle spielen, die auf Kosten- und Leistungsziele bezogen sind, werden die formalen Entscheidungskonsequenzen auch als monetäre Entscheidungswirkungen thematisiert. Das Attribut "monetär" weist bereits auf den - in Kürze - angeführten pagatorischen Kostenbegriff hin.

11) Vgl. zur inhaltlichen Darlegung des Identitätsprinzips RIEBEL (1967a), S. 9; RIEBEL (1969), S. 61ff.; HUMMEL, S. (1970), S. 178 u. 191; RIEBEL (1974b), S. 509f.; RIEBEL (1978), S. 136ff.); KOLB (1978), S. 19ff. (distanziert); SCHWEITZER, M. (1979a), S. 228f.; DELLMANN (1979), S. 323; RIEBEL (1981a), Sp. 1552f.; BÖRNER, D. (1981), Sp. 1109; RIEBEL (1983), S. 22, 31 u. 33; HUMMEL, S. (1983), S. 1205ff.; MÄNNEL (1983a), S. 1189; MÄNNEL (1983b), S. 49; HEINEN (1983), S. 97; SCHWEITZER, M. (1986), S. 138f. u. 388; HUMMEL, S. (1986), S. 56f.; ZELEWSKI (1986a), S. 981; HAUN (1987), S. 21f.; RIEBEL (1987), S. 1160; RIEBEL (1989a), S. 250 (ohne explizite Namensnennung); RIEBEL (1990), S. 75ff., 286, 418ff., 627, 637f., 647, 708f. u. 712; KLOOCK (1990a), S. 197f.; KLEINER, F. (1991), S. 25; WARNICK (1991a), S. 32.

Das Identitätsprinzip wird im allgemeinen so weit ausgelegt, daß es grundsätzlich nicht auf Kosten- und Leistungsziele eingeschränkt zu werden braucht, sondern auf beliebige Formalziele eines Entscheidungsträgers angewandt werden kann. Es interessiert hier aber nur im Rahmen von Kosten- und Leistungsrechnungen.

Hintergrund der nachfolgenden Ausführungen auf der Basis des Identitätsprinzips ist das Konzept der Relativen Einzelkostenrechnung, das maßgeblich von RIEBEL geprägt wurde und mittlerweile zu einer (Relativen) Deckungsbeitragsrechnung als konsequent entscheidungsorientierter Kosten- und Leistungsrechnung ausgebaut wurde. Vgl. dazu RIEBEL (1956), S. 280ff.; RIEBEL (1959), S. 213ff.; RIEBEL (1967a), S. 1ff.; RIEBEL (1970), S. 372ff.; HUMMEL, S. (1970), S. 191ff.; KLAMROTH (1972), S. 2ff.; RIEBEL (1974a), Sp. 1139ff.; RIEBEL (1974b), S. 508ff.; KOLB (1978), S. 18ff. (kritisch); RIEBEL (1981a), Sp. 1551ff.; KLOOCK (1981a), S. 508ff. u. 515f. (als produktionsanalytische Fundierung); RIEBEL (1983), S. 21ff.; MÄNNEL (1983a), S. 1187ff.; MÄNNEL (1983b), S. 49ff.; SINZIG (1983), S. 39ff.; MÄNNEL (1983c), S. 61ff. (zur zeitablaufbezogenen Erlösrechnung im Sinne RIEBEL's) sowie S. 63ff. (zu einer modifizierten, laut Selbsteinschätzung des Autors stärker entscheidungsbezogenen Erlösrechnung); SCHWEITZER, M. (1986), S. 387ff.; HORVATH (1986a), S. 134ff.; HORVATH (1987), S. 94ff.; HAUN (1987), S. 19ff.; KILGER (1988), S. 90ff. (kritisch distanziert); RIEBEL (1990), S. 12ff., 35ff. sowie - insbesondere - S. 387ff. u. 618ff.; KLOOCK (1990a), S. 197ff.; WEBER, J. (1990a), S. 249ff.; KLEINER, F. (1991), S. 25ff.; WARNICK (1991a), S. 31ff.

Die Relative Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung wurde auch schon speziell auf Flexible Fertigungssysteme angewandt; vgl. HORVATH (1986a), S. 139; HORVATH (1987), S. 94ff.; SCHMIDT, H. (1989), S. 28. Aufgrund von Vorbehalten, die später vorgetragen werden, zweifelt der Verf. allerdings daran, daß es sich bei diesem Anwendungsfall um einen tatsächlichen Praxiseinsatz der Relativen Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung handelt. Vielmehr ist davon auszugehen, daß lediglich die Anwendungsmöglichkeit konzeptionell aufgezeigt werden sollte.

12) Das Identitätsprinzip und die darauf fußende Relative Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung bringen das entscheidungsorientierte Paradigma im Rahmen der Kosten- und Leistungsrechnung am klarsten und präzisesten zum Ausdruck. Der Kostenbegriff, den RIEBEL auf dieser Grundlage in seiner Relativen Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung entwickelt hat, wird daher auch als *entscheidungsorientierter* Kostenbegriff thematisiert. Er wird in Kürze eingeführt. Identitätsprinzip und entscheidungsorientierter Kostenbegriff tragen dazu bei, noch offenstehende Unklarheiten des Marginalprinzips zu beseitigen. Sie erstrecken sich vor allem auf die Zurechnung von kumulativ bedingten Gemeinkosten, wie z.B. Umrüstkosten (Sortenwechselkosten); Näheres dazu bei HUMMEL, S. (1983), S. 1207.

Vgl. zur besonderen Qualität des Entscheidungsbezugs, die im Identitätsprinzip verwirklicht wird, auch DELLMANN (1979), S. 323. Vgl. des weiteren zur Empfehlung des Identitätsprinzips für Kosten- und Leistungsrechnungen BÖRNER, D. (1981), Sp. 1113; HORVATH (1987), S. 94; HAUN (1987), S. 14; HORVATH (1988b), S. 126, mittelbar auch S. 121 i.V.m. S. 120; KERN, W. (1990b), S. 231.

Vgl. ebenso zur Herausstellung des besonders ausgeprägten Entscheidungsbezugs der Relativen Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung MÄNNEL (1983a), S. 1190f.; MÄNNEL (1983b), S. 49; HUMMEL, S. (1983), S. 1205; RIEBEL (1985), S. 5 (aus dem Vorwort); SCHWEITZER, M. (1986), S. 388, 414 u. 418f.; RIEBEL (1987), S. 1159; RIEBEL (1990), S. 626f. u. 637; WEBER, J. (1990a), S. 250f.; KLEINER, F. (1991), S. 25; WARNICK (1991a), S. 31.

13) Zumeist werden in der Relativen Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung die formalen Entscheidungskonsequenzen nicht als solche thematisiert, sondern als diejenigen Ausgaben oder Einnahmen ("Geldgrößen"), die von Entscheidungen am Beschaffungs- oder Absatzmarkt bewirkt werden. Oben wurden jedoch als relevanter Ausschnitt aus dem Formalzielsystem des Entscheidungsträgers jene Kosten- und Leistungsziele identifiziert, die auf der Grundlage des pagatorischen Kostenbegriffs monetären Charakter besitzen. Daher fallen die hier betrachteten formalen Entscheidungskonsequenzen mit der sonst üblichen Bezugnahme auf Ausgaben und Einnahmen zusammen. Besonders deutlich werden die monetären Entscheidungswirkungen von RIEBEL (1987), S. 1159; RIEBEL (1990), S. 628 u. 636, hervorgehoben.

14) Wenn Kosten und Leistungen aufgrund dieses Verursachungszusammenhangs nach dem Identitätsprinzip erfaßt werden, wird fortan von einer verursachungsgerechten Kosten- und Leistungsrechnung gesprochen. Sie wird mit-

unter auch als *streng* verursachungsgerecht hervorgehoben, falls verdeutlicht werden soll, daß keine der anderen - in vielfältigen Varianten gepflegten - Vorstellungen von "Verursachungsgerechtigkeit" gemeint ist. Denn der Begriff der Verursachungsgerechtigkeit wird in der Literatur zur Kosten- und Leistungsrechnung oftmals in einem Verständnis verwendet, das dem o.a. Verursachungszusammenhang auf der Basis des Identitätsprinzips *nicht* gerecht wird. Besonders offensichtlich ist dies bei KNOOP (1986), der das Identitätsprinzip und die hierauf basierende Relative Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung von RIEBEL explizit ausgrenzt (S. 76f.). Dennoch behauptet er mehrfach, eine entscheidungsorientierte oder verursachungsgerechte Kostenrechnung zu betreiben; vgl. KNOOP (1986), S. 75 u. 93f.; KNOOP (1987), S. 48. Vgl. ebenso die kritischen Anmerkungen zur Verwendung von (Kosten-) Verrechnungssätzen, die in konventionellen Kosten- und Leistungsrechnungen für Flexible Fertigungssysteme empfohlen werden. Vgl. des weiteren zu den oftmals üblichen - jedoch inhaltlich mitunter problematischen - Ausfüllungen des Begriffs der Verursachungsgerechtigkeit EHRT (1967), S. 7ff.; HOHENBILD (1974), S. 138ff.; SCHWEITZER, M. (1979a), S. 226f.; BÖRNER, D. (1981), Sp. 1111f.; HUMMEL, S. (1983), S. 1206 (kritisch); HUMMEL, S. (1986), S. 53ff. (mit pointierter Kritik an häufig inhaltsleerer oder widersprüchlicher Inanspruchnahme von Verursachungsgerechtigkeit auf S. 54); WILDEMANN (1987a), S. 218; ALBACH (1988a), S. 1153ff.; RIEBEL (1990), S. 67ff.

15) Zumeist werden diese realen Bezugsobjekte als Bezugsobjekte schlechthin thematisiert; vgl. z.B. KLOOCK (1990a), S. 197. Denn im Rahmen der Kosten- und Leistungsrechnung werden die Entscheidungen als alternative - dispositive - Bezugsobjekte im allgemeinen nicht wahrgenommen. Zu den seltenen Ausnahmen, in denen die Mittelbarkeit der Zuordnung von Zielbeiträgen zu sachlichen Entscheidungskonsequenzen ausdrücklich anerkannt wird, zählt WEBER, J. (1990a), S. 260: "Da Entscheidungen stets an zu disponierende Objekte geknüpft sind, kann man die Kostenzuordnung zu bestimmten Entscheidungen *ersetzen* durch den Bezug auf bestimmte Objekte ..." (kursive Hervorhebung durch den Verf.).

16) Vgl. zum entscheidungsorientierten Kostenbegriff RIEBEL (1970), S. 372; RIEBEL (1974a), Sp. 1142; RIEBEL (1974b), S. 509; RIEBEL (1978), S. 143; KOLB (1978), S. 19ff. (kritisch); RIEBEL (1981a), Sp. 1552; RIEBEL (1983), S. 33; HEINEN (1983), S. 94ff., insbesondere S. 96f.; HUMMEL, S. (1983), S. 1204f. u. 1207f.; SCHWEITZER, M. (1986), S. 388; RIEBEL (1987), S. 1160f.; HAUN (1987), S. 22ff.; RIEBEL (1990), S. 387f. (erweitert zum entscheidungsorientierten Deckungsbeitragsbegriff), 389, 409, 427ff., 627, 638 u. 712; KLOOCK (1990a), S. 197 ("entscheidungsrelevante Kosten"); WEBER, J. (1990a), S. 253f.; KLEINER, F. (1991), S. (26 u.) 36; WARNICK (1991a), S. 32. Der entscheidungsrelevante Leistungsbegriff ist analog definiert, wird aber in den vorgenannten Quellen nur sporadisch erwähnt.

17) Diese Kosten und Leistungen werden, wenn sie wie hier auf dem Identitätsprinzip beruhen, zumeist als Einzelkosten bzw. -leistungen bezeichnet. Alle Kosten und Leistungen, die sich nicht im nachfolgend präzisierten Sinne mit ihren Bezugsobjekten auf genau eine identisch zugrundeliegende Entscheidung zurückführen lassen, werden dagegen als Gemeinkosten bzw. -leistungen angesprochen. In diesem Sinne wird fortan von Einzel- und Gemeinkosten gesprochen. In den angeführten Quellen wird hingegen der entscheidungsbezogene Gemeinkostenbegriff oftmals mit dem produktionsmengenabhängigen Fixkostenbegriff vermengt. Der Verf. verzichtet darauf, dies im jeweils betroffenen Einzelfall zu erörtern. Daher bleiben Aussagenüancierungen unbeachtet, die strenggenommen immer dann erfolgen müßten, wenn Gemein- und Fixkosten im aktuellen Argumentationskontext nicht zusammenfallen. Statt dessen wird hier unterstellt, daß diese möglichen Diskrepanzen so geringfügig bleiben, daß sie die Grundtendenz der nachfolgenden Erörterungen nicht zu beeinträchtigen vermögen.

18) Infolge dieser Einschränkung stellen Kosten oder Leistungen, die von *mehreren* Entscheidungen verursacht oder auf *mehrere* korrespondierende sachliche Entscheidungskonsequenzen zurückgeführt wurden, keine entscheidungsrelevanten Kosten oder Leistungen von *einzelnen* dieser Entscheidungen bzw. Entscheidungskonsequenzen dar. Vielmehr handelt es sich um Gemeinkosten oder -leistungen aller jeweils zugrundeliegenden Entscheidungen bzw. Entscheidungskonsequenzen.

19) Vgl. dazu die Rechtfertigung einer Betrachtungsweise, die auf Kosten- und Leistungsrechnungen beruht, zu Beginn dieses Kapitels. Allerdings gilt die Voraussetzung, es existierten "entscheidungsrelevante" Kosten und Leistungen, nur unter dem Vorbehalt, daß die Entscheidungsrelevanz noch nicht aus der strengen Perspektive späterer Ausführungen betrachtet wird. Denn dort wird gezeigt werden, daß sich in einem sehr streng ausgelegten Sinn entscheidungsrelevante Kosten und Leistungen im Produktionsbereich kaum identifizieren lassen. Statt dessen wird zunächst ein schwächerer Relevanzbegriff zugrundegelegt, der noch nicht die oben angekündigten Verschärfungen und Präzisierungen umfaßt.

Unter dieser Einschränkung kommen als Kosten, die von Koordinierungsentscheidungen betroffen sein können, vor allem Bearbeitungs-, Rüst-, Transport-, Kapitalbindungs- und Arbeitskosten in Betracht. Die Bearbeitungskosten setzen sich ihrerseits aus nutzungsabhängigen Abschreibungen (Anlagenkosten), Werkzeug- und Vorrichtungskosten, Energie- sowie sonstigen Hilfs- und Betriebsstoffkosten zusammen. Daneben können auch Qualitätssicherungs-, Material- sowie Lagerkosten eine Rolle spielen. Material- und Lagerkosten erlangen vor allem dann Bedeutung, wenn Koordinierungsentscheidungen dazu führen können, daß diese Kostenbeträge die Wertkomponente der Kapitalbindungskosten in *unterschiedlicher*, jeweils entscheidungsabhängiger Weise beeinflussen. Vgl. zur aus-

fürhlicheren Behandlung von Produktionskosten in Flexiblen Fertigungssystemen SPUR (1980), S. 460ff.; SELIGER (1983), S. 89ff.; WILDEMANN (1987a), S. 136ff. u. 214. Darüber hinaus hat KLEINER, F. (1991), S. 54ff., eine überaus detaillierte und sachlich wohlfundierte Studie vorgelegt, in der die Produktionskosten eines exemplarischen Flexiblen Fertigungssystems (einer Flexiblen Fertigungslinie) systematisch erfaßt werden. KLEINER's Ausführungen lehnen sich eng an die Relative Einzelkostenrechnung an. Dies zeigt sich schon in der Differenzierung zwischen Leistungs- und Bereitschaftskosten.

Hinsichtlich der koordinierungsrelevanten Leistungen ist zunächst an Zusatzerlöse zu denken, die von Kunden unmittelbar als Prämien für besonders rasche Auftragsabwicklungen gewährt werden. Ebenso lassen sich mittelbare Erlössteigerungen berücksichtigen, wenn es gelingt, kurze Auftragsdurchlaufzeiten in Vergrößerungen des akquisitorischen Potentials umzusetzen. Dies gilt allerdings nur dann, wenn diese Potentialsteigerungen auch in erlössteigernder Weise als höhere Absatzpreise oder zusätzlich akquirierte Kundenaufträge realisiert werden. Hier deutet sich bereits die später vertiefte Problematik an, ob sich solche mittelbaren Erlössteigerungen in "verursachungsgerechter" Weise allein denjenigen Koordinierungsentscheidungen zurechnen lassen, die im Produktionsbereich zu verkürzten Durchlaufzeiten geführt haben.

Die voranstehend skizzierten Kosten- und Leistungsgrößen können detaillierter und vollständig den Wirtschaftlichkeitsrechnungen entnommen werden, die in vielfältigen Varianten für Flexible Fertigungssysteme vorgelegt wurden; vgl. dazu beispielsweise AWF (1984), S. 24ff. u. 137ff.; HORVATH (1988b), S. 119ff.; ZHANG, S. (1989), S. 97ff., insbesondere S. 98; EVERSHEIM (1990c), S. 76f., 81ff. u. 101ff.

20) Die Ausführungen beziehen sich hier stets auf Kosten *und* Leistungen. Die einschlägigen Begriffsbildungen orientieren sich jedoch - wie etwa bei pagatorischem und wertmäßigem Kostenbegriff - zumeist einseitig am Kostenaspekt. Es wird daher darauf verzichtet, stets den Leistungsbegriff mit zu erwähnen. Eine konsequente Gleichbehandlung von pagatorischem bzw. wertmäßigem Kosten- *und* Leistungsbegriff findet sich dagegen z.B. bei SCHWEITZER, M. (1986), S. 35f. u. 50f.; KLOOCK (1990a), S. 29 u. 38f.

21) Vgl. zum hier zugrundegelegten pagatorischen Kostenbegriff KOCH, H. (1958), S. 361ff. u. 368ff.; KOCH, H. (1959), S. 11ff.; SZYPERSKI (1964), S. 373ff. u. 378ff.; MENRAD (1965), S. 134ff.; KOCH, H. (1966), S. 14ff., 48ff. u. 56ff., insbesondere S. 51; ADAM, D. (1970), S. 19f., 27 u. 28ff.; HUCH (1979), Sp. 1513; HEINEN (1983), S. 83ff. u. 104ff.; SCHWEITZER, M. (1986), S. 36; KLOOCK (1990a), S. 27ff., insbesondere S. 29.

Vgl. ebenso die Quellenangaben zum entscheidungsorientierten Kostenbegriff RIEBEL's, der aufgrund seines Ausgabenbezugs ebenso einen pagatorischen Kostenbegriff darstellt. Dies wird zwar von RIEBEL bestritten; vgl. RIEBEL (1974b), S. 509; RIEBEL (1978), S. 143; RIEBEL (1990), S. 418 u. 427. Doch liegt dies nur daran, daß er ein spezielles - maßgeblich auf KOCH bezogenes - Verständnis pagatorischer Kosten vertritt. Es läßt RIEBEL zu der Ansicht gelangen, sein eigener entscheidungsbezogener Kostenbegriff müsse vom pagatorischen Kostenbegriff unterschieden werden. Von dieser Nuancierung wird hier jedoch abgesehen, so daß auch RIEBEL's Kostenbegriff zur Gruppe der pagatorisch fundierten Kostenbegriffe gerechnet wird. Vgl. dazu HEINEN (1983), S. 83f. u. 94ff., und MÄNNEL (1983b), S. 49, die RIEBEL's Rechnungslegungskonzept ebenso als pagatorisch ausgerichtet qualifizieren.

Darüber hinaus wird in dieser Arbeit davon abgesehen, daß der pagatorische Kostenbegriff in zwei verschiedenen (Haupt-)Varianten vertreten wird. Die erste führt Kosten unmittelbar auf Ausgaben als homogene Größen zurück. Die Ausgaben können in eine Mengen- und eine Wertkomponente aufgespalten werden, müssen es aber nicht. Diese Ansicht wird vor allem von KOCH und RIEBEL vertreten. Bei der zweiten Variante, die sich insbesondere bei ADAM, SCHWEITZER (u. KÜPPER) und KLOOCK (SIEBEN u. SCHILDBACH) findet, werden Kosten *immer* als das heterogene Produkt aus einer (sachzielbezogenen) Mengen- und einer Wertgröße betrachtet. Der spezifisch pagatorische Charakter des Kostenbegriffs wird dort erst dadurch konstituiert, daß die Wertkomponente ausschließlich auf Ausgaben als Preisen des Beschaffungsmarktes beruht. Im Gegensatz dazu umfaßt die Wertkomponente des wertmäßigen Kostenbegriffs sowohl Grenzausgaben, die sich wiederum auf den Beschaffungsmarkt beziehen, als auch zusätzlichen Grenznutzen. Der Verf. schließt sich der zweiten Variante des pagatorischen Kostenbegriffs an. Sie hat den Vorzug, später ohne Schwierigkeiten mit Einflußgrößenrechnungen im Sinne LABMANN's kombiniert werden zu können. Denn auch dort wird stets eine Trennung zwischen Mengen- und Wertkomponente vorausgesetzt.

In den meisten Ausführungen dieser Arbeit erlangen die vorgenannten Nuancierungen jedoch keine besondere Bedeutung. Daher lassen sich die beiden Varianten des pagatorischen Kostenbegriffs auch derart zusammenfassen, daß pagatorische Kosten vereinfacht mit Ausgaben am Beschaffungsmarkt gleichgesetzt werden. Entsprechend werden pagatorische Leistungen als Einnahmen festgelegt, die am Absatzmarkt realisiert werden. Andere Varianten des pagatorischen Kostenbegriffs als die oben angesprochenen zwei Hauptvarianten sieht HEINEN (1983), S. 83f. u. 94. Er unterscheidet zwischen KOCH's Variante einerseits und RIEBEL's Auffassung andererseits. Dieser Unterscheidung folgt der Verf. hier jedoch nicht. Sie würde zu einer noch weiterreichenden terminologischen Komplizierung führen, die für die Ausführungen dieser Arbeit keine zusätzlichen Erkenntnisse erwarten läßt.

22) Vgl. zum wertmäßigen Kostenbegriff und seiner Rechtfertigung SCHMALENBACH (1919), S. 257ff.; KOSIOL (1958), S. 7ff., insbesondere i.V.m. S. 30 u. 35f.; GUTENBERG (1958), S. 132; KOCH, H. (1958), S. 356ff. u. 366, insbesondere S. 358ff. (distanziert); SCHMALENBACH (1963), S. 6; MENRAD (1965), S. 25ff., insbesondere i.V.m. S. 70; KOSIOL (1966), S. 11f.; KOCH, H. (1966), S. 9ff. u. 52ff. (distanziert); EHRT (1967), S. 13ff.; ADAM, D. (1970), S. 19, 27f. u. 30ff.; MELLEROWICZ (1973a), S. 3ff. u. 459ff.; SCHNEEWEIB, C. (1978), S. 147ff.; KOSIOL (1979), S. 11ff.,

insbesondere S. 13 u. 27; HUCH (1979), Sp. 1513; GUTENBERG (1983), S. 338; KERN, W. (1983), S. 105ff. (mit weiterführenden Belegen); HEINEN (1983), S. 57ff., 99ff. u. 395ff. (z.B. S. 423ff.); SCHWEITZER, M. (1986), S. 28ff., insbesondere S. 35f.; KLOOCK (1990a), S. 27ff., insbesondere S. 29; RIEBEL (1990), S. 411ff. (in kritischer Distanz).

23) Dies hat RIEBEL (1974a), Sp. 1141f.; RIEBEL (1978), S. 129ff.; RIEBEL (1987), S. 1159; RIEBEL (1988), S. 270 u. 281; RIEBEL (1989a), S. 250 u. 254; RIEBEL (1990), S. 389f., 411ff., 627, 636, 665, 675, 695 u. 699, durch eine subtile Auseinandersetzung mit dem wertmäßigen Kostenbegriff detailliert ausgeführt. Vgl. dazu auch HUMMEL, S. (1970), S. 184ff., und KLEINER, F. (1991), S. 36. Vgl. darüber hinaus die vielfachen Hinweise auf den *Ausgaben- und Einnahmencharakter*, den relative Einzelkosten bzw. -leistungen (-erlöse) auf der Grundlage des Identitätsprinzips annehmen, bei RIEBEL (1970), S. 372; RIEBEL (1974a), Sp. 1139ff., insbesondere Sp. 1142; RIEBEL (1974b), S. 509; WITTENBRINK (1975), S. 26; RIEBEL (1978), S. 143; RIEBEL (1981a), Sp. 1552f.; RIEBEL (1983), S. 33; MÄNNEL (1983b), S. 49; RIEBEL (1985), S. 5 ("marktorientiert, weil ... auf die ... Preise im Absatz- und Beschaffungsmarkt abgestellt wird"; kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen); SCHWEITZER, M. (1986), S. 413; RIEBEL (1987), S. 1159; RIEBEL (1988), S. 270ff. (dort auf Auszahlungen fokussiert); RIEBEL (1989a), S. 249; RIEBEL (1989b), S. 64 u. 67; RIEBEL (1990), S. 387ff., 629f., 636, 665ff., 679, 683, 694, 708f. u. 712, insbesondere S. 389 u. 427; KLOOCK (1990a), S. 197; WEBER, J. (1990a), S. 253f.; KLEINER, F. (1991), S. 26, 36, 58 (allerdings ausschließlich Auszahlungen) u. 85f.; WARNICK (1991a), S. 32f.

Auf ein besonderes Problem der Ausführungen RIEBEL's wird hier nur hingewiesen, ohne es zu vertiefen: Er thematisiert neben Ausgaben und Einnahmen oftmals auch Aus- bzw. Einzahlungen. Vgl. z.B. RIEBEL (1987), S. 1161; RIEBEL (1989b), S. 64; RIEBEL (1990), S. 627ff., 638, 679 u. 709. Vgl. ebenso WEBER, J. (1990a), S. 253f. (Wiedergabe von RIEBEL), 255 u. 269; WARNICK (1991a), S. 33, und KLEINER, F. (1991), S. 26 ("Ausgaben und letztendlich Auszahlungen") S. 58 (nur Auszahlungen) u. S. 85 ("Zahlungen und ... Zahlungsverpflichtungen"). Doch legen sich weder RIEBEL noch die anderen vorgenannten Autoren jemals präzise fest, in welchem Verhältnis diese beiden verschiedenartigen monetären Kategorien im Rahmen des entscheidungsorientierten Kosten- und Leistungsbegriffs zueinander stehen sollen. Der Verf. hat sich angesichts dieser Unterbestimmtheit zugunsten der ausschließlichen Bezugnahme auf Ausgaben und Einnahmen entschieden. Hierfür spricht, daß für die *Verursachung* von monetären Entscheidungswirkungen am Beschaffungs- oder Absatzmarkt alle Ausgaben bzw. Einnahmen von Interesse sind. Dazu gehören z.B. auch das ausgabenwirksame Eingehen von Verbindlichkeiten gegenüber Lieferanten und das einnahmenwirksame Entstehen von Forderungen gegenüber Kunden, obwohl hiermit keine Zahlungswirkungen verknüpft sind. Die Zeitpunkte der tatsächlichen Aus- bzw. Einzahlungen bleiben dagegen unter dem Aspekt der Verursachung von monetären Entscheidungswirkungen unerheblich. Denn sie führen nur zu einer ausgaben- bzw. einnahmenneutralen Kompensation von zwei entgegengesetzten, aber jeweils gleich großen monetären Werteströmen.

Damit wird aber nicht verkannt, daß Aus- und Einzahlungen aus anderer Perspektive - etwa unter Liquiditätsaspekten - durchaus von Interesse sein können. So führt HAUKE (1973), S. 73, als ein mögliches Koordinierungsziel an, Schwankungen der Liquiditätsbelastung zu verringern. Dieser Aspekt wird hier jedoch nicht weiter verfolgt. Dagegen wird an späterer Stelle zur Ermittlung von Kapitalbindungskosten explizit von Ausgaben und Einnahmen auf Aus- bzw. Einzahlungen übergegangen. Dies ist dort inhaltlich gerechtfertigt, weil für die kostenverursachende Kapitalbindung tatsächlich nur die kapitalbindenden Auszahlungen und die kapitalfreisetzenden Einzahlungen relevant sind.

24) Vgl. RIEBEL (1987), S. 1159; RIEBEL (1990), S. 628 u. 636; MÜLLER, BE. (1990), S. 816f.

Unabhängig vom Ansatz RIEBEL's plädiert auch LABMANN (1989), Sp. 1341, für eine Periodenerfolgsrechnung, deren Mengenkomponten ausschließlich mit Ausgaben und Einnahmen bewertet werden.

25) Auch die Definitionen von Ausgaben und Einnahmen können noch Reste von Bewertungskonstrukten enthalten. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf periodenbezogene Abgrenzungsoperationen. Von Feinheiten dieser Art wird hier abgesehen. Auf jeden Fall bleibt ihr Ausmaß wesentlich geringer als beim wertmäßigen Kostenbegriff, der vor allem bei den kalkulatorischen Kostenarten vielfältige Bewertungskonstrukte einschließt. Als *pars pro toto* wird auf den kalkulatorischen Unternehmerlohn bei Einzelunternehmungen und Personengesellschaften verwiesen. Ihm entsprechen keine realen Ausgaben oder Auszahlungen. Vgl. zu ausführlicheren Darstellungen der Konstruktionen kalkulatorischer Kostenarten, insbesondere des kalkulatorischen Unternehmerlohns, SCHWEITZER, M. (1986), S. 148 u. 150; KLOOCK (1990a), S. 76f.

26) Vgl. RIEBEL (1987), S. 1159; RIEBEL (1990), S. 628 u. 636, mittelbar auch auf S. 631 ("an die Grenzen einer wirklichkeitsnahen Abbildung vorzustößen"; kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen).

27) Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 54 u. 66; EVERSHEIM (1989b), S. 64f.; SIEGWART (1989), S. 10ff.; RIEDLINGER (1989), S. 362; SCHMIDT, HU. (1989), S. 15; KAISER, K. (1991), S. 20f. (allerdings ohne speziellen Bezug auf Flexible Fertigungssysteme); NAUNDORF (1991), S. 65.

Vgl. auch die Angaben bei FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 223ff., 260ff. u. 453f. Demnach liegen die (kapitalbindenden) Anschaffungskosten - auf dem Preisstand von 1979 - für Flexible Fertigungssysteme in der Größenordnung von 5 bis 20 Mio. DM (S. 266). Hinzu kommen die (kapitalbindenden) Kosten für die vorbereitende Planung und Implementierung Flexibler Fertigungssysteme, die durchschnittlich 2,6 Mio. DM betragen (S.

224). Allerdings sind diese Angaben infolge der Betrachtung von - auch hoheitlich geförderten - Pilotprojekten tendenziell überhöht (S. 224, 228ff. u. 453f.). Laut EVERSHEIM (1989b), S. 65, verursachen Flexible Fertigungssysteme etwa die doppelten Anschaffungskosten wie konventionelle Produktionssysteme vergleichbarer Kapazität. EVERSHEIM (1990c), S. 103, nennt als absoluten Betrag Anschaffungskosten in der Höhe von 4 Mio. DM. SIEGWART (1989), S. 10, bemißt den Anteil der Kapital- an den Gesamtkosten von Flexiblen Fertigungssystemen auf 55%, bei konventionellen Produktionssystemen dagegen nur auf 20%.

28) Vgl. KNOOP (1987), S. 48f.; WILDEMANN (1987a), S. 209; SCHMIDT, HU. (1989), S. 84; vgl. ebenso - jedoch nicht auf Flexible Fertigungssysteme zugeschnitten - GRUHLER (1990), S. 109; KAISER, K. (1991), S. 21 und - prägnanter - S. 23.

29) Vgl. zu dieser Gewichtsverschiebung fort von ausführender, "produktiver" oder direkter Arbeit hin zu dispositiven, "verwaltenden" oder indirekten Tätigkeiten EVERSHEIM (1989b), S. 65; SIEGWART (1989), S. 11; SCHMIDT, HU. (1989), S. 15, 18 u. 72; HORVATH (1990a), S. 100; KLEINER, F. (1991), S. 3 u. 15; KAISER, K. (1991), S. 20 (allerdings ohne speziellen Bezug auf Flexible Fertigungssysteme).

Durch den Rückgang der ausführenden Tätigkeiten verlieren die traditionellen Fertigungslöhne erheblich an Bedeutung. Dies gilt sowohl für ihren absoluten Umfang als auch für ihren relativen Anteil an den Gesamtkosten. Vgl. dazu EVERSHEIM (1990c), S. 83; NAUNDORF (1991), S. 65.

30) Vgl. WILDEMANN (1987a), S. 209 u. 211; SCHMIDT, HE. (1989), S. 147f.; EVERSHEIM (1989b), S. 65 u. 67; HORVATH (1989), S. 214; RIEDLINGER (1989), S. 361; SCHMIDT, HU. (1989), S. 18; HORVATH (1990a), S. 100; MÄNNEL (1990), S. 134; FRANZ, K. (1990a), S. 196; FRANZ, K. (1990b), S. 112; EVERSHEIM (1990c), S. 87; KAISER, K. (1991), S. 21ff. (jedoch ohne speziellen Bezug auf Flexible Fertigungssysteme); NAUNDORF (1991), S. 65; KLEINER, F. (1991), S. 15.

Die vorgenannten Quellen beziehen sich auf den konventionellen, nicht am Identitätsprinzip ausgerichteten Gemein- und Einzelkostenbegriffen. Vgl. z.B. WILDEMANN (1987a), der auf S. 209 von variablen Einzelkosten und Fixkosten sowie auf S. 213 von der "Einzelkostenart Fertigungslohn" spricht. NAUNDORF (1991), S. 65, behandelt Fertigungslöhne ebenso als Einzelkosten. Oder sie beziehen sich auf die Unterscheidung zwischen variablen und fixen Kosten (z.B. EVERSHEIM und KLEINER). Diese Formulierungen vertragen sich nur mit einer Verengung von Einzel- und Gemeinkosten auf eine rein produktionsmengenorientierte Betrachtung. Alternative Konzepte für Kosten- und Leistungsrechnungen, die - wie oben auf der Basis des Identitätsprinzips angedeutet - an beliebige Koordinierungsentscheidungen anknüpfen können, scheint WILDEMANN dagegen nicht zu sehen. Denn er zieht im hier erörterten Kontext den "Einsatz selbst neuerer, entscheidungsorientierter Formen der Kostenrechnung" (WILDEMANN (1987a), S. 211) grundsätzlich in Zweifel. Darüber hinaus bereitet die Einstellung Schwierigkeiten, Fertigungslöhne als Einzelkosten zu klassifizieren. Denn die Fertigungslöhne werden überwiegend auf der Basis fester vertraglicher Vereinbarungen gezahlt. Aus der Perspektive strenger Kostenverursachung stellen sie daher in der Regel - zumindest größtenteils - Gemeinkosten dar.

Um Kohärenz zwischen dieser konventionellen Begriffsverwendung einerseits und den oben äquivok eingeführten, aber streng verursachungsgerecht definierten Einzel- und Gemeinkosten andererseits herzustellen, werden hier als dispositive Bezugsobjekte von Einzel- und Gemeinkosten nur Entscheidungen über Produktionsmengen betrachtet. Dies gilt jedoch nur in bezug auf die allgemeinen Betrachtungen zur Kosten- und Leistungsrechnung für Flexible Fertigungssysteme und für die diesbezüglich angeführten Quellen. Dessen ungeachtet läßt die entscheidungsorientierte Konzeptualisierung dieser Arbeit grundsätzlich jede streng verursachungsgerechte Kosten- und Leistungsrechnung zu. Dies bedeutet insbesondere auch, daß sich Koordinierungsentscheidungen und die ihnen zugerechneten Ausgaben oder Einnahmen keineswegs auf Entscheidungen über Produktionsmengen zu beschränken brauchen.

31) Dabei muß sogar noch vorausgesetzt werden, daß diese Sondereinzelkosten nicht für eine Produktart oder einen Produktionsauftrag als Ganzes anfallen, sondern für jedes Werkstück von neuem. Andernfalls läge kein korrekter Verursachungszusammenhang zwischen Produktionsmenge und Sondereinzelkosten vor.

32) Vgl. KNOOP (1987), S. 48f.; WILDEMANN (1987a), S. 209.

33) Vgl. WILDEMANN (1987a), S. 209 u. - ohne präzise Angabe der Anteilshöhe - S. 211.

34) Vgl. WILDEMANN (1987a), S. 211; HORVATH (1988b), S. 119f.; KAISER, K. (1991), S. 26, 29 u. 36(ff.).

35) Dies muß keineswegs der Fall sein. Z.B. läßt es die Grenzplankostenrechnung in *erweiterter* Form zu, Kosten auf *beliebige* Bezugsobjekte zuzurechnen, die ihrerseits mit Entscheidungen jeder Art korrespondieren können. Vgl. zum Konzept der Grenzplankostenrechnung in *erweiterter* Form DÖRNER, E. (1984), S. 284ff. Diese Fortentwicklung der Grenzplankostenrechnung hat jedoch bisher keine größere Beachtung gefunden. Daher wird sie fortan nicht zu den konventionellen Erscheinungsformen ("Standardformen") von Grenzplankosten- und Deckungsbeitragsrechnungen gezählt.

Zwar wird für die Grenzplankostenrechnung oftmals in Anspruch genommen, sie erlaube grundsätzlich eine differenzierte Bezugsgrößenwahl. Infolgedessen sei sie keineswegs darauf beschränkt, Produktionsmengen als einzige Kostenbezugsgröße zu berücksichtigen. Vgl. zu diesem Anspruch KILGER (1983), S. 164; SCHWEITZER, M. (1986),

S. 328f.; KILGER (1988), S. 94 u. 325ff. (besonders aussagekräftig die Übersicht 21 auf S. 338); LACKES (1989), S. 58; WARNICK (1991a), S. 49; VIKAS (1991), S. 8. Allerdings bleiben die vorgenannten Quellen entweder in programmatischen Formulierungen verhaftet. Oder sie präsentieren konkrete Beispiele, in denen immer wieder auf Produktionsmengen als - zumindest mittelbare - Bezugsgröße rekurriert wird. Dies tritt besonders deutlich zu Tage im Beispiel von KILGER (1988), S. 330f. Dort werden lineare Abhängigkeitsverhältnisse zwischen den zusätzlichen Bezugsgrößen und den Produktionsmengen präsupponiert. Vgl. ebenso KILGER (1988), S. 337. Er stellt dort zunächst heraus, daß sich für Kostenstellen, die nicht unmittelbar zum Produktionsbereich gehören, durchaus verursachungsgerechte, "direkte" Bezugsgrößen aufstellen lassen. Aber diese Bezugsgrößen könnten nicht mehr verursachungsgerecht auf Produkteinheiten als Kalkulationsobjekte weiterverrechnet werden. Soweit möchte der Verfasser der Ansicht KILGER's ohne Einschränkungen folgen. Allerdings leitet KILGER dann auf derselben Seite elegant auf "indirekte 'Verrechnungsbezugsgrößen'" über. Sie werden eingeführt, um die Kosten der produktionsfernen Kostenstellen schließlich doch noch auf Produkteinheiten umzulegen. Darüber hinaus werden konstante Kostenverrechnungssätze gebildet, die als kostenstellenspezifische Kosten je indirekter Verrechnungsbezugsgrößeneinheit definiert sind. Zwar spricht KILGER die konstanten Kostenverrechnungssätze in diesem Kontext nicht explizit an. Aber sie sind für sein Konzept der Grenzplankostenrechnung typisch. So verwendet z.B. auch KLOOCK (1991), S. 17f., in einer mehrstufigen Grenzplankostenrechnung *konstante* Kostenverrechnungssätze (er spricht von "Planprozeßkosten-Verrechnungssätzen"), um die Kosten produktionsferner ("indirekter") Kostenstellen in eine Produktkostenkalkulation einzubeziehen (ähnlich auf S. 9, dort jedoch ohne Bezug auf "indirekte" Kostenstellen). Sowohl die linearen Abhängigkeitsverhältnisse zwischen Bezugsgrößen und Produktionsmengen als auch die konstanten Kostenverrechnungssätze für indirekte Verrechnungsbezugsgrößen bedeuten hinsichtlich der Kalkulation von Produktkosten, daß die Produktionsmengen - oder die "Beschäftigung" - letztlich doch nur die einzige unabhängige Bezugsgröße darstellen. Dies wurde als Charakteristikum von Grenzplankostenrechnungen (in Standardform) schon des öfteren herausgestellt. Vgl. RIEBEL (1974b), S. 500f.; KLOOCK (1981a), S. 512; KLOOCK (1981c), Sp. 1299; LABMANN (1983), S. 91f.; DÖRNER, E. (1984), S. 221 u. 285 (ebenso S. 224, 234, 237 u. 278ff.); SCHWEITZER, M. (1986), S. 329 ("Alle direkten und indirekten Bezugsgrößen sollen letztlich Maßgrößen für die Ausbringung der Unternehmung darstellen. Sie können damit auch als Maße der Beschäftigung interpretiert werden."); SCHMIDT, H. U. (1989), S. 82; KLOOCK (1990a), S. 190f. u. 196. Vgl. auch die kompakten, aber präzisen Ausführungen von MAIER-SCHUEBECK (1991), S. 544. Er arbeitet dort heraus, daß Grenzplankostenrechnungen bei der Kalkulation von Produktkosten immer eine zweifache Proportionalität voraussetzen: Die Ausprägungen der kostenstellenspezifischen Bezugsgrößen müssen sich sowohl proportional zu den variablen Kosten einer Kostenstelle als auch proportional zur Ausbringungsmenge der Kostenstelle an Kostenträgern (Produkteinheiten) verhalten. Diese zweifache Proportionalitätsprämisse sorgt dafür, daß sich alle variablen Produktionskosten, die in den Kostenstellen erfaßt wurden, letztlich doch wieder auf die Produktionsmengen als einzige unabhängige Bezugsgröße weiterverrechnen lassen. Darüber hinaus spricht MAIER-SCHUEBECK (1991), S. 544, auch deutlich aus, daß KILGER in Kostenträgerrechnungen die indirekten (Verrechnungs-)Bezugsgrößen stets so verwendet, als ob sie sich doch proportional zu den Kostenträgermengen (Produktionsmengen) verhalten würden. Schließlich könnte auch die Prozeßkostenrechnung ins Spiel gebracht werden, die schon einleitend erwähnt wurde. Es gehört zu einem ihrer zentralen Anliegen, Kosten nicht mehr ausschließlich auf Produktionsmengen zuzurechnen. Vielmehr interessiert eine Vielzahl von Bezugsgrößen ("cost driver"), die sich als Ergebnisse der Ausführungen von Prozessen oder Aktivitäten identifizieren lassen; vgl. FRANZ, K. (1990b), S. 116f. Diese kostenverursachenden Bezugsgrößen werden von den Produktionsmengen konventioneller Kostenrechnungen dezidiert abgehoben. Vgl. z.B. COOPER (1988), S. 97; vgl. daneben auch - aber weniger deutlich - WARNICK (1991a), S. 53f. Vgl. schließlich zur besonderen Bedeutung, die der Verschiedenartigkeit von Bezugsgrößen im Rahmen der Prozeßkostenrechnung zukommt, FRANZ, K. (1990b), S. 116 u. 121f. Allerdings wurde bereits aufgezeigt, daß die Prozeßkostenrechnung ihren eigenen Anspruch auf Verursachungsgerechtigkeit nicht erfüllt, weil sie eine Vielzahl von Verrechnungen und Schlüsselungen vornimmt. Daher trägt ihre Bezugsgrößenvielfalt nicht zur Erkenntnis von strengen Verursachungszusammenhängen bei. Aus diesem Grund wurde sie von vornherein aus den näheren Betrachtungen dieses Kapitel ausgegrenzt.

36) Vgl. KILGER (1988), S. 141; KAISER, K. (1991), S. 26; KLOOCK (1981a), S. 508 u. 512 (für die Grenzplankostenrechnung [in Standardform]); SCHMIDT, H. U. (1989), S. 80 u. 82.

37) In der betrieblichen Praxis kommen Gemeinkostenverrechnungssätze von mehr als 1.000 % vor; vgl. MILLER, J. (1985), S. 142; MILLER, J. (1986), S. 84; KAISER, K. (1991), S. 22 (einschließlich der Fn. 11).

Derart hohe Gemeinkostenverrechnungssätze resultieren aus zwei Gründen, die sich gegenseitig verstärken. Einerseits wurde schon kurz zuvor dargelegt, daß der (absolute) Gesamtumfang der Gemeinkosten zu Lasten der Einzelkosten bei flexiblen Fertigungssystemen stark zunimmt. Andererseits verringert sich zugleich der (absolute) Betrag der Fertigungslöhne für ausführende Arbeiten in flexiblen Fertigungssystemen. Auch darauf wurde bereits hingewiesen. Die Fertigungslöhne bilden aber die Zuschlagsbasis für die Lohnzuschlagskalkulation, die bei industriellen Stückgüterproduktionen derzeit noch vorherrscht. Da die zu verteilenden Gemeinkosten ansteigen und zugleich die Verteilungsbasis der Fertigungslöhne abnimmt, müssen die resultierenden Gemeinkostenverrechnungssätze besonders stark ansteigen. Vgl. dazu SCHMIDT, H. U. (1989), S. 17; EVERSHEIM (1990c), S. 83; NAUNDORF (1991), S. 65.

38) (Kosten-)Verrechnungssätze werden zumeist in der Gestalt von Maschinenstunden- oder Platzkostensätzen verwendet. Maschinenstundensätze enthalten im allgemeinen keine Personalkosten. Platzkostensätze stellen dagegen Maschinenstundensätze dar, in denen Personalkosten zusätzlich berücksichtigt sind.

Vgl. zu Maschinenstundensätzen für die Kalkulation von Bearbeitungskosten REFA (1978), S. 36ff.; SELIGER (1983), S. 89ff.; WILDEMANN (1987a), S. 214f.; SCHMIDT,HE. (1989), S. 149ff. Vgl. ebenso zur Ermittlung von Platzkostensätzen SPUR (1980), S. 460ff.; REFA (1985d), S. 183ff.

Ausführliche Behandlungen solcher (Kosten-)Verrechnungssätze für Flexible Fertigungssysteme finden sich bei SPUR (1980), S. 444ff. u. 460ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 285ff.; KNOOP (1986), S. 75f. i.V.m. S. 76 sowie S. 88f., 95f., 99, 101ff., 120 u. 140f., insbesondere S. 103f. (Verrechnungssätze je Zeiteinheit der Maschinen-, Vorrichtung- oder Raumnutzung); WILDEMANN (1987a), S. 209 u. 213ff., insbesondere 215ff.; KNOOP (1987), S. 51 ("Minutensatz"); EVERSHEIM (1989b), S. 67; SIEGWART (1989), S. 12f.; SCHMIDT,HU. (1989), passim, z.B. S. 101f., 112ff. u. 119; EVERSHEIM (1990c), S. 101ff., insbesondere das Verrechnungsschema in Abb. 19 auf S. 102; NAUNDORF (1991), S. 65ff., insbesondere das Verrechnungsschema in Bild 3 auf S. 69; KLEINER,F. (1991), S. 157 u. 159ff.

39) Besonders deutlich wird das Verletzen verursachungsgerechter Kostenzurechnung durch die Forderung nach Gemeinkostenverrechnung bei REFA (1985d), S. 183: "Platzkosten ... sind die Summe ... aus ... direkt zurechenbaren Kosten und einer Umlage für die übrigen Fertigungsgemein-, Verwaltungs- und Vertriebskosten." Dadurch wird eingestanden, daß eine Kostenumlage erfolgt, obwohl keine direkte Zurechnungsmöglichkeit der betroffenen Kosten existiert. Vgl. darüber hinaus zur Kritik an der mangelhaften Entscheidungsorientierung oder fehlenden Verursachungsgerechtigkeit solcher Verrechnungssätze (Gemeinkostenschlüsselungen, Fixkostenproportionalisierungen u.ä.) und zu ihrer grundsätzlichen Ablehnung durch Kosten- und Leistungsrechnungen, die auf dem Marginal- oder Identitätsprinzip basieren, RIEBEL (1964c), S. 555ff.; MÄNNEL (1967), S. 765ff.; LABMANN (1973), S. 17; DELLMANN (1979), S. 321; MÄNNEL (1983a), S. 1189f.; HUMMEL,S. (1983), S. 1206; SCHWEITZER,M. (1986), S. 388f. u. 410f.; HUMMEL,S. (1986), S. 54; HORVATH (1986a), S. 133; SCHMIDT,HE. (1989), S. 147ff. u. 157; RIEBEL (1990), S. 210ff. u. 269ff.; KLOOCK (1990a), S. 199; KAISER,K. (1991), S. 24 u. 27ff., insbesondere S. 28ff.; KLEINER,F. (1991), S. 39. Vgl. insbesondere ARNING (1987), S. 86ff.; HORVATH (1988b), S. 124, und HORVATH (1989), S. 215, die sich explizit auf Kostenrechnungen für Flexible Fertigungssysteme beziehen. Vgl. dazu auch die Zweifel an der Verursachungsgerechtigkeit der konventionellen Zuschlagskalkulation bei AWF (1984), S. 74; WÄSCHER (1987), S. 308(ff.); JOHNSON,H. (1988), S. 28f.; HORVATH (1990a), S. 100f. Um so mehr erstaunt es, daß in den Quellen aus den voranstehenden Anmerkungen, in denen Verrechnungssätze thematisiert werden, dennoch des öfteren von einer entscheidungsorientierten oder verursachungsgerechten Kostenrechnung gesprochen wird. Vgl. etwa KNOOP (1986), S. 75 u. 93f.; EVERSHEIM (1989b), S. 64 u. 67f.; NAUNDORF (1991), S. 65 u. 70. Diese Selbstwidersprüchlichkeit fällt besonders auf bei NAUNDORF (1991), S. 70: "Zur Verwirklichung der Forderung einer verursachungsgerechten Kostenverrechnung bei Einsatz flexibler automatisierter Fertigungen wird vorgeschlagen, neben der Maschinenzeit als Verrechnungsbasis für die Kosten von Bearbeitungssystemen die Systemverweilzeit als zusätzliche Verrechnungsbasis für die Kosten der Systemperipherie zu verwenden." Die gleiche inkonsistente Verknüpfung von Kostenverrechnung oder -schlüsselung einerseits und Verursachungsgerechtigkeit andererseits offenbart sich in einem Postulat, das SCHMIDT,HU. (1989), S. 28; EVERSHEIM (1990c), S. 83, unter Berufung auf BRIMSON erheben. Ihrer Ansicht nach müsse eine "Bezuschlagung von Gemeinkosten nach dem Verursachungsprinzip" erfolgen. Vgl. darüber hinaus zu ähnlich widersprüchlichen Verknüpfungen EVERSHEIM (1990c), S. 87f., 101 u. 104.

40) Ein Kostenrechnungskonzept, das speziell auf Flexible Fertigungssysteme bezogen wird, hat bereits KNOOP präsentiert; vgl. KNOOP (1986), S. 84ff.; KNOOP (1987), S. 47ff. Allerdings beachtet er nicht das Identitätsprinzip. Vgl. zur Kritik an der fragwürdigen Verursachungsgerechtigkeit von KNOOP's Ansatz auch die voranstehenden Anmerkungen. Fruchtbarer erscheinen hingegen die Ausführungen von ARNING (1987), S. 140ff. Sie befassen sich speziell mit der Erfassung von Zahlungsströmen, die vom Einsatz flexibler Fertigungssysteme verursacht werden. Dieser Ansatz ließe sich mit der o.a. Prämisse des pagatorischen Kostenbegriffs verknüpfen, um eine Kosten- und Leistungsrechnung für Flexible Fertigungssysteme aufzubauen, die den Kriterien strenger Verursachungsgerechtigkeit entspricht. Weitere Beiträge, die sich mit Kosten- und Leistungsrechnungen befassen, die speziell auf Flexible Fertigungssysteme zugeschnitten sind, finden sich bei EVERSHEIM (1989b), S. 64ff., insbesondere S. 67f.; SIEGWART (1989), S. 10ff.; SCHMIDT,HU. (1989), S. 3f., 13ff. u. 32ff., insbesondere S. 36ff., 96ff. u. 107ff.; EVERSHEIM (1990c), S. 81ff., insbesondere S. 101ff.; VDI (1990), S. 92ff.; RENNER,A. (1991a), S. 117ff.; KLEINER,F. (1991), S. 54ff. u. 91ff.; NAUNDORF (1991), S. 65ff.; BURGER,A. (1992), S. 81ff., insbesondere S. 159ff. Vgl. auch den Überblick über solche Beiträge bei SCHMIDT,HU. (1989), S. 28ff. Darüber hinaus hat KAISER,K. (1991), S. 60ff., die "Grundlagen einer operativen Kennzahlenrechnung als Ergänzung zur traditionellen Kosten- und Leistungsrechnung bei automatisierten Produktionsprozessen" (S. 60) vorgelegt. Es ließe sich daran denken, seinen Ansatz auch auf automatisierte Produktionssysteme in der Gestalt flexibler Fertigungssysteme anzuwenden. Seine Ausführungen bleiben jedoch weitgehend auf die Entwicklung eines Kennzahlensystems beschränkt (insbesondere S. 111ff.). Daher bietet der Beitrag KAISER's für die hier interessierende Konzipierung einer entscheidungsorientierten, streng verursachungsgerechten Kosten- und Leistungsrechnung keine besonderen Einsichten.

In den meisten vorgenannten Arbeiten sieht der Verfasser aber noch keine Konzepte, die bereits so ausgereift sind, daß sie dem Anspruch an streng verursachungsgerechte Kostenrechnungen für Flexible Fertigungssysteme gerecht werden. Es liegt aber außerhalb des Erkenntnisrahmens der hier vorgelegten Ausarbeitung, dieses Urteil für die einzelnen Konzepte detailliert zu belegen. Statt dessen werden in diesem Kapitel nur einige grundsätzliche Vorstellungen skizziert, die sich unmittelbar aufdrängen, wenn Entscheidungsorientierung und strenge Verursachungsgerechtigkeit gefordert werden. Der Verfasser beschränkt sich darauf, in einigen Anmerkungen darauf hinzuweisen, in welcher Hinsicht einzelne der vorgenannten Quellen jene Anforderungen noch nicht erfüllen. Vgl. beispielsweise die Anmerkung, in der kritisiert wird, daß die Konzepte von KNOOP, EVERSHEIM und NAUNDORF zwar Verursachungsgerechtigkeit für sich in Anspruch nehmen, zugleich aber ihr eigenes Postulat durch den Gebrauch von Verrechnungssätzen eklatant verletzen. Lediglich die Beiträge von KLEINER, F. (1991) und BURGER, A. (1992) kommen den Vorstellungen des Verfassers über eine streng verursachungsgerechte Kostenrechnung schon sehr nahe. Zugleich würdigen diese beiden Arbeiten ausdrücklich die Eigenarten Flexibler Fertigungssysteme. Vgl. dazu die Ausführungen bei KLEINER, F. (1991), vor allem S. 33ff. u. 97ff., und BURGER, A. (1992), S. 26ff. Allerdings bleiben auch dort noch einige Wünsche offen. Es würde aber über den hier gesteckten Erkenntnisrahmen hinausführen, diese Vorbehalte im einzelnen zu belegen. Vgl. statt dessen die exemplarischen Hinweise in den nachfolgenden Anmerkungen.

41) Vgl. SCHMIDT, H. U. (1989), S. 18: "Die ... Merkmale ... flexibler Fertigungssysteme ... erfordern weitreichende Veränderungen in den Methoden der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung." Vgl. ebenso HORVATH (1988b), S. 119ff. u. 132, insbesondere S. 120f. Er fordert ein konsequent entscheidungsorientiertes Kostenrechnungssystem, das "situationsspezifisch" (S. 120) auf die Belange Flexibler Fertigungssysteme zugeschnitten sein soll. Die speziellen Anforderungen, die von Kostenrechnungen für Flexible Fertigungssysteme zu beachten sind, arbeiten SCHMIDT, H. U. (1989), S. 15ff., und KLEINER, F. (1991), S. 14f. u. 34ff. (vor allem S. 37, 41ff. u. 46ff.), besonders deutlich heraus. Vgl. daneben auch die Erläuterungen von EVERSHEIM (1990c), S. 82f., und NAUNDORF (1991), S. 65f., die SCHMIDT's Beitrag im wesentlichen rezipieren. Vgl. des weiteren zu der Forderung, für Flexible Fertigungssysteme neuartige Kostenrechnungssysteme zu konzipieren, KLEINER, F. (1991), S. 33 u. 265f. Abweichender Ansicht ist dagegen WILDEMANN (1987a), S. 209. Er betrachtet es als strittig, ob für Flexible Fertigungssysteme ein eigenständiges Kosten- und Leistungsrechnungssystem notwendig ist. Der Verf. schließt sich den Vorbehalten von WILDEMANN insofern an, als sich manche Kritik, die gegenüber konventionellen Kosten- und Leistungsrechnungssystemen vorgetragen wird, bei genauerer Betrachtung inhaltlich nicht nachvollziehen oder sachlich nicht aufrechterhalten läßt. Vgl. dazu die Ausführungen bei SCHMIDT, H. U. (1989), S. 22ff., 25ff. u. 126; EVERSHEIM (1990c), S. 84ff. Sie befassen sich mit den Schwachstellen herkömmlicher Kostenrechnungssysteme, die bei ihrer Anwendung auf Flexible Fertigungssysteme angeblich auftreten sollen. Es wird hier darauf verzichtet, die Problematik der dort vorgetragenen Argumente im einzelnen darzulegen. Sie werden im folgenden keine weitere Rolle spielen. Statt dessen verfolgt der Verf. hier eine eigenständige Argumentation, die den Gedanken der strengen Verursachungsgerechtigkeit in den Vordergrund rückt. Vgl. darüber hinaus KLEINER, F. (1991), S. 19ff., 32f. u. 47f. Er legt eine wohlfundierte und präzise Analyse derjenigen Schwierigkeiten vor, denen sowohl Grenzplankostenrechnungen als auch Relative Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnungen bei ihrer Anwendung auf Flexible Fertigungssysteme unterliegen. Dabei zeigt KLEINER auf, daß es für Flexible Fertigungssysteme in der Tat wünschenswert ist, neuartige Kosten- und Leistungsrechnungssysteme zu konzipieren. Seinen Ausführungen vermag sich der Verf. weitgehend anzuschließen. KLEINER argumentiert aber nicht aus der hier interessierenden Perspektive strenger Verursachungsgerechtigkeit. Daher wird auf seinen Beitrag nicht detaillierter eingegangen.

42) Eine verursachungsgerechte Kosten- und Leistungsrechnung ist für Flexible Fertigungssysteme im allgemeinen nicht üblich; vgl. dazu die konventionellen, an Produktionsmengen und Arbeitsstunden orientierten Rechnungslegungskonzepte für Flexible Fertigungssysteme bei AWF (1984), S. 142ff.; HORVATH (1988b), S. 119f. (in kritischer Distanz). Gleiches trifft auf die Kostenrechnungen für Flexible Fertigungssysteme zu, die von EVERSHEIM (1990c), S. 101ff., und NAUNDORF (1991), S. 65ff., propagiert werden. Dort werden lediglich Produktionsmengen und Arbeitsstunden durch Arbeits-, Maschinen- und Durchlaufzeiten ersetzt.

In den vorgenannten Quellen wird zwar mitunter der Anspruch auf Verursachungsgerechtigkeit oder Entscheidungsorientierung erhoben. Doch aus den Ausführungen dieses Kapitels - besonders aus der Anmerkung zur Abschwächung des Prinzips der Verursachungsgerechtigkeit - wird deutlich, daß sich diese Ansprüche nicht mit den Anforderungen des Verf. an streng verursachungsgerechte Kosten- und Leistungsrechnungen vereinbaren lassen. Eine ausführliche Kritik an den Defiziten, denen konventionelle Rechnungslegungen bei ihrer Anwendung auf hochautomatisierte Produktionssysteme unterliegen, präsentiert KAISER, K. (1991), S. 24ff.

43) Vgl. KLEINER, F. (1991), S. 47 ("Durch die Flexibilisierung ... wird das Arbeiten mit *stückbezogenen* Kostenätzen problematisch."; kursive Hervorhebung durch den Verf.).

Das Abrücken von Produktionsmengen als sachlichen Bezugsobjekten von Kosten und Leistungen unterstreicht die oben erfolgte Festlegung zu Gunsten des pagatorischen Kostenbegriffs. Denn der wertmäßige Kostenbegriff knüpft - neben seiner Wertkomponente - immer an einer Mengenkomponekte als Bezugsgröße an. Dies verführt dazu, daß sich konventionelle Kosten- und Leistungsrechnungen auf Produktionsmengen als einzige Bezugsobjekte verengen.

44) Eine solche Einlastungsentscheidung läßt sich als Entscheidung darüber interpretieren, ob von der auftragspezifischen Produktart die Menge von 1 oder von 0 Einheiten produziert werden soll.

45) Es lassen sich zwar Sonderfälle vorstellen, die sich immer noch auf Entscheidungen über Produktionsmengen erstrecken. Beispielsweise ist es möglich, daß ein Endprodukt aus alternativen Zwischenprodukten hergestellt werden kann und die Zwischenprodukte in unterschiedlichen Mengen in das Endprodukt eingehen. Dann bedeutet eine Entscheidung hinsichtlich der ausgewählten Zwischenproduktart zugleich auch mittelbar eine Disposition über die erforderliche Zwischenproduktmenge. Solche Sonderfälle spielen jedoch eine so geringe Rolle, daß sie hier nicht näher beachtet zu werden brauchen.

46) Der Einfachheit halber wird der letztgenannte Entscheidungstatbestand auch als Entscheidung über das Starten von Arbeitsgängen, als Entscheidung über Arbeitsgangausführungen oder auch nur als Entscheidung über Arbeitsgänge angesprochen.

47) KLEINER, F. (1991), S. 69 u. 97ff., hat dies sehr anschaulich anhand der "Durchlauffreizügigkeit" eines exemplarischen Flexiblen Fertigungssystems - einer kleinen Flexiblen Montagelinie - diskutiert (ähnlich auf S. 154f. u. 169f.). Er zeigt auf, daß die Produktionskosten eines Auftrags großenteils erst während der Auftragsabwicklung durch Koordinierungsentscheidungen festgelegt werden. Diese Entscheidungen ordnen die auftragszugehörigen Arbeitsgänge zu alternativen Bearbeitungsstationen zu. Die Ausführungskosten der Arbeitsgänge hängen wesentlich davon ab, wie diese Zuordnungsentscheidungen konkret ausfallen. Denn die Arbeitsgangausführungen sind in KLEINER's Produktionssystem mit unterschiedlichen Ausführungsdauern, Maschinenzeiten und Rüstzeiten verknüpft je nachdem, auf welchen Bearbeitungsstationen (Kostenplätzen) die Arbeitsgänge ausgeführt werden (vgl. Abb. 3.14 auf S. 68). Die unterschiedlichen Zeitgrößen führen dann bei KLEINER über entsprechende Platzkostenverrechnungssätze zu verschiedenen Produktionskosten (S. 157, 159ff. u. 163). Daraus zieht der Autor den stringenten Schluß, daß die Produktionskosten eines Auftrags nur innerhalb eines "Gesamtprogramms" festliegen (S. 69, 98, 100, 102ff., 131, 153 u. 263). In einem solchen "Gesamtprogramm" werden alle Zuordnungsentscheidungen im Verbund getroffen, die für eine erfolgreiche Auftragsabwicklung erforderlich sind.

Den zusätzlichen Aspekt, daß auch Entscheidungen über die Startereignisse der Arbeitsgangausführungen erforderlich sind, berücksichtigt KLEINER nicht. Sie können aber durchaus kosten- oder leistungswirksam sein. Beispielsweise läßt sich vorstellen, daß über solche Ereignisdispositionen der Zeitpunkt beeinflusst wird, in dem der betrachtete Auftrag fertiggestellt ist. Von diesem Zeitpunkt können wiederum Kosten für Konventionalstrafen abhängen, die wegen Nichteinhaltens von Lieferterminen anfallen. Ebenso kommen Erlöse in Betracht, die aus Prämien für vorzeitige Auftragsablieferung resultieren. Darüber hinaus widersprechen die Platzkostenverrechnungssätze, die KLEINER benutzt, dem hier verfolgten Ansatz der Verursachungsgerechtigkeit. Die programmbezogene Argumentation KLEINER's läßt sich aber auch dann noch aufrechterhalten, wenn seine Verrechnungssätze eliminiert werden.

Ein ähnlicher "Programmbezug" von Kosten liegt auch der Einflußgrößenrechnung zugrunde, auf die in Kürze zurückgekommen wird. Auch dort herrscht die Auffassung vor, daß die Kosten eines Auftrags keineswegs schon durch dessen Produktmenge fixiert sind. Vielmehr kommt eine Vielzahl von Einflußgrößen hinzu, deren Ausprägungen bei der Auftragsabwicklung festgelegt werden müssen und dabei die Abwicklungskosten erheblich beeinflussen. Erst ein "Programm", in dem alle Einflußgrößenausprägungen festliegen, gestattet eine Aussage über die Auftragskosten. Vgl. dazu die Quellen, die an späterer Stelle zur Einflußgrößenrechnung angeführt werden; vgl. etwa als pars pro toto LABMANN (1973), S. 6f.

48) Die Zuordnungen von Produktionsfaktoren zu produktiven Faktorkombinationen und das Starten von Arbeitsgängen lassen sich gemeinsam als Entscheidungen über Ereignisgeschehnisse in die hier entfaltenen Konzeptualisierungen dynamischer Koordinierungsprobleme einbetten. Bei einer Entscheidung darüber, das Startereignis eines Arbeitsgangs geschehen zu lassen, ist dies offensichtlich. Aber auch eine faktorkombinierende Zuordnungsentscheidung läßt sich als Disposition über Ereigniseintritte auffassen. Durch jedes der involvierten Ereignisse wird genau ein ereignisspezifischer Produktionsfaktor selektiert. Die Auswahl einer mehrelementigen Ereignismenge bedeutet dann, im gemeinsamen Zeitpunkt der Geschehnisse aller Ereignisse aus dieser Menge die zugehörigen Produktionsfaktoren zu einer Faktorkombination zusammenzuführen. Die sachlichen Bezugsobjekte von Kosten und Leistungen sind also letztlich Ereignisse, deren Geschehnisse durch Koordinierungsentscheidungen entweder ausgewählt oder aber unterbunden werden. Daher liegt zunächst eine ereignisorientierte Kosten- und Leistungsrechnung vor. Die Ereignisgeschehnisse konstituieren ihrerseits durch ihre zustandstransformierende Wirkung Prozesse, die im jeweils betrachteten Produktionssystem ausgeführt werden. Deshalb läßt sich ebenso von einer prozeßorientierten Kosten- und Leistungsrechnung sprechen.

49) Vgl. HORVATH (1988b), S. 119 u. 132. Im Hinblick auf prozeßbezogene Koordinierungsentscheidungen für Flexible Fertigungssysteme stellt er fest: "Ihre Abbildung in der Kostendimension gelingt meist nicht. ... Es gelingt nicht, die Kostenänderungen infolge der Variation der Kosteneinflußgrößen bzw. infolge von Entscheidungen für bestimmte Handlungsalternativen zu messen bzw. zu prognostizieren" (S. 119). Die "Kostenrechnungssysteme in der Praxis ... beim Einsatz flexibel automatisierter Produktionssysteme ... sind nicht in der Lage, den erhöhten Bedarf an Entscheidungsunterstützung zu bewältigen" (S. 132). Ähnlich stellt FRANZ, K. (1990b), S. 114, in bezug

auf US-amerikanische Unternehmungen fest, daß "der Zweck der Bestandsbewertung für bilanzielle Belange alle anderen Zwecke der Kostenrechnung überlagert. Es fehlt an Kostenrechnungssystemen, die die *Steuerung der Betriebsabläufe* unterstützen." (kursive Hervorhebung durch den Verf.).

Lediglich die Beiträge von KLEINER, F. (1991) und BURGER, A. (1992) stellen ermutigende Ansätze dar, auf deren Grundlage sich eine zuordnungs- und arbeitsgangbezogene Kostenrechnung für Flexible Fertigungssysteme vorstellen läßt. Ihre Arbeiten wurden schon mehrfach erwähnt. Allerdings leiden sie immer noch unter einigen Einschränkungen, die den Verfasser davon abhalten, ihre Entwürfe bereits als vollwertige zuordnungs- und arbeitsgangbezogene Kostenrechnungen einzustufen. Dies wird anhand von KLEINER's Beitrag mit drei Beispielen verdeutlicht. Erstens werden Arbeitsgänge einer artifiziellen Sequentialisierung unterworfen; vgl. KLEINER, F. (1991), S. 51f. Sie wird in dieser Arbeit für die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen abgelehnt. Zweitens berücksichtigt KLEINER, F. (1991), S. 67f., bei den Zuordnungen zwischen "Kostenplätzen" und Arbeitsgängen lediglich die platzspezifischen Bearbeitungsstationen. Für die Arbeitsgangzuordnung zu Arbeitsplätzen können aber auch die Werkzeuge eine wichtige Rolle spielen, die an einer Bearbeitungsstation für eine Arbeitsgangausführung benötigt werden. Drittens bekennt sich KLEINER, F. (1991) zu Gemeinkostenverrechnungen mit der Hilfe von proportionalisierenden Schlüsseln (vgl. S. 109, 112f., 117, 128ff., 154, 157, 163, 165ff., 169, 174f., 183f. usw.). Zwar schränkt KLEINER diese Verrechnungen in mancher Hinsicht ein. Z.B. läßt er nur die Verrechnung von variablen Gemeinkosten zu, während er die Fixkostenproportionalisierung ablehnt (S. 112). Trotz solcher Einschränkungen möchte sich der Verfasser dieser Vorgehensweise grundsätzlich nicht anschließen. Die vorausgesetzte Perspektive einer strengen Verursachungsgerechtigkeit spricht dagegen.

50) Vgl. zu solchen Einflußgrößenrechnungen, die oftmals auch als Betriebsmodelle thematisiert werden und maßgeblich durch die Arbeiten LABMANN's geprägt wurden, LABMANN (1968), S. 70ff., insbesondere S. 77ff.; LABMANN (1969), S. 125ff.; FRANKE, R. (1972), S. 33ff., insbesondere S. 38ff.; LABMANN (1973), S. 5ff.; WITTENBRINK (1975), S. 15ff., 29 u. 34ff. u. 195ff., insbesondere S. 40ff. u. 95ff.; KOLB (1978), S. 14ff. u. 171ff.; LABMANN (1980a), S. 119ff.; LABMANN (1981), Sp. 428ff., insbesondere Sp. 433ff.; KLOOCK (1981a), S. 514ff.; LABMANN (1983), S. 90ff.; MÄNNEL (1983c), S. 57; DÖRNER, E. (1984), S. 320ff.; SCHWEITZER, M. (1986), S. 419ff., insbesondere S. 420 u. 422ff.; LABMANN (1989), Sp. 1345ff.; KLEINER, F. (1991), S. 30ff., 99 u. 103; vgl. auch als konzeptionellen Vorläufer WARTMANN, R. (1963), S. 1414ff., insbesondere S. 1423ff.

51) Instruktive Überblicke über die Eigenarten der Prozeßplanung und -steuerung bei stahlerzeugenden Produktionen bieten VOIGT, J. (1990), S. 59f.; AMELING (1990), S. 67ff.; STEINBERG (1990), S. 77ff.; PAETZ (1990), S. 85ff.; KRALLMANN (1990b), S. 483ff.

52) Gleicher Ansicht ist KLEINER, F. (1991), S. 18. Er sieht in den Betriebsmodellen LABMANN's einen Ansatz, der in der Lage ist, die technische Flexibilität ("Durchlaufreizügigkeit") Flexibler Fertigungssysteme besonders zu berücksichtigen. Er vertieft und belegt seine positive Würdigung auf S. 31f.

53) Besonders deutlich wird der Bezug auf beliebige, keineswegs auf Mengengrößen beschränkte Einflußgrößen bei HORVATH (1988b), S. 119 u. 124. Er betrachtet sogar ein spezielles Einflußgrößensystem für Flexible Montagesysteme.

54) Die Einflußgrößenrechnung bildet die Basis einer speziell darauf ausgerichteten Periodenerfolgsrechnung.

55) Auf die seltenen Fälle noch verbleibender Entscheidungsrelevanz wird an anderer Stelle hingewiesen.

56) Vgl. KOLB (1978), S. 20. Diese Konsequenz legt RIEBEL (1981a), Sp. 1560, selbst nahe, wenn er eine Separation von Mengen- und Wertrechnungen mit folgender Argumentation fordert: "Weil ein völlig zweckunabhängiger Wertansatz nicht existiert, und weil häufig nicht-proportionale Entgeltfunktionen vorliegen, sollten soweit wie möglich Preis- und Mengenkompone[n]te getrennt ausgewiesen werden." (kursive Hervorhebungen im Original hier unterlassen). Einen ähnlichen Schluß legt SINZIG (1983), S. 109, für die Abbildung von entscheidungsrelevanten Ereignissen nahe: "Wegen der Forderung nach intersubjektiver Nachprüfbarkeit beschränkt sich ihre Abbildung streng genommen im allgemeinen auf Mengen- einschließlich Zeitgrößen, da es häufig nicht möglich ist, die Dispositionskette bis zu den Entgelt- und Zahlungswirkungen zu verfolgen."

Auch die Einflußgrößenrechnung stellt zunächst eine reine Mengenrechnung ohne Zuordnung monetärer Entscheidungswirkungen dar. Dies gilt zumindest so lange, wie sie sich nur auf den Produktionsbereich bezieht. Vgl. vor allem LABMANN (1983), S. 92ff., der die "strikte Trennung zwischen Mengenrechnung und Bewertungsrechnung" (S. 92) hervorhebt: Die Modellierung erfolge "auf zunächst *rein mengenmäßiger Basis*" (S. 93; kursive Hervorhebung im Original), so daß die "Bewertung der Zielgrößen mit Preisfaktoren ... *an den Schluß des Rechenganges verlagert*" werde (S. 93; kursive Hervorhebung wiederum im Original). Vgl. daneben auch LABMANN (1968), S. 78, 106 u. 114; LABMANN (1969), S. 126 ("Den Einflußgrößen lassen sich im allgemeinen keine Marktpreise zuordnen.") u. 131ff.; FRANKE, R. (1972), S. 44; LABMANN (1973), S. 7 u. 17; KOLB (1978), S. 14f.; LABMANN (1981), Sp. 433; DÖRNER, E. (1984), S. 321; LABMANN (1989), Sp. 1346; vgl. darüber hinaus auch z.B. SCHWEITZER, M. (1986), S. 423ff., insbesondere S. 425.

Der gleiche Gedanke einer reinen Mengenrechnung für den Produktionsbereich, in die keine Bewertungen einfließen, findet sich ebenso im "prozeßwirtschaftlichen" Ansatz von LANGEN (1983), S. 770. Auch dort werden monetäre

Bewertungsoptionen auf die Erfassung von Ausgaben und Einnahmen verlagert, die zu Beschaffungs- bzw. Absatzprozessen in den marktbezogenen Umsystemen eines Produktionssystems gehören. Vgl. ebenso den Vorschlag von KLEINER, F. (1991), S. 39f., in einer Kostenrechnung für Flexible Fertigungssysteme von den rein mengenmäßigen Abhängigkeiten auszugehen, die der Kostenentstehung im Produktionssystem zugrundeliegen. Dabei lehnt sich KLEINER explizit an die Einflußgrößenrechnung LABMANN's an.

Eine entscheidungsorientierte, im Sinne des Identitätsprinzips streng verursachungsgerechte Rechnungslegung für die Unterstützung von Koordinierungsentscheidungen ist als eine Einflußgrößenrechnung durchaus möglich. Nur besitzt sie nicht mehr den Charakter einer Kosten- und Leistungsrechnung, die auf monetäre Größen bezogen ist. Vielmehr liegt dann eine Einflußgrößenrechnung vor, die - unter Voraussetzung der oben vorgenommenen Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen - vornehmlich an Faktorzuordnungen und Arbeitsgängen ausgerichtet ist. Vgl. dazu auch das Segment "Fertigung" in der Abb. 32 bei SINZIG (1983), S. 111. Für Entscheidungen über diese Einflußgrößen lassen sich auch formale Entscheidungskonsequenzen erfassen, die innerhalb des Produktionssystems wohldefiniert sind. Nur betreffen diese Konsequenzen Beiträge zur Erfüllung von nicht-monetären Formalzielen, die konventionellen Kosten- und Leistungsrechnungen nicht zugrundeliegen. Beispielsweise kann einer Koordinierungsentscheidung als entscheidungsrelevanter Formalzielbeitrag zugeordnet werden, wie sie sich auf die durchschnittliche Durchlaufzeit oder auf die durchschnittliche Lieferterminüberschreitung eines abgewickelten Auftragspakets auswirkt. Die Verringerung von Durchlaufzeiten bzw. Lieferterminüberschreitungen stellen Formalziele dar, die angesichts der hier vorgenommenen Strukturierung von Prozeßkoordinierungen ausschließlich durch Entscheidungen innerhalb des Produktionssystems beeinflusst werden.

57) Vgl. dazu die oben vorausgesetzte pagatorische Sichtweise.

58) Vgl. HUMMEL, S. (1970), S. 182; SINZIG (1983), S. 109f.; RIEBEL (1983), S. 31; RIEBEL (1990), S. 390 u. 427; vgl. ebenso - allerdings ohne Bezugnahme auf das Identitätsprinzip - LABMANN (1968), S. 78; LABMANN (1969), S. 126 u. 133; ARNING (1987), S. 143 ("Die Zahlungen, aus denen die Kapitalbindungskosten abgeleitet werden, werden nicht fertigungsauftragsbezogen getätigt.").

59) Diese Behauptung kann hier nicht streng belegt werden. Denn dies würde erfordern, eine streng verursachungsgerechte Kosten- und Leistungsrechnung für Prozeßkoordinierungen in Flexiblen Fertigungssystemen im Detail auszuarbeiten und hierbei auch den Beschaffungs- sowie Absatzbereich zu berücksichtigen. Solche Konkretisierungen liegen aber außerhalb der Thematik dieser Arbeit. Allerdings kann auf subtile Studien verwiesen werden, die sich dem Problem gewidmet haben, verursachungsgerechte Kosten für den Materialeinsatz im Produktionsbereich auf der Basis des Identitätsprinzips zu ermitteln. Dort wird aufgezeigt, daß die Beschaffungsquanten für Material, die monetäre Wirkungen in der Gestalt von Anschaffungsausgaben nach sich ziehen, in der Regel von den Verbrauchsquanten dieses Materials in der Produktion abweichen. Beispielsweise existiert in der betrieblichen Praxis eine Vielzahl von monetär wirksamen Beschaffungskonditionen - wie z.B. Mengenrabatten oder Umsatzboni -, die zu beschaffungsquantenspezifischen Kosten führen. Bei strenger Verursachungsgerechtigkeit ist es dann oftmals unmöglich, den produktionsbezogenen Verbrauchsquanten überhaupt noch nennenswerte Kosten für den Materialverbrauch zuzuordnen. Nur in wenigen Sonderfällen liegen identische Beschaffungs- und Verbrauchsquanten vor, die es gestatten, den Entscheidungen über Verbrauchsquanten Beschaffungsausgaben verursachungsgerecht zuzuordnen. Die hier exemplarisch skizzierte Problematik der verursachungsgerechten Zurechnung der monetären Wirkungen von Entscheidungen im Beschaffungs- auf Entscheidungen im Produktionsbereich läßt sich grundsätzlich auf alle Entscheidungen über Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen (Flexiblen Fertigungssystemen) übertragen.

Insbesondere HUMMEL, S. (1970), S. 196ff., und KOLB (1978), S. 20f., haben sich mit dem Auseinanderklaffen von Beschaffungs- und Verbrauchsquanten sowie den daraus resultierenden Schwierigkeiten für eine streng verursachungsgerechte Kostenermittlung befaßt. Die Problematik der "Quantenstruktur" von kostenrechnerischen Problemen klingt - in unterschiedlicher Deutlichkeit - ebenso an bei MENRAD (1965), S. 87ff.; HUMMEL, S. (1970), S. 187ff.; SINZIG (1983), S. 121ff.; MÄNNEL (1983b), S. 59; RIEBEL (1987), S. 1158; HAUN (1987), S. 22f. (mittelbar); HORVATH (1988b), S. 122f.; RIEBEL (1989a), S. 248 u. 251ff.; RIEBEL (1989b), S. 64ff., 68 u. 73f.; RIEBEL (1990), S. 112ff., 399ff., 425f., 629, 636, 679f., 684, 688ff., 693f., 696ff. u. 714f.; KLEINER, F. (1991), S. 55, 85f., 111f., 157, 174, 176 u. 183.

Zuvor wurden nur die Schwierigkeiten skizziert, die einer verursachungsgerechten Zurechnung der monetären Wirkungen von Entscheidungen im Beschaffungs- auf Entscheidungen im Produktionsbereich entgegenstehen. Dies reicht schon aus, um das oben ausgesprochene Urteil zu belegen. Darüber hinaus lassen sich aber auch analoge Zurechnungsprobleme zwischen den Entscheidungen im Produktions- und Absatzbereich aufzeigen. Beispielsweise hat MÄNNEL (1983c), S. 67, den Quantencharakter von Absatzerlösen klar herausgearbeitet. Er führt zu den gleichen Zurechnungsdefekten, wie sie zuvor für die Beschaffungs- und Verbrauchsquanten aufgezeigt wurden. Es wird daher darauf verzichtet, die potentielle Divergenz zwischen Leistungserstellungs- und Erlösquanten hier näher zu erläutern. Vgl. statt dessen das instruktive Netzkartenbeispiel von MÄNNEL (1983c), S. 69.

60) Da eine gemeinsam zugrundeliegende identische Entscheidung oftmals fehlt, wird eine zentrale Präsupposition der Relativen Deckungsbeitragsrechnung verletzt. Es handelt sich um die Unterstellung, daß sich die kostendetermi-

nierenden Ausgaben und die leistungsbestimmenden Einnahmen auf *genau eine* Hierarchie von *gemeinsam* zugrundeliegenden Entscheidungen beziehen lassen. Nur eine solche identische Entscheidungshierarchie erlaubt es, alle identifizierten Einzelkosten und Einzelleistungen jeweils in Abhängigkeit von ihren gemeinsam zugrundeliegenden Entscheidungen zu relativen Deckungsbeiträgen zusammenzufassen. Die Existenzprämisse einer identischen Entscheidungshierarchie wird zwar in der Regel nicht offen ausgesprochen. Dennoch liegt sie den meisten Ausführungen zur Relativen Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung implizit zugrunde. Beispielsweise klingt sie an bei KLEINER, F. (1991), S. 25: "Aufgrund der Über- und Unterordnungen im Entscheidungsgefüge einer Unternehmung ... ergibt sich *eine* hierarchische Anordnung der Bezugsgrößen ... so ..., daß *sämtliche* Kostenarten an irgendeiner Stelle als Einzelkosten erfaßt werden können ... Die Erfassung der Erlöse erfolgt in *gleicher* Weise." (kursive Hervorhebungen durch den Verfasser). Auf S. 27 fährt KLEINER, F. (1991) im selben Sinne fort: "Aufbauend auf der Grundrechnung sollen ... die jeweils relevanten Kosten und Erlöse der zu untersuchenden Entscheidungsalternativen ermittelt und in der Deckungsbeitragsrechnung einander gegenübergestellt werden."

Nun fallen aber Beschaffungs- und Verbrauchsquanten einerseits sowie Leistungs- und Absatzquanten andererseits des öfteren auseinander. Das wurde in der voranstehenden Anmerkung erläutert. Folglich muß stets damit gerechnet werden, daß die Zurechnungshierarchien für Beschaffungs-, Verbrauchs-, Leistungs- und Absatzentscheidungen nicht zusammenfallen. Lediglich die Hierarchien der Verbrauchs- und Leistungsentscheidungen lassen sich im Regelfall miteinander identifizieren. Denn dieselbe Koordinierungsentscheidung im Produktionsbereich integriert gewöhnlich eine simultane Verbrauchs- und Leistungsentscheidung. Die involvierten Verbrauchs- und Leistungsentscheidungen stellen lediglich input- bzw. outputbezogene Facetten derselben Koordinierungsentscheidung über die Ausführung eines Produktionsprozesses dar. Das hat RIEBEL immer wieder als "doppelte Wirkung" einer Produktionsdisposition hervorgehoben. Vgl. z.B. RIEBEL (1990), S. 419. Es verbleiben aber die bereits erläuterten Diskrepanzen gegenüber Beschaffungs- und Absatzentscheidungen. Daher bestehen im allgemeinen (mindestens) *drei verschiedene* Entscheidungshierarchien: eine Hierarchie der Beschaffungsentscheidungen, eine Hierarchie der Produktionsentscheidungen sowie eine Hierarchie der Absatzentscheidungen. Zwischen diesen drei Entscheidungshierarchien muß keine "prästabilisierte Harmonie" herrschen. Vielmehr können sie wegen der disparaten "Quanteneffekte" auf vielfältige Weise voneinander abweichen. In dem Ausmaß, in dem die drei Hierarchien auseinanderfallen, ist es nicht mehr möglich, die relativen Einzelkosten aus der Hierarchie der Beschaffungsentscheidungen von den relativen Einzelleistungen aus der Hierarchie der Absatzentscheidungen abzuziehen und als relative Deckungsbeiträge den Entscheidungen aus der Hierarchie der Produktionsentscheidungen zuzuordnen. Zwar führt KLEINER, F. (1991), S. 59f., zwei Bezugsgrößenhierarchien ein. Doch werden sie nicht innerhalb derselben Auswertungsrechnung, sondern lediglich in unterschiedlichen Auswertungsrechnungen auf alternative Weise verwendet. Darüber hinaus werden sie nur auf Entscheidungen innerhalb des Produktionsbereichs bezogen, nicht aber auf Beschaffungs- oder Absatzentscheidungen. Daher leisten KLEINER's zwei Bezugsgrößenhierarchien keinen Beitrag zu der voranstehend skizzierten Problematik, daß die Hierarchien für Entscheidungen im Beschaffungs-, Produktions- und Absatzbereich auseinanderfallen können.

61) Dieser paradox anmutende Sachverhalt kündigt sich bereits - in tendenzieller, aber nicht absoluter Hinsicht - in der Feststellung von MÄNNEL (1983a), S. 1189, an, "daß mit zunehmender Strenge der Produktionsverbundenheit der Tendenz nach immer weniger ... Kosten als Einzelkosten ... aufgefaßt werden können." Vgl. auch KLAMROTH (1972), S. 4 u. 6.

Allenfalls kommen die Ausgaben für Betriebsstoffe als Einzelkosten im strengen Sinne in Betracht. Denn die Betriebsstoffe lassen sich - wie vor allem elektrische Energie - kaum lagern. Ihr Verzehr wird zumeist auch von Dispositionen über den Produktionsablauf unmittelbar betroffen. Ihr Anteil an den gesamten Produktionskosten ist bei industrieller Stückgüterproduktion aber oftmals nur unbedeutend. Darüber hinaus könnte der Einwand von KLAMROTH (1972), S. 5, ins Feld geführt werden, daß sich noch nicht einmal Energiekosten streng verursachungsgerecht als Einzelkosten behandeln lassen. Zwar treffen die dort angeführten Beispiele *prima facie* nur auf die chemische Industrie zu. Doch haben z.B. HAUPT und KNOBLOCH ausführlich gezeigt, daß ähnliche Kostenverursachungen durch An-, Warm- und Heißlaufprozesse von Betriebsmitteln allgemeine produktionswirtschaftliche Bedeutung erlangen können. Vgl. HAUPT (1987), S. 58ff., 74ff. u. 101ff.; KNOBLOCH (1990), S. 66ff. u. 81ff. Darauf wurde schon in einer früheren Anmerkung kurz hingewiesen.

62) Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangt KAISER, K. (1991), S. 24f.: "Im theoretischen Grenzfall ... wäre eine Einzelkostenzuordnung auf untergeordnete Funktionen, Kostenstellen oder Kostenplätze gar nicht mehr möglich ...". Jedoch nimmt KAISER in seinen Zuordnungsoptionen nicht direkt auf die hier präferierte Entscheidungsorientierung Bezug. Vgl. auch zu den besonderen Schwierigkeiten, verursachungsgerechte Kosten- und Leistungsrechnungen für Flexible Fertigungssysteme zu konzipieren, die Anmerkungen bei WILDEMANN (1987a), S. 23f. u. 209ff. Allerdings wird dort anders als in dieser Arbeit argumentiert.

63) Der Verf. vermag sich in dieser Hinsicht nicht der These von MÄNNEL (1983a), S. 1192, anzuschließen, der zufolge die Relative Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung gerade dann "besonders ratsam, ja notwendig erscheint", wenn aufgrund hoher Gemeinkostenanteile die verursachungsgerecht ermittelbaren Einzelkosten immer weiter zurückgehen.

64) Die voranstehend skizzierten Schwierigkeiten von streng verursachungsgerechten Kosten- und Leistungsrechnungen ließen sich theoretisch einwandfrei dadurch überwinden, daß eine integrierte Beschaffungs-, Produktions- und Absatzkoordinierung betrieben würde. Als Entscheidungsalternativen wären Komplexentscheidungen zu betrachten, durch die Teilentscheidungen im Produktionssystem mit ausgaben- oder einnahmenverursachenden Teilentscheidungen im Beschaffungs- bzw. Absatzbereich jeweils zu einer Entscheidungseinheit zusammengefaßt würden. Ein solches "Totalkonzept" wird in dieser Arbeit aufgrund seiner erheblichen Koordinierungskomplexität jedoch nicht weiter verfolgt. Der Verf. hegt beträchtliche Skepsis gegenüber solchen Totalkonzepten; vgl. ähnliche Vorbehalte bei GÜNTHER, H. (1988), S. 93. Gegen eine Integration zuvor separat behandelter Partialkoordinierungen spricht, daß sie eine erhebliche Zunahme der Koordinierungskomplexität nach sich zieht. Diese Komplexität wird entweder nicht zufriedenstellend bewältigt, so daß die Totalkonzepte theoretische Konstrukte ohne praktische Anwendungsmöglichkeit bleiben. Oder die Komplexitätszunahme wird durch eine entsprechende Reduzierung der Konzeptualisierung des realen Koordinierungsproblems so weit kompensiert, daß das Totalkonzept zwar praktisch angewendet werden kann, aber das ursprüngliche Koordinierungsproblem nicht mehr "adäquat" widerspiegelt. Beide Alternativen sieht der Verf. als unfruchtbar an.

65) Vgl. diesbezüglich die knappen, aber das Wesentliche treffenden Feststellungen von HORVATH (1988b), S. 120: "Das System der Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung ist noch nirgendwo praktisch realisiert. ... Die Einzelkostenrechnung ... überfordert in der puristischen Idealform die Praxis." Dabei spielt HORVATH mit dem Begriff der Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung auf RIEBEL's Identitätsprinzip und die darauf basierende entscheidungsorientierte Kosten- und Leistungsrechnung an. Ähnlich äußert sich WEBER, J. (1990a), S. 275: "Dennoch findet sich derzeit kaum ein Unternehmen, das das Konzept der Einzelkostenrechnung verwirklicht." Vgl. auch KLAMROTH (1972), S. 13 ("unter den Gegebenheiten und Anforderungen der Praxis ... erhebliche Vorbehalte"); KILGER (1983), S. 164; KLEINER, F. (1991), S. 33 ("ist ... noch keine praktische Realisierung der Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung bekannt").

66) Weitere praktische Anwendungsprobleme der Relativen Einzelkostenrechnung werden erläutert bei KLAMROTH (1972), S. 4ff. u. 11ff.; MÄNNEL (1983c), S. 61ff. (allerdings in bezug auf die komplementäre Relative Einzelerlösrechnung, und zwar in ihrer Ausformung als erlösbezogene Zeitablaufrechnung); WEBER, J. (1990a), S. 275ff.; FRANZ, K. (1990b), S. 114; KLEINER, F. (1991), S. 27ff. u. 33 (mit besonderem Schwergewicht auf Mängeln bei der Kostenplanung) sowie S. 97.

67) Vgl. KLAMROTH (1972), S. 3f. u. 7; LABMANN (1983), S. 89; KLOOCK (1990a), S. 201; WEBER, J. (1990a), S. 276f.; WARNICK (1991a), S. 36.

Allerdings hat RIEBEL (1983), S. 45f., und RIEBEL (1990), S. 427f., bereits pragmatische Vereinfachungsvorschläge unterbreitet, um der o.a. Kritik zu begegnen.

68) Hiermit ist nicht das Operationalitätsverständnis gemeint, das im modelltheoretischen Rahmen eingeführt wurde und später der Beurteilung des Petrinetz-Konzepts zugrundeliegt. Vielmehr ist hier der alternative Operationalitätsbegriff gemeint, der in einer der voranstehenden Anmerkungen erwähnt wurde.

69) Ob sich diese Grenzen selbst "operational" festlegen lassen, mag bezweifelt werden. Es liegt aber nicht mehr im Interesse dieser Arbeit, den Schwierigkeiten ihrer Konkretisierung nachzugehen. Vgl. statt dessen die allgemeinen Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit der Rechnungslegung bei ZIMMERMANN, J. (1979), S. 504ff.; KLEINER, F. (1991), S. 261f.

70) Vgl. zu Vorhaltungen der Inoperationalität, der mangelhaften Praktikabilität, des unzumutbaren Durchführungsaufwands u.ä. KLAMROTH (1972), S. 5ff., 9, 11 u. 14; LABMANN (1973), S. 15; KILGER (1983), S. 164; KILGER (1988), S. 94 u. 97f.; KLOOCK (1990a), S. 201; WEBER, J. (1990a), S. 275; WARNICK (1991a), S. 35.

Vgl. aber auch zur Entkräftung des Vorwurfs mangelnder Operationalität die entgegengesetzte Argumentation von MÄNNEL (1983a), S. 1193, daß sich gerade die Relative Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung auf der Basis relationaler Datenbanksysteme für eine anwendungsfreundliche Implementierung auf Automatischen Informationsverarbeitungssystemen empfehle. Auch VIKAS (1991), S. 10, hebt auf solche Datenbanksysteme ab, um zugunsten der "praktischen Anwendbarkeit" der Relativen Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung zu plädieren. Dies unterstreichen mehrere bereits vorgelegte Implementierungen dieses Rechnungslegungskonzepts; vgl. HAUN (1987), S. 53ff.; MERTENS (1988c), S. 214 u. 216ff., insbesondere S. 218ff.; MERTENS (1991a), S. 180ff.; WARNICK (1991a), S. 38. Vgl. auch zu entsprechenden konzeptionellen Vorstudien RIEBEL (1981b), S. 471ff.; RIEBEL (1982), S. 93ff.; SINZIG (1983), S. 55ff. Vgl. schließlich die Hinweise bei SCHWEITZER, M. (1986), S. 478f.; RIEBEL (1987), S. 1162f.; RIEBEL (1989b), S. 73; RIEBEL (1990), S. 631, 640 u. 688; WEBER, J. (1990a), S. 257ff.; WARNICK (1991a), S. 37ff. Allerdings klingt bei SCHWEITZER, M. (1986), S. 479, eine deutliche Skepsis gegenüber dem Einsatz relationaler Datenbanksysteme für Relative Einzelkostenrechnungen an. Ebenso äußern WEBER, J. (1990a), S. 275, und WARNICK (1991a), S. 39, die Ansicht, daß in der betrieblichen Praxis derzeit keine relationalen Datenbanksysteme zur Verfügung ständen, deren Leistungsvermögen für den praktischen Einsatz der Relativen Einzelkostenrechnung ausreiche. WARNICK (1991a), S. 38ff., betrachtet die oben angesprochenen Implementierungen der Relativen Einzelkostenrechnung als Pilotprojekte, die im Rahmen von Forschungsvorhaben auf praxisferne kleine Datenvolumina

begrenzt worden seien (insbesondere S. 40). Der Verf. vermag diese Einwendungen jedoch nicht nachzuvollziehen, solange diejenigen Leistungsmerkmale und Datenvolumina im Dunkeln bleiben, die WEBER und WARNICK für einen praktisch interessanten Datenbankeinsatz als notwendig erachten.

Darüber hinaus moniert WEBER, J. (1990a), S. 275, den beträchtlichen Aufwand, der anfällt, um die erforderlichen Informationen für eine derart differenzierte Kosten- und Leistungsrechnung zu erheben. Dieses Aufwandsargument läßt sich aber entkräften. Denn die hochgradige Automatisierung flexibler Fertigungssysteme eröffnet neuartige Möglichkeiten für eine automatische Informationserfassung und -weiterleitung. Diese Optionen hat KAISER, K. (1991), S. 40ff., ausführlich erörtert.

71) Vgl. zu einer ähnlichen pragmatischen Einstellung gegenüber der Relativen Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung KLAMROTH (1972), S. 9ff. Allerdings geht der Verf. in den nachfolgend skizzierten Konzessionen an die Praktikabilität der Rechnungslegung nicht so weit, wie es in der vorgenannten Quelle der Fall ist. Vgl. dazu die exemplarische Erläuterung zur Behandlung von Kapitalbindungskosten.

Der Verf. konzidiert, daß in der Aufweichung der Entscheidungsorientierung eine Verletzung des sonst bevorzugten Kohärenzgedankens liegt. Würde am Kohärenzpostulat jedoch starr festgehalten, so müßte auf die kosten- und leistungsbezogene Bewertung von Entscheidungsalternativen bei der Prozeßkoordinierung verzichtet werden. Es blieben dann zwar noch Optionen offen, den Koordinierungsentscheidungen andere formale Entscheidungswirkungen zu Bewertungszwecken zuzuordnen. Darauf wurde bereits in einer der voranstehenden Anmerkungen hingewiesen. Aber der Verzicht auf Kosten- und Leistungsrechnungen als Bewertungsfundament für Koordinierungsentscheidungen bedeutete, sich von betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis abzukoppeln. Auch dies könnte unter Kohärenzgesichtspunkten abgelehnt werden. Denn auf diese Weise ginge der Argumentationszusammenhang zwischen Modellierungskonzept und einem weiteren Bereich der Betriebswirtschaftslehre verloren. Angesichts einer solchen Konsequenz nimmt der Verf. lieber die oben eingeräumte Beschneidung des Kohärenzgedankens in Kauf.

72) Vgl. dazu die Andeutung pragmatischer Einschränkungen der verursachungsgerechten Entscheidungsorientierung bei HORVATH (1988b), S. 120.

Zugleich gestattet die oben vorgetragene Formulierung aber auch, an einem strengen Verursachungsdenken festzuhalten. Denn es steht in der Gestaltungsfreiheit des Entscheidungsträgers, nur solche Kosten und Leistungen als entscheidungsrelevant zu erachten, die strikt verursachungsgerecht ermittelt sind.

73) Vgl. beispielsweise den späteren Hinweis, im Rahmen der Fallstudie bei der Modellierung von Bearbeitungsstationen die Berücksichtigung von Maschinenstundensätzen - also typischen Verrechnungsgrößen - zuzulassen.

74) Der gleiche Gedanke, zwischen pragmatischen Bewertungsbedürfnissen der Kosten- und Leistungsrechnung auf der einen Seite sowie strengen produktions- und kosten-theoretischen Erkenntnissen auf der anderen Seite einen Kompromiß zu schließen, findet sich z.B. auch bei LABMANN (1973), S. 17 (dort in bezug auf die Ermittlung des Periodenerfolgs).

75) Z.B. werden als Operationskosten einer Bearbeitungsstation alle Kosten der Operationsausführung zugelassen, die der Entscheidungsträger jeweils als entscheidungsrelevant ansieht. Dabei kann es sich auch um die nutzungsunabhängigen, rein zeitbezogenen Abschreibungen auf Bearbeitungsmaschinen und zugehörige Anlagen handeln. Dann liegen allerdings Kostenverrechnungssätze vor, die bereits kritisiert wurden.

76) Beispielsweise lassen sich den Koordinierungsentscheidungen, die der Abwicklung eines Produktionsauftrags dienen, auf der Grundlage des Identitätsprinzips keine auftragsspezifischen Kapitalbindungskosten zuordnen. Denn weder die kapitalbindenden Auszahlungen für den Erwerb von Vorprodukten am Beschaffungsmarkt noch die kapitalfreisetzen den Einzahlungen für die Veräußerung von Endprodukten am Absatzmarkt werden durch Koordinierungsentscheidungen im Produktionssystem verursacht. (Hier werden Aus- und Einzahlungen betrachtet, da nur sie als liquiditätswirksame Sonderfälle von Ausgaben bzw. Einnahmen für die Bindung bzw. Freisetzung von Kapital relevant sind.) Daher können Kapitalbindungskosten in einer streng verursachungsgerechten Kosten- und Leistungsrechnung nicht in die Bewertung von Entscheidungsalternativen einfließen, die hinsichtlich der Prozeßkoordinierung im Produktionssystem offenstehen. Statt dessen dürften nur die *liquiditätswirksamen* Kosten- und Leistungsanteile (Aus- bzw. Einzahlungen) berücksichtigt werden. Dies wird z.B. von RIEBEL (1988), S. 273ff., RIEBEL (1990), S. 668ff., näher ausgeführt.

Eine derart differenzierte Vorgehensweise widerspricht jedoch der betriebswirtschaftlichen Bewertungspraxis. So wendet sich z.B. KILGER (1988), S. 97, entschieden gegen die Differenzierung von Kosten nach ihrer Liquiditätswirksamkeit - allerdings ohne stringente Begründung. Darüber hinaus wird das Formalziel, die Durchlaufzeiten von Aufträgen zu minimieren, in weniger differenzierter Weise gerechtfertigt, als es oben skizziert wurde. Statt dessen wird oftmals unterstellt, daß eine Reduzierung der Durchlaufzeiten generell dazu beitrage, die Kosten der Kapitalbindung im Produktionssystem niedrig zu halten. Vgl. zu dieser konventionellen Verknüpfung von kurzen Auftragsdurchlaufzeiten (Liegezeiten o.ä.) und geringen Kapitalbindungskosten (Bestandskosten o.ä.) MUSCATI (1970), S. 37; HUMMEL, S. (1986), S. 178; RIEBEL (1987), S. 1154f.; ZHANG, S. (1989), S. 99; KERN, W. (1990a), S. 260; WILDEMANN (1990a), S. 616; KAISER, K. (1991), S. 21. Andere Begründungen beziehen sich auf "Geschwindigkeitsprämien", die vom Kunden dafür gezahlt werden, daß ein Auftrag früher als vertraglich notwendig geliefert wird.

Oder es werden Absatzerlösminderungen angeführt, die infolge des Überschreitens vertraglich vereinbarter Liefertermine als unmittelbare Verzugs"kosten" oder als mittelbarer goodwill-Verlust in Erscheinung treten; vgl. HOLLANDER (1981), S. 53f. Vgl. zu weiteren, ähnlich gelagerten Argumenten zugunsten kurzer Durchlaufzeiten WILDEMANN (1990a), S. 616. Die vorgenannten Rechtfertigungsvarianten lassen jedoch Komplikationen außer acht, die bei fixen Lieferterminen auftreten können: In diesem Fall ist es möglich, daß kurze Durchlaufzeiten zu großen Endlagerzeiten der vollständig bearbeiteten Produkte vor ihrer Auslieferung an den Kunden führen. Die hohe Kapitalbindung in den Endprodukten kann dann die Kapitalbindungskosten insgesamt höher ausfallen lassen, als wenn längere Auftragsdurchlaufzeiten realisiert worden wären. Vgl. zu dieser Abhängigkeit der Kapitalbindungskosten vom Bearbeitungsfortschritt eines Auftrags ZHANG, S. (1989), S. 99f. (dort allerdings in seinen Konsequenzen nicht zu Ende gedacht). Daher ist es strenggenommen möglich, daß bei fixen Lieferterminen im Interesse niedriger Kapitalbindungskosten bewußt Verlängerungen der Durchlaufzeit in Kauf genommen werden, wenn sie sich auf die Vor- und Zwischenlagerzeiten von Werkstücken erstrecken, die wegen noch geringen Bearbeitungsfortschritts nur eine relativ geringe Kapitalbindung bedeuten. Dieser Überlegung entspricht die Empfehlung von HELBERG (1987), S. 177, Werkstückbestände vor allem in den letzten Produktionsstufen zugunsten von Beständen auf frühen Produktionsstufen mit noch geringer Wertschöpfung zu unterlassen. Statt dessen wird versucht, Aufträge erst so nahe wie möglich an ihren Lieferterminen fertigzustellen, um kapitalbindungsintensive Endlagerzeiten zu vermeiden; vgl. NIEB (1980), S. 19 u. 37; WÄSCHER (1987), S. 300. Dies äußert sich auch in dem Bestreben, den größten Kapitalbindungszuwachs möglichst nahe am Liefertermin erfolgen zu lassen. Vgl. dazu die "Kompression der Wertzuwachskurve", wie sie von HORVATH (1988b), S. 128 u. 130f., und FÖRDERKREIS BETRIEBSWIRTSCHAFT STUTTGART (1988), S. 351f., beschrieben wird.

Selbst wenn vom voranstehend skizzierten, konterkarierenden Effekt abstrahiert wird, so beruht die Rückführung des Ziels kurzer Durchlaufzeiten auf das Ziel niedriger Kapitalbindungskosten immer noch auf einer gravierenden Präsupposition: Sie setzt voraus, daß Koordinierungsentscheidungen im Produktionssystem die Kapitalbindungskosten während der Abwicklung eines Auftrags tatsächlich beeinflussen. Folglich wird gegen die eingangs skizzierte, strenge Perspektive des Identitätsprinzips verstoßen, der zufolge kapitalbindende und -freisetzende Entscheidungen nicht im Produktions-, sondern nur im Beschaffungs- bzw. Absatzbereich erfolgen. Statt dessen herrscht die Ansicht vor, kürzere Auftragsdurchlaufzeiten "verursachen" auch eine geringere Kapitalbindung durch die abgewickelten Aufträge. Die Multiplikation der Kapitalbindung mit einem konstanten kalkulatorischen Zinssatz impliziert dann, daß die Kapitalbindungskosten eines Auftrags um so geringer ausfallen, je schneller er durch ein Produktionssystem geschleust wird.

Um die beiden zuvor erwähnten Bewertungskonzepte einander näherzubringen, wird in dieser Arbeit - vgl. dazu die später präsentierte Fallstudie - wie folgt verfahren: Als Konzession an die betriebswirtschaftliche Bewertungspraxis wird grundsätzlich zugelassen, die Kapitalbindung und die daraus abgeleiteten Kapitalbindungskosten als Determinante von Aufträgen zu modellieren. Dabei wird die übliche Konvention geteilt, für die Ermittlung der Kapitalbindung eines Auftrags alle Kosten zu berücksichtigen, die durch Koordinierungsentscheidungen zum Zwecke der Auftragsabwicklung verursacht werden. Bei diesen "kapitalbindenden" Auftragseinzelkosten kann es sich z.B. um die Bereitstellungskosten von Vor- und Zwischenprodukten handeln, die in die auftragspezifischen Endprodukte eingehen, sowie um Bearbeitungskosten, die für die Ausföhrung von Arbeitsgängen an den involvierten Bearbeitungsstationen anfallen. Es wird dann vom Einwand des Identitätsprinzips abstrahiert, daß jene Koordinierungsentscheidungen überhaupt keine kapitalbindenden Auszahlungen - also a fortiori auch nicht in Höhe der veranschlagten Kosten - verursacht haben. Vgl. zu dieser betriebswirtschaftlich üblichen Ermittlung von Kapitalbindungskosten HUMMEL, S. (1986), S. 174ff.; SCHWEITZER, M. (1986), S. 154; KLOOCK (1990a), S. 103ff.

Allerdings wird von der groben Kalkulationspraxis abgewichen, die durchschnittliche Kapitalbindung eines Auftrags als die Hälfte seiner akkumulierten Auftragseinzelkosten anzusetzen. Denn diese Durchschnittsbetrachtung läßt außer acht, zu welchen Zeitpunkten welche "kapitalbindenden" Auftragseinzelkosten durch Koordinierungsentscheidungen verursacht werden. Tatsächlich kann die Kapitalbindung in Abhängigkeit von den jeweils getroffenen Koordinierungsentscheidungen und von den dadurch verursachten Kosten im Zeitablauf erheblich schwanken. Vgl. dazu grundsätzlich KÜPPER, WE. (1984), S. 97f. Vgl. darüber hinaus mit speziellem Bezug auf Produktionsprozesse HELBERG (1987), S. 50f.; HORVATH (1988b), S. 121 u. 127ff.; FÖRDERKREIS BETRIEBSWIRTSCHAFT (1988), S. 349ff.; WILDEMANN (1988f), S. 284ff.; URBAN (1988), S. 361f. Der zeitlich variable Kapitalbindungsverlauf schlägt sich besonders anschaulich in Diagrammen nieder, in denen die Zunahme der Kapitalbindung oder der gesamten Herstellkosten eines Auftrags über der Zeit abgetragen wird, die während der Auftragsabwicklung verstreicht. Vgl. zu solchen Kapitalbindungskurven, Wertzuwachskurven u.ä. WÄSCHER (1987), S. 303; HORVATH (1988b), S. 130f.; FÖRDERKREIS BETRIEBSWIRTSCHAFT (1988), S. 351f.; ZHANG, S. (1989), S. 98f., insbesondere Abb. 2 auf S. 99; RIEDLINGER (1989), S. 372; KERN, W. (1990a), S. 259, Abb. 84. Darüber hinaus wird mitunter angeregt, Kapitalbindungskosten differenziert nach dem Betriebsbereich oder der Kostenstelle ihrer Entstehung zu erfassen; vgl. SCHERRER (1991), S. 337. Dadurch läßt sich eine weiterreichende sachliche Präzisierung der Kostenverursachung erreichen.

Um den Kapitalbindungsverlauf verursachungsgerecht und zeitnah abzubilden, wird die Auftragsabwicklung später in Netzmodellen so repräsentiert, daß jede *einzelne* Koordinierungsentscheidung die Kapitalbindung des betroffenen Auftrags *im Entscheidungszeitpunkt* exakt um den Betrag erhöht, der an entscheidungsabhängigen Einzelkosten ver-

ursacht worden ist. Auf diese Weise unterbleibt jede nivellierende Durchschnittsbetrachtung. Statt dessen werden die "kapitalbindenden" Einzelkosten der Auftragsabwicklung in Netzmodellen zeitgenau erfaßt. Zugleich lassen sich diese Einzelkosten sachlich präzise jenen Betriebsbereichen oder Kostenstellen zuordnen, in denen die einzelnen Koordinierungsentscheidungen jeweils getroffen wurden. Diese Konzeptualisierung der Kapitalbindung verhält sich zwar nicht streng verursachungsgerecht im Sinne des Identitätsprinzips. Denn die Einzelkosten von Koordinierungsentscheidungen führen aus der Perspektive des Identitätsprinzips im allgemeinen zu keiner Kapitalbindung. Dies wurde oben durch das Auseinanderfallen von Koordinierungsentscheidungen im Produktionsbereich einerseits sowie kapitalbindenden Auszahlungen im Beschaffungsbereich andererseits begründet. Aber immerhin erweist sich die Konzeptualisierung der Kapitalbindung noch als verursachungsgerecht hinsichtlich der kostenverursachenden Koordinierungsentscheidungen. Dies exemplifiziert den oben angedeuteten Kompromiß zwischen betriebswirtschaftlicher Bewertungspraxis einerseits und Annäherung an das Ideal einer strengen Verursachungsgerechtigkeit andererseits. Dieser Kompromißcharakter wird auch deutlich bei WEBER, J. (1990a), S. 255 u. 269f. Er weist zu Recht darauf hin, daß die Kopplung zwischen Produktions- und Beschaffungsentscheidungen aus dem Blickwinkel der Relativen Einzelkostenrechnung strenggenommen nicht zulässig ist. Dennoch könne diese Vorgehensweise durch explizite Setzung einer entsprechenden Kopplungsprämisse als "standardmäßige Bewertung" (S. 255) für die betriebswirtschaftliche Praxis gerechtfertigt werden.

Zugleich wird eines der Bedenken widerlegt, die gegenüber der Berücksichtigung von Kostenzielen bei der Prozeßkoordinierung angeführt wurden. Dort wurde moniert, eine Kostenerfassung sei so zeitnah, wie es für Koordinierungsentscheidungen im Produktionsbereich erforderlich sei, überhaupt nicht möglich. Die hier skizzierte zeitnahe Konzeptualisierung des Kapitalbindungsverlaufs während der Auftragsabwicklung erledigt jenen Vorbehalt. Dies unterstreicht auch ZHANG, S. (1989), S. 100, mit der Feststellung, daß sich durch die Aufzeichnung eines solchen Kapitalbindungsverlaufs "die Möglichkeit ergibt, die Kostenrechnung mit der aktuellen Zeitachse des Fertigungsablaufs zu verbinden".

Auf diese Weise wird der Forderung Rechnung getragen, die Kapitalbindung im Umlaufvermögen solle sachlich detailliert und zeitlich differenziert erfaßt werden. Ein solches Postulat wird zwar selten explizit ausgesprochen, aber doch oftmals implizit unterstellt; vgl. z.B. FÖRDERKREIS BETRIEBSWIRTSCHAFT (1988), S. 349 (dort als "Darstellung der bestandsverursachenden Faktoren der Fertigung im Zeitverlauf" im Gegensatz zu konventionellen "Huckepack-Verfahren", bei denen Kapitalbindungskosten in Gemeinkostenzuschlägen pauschal erfaßt werden), und KAISER, K. (1991), S. 38 (Es "fehlen dem Kostenstellenleiter in der traditionellen Kostenstellenberichterstattung ... Angaben ... zur Kapitalbindung im Umlaufvermögen der Kostenstelle.") u. S. 58. Die naheliegende Schlußfolgerung, in Produktionsmodellen die entsprechende Entwicklung der Kapitalbindung in einzelnen Produktionsaufträgen sach- und zeitgerecht explizit abzubilden, wird dagegen in der Regel nicht gezogen. Vgl. abermals FÖRDERKREIS BETRIEBSWIRTSCHAFT (1988), S. 350ff. Dort wird zwar angeführt: "Die jeweiligen Durchlaufzeiten und Stückkosten eines Produktes lassen sich mit der Wertzuwachskurve darstellen." (S. 351). Doch wird an keiner Stelle des Beitrags eine solche *produktindividuelle* Wertzuwachskurve dargestellt geschweige denn ausgewertet. Dies wird besonders deutlich an der dort vorgetragenen - vom Verf. nicht geteilten - Einschätzung: Ziel der Fertigungssteuerung ... ist nicht die Verfolgung eines einzelnen Auftrages ... (S. 350). Sie widerspricht dem voranstehenden Zitat. (Es könnte zwar unter Berufung auf die Wirtschaftlichkeit der Kostenrechnung auf eine solche detaillierte Berücksichtigung der Kapitalbindung in einzelnen Aufträgen verzichtet werden. Doch auch ein solches Argument findet sich in der gesichteten Literatur zur Prozeßkoordinierung nicht.)

Dieses Detaillierungsdefizit wird in der später präsentierten Fallstudie überwunden. Sie erfaßt nicht nur den zeitlichen Kapitalbindungsverlauf für jeden Produktionsauftrag. Vielmehr wird sogar die Kapitalbindung in jedem einzelnen Werkstück erfaßt, das an der Abwicklung eines Produktionsauftrags teilnimmt. Allerdings wird sich auch zeigen, daß das Detaillierungsniveau dabei extrem erhöht wird. Dies wird anhand der transportbedingten Zunahme von Kapitalbindungskosten in einer anderen Anmerkung exemplarisch verdeutlicht. Dort werden Kostenbeträge in der Größenordnung von weniger als 1 Pfennig ausgewiesen. Ob eine derart detaillierte Ermittlung der Kapitalbindung und ihrer Kosten tatsächlich gewünscht ist, muß der Modellierungsträger jeweils selbst entscheiden. Erwägungen, die den Aspekt der Wirtschaftlichkeit von Kostenrechnungen betonen, können ihn durchaus veranlassen, auf dieses Detaillierungsniveau zu verzichten. Dagegen fordert RIEBEL explizit, die "Länge und Lage der Bindungsdauer" zu erfassen, um "die wirklichkeitsnahe Abbildung der zeitlichen Dimension" der Kosten- und Leistungsrechnung zu gewährleisten (RIEBEL (1988), S. 258; RIEBEL (1990), S. 652). Vgl. zu einer ähnlichen Forderung, die Zeitpunkte von Entscheidungen sowie ihre Wirkungen auf Ausgaben und Auszahlungen abzubilden, RIEBEL (1989a), S. 254; RIEBEL (1990), S. 699. Im Rahmen der Prozeßkostenrechnung vertritt WÄSCHER (1987), S. 311, sogar die Forderung: "In den Kalkulationswerten als Basis für Entscheidungen müssen sich die Kapitalbindungskosten *teileindividuell* und wertmäßig eindeutig sichtbar niederschlagen" (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Damit unterstreicht WÄSCHER die oben erwähnte *werkstückindividuelle* Erfassung des Kapitalbindungsverlaufs. Zugleich wird nochmals deutlich, daß sich die Prozeßkostenrechnung durch Netzmodelle für Produktionssysteme bereichern läßt. Denn in den Werken zur Prozeßkostenrechnung findet sich kein Hinweis darauf, wie WÄSCHER's Postulat konkret eingelöst werden könnte. Die später präsentierte Fallstudie zeigt dagegen eine Realisierungsmöglichkeit für teileindividuelle Erfassungen von Kapitalbindungskosten auf.

2.4.2.3 Flexibilitätsaspekte

2.4.2.3.1 Schwierigkeiten konventioneller Koordinierungskonzepte

Die Kritik, entscheidungstheoretische Problemkonzeptualisierungen litten unter unzureichender Flexibilität, knüpft zunächst daran an, daß in konventionellen Entscheidungsmodellen die Berücksichtigung von Optimierungszielen dominiert¹⁾. Hinzu tritt die Annahme, daß bei der Koordinierung von Produktionssystemen stets mit Störungen gerechnet werden muß²⁾. Als Produktionsstörungen kommen alle unerwarteten Veränderungen der Produktionssituation in Betracht³⁾. Dabei kann es sich sowohl technisch⁴⁾ als auch um dispositiv⁵⁾ bedingte Produktionsstörungen handeln. In dieser Arbeit wird grundsätzlich von störanfälligen Produktionssystemen ausgegangen⁶⁾. Die Konsequenzen dieser Prämisse werden anschließend näher ausgeleuchtet. Ziel ist dabei, grundlegende Anforderungen an Konzepte herauszuarbeiten, die speziell auf die Prozeßkoordinierung in störanfälligen Produktionssystemen zugeschnitten sind⁷⁾.

Optimierungsmodelle⁸⁾ leiden unter mangelhafter Robustheit⁹⁾ gegenüber unerwartet eintretenden Produktionsstörungen¹⁰⁾. Denn aus der Eigenart von Optimierungszielen, lediglich Modellösungen mit minimaler oder maximaler Zielerfüllung zuzulassen, resultiert eine unerwünschte Nebenwirkung: In der Regel¹¹⁾ verlieren frühere optimale Lösungen von Entscheidungsmodellen ihre Geltung, sobald sich die Produktionssituation in unvorhergesehener Weise verändert. Daher können Optimierungsmodelle überaus sensitiv auf wechselnde Produktionssituationen reagieren.

Dies spielt so lange kaum eine Rolle, wie theoretische Koordinierungsprobleme betrachtet werden, in denen von realen Variationen der Produktionssituation abstrahiert werden kann. Sobald Entscheidungsmodelle jedoch eingesetzt werden, um reale Koordinierungsprobleme zu bewältigen, wirkt sich die mangelhafte Robustheit von Optimierungsmodellen auf deren praktische Anwendung zumeist prohibitiv aus: Noch bevor eine optimale Modelllösung in Koordinierungsanweisungen für das betrachtete Produktionssystem umgesetzt und dort verwirklicht worden ist, hat sich die Produktionssituation oftmals schon wieder so stark verändert, daß die frühere Lösung unter der veränderten Situation nicht mehr optimal ist. Entsprechend dem Optimierungsanspruch solcher Entscheidungsmodelle müßte eine neue Optimallösung für die veränderte Produktionssituation ermittelt werden. Sie wäre abermals der Gefahr ausgesetzt, schon vor ihrer Realisierung überholt zu sein. Dieses Wechselspiel zwischen dem Bestimmen optimaler Modellösungen und ihrem störungsbedingten Ungültigwerden kann sich beliebig oft wiederholen, ohne daß sich jemals eine der optimalen Modellösungen verwirklichen läßt. Daher¹²⁾ eignen sich Optimierungsmodelle für die Bewältigung realer Koordinierungsprobleme bei variablen Produktionssituationen im allgemeinen nicht¹³⁾.

Die herausragende Eigenschaft flexibler Fertigungssysteme, vor deren Hintergrund hier argumentiert wird, besteht aber gerade darin, aufgrund ihrer immanenten Systemflexibilität¹⁴⁾ den Wechsel zwischen unterschiedlichen Produktionssituationen besonders zu forcieren. Daher erweist sich das Robustheitsdefizit von Optimierungsmodellen vor allem für die Prozeßkoordinierung in flexiblen Fertigungssystemen als besonders hinderlich. Dort erscheint die Anwendung von Koordinierungsmodellen mit Optimierungsanspruch vollkommen inadäquat¹⁵⁾. Dies veranlaßt den Verf., in dieser Arbeit der Gestaltung von Optimierungsmodellen auf der Basis des Petrinetz-Konzepts nur eine untergeordnete Bedeutung zuzumessen. Angesichts des Optimierungsdenkens, das sonst im entscheidungstheoretischen Kontext vorherrscht, mag dies als eine gewagte Konzeptualisierungsprämisse erscheinen. Deshalb wird sie aus entscheidungs- und handlungstheoretischer Perspektive¹⁶⁾ untermauert¹⁷⁾. Zunächst wird ein entscheidungstheoretischer Standpunkt eingenommen.

Optimierungsmodelle liegen in ihrer Reinform nur für den Fall monodimensionaler¹⁸⁾ Formalzielsysteme¹⁹⁾ vor²⁰⁾. Bei multidimensionalen²¹⁾ Formalzielsystemen²²⁾ sind die Modelloptima dagegen nicht mehr in intuitiv plausibler Weise als globale Extrema je einer Zielfunktion definiert²³⁾. Zwar läßt sich im Rahmen der multikriteriellen oder vektoriellen Entscheidungstheorie mit Hilfe des Dominanzkonzepts²⁴⁾ durchaus ein Analogon zu skalaren Modelloptima betrachten. Dabei handelt es sich um die Menge nicht-dominierter Lösungen. Doch fällt diese Lösungsmenge im Regelfall so umfangreich aus²⁵⁾, daß sie zumeist noch nicht als "adäquate" Bewältigung eines multikriteriellen Entscheidungsmodells akzeptiert wird²⁶⁾. Statt dessen existiert eine Vielzahl alternativer Ansätze, deren gemeinsames Ziel darin besteht, die Menge nicht-dominierter Lösungen auf eine echte Teilmenge "akzeptabler" Modellösungen zu reduzieren. Es interessiert an dieser Stelle nicht, den Akzeptanzvorstellungen dieser Lösungskonzepte im Detail nachzugehen²⁷⁾.

Vielmehr kommt es dem Verf. hier nur darauf an, daß die Entscheidungstheorie selbst vom einfachen Konzept der Optimierungsmodelle abrückt, sobald multidimensionale Formalzielsysteme in den Vordergrund treten²⁸⁾. Diese Distanz gegenüber Optimierungsmodellen findet einen plastischen Ausdruck in der Thematisierung des "Zielsetzungsdefekts"²⁹⁾, der beim Verfolgen mehrerer Formalziele entstehen könne³⁰⁾. Angesichts der Vielfalt von Formalzielen, die für die kurzfristige Planung und Steuerung von Produktionsprozessen in Betracht kommen, verblaßt damit die Bedeutung von Optimierungsmodellen beträchtlich³¹⁾. Statt dessen rücken oftmals³²⁾ Lösungskonzepte in den Vordergrund, die sich - ungeachtet der Verschiedenartigkeit ihrer Lösungsprozeduren - auf die gemeinsame Basis eines paarweisen Alternativenvergleichs zurückführen lassen³³⁾. Solchen Alternativenvergleichen liegt ein Denken in der Kategorie von Meliorisierungszielen zugrunde. Als pars pro toto wird hier nur auf das subtile Konzept des Out-ranking³⁴⁾ verwiesen. Es kommt Vorstellungen darüber, wie reale Entscheidungsprozesse angesichts multidimensionaler Formalzielsysteme tatsächlich ablaufen können³⁵⁾, schon recht nahe³⁶⁾.

Vor diesem entscheidungstheoretischen Hintergrund finden in dieser Arbeit komparative Modellanalysen weitaus größere Beachtung als die Untersuchung von Optimierungsmodellen. Im Rahmen solcher komparativen Analysen wird zunächst festgestellt, in welcher Weise sich einzelne Entscheidungsalternativen³⁷⁾ auf das multidimensionale Formalzielsystem des jeweils betrachteten Entscheidungsmodells auswirken. Danach werden die Alternativen anhand ihrer Zielwirkungen - insbesondere paarweise - miteinander verglichen³⁸⁾.

Aus der handlungstheoretischen Perspektive³⁹⁾ ergeben sich ebenfalls Bedenken gegenüber einer Bevorzugung von Optimierungsmodellen⁴⁰⁾. So läßt sich menschliches Handeln, das in der betrieblichen Praxis tatsächlich beobachtet wird, nur selten auf der Grundlage von Optimierungsmodellen erklären. Dies gilt insbesondere auch im Hinblick auf Handlungen, die sich im Bereich der kurzfristigen Planung und Steuerung von Produktionsprozessen als beobachtbare Korrelate von zugrundeliegenden Koordinierungsentscheidungen deuten lassen. Solche Entscheidungshandlungen konzentrieren sich im allgemeinen auf eng begrenzte Alternativenmengen⁴¹⁾. Aus ihnen wird durch unmittelbaren Vergleich der wenigen Alternativen die relativ beste ausgewählt⁴²⁾. Dabei gelangen oftmals einfache heuristische Entscheidungsregeln zum Einsatz⁴³⁾. Auf die große praktische Bedeutung, die in diesem Zusammenhang Prioritätsregeln für die Einplanung von Arbeitsgängen besitzen, wurde bereits hingewiesen⁴⁴⁾.

Diese Befunde legen es nahe, zumindest für alle Koordinierungsentscheidungen, die nicht von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen unterstützt werden, eine eng bemessene Aufmerksamkeitsspanne der Entscheidungsträger⁴⁵⁾ vorauszusetzen. Auf diese Weise lassen sich die kleinen Alternativenmengen hervorbringen, die menschliches Entscheidungshandeln in der Praxis auszuzeichnen scheinen⁴⁶⁾. Knappe Aufmerksamkeitsspannen können in das Konzept lokaler Entscheidungsspielräume ohne Schwierigkeiten eingebunden werden. Denn in solchen Spielräumen brauchen nur die horizontalen Ereignisabhängigkeiten berücksichtigt zu werden⁴⁷⁾. Optimierungsmodelle würden dagegen auch die Beachtung aller vertikalen Ereignisabhängig-

keiten zwischen verschiedenen lokalen Entscheidungsspielräumen erfordern. Die Aufmerksamkeitsspanne von Entscheidungsträgern, die ohne Hilfestellung der Automatischen Informationsverarbeitung agieren, wäre dann im allgemeinen hoffnungslos überfordert. Auch aufgrund dieser handlungstheoretisch motivierten Erwägungen erscheint es für die Modellierung realer Koordinierungsprobleme unangemessen, sich einseitig auf Optimierungsmodelle zu konzentrieren.

Allerdings läßt sich der Einwand vorstellen, die vorgenannten Überlegungen träfen nur für *rein* menschliches Entscheidungshandeln zu. Sobald die Leistungskraft der Automatischen Informationsverarbeitung hinzugezogen würde, entfielen das zentrale Argument einer stark limitierten menschlichen Aufmerksamkeitsspanne. Der Verf. möchte die Stringenz dieses Einwands nicht in Zweifel ziehen⁴⁸). Statt dessen gibt er zu bedenken, ob die vollständige Unterstützung - oder gar Substitution - menschlichen Entscheidungshandelns durch Automatische Informationsverarbeitungssysteme im Bereich der Koordinierung von Produktionsprozessen überhaupt erwünscht ist. Ausgangspunkt seiner Zweifel ist die weithin geteilte Überzeugung, daß in absehbarer Zeit mit einer Verwirklichung der vollautomatischen, menschenleeren "Fabrik der Zukunft"⁴⁹) nicht gerechnet werden kann⁵⁰).

Hinzu kommen wohlbegründete Argumente⁵¹) aus dem Bereich der Arbeits- und Organisationspsychologie, die anraten, Arbeitskräfte in Produktionssystemen nicht nur auf ausführende Tätigkeiten zu beschränken. Statt dessen sollten ihnen auch Spielräume für dispositive Leistungen eröffnet werden⁵²). In diesem Zusammenhang läßt sich zunächst auf die allgemeinen Konzepte der Arbeitsanreicherung⁵³) und der teilautonomen Arbeitsgruppen⁵⁴) verweisen. Aber auch speziell für die hier thematisierte kurzfristige Produktionsplanung und -steuerung werden in neuerer Zeit zunehmend Konzepte empfohlen, die eine dezentrale oder partizipative Prozeßkoordinierung akzentuieren⁵⁵). Dazu gehört beispielsweise⁵⁶) der Vorschlag der Bündelsteuerung⁵⁷). Auch im Kontext Flexibler Fertigungssysteme wird oftmals angeregt, den ausführenden Arbeitskräften durch Beteiligung an prozeßplanenden Tätigkeiten eigene Entscheidungsspielräume zu gewähren⁵⁸). Selbst solche Koordinierungskonzepte, die auf eine intensive Unterstützung durch Automatische Informationsverarbeitungssysteme abzielen, sehen im allgemeinen noch die Beteiligung des Menschen an Koordinierungsentscheidungen vor⁵⁹). Dies gilt insbesondere auch für die bereits erwähnte Leitstandsteuerung.

Die voranstehenden Andeutungen belegen, daß die *voll*automatische Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen vorläufig nicht zur Diskussion steht. Unter dieser Voraussetzung ist eine Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen anzustreben, die von vornherein darauf abzielt, Arbeitskräfte an der Ermittlung von Problemlösungen zu beteiligen⁶⁰). Dazu ist es erstens notwendig, entsprechende Entscheidungsspielräume zu identifizieren und für teilautonome Dispositionen der Mitarbeiter offenzuhalten. Zweitens sollten diese Spielräume so strukturiert werden, daß sie die limitierte Aufmerksamkeitsspanne menschlicher Entscheidungsträger nicht überfordern. Optimierungsmodelle für Koordinierungsprobleme erfüllen die beiden vorgenannten Anforderungen im allgemeinen nicht⁶¹). Daher darf ein Modellierungskonzept, das auch die Möglichkeit menschlicher Beteiligung an Koordinierungsentscheidungen abdecken soll, nicht auf Optimierungsmodelle fokussiert sein. Das oben entfaltete Konzept, Koordinierungsmodelle auf der Grundlage lokaler Entscheidungsspielräume zu entwickeln, ist dagegen in der Lage, die zwei Anforderungen an partizipationsorientierte Problemkonzeptualisierungen zu erfüllen⁶²).

Angesichts der voranstehenden Ausführungen könnte der Schluß gezogen werden, auf netzbasierte Optimierungsmodelle vollkommen zu verzichten. Dies hat der Verf. jedoch aus zwei Gründen unterlassen. Erstens möchte er der großen Aufmerksamkeit, die Optimierungsmodelle im entscheidungstheoretischen Paradigma immer noch genießen, dadurch Rechnung tragen, daß er deren Gestaltungsmöglichkeit im Rahmen des Petrinetz-Konzepts aufzeigt. Zweitens erfordert die oben eröffnete Option, die Eignung von Prioritätsregeln anhand eines Vergleichs mit den theoretisch bestmöglichen Modellösungen zu beurteilen, weiterhin Optimierungsmodelle für Prozeßkoordinierungen zu berücksichtigen⁶³).

Ähnliche Kritik wie Optimierungsmodelle trifft auch - obgleich weniger stringent - konventionelle PPS-Systeme⁶⁴). Ihnen wird ebenso eine unzureichende Fähigkeit zur Anpassung an kurzfristige Veränderungen von Produktionssituationen vorgehalten⁶⁵). Zwar beruhen die Prozeßkoordinierungen, die von PPS-Systemen durchgeführt werden, kaum jemals auf Entscheidungsmodellen mit global definierten Optimierungszielen⁶⁶). Doch kranken auch die Koordinierungskonzepte der PPS-Systeme an mangelhafter Flexibilität⁶⁷).

In der Regel beruhen die PPS-Koordinierungskonzepte auf heuristischen Entscheidungskriterien, die für das sukzessive Schließen⁶⁸) lokaler Entscheidungsspielräume eingesetzt werden⁶⁹). Zwar vereinfachen sie die Koordinierung von Produktionsprozessen gegenüber dem Lösen global definierter Optimierungsmodelle erheblich. Daher können Produktionspläne rascher aufgestellt oder angepaßt werden, als es bei der Zugrundelegung von Optimierungsmodellen möglich wäre. Doch gestatten die heuristischen Entscheidungskriterien von PPS-Systemen im allgemeinen nicht, robuste Produktionspläne aufzustellen, die gegenüber denkmöglichen Produktionsstörungen möglichst unempfindlich sind. Deshalb sind auch die Produktionspläne, die von PPS-Systemen ermittelt wurden, im Zeitpunkt ihrer Freigabe häufig schon wieder veraltet⁷⁰). Die aktuelle Produktionssituation weicht dann im Freigabezeitpunkt von derjenigen Produktionssituation, unter deren Voraussetzung die freigegebenen Produktionspläne erstellt wurden, so stark ab, daß die Produktionspläne nicht mehr verwirklicht werden können⁷¹). In dieser Hinsicht unterliegen PPS-Systeme der gleichen Kritik mangelhafter Störungsrobustheit wie das oben behandelte Verfolgen von Optimierungszielen⁷²). Infolgedessen tragen die Heuristiken zur Überwindung des hier vorrangig interessierenden Problems, daß Produktionspläne durch unvorhergesehene Veränderungen der Produktionssituation schnell obsolet werden können, überhaupt nicht bei⁷³).

Wenn ein Produktionsplan bereits im Freigabezeitpunkt veraltet ist, läßt sich dieser Sachverhalt als ein "Fehler 3. Art"⁷⁴) charakterisieren: Der Produktionsplan löst ein falsches Problem richtig. Er löst das Koordinierungsproblem, das durch die Produktionssituation im Zeitpunkt des Beginns der Planaufstellung definiert wurde. Dieses Problem ist aber hinsichtlich der Planverwirklichung, die erst später im Zeitpunkt der Planfreigabe einsetzt, falsch formuliert. Denn die Produktionssituation, die zunächst im Zeitpunkt der Planungsinitialisierung vorlag, trifft wegen der zwischenzeitlich eingetretenen Produktionsstörungen im Zeitpunkt der Planfreigabe nicht mehr zu⁷⁵). Der Produktionsplan, der für die alte Produktionssituation zu Planungsbeginn gültig war, läßt sich im Freigabezeitpunkt angesichts der aktuellen Produktionssituation nicht mehr verwirklichen⁷⁶).

Eine besonders anschauliche Umschreibung der voranstehend dargelegten Schwierigkeiten, mit PPS-Systemen auf Veränderungen der Produktionssituation zu reagieren, liefert die Metapher der "Nervosität"⁷⁷): Wenn Produktionspläne rasch veralten, weil es ihnen an Robustheit gegenüber Produktionsstörungen mangelt, dann müssen sie unablässig an veränderte Produktionssituationen angepaßt werden. Dies führt so häufig zu steuernden Eingriffen in das Produktionsgeschehen, daß an die Stelle geordneter Planverwirklichung eine hektische Abfolge immer neuer Planrevisionen tritt.

Die betriebliche Praxis hat Konzepte entwickelt, um der Nervosität von PPS-Systemen trotz variabler Produktionssituationen zu begegnen. Im Vordergrund⁷⁸) stehen dabei zwei Koordinierungskonzepte, die zwar unterschiedlich benannt sind, aber inhaltlich zusammenfallen⁷⁹): das "Einfrieren" von Produktionsplänen⁸⁰) und die rollierende Produktionsplanung⁸¹). In beiden Fällen erfolgt eine periodisch wiederholte Neuplanung⁸²). Die Neuplanungen werden in ex ante fixierten, zumeist gleich großen Zeitabständen⁸³) ausgeführt. Zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Neuplanungen wird die Maxime befolgt, den einmal freigegebenen Produktionsplan möglichst nicht zu verändern. Plananpassungen an veränderte Produktionssituationen sollen dadurch grundsätzlich vermieden werden⁸⁴). Folglich werden die Produktionspläne innerhalb der Planungsperioden, für die sie aufgestellt worden sind, festgeschrieben ("eingefroren"). Die periodenspezifischen Produktionspläne stellen daher - zumindest der Intention nach⁸⁵) - starre

Pläne dar⁸⁶). Dadurch wird die Prozeßkoordinierung während des begrenzten Zeitraums einer Planungsperiode stabilisiert. Auf Produktionsstörungen wird erst nach dem Ablaufen einer Planungsperiode reagiert. Dann geschieht aber keine echte Anpassungsplanung⁸⁷), die auf die inzwischen eingetretenen Produktionsstörungen speziell zugeschnitten wäre. Statt dessen erfolgt am Ende einer Planungsperiode wiederum eine Neuplanung, die sich auf die dann aktuelle Produktionssituation bezieht⁸⁸). Durch die periodisch wiederholten Neuplanungen werden die periodenspezifischen starren Produktionspläne aneinandergereiht.

Es steht nicht im Erkenntnisinteresse dieser Arbeit zu beurteilen, ob sich das Stabilisierungskonzept eingefrorener Produktionspläne für die kurzfristige Produktionsplanung und -steuerung wirtschaftlich rechtfertigen läßt⁸⁹). Statt dessen wird hier nur auf seine konzeptionelle Inadäquanz hingewiesen, falls es auf Prozeßkoordinierungen in flexiblen Fertigungssystemen angewendet wird. Denn es widerspricht grundsätzlich der bereits oben erwähnten Systemflexibilität, Produktionspläne zu fixieren, um PPS-Systeme vor Veränderungen von Produktionssituationen zeitlich begrenzt abzuschirmen. Vielmehr ist vor dem Hintergrund flexibler Fertigungssysteme ein Koordinierungskonzept wünschenswert, das zur Reaktion auf unerwartete Situationsveränderungen echte Anpassungsplanungen ermöglicht⁹⁰). Grundzüge eines solchen flexiblen Koordinierungskonzepts werden anschließend in dem Ausmaß skizziert, wie sie geeignet erscheinen, die später entfaltete Modellierung von Prozeßkoordinierungen in einen flexibilitätsbezogenen Argumentationshintergrund einzubetten.

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Der Optimierungsansatz, die bestmögliche Erfüllung von Extremierungszielen anzustreben, ist in betriebswirtschaftlichen Modellierungsansätzen so tief verwurzelt, daß er im allgemeinen nicht als solcher thematisiert, sondern kommentarlos präsupponiert wird. Dies im einzelnen zu belegen, übersteigt die Ambitionen dieses Bezugsrahmens. Statt dessen läßt sich in exemplarischer Weise zunächst auf die Untersuchungen von KOCH, H. (1970), verweisen. Dort werden so zentrale betriebswirtschaftliche Konstrukte wie "Wirtschaftlichkeitsrechnungen", "betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre" und "Unternehmenstheorie" schlechthin im Sinne optimaler Alternativenauswahlen ausgelegt. Entsprechend stellt ADAM, D. (1979), S. 381, als Credo der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre heraus, sie betrachte "Planung als systematische Analyse der Alternativen zur Lösung eines Problems sowie die rationale Auswahl einer im Hinblick auf ein vorgegebenes Ziel optimalen Entscheidungsalternative" (partieller Fettdruck im Original hier unterlassen). Ähnlich äußert sich ADAM, D. (1983b), S. 13 (allerdings nur in bezug auf wohlstrukturierte Planungsprobleme). STEPAN (1988), insbesondere S. IXf., 1, 67, 88ff., 161ff. u. 175f., identifiziert quantitative Betriebswirtschaftslehre und Operations Research generell mit der Lösung mathematischer Optimierungsmodelle. Satisfizierungs- oder Meliorierungsziele finden dort ebensowenig Berücksichtigung wie nicht-mathematische - etwa (prädikaten)logische - Modellierungen, ohne daß dieses Nichtbeachten einer Rechtfertigung wert zu sein scheint. In die gleiche Richtung zielt KERN, W. (1987), S. 12 "...ist im Optimieren ein besonderes Spezifikum von OR zu erkennen"), 17 ("... das Gemeinsame, das alle traditionellen und neuzeitlichen Problemstellungen bei betrieblichen Planungen enthalten, nämlich das Ermitteln optimaler Lösungen ..."), 20f., 119 u. 125; allerdings deutet KERN mitunter auch die Möglichkeit des Optimierungsverzichts an (S. 12 u. 17). Speziell im Kontext des produktionswirtschaftlichen Ansatzes konstatiert ZÄPFEL (1978), S. 406f.: "... das zentrale Problem ist die Gestaltung und Abwicklung des optimalen Aufgaben- bzw. Auftragsdurchlaufs" (kursive Hervorhebungen im Original hier unterlassen).

Vgl. darüber hinaus zur Dominanz des Optimierungsdenkens ACKOFF (1962), S. 31f.; HAX, H. (1965), S. 13 ("Gegenstand der betriebswirtschaftlichen Theorie ... ist die Entscheidung im Betrieb. Im Mittelpunkt steht die Frage nach der optimalen Lösung ...) i.V.m. S. 26f.; DICKHUT (1966), S. 5ff. u. 64ff.; ACKOFF (1970), S. 11; SCHNEIDER, D. (1972), S. 461; ROSENHEAD (1972), S. 413 ("The Operational Research profession shows a persistent devotion to 'optimal' solutions to management problems."); MÜLLER-MERBACH (1973), S. 1f.; SIMON, H. (1976a), S. 131 i.V.m. S. 133 (distanziert); WITTE, T. (1979a), S. 57 (Ein Plan "ist dann gut, wenn durch Ausführung der in ihm angegebenen Handlungsmöglichkeit die Ziele *bestmöglich* erreicht werden ..."; kursive Hervorhebung durch den Verf.) u. 71f.; ADAM, D. (1979), S. 381f.; DINKELBACH (1979), Sp. 1379; ROSENHEAD (1980a), S. 210f. u. 213 ("A hall-mark of operational research methodology has been the search for optimal solutions: the most widely used decision techniques all embody it"); GEOFFRION (1980), S. 25 ("optimization capability is needed to permit reliable comparisons"; Kursivdruck im Original hier unterlassen), S. 27 u. 30; PFOHL (1981), S. 109f. (distanziert); KISTNER (1981c), S. 64 (allerdings später auf S. 74 u. 78 relativierend); ADAM, D. (1983a), S. 485; SCHMIDT, R.H. (1983), S. 520f. (distanziert); EBERLE, M. (1984), S. 97; BEST, G. (1986), S. 463 u. 468; MALIK (1986), S. 61; RAJURKAR (1987), S. 513; ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 8; KERN, W. (1988), S. 148 ("eine optimale Gestaltung und Lenkung des Betriebsprozesses"); MAG (1988), S. 765ff. ("Denken in extremen Input-Output-Relationen"), insbesondere S. 766; ZHANG, S. (1989), S. 100; HEINHOLD (1989), S. 689 (distanziert); BÄUERLE, P. (1989), S. 180 (distanziert); SIEBEN (1990), S. 9f.; ELLINGER (1990a), S. 2; WILLIAMSON, O. (1990), S. 51 ("Maximierungstradition" und "überall wird optimiert"), allerdings im abweichenden Kontext der Neuen Institutionenökonomik; vgl. ebenso die Hinweise zur Dominanz von Optimierungszielen bei Prozeßkoordinierungen in Produktionssystemen.

SCHWEITZER, M. (1990a), S. 32f., geht sogar so weit, als *allgemeines* Rationalprinzip zu fordern, stets derart zu handeln, "daß mit den vorhandenen knappen Mitteln (Gütern) *optimale* Ausprägungen der gesetzten Ziele erreicht werden" (S. 32; kursive Hervorhebung durch den Verf.). Dabei identifiziert er das Attribut "optimal" ausdrücklich mit dem *Superlativ* "möglichst günstig" (S. 33). Auf S. 33ff. baut SCHWEITZER diesen Optimierungsanspruch auf verschiedene Ergiebigkeitsmaße einschließlich des Wirtschaftlichkeitsprinzips aus. Es würde hier zu weit führen, die inhaltlichen Ausdeutungsmöglichkeiten von Rational- und Wirtschaftlichkeitsprinzip zu entfalten. Vgl. statt dessen die umfangreiche und tiefeschürfende Analyse betriebswirtschaftlicher Rationalitäts- und Wirtschaftlichkeitsauffassungen, die HOLTTHOFF (1988), S. 15ff., vorgelegt hat. Er verdeutlicht, daß die vorgenannten Prinzipien und Ergiebigkeitsmaße keineswegs auf *optimale* Zielerreichung fixiert sein muß. Beispielsweise läßt sich auch der wesentlich bescheidenere Rationalitätsanspruch einer *zielsystementsprechenden* Verhaltensweise vertreten, der gegenüber verschiedenen inhaltlichen Füllungen des Partizips "entsprechend" offen ist. Vgl. zu einer solchen Formulierung des Rationalprinzips BAMBERG (1989), S. 3; HOLTTHOFF (1988), S. 22 u. 25 (sowie S. 65f. analog in bezug auf das Wirtschaftlichkeitsprinzip). Im Sinne "zielsystementsprechendes" Verhalten kann u.a. das Konzept eingeschränkter Rationalität aufgefaßt werden, daß seinen Verzicht auf Optimierungsansprüche besonders hervorkehrt. Selbst SCHWEITZER, M. (1990a), räumt an späterer Stelle (S. 36ff.) ein, daß auch solche Ziele entscheidungsrelevant sein können, die keinen Extremierungscharakter besitzen. Dazu muß er allerdings den Optimalitätsbegriff - entgegen seiner etymologischen Wurzel und im Widerspruch zur o.a. Superlativverwendung - so weit ausdehnen, daß er auch die Erfüllung von Satisfizierungs- und Fixierungszielen als "optimal" zu bezeichnen gestattet (S. 37, 39 u. 40f.). Aus der Perspektive dieses weitgefaßten, beinahe Alles einschließenden Optimalitätsbegriffs erübrigen sich die Beden-

ken gegenüber der oben zitierten Rationalitätsmaxime SCHWEITZER's. Allerdings möchte der Verf. dieser Begriffsausweitung aus zwei Gründen nicht folgen. Erstens ist diese Begriffsausweitung mit einer komplementären Begriffsentleerung verbunden, da dann nahezu alle bewußten Auswahlakte als "optimal" klassifiziert werden können. Vgl. dazu auch die Kritik an der mangelnden Differenzierungskraft eines derart weit ausgelegten Optimierungsbegriffs bei BEST, G. (1986), S. 474. Zweitens droht er, die Modellierungspraxis zu verführen, unter dem begrifflichen Deckmantel der Optimalität i.w.S. doch wieder zur einseitigen Orientierung an Extremierungszielen zurückzukehren. Dies belegt die Dominanz von Extremierungszielen in den meisten aller bislang vorgelegten Entscheidungsmodellen. Es wird ebenso durch MAG (1988), S. 765f., unterstrichen, der Optimierungs- und Extremierungsansatz im Prinzip des ökonomischen Denkens vorbehaltlos miteinander identifiziert.

2) KEMPF (1985), S. 17f., kleidet diesen Sachverhalt in die humoristische Formulierung, gemäß MURPHY's Gesetz müsse davon ausgegangen werden, daß alle Störungen, die sich in einem Produktionssystem vorstellen lassen, auch tatsächlich eintreten werden. Vgl. zum - nicht allzu ernst gemeinten - "Gesetz" MURPHY's auch SCHEFFLER, E. (1989), S. 17.

Vgl. zur Vielfalt und Bedeutsamkeit von Störungen bei der kurzfristigen Planung und Steuerung von Produktionsprozessen DICKHUT (1966), S. 57ff. u. 93ff.; JUNGHANNS (1971), S. 169 u. 172; HORMANN, D. (1973), S. 110ff.; BENDEICH (1977), S. 12f.; BORMANN (1978), S. 14ff. u. 59ff. (mit einer detaillierten Abhandlung über Störungsarten und -konsequenzen im Produktionsbereich); FORSCHBACH (1978), S. 282; BECKER, J. (1978), S. 502 u. 516; SCHNEIDER, A. (1979), S. 358; SPUR (1980), S. 319 u. 378f.; EVERSHEIM (1981), S. 176ff., mit einer detailreichen Auflistung weiterer Störungsarten; DÖTLING (1981), S. 29; BENZING (1981a), S. 68; BENZING (1981b), S. 230f.; GUTENBERG (1983), S. 225; WICHARZ (1983), S. 293f. u. 356ff.; SELIGER (1983), S. 59; AWF (1984), S. 19ff.; VOLLMANN (1984), S. 359f.; KAZMAIER (1984), S. 164; KNOOP (1986), S. 120f.; WIEBACH (1986), S. 745 u. 748; MÜLLER, A. (1987), S. 43f. u. 46f.; MISSBAUER (1987), S. 32; SCHEER (1987a), S. 44; MERTENS (1988d), S. 9ff.; SCHNEBWEIB, C. (1988), S. 285 u. 288ff.; MERTENS (1988e), S. 12f.; MERTENS (1988g), S. 18ff.; VILLA (1988c), S. 360f.; GOTTSCHALK, E. (1989c), S. 76ff.; KOHEN (1989), S. 42; ESTER (1989), S. 44; KERN, W. (1990a), S. 302 u. 355f.; SCHEER (1990c), S. 60 (als "wesentliche Datenänderung") u. 203; ADAM, D. (1990a), S. 807f.; VOIGT, J. (1990), S. 63; KOMOREK (1990), S. 27; LIPP (1991), S. 103; WINTER, RO. (1991), S. 170 u. 208; KLEINER, F. (1991), S. 257f.; HENNICKE (1991), S. 63.

Vgl. speziell zur zentralen Rolle, die Produktionsstörungen für die Koordinierung von Flexiblen Fertigungssystemen spielen, STUTE (1978a), S. 11f., 57ff. u. 69ff.; SPUR (1980), S. 319f., 324, 345ff., 363f. u. 379f.; MAIER, U. (1980), S. 48f.; DÖTLING (1981), S. 60f. u. 62f.; SELIGER (1983), S. 59; BUZACOTT (1984), S. 558; HINTZ (1987), S. 84.

Vgl. des weiteren EVERSHEIM (1981), S. 176ff., der Produktionsstörungen am Beispiel Flexibler Fertigungssysteme detailliert behandelt, und WECK (1988c), S. 31, der die störungsbedingte Anpassungsplanung explizit als Aufgabe der Steuerung von Flexiblen Fertigungssystemen nennt.

3) Von erwarteten oder vorhergesehenen Veränderungen der Produktionssituation wird gesprochen, sofern sich der Zustand eines Produktionssystems im Zeitablauf genau so entwickelt, wie es bei der Planung der Produktionsprozesse, die im Produktionssystem ausgeführt werden sollen, angenommen wurde. Auf diese *erwarteten* Situationsveränderungen beziehen sich die anschließenden Ausführungen grundsätzlich nicht. Vielmehr betreffen sie diejenigen Veränderungen der Produktionssituation, die von der ursprünglich vermuteten (geplanten) Entwicklung der Produktionssituation abweichen. Alle diese unerwarteten oder unvorhergesehenen Situationsveränderungen werden fortan auch als Störungen des Produktionssystems, als System- oder als Produktionsstörungen thematisiert. Da ausschließlich solche *unerwarteten* Situationsveränderungen behandelt werden, wird der Einfachheit halber oftmals auf das präzisierende Attribut "unerwartet" verzichtet. Vgl. zu einer ausführlichen Diskussion des Störungsbegriffs BORMANN (1978), S. 8ff.

Strenggenommen beziehen sich Veränderungen von Produktionssituationen nur auf die Modellierungen des realen Produktionsgeschehens. Daher könnte durchaus erwogen werden, reale Situationsveränderungen in einem Produktionsmodell nicht abzubilden, so daß die modellierten Produktionssituationen verharren. Von dieser Möglichkeit, reale und modellierte Produktionssituationen auseinanderfallen zu lassen, wird jedoch fortan grundsätzlich abgesehen. Statt dessen wird immer vorausgesetzt, daß sich reale Veränderungen der Produktionssituation in einer realitätsnahen Modellierung als entsprechende Veränderungen der Produktionssituationen niederschlagen, sofern es sich um modellierungsrelevante Aspekte realer Produktionssysteme handelt. Daher wird nachfolgend der Einfachheit halber nicht mehr zwischen den modellierten und den zugrundeliegenden realen Produktionssituationen differenziert.

4) Technisch bedingte Störungen werden von BORMANN (1978), S. 14, in Verfügbarkeits-, Intensitäts- und Qualitätsstörungen unterschieden. Häufigste Produktionsstörungen sind im allgemeinen die Verfügbarkeitsstörungen, die sich auf den Ausfall von Produktionsfaktoren erstrecken, die im Rahmen der Faktorbereitstellungsplanung für die Ausführung von Produktionsprozessen vorgesehen wurden. Dabei handelt es sich vor allem um Störungen der Betriebsbereitschaft von Maschinen oder Transportmitteln. Auf ihre besondere Bedeutung für Flexible Fertigungssysteme wird später noch zurückgekommen. Hinzu kommen Beschädigungen von Werkzeugen und das Fehlen von Arbeitskräften, Werkzeugen oder Werkstücken an Bearbeitungsstationen. Intensitätsstörungen betreffen dagegen

Verzögerungen bei der Ausführung von Bearbeitungs-, Rüst-, Transport- oder Prüfprozessen. Treten bei den vorgenannten Prozeßausführungen Qualitätsmängel auf, wird von Qualitätsstörungen gesprochen.

5) Dispositiv bedingte Störungen erstrecken sich vornehmlich auf Veränderungen des Auftragspakets, dessen Abwicklung das Sachziel der Prozeßkoordinierung konstituiert. Zumeist wird ein Auftragspaket dadurch verändert, daß neue Produktionsaufträge in das Produktionssystem eingeschleust werden sollen; vgl. WIEBACH (1986), S. 748; HINTZ (1987), S. 59; MERTENS (1988e), S. 12 (allerdings in bezug auf "Änderungen an Kundenaufträgen"). Hierzu zählt vor allem die exogene Vorgabe, einen Eilauftrag mit hoher Priorität in die laufende Auftragsabwicklung einzubinden. Der Störungscharakter von Eilaufträgen wird besonders deutlich bei DÖTLING (1981), S. 60, und FUCHS, R. (1989a), S. 293, der u.a. von "ständigen Feuerwehrmaßnahmen" spricht. Vgl. des weiteren zur Problematik von Eilaufträgen ALDINGER (1985a), S. 93; HINTZ (1987), S. 58 i.V.m. S. 59; MERTENS (1988g), S. 21; MERTENS (1988d), S. 13; MERTENS (1988e), S. 12; KERN, W. (1990a), S. 302 u. 355f.; WINTER, R. O. (1991), S. 208. Ähnlich wie das Einschleusen von Eilaufträgen wirken nachträgliche Vorverlegungen der angestrebten Fertigstellungstermine für Aufträge, die im Produktionssystem bereits bearbeitet werden. Ebenso ist es möglich, daß das aktuelle Auftragspaket durch die nachträgliche Eliminierung früher vorgegebener Produktionsaufträge reduziert wird. Dies ist insbesondere der Fall, wenn Kundenaufträge storniert werden; vgl. WICHARZ (1983), S. 293 u. 370; MERTENS (1988g), S. 21. Schließlich ist auch an alte Produktionsaufträge zu denken, die zwecks Nacharbeit erneut in das Produktionssystem eingelastet werden müssen; vgl. HINTZ (1987), S. 58 i.V.m. S. 59.

Neu eingeschleuste und nachträglich widerrufenen Produktionsaufträge spiegeln die stark schwankenden Absatzbedingungen wider, die als eine charakteristische Determinante des Einsatzes flexibler Fertigungssysteme herausgestellt wurde. Durch Dispositionen in den Bereichen der Auftragsakquisition und -verwaltung schlagen diese Absatzschwankungen auf die Prozeßkoordinierung im Produktionsbereich durch; vgl. WICHARZ (1983), S. 293f.; GÜNTHER, H. (1986), S. 241 (mit der plakativen Formulierung: "... fluctuations in external demand are the major source of nervousness in the production planning system ...") u. 255; MISSBAUER (1987), S. 4 (hinsichtlich der dort angeführten "'Schnelldurchschüsse' durch die Fertigung"). Vgl. auch HELBERG (1987), S. 152, zu den Störungen, die aus dem Zusammenwirken von unternehmungsexternen Absatzschwankungen und unternehmensinterner absatzsynchroner Produktionsplanung resultieren.

Im weitesten Sinne kann auch schon der Informationszuwachs eines Disponenten in der Werkstattsteuerung zu einer dispositiv bedingten Störungen führen. Dies ist z.B. dann möglich, wenn der Entscheidungsträger aufgrund der vertieften Auseinandersetzung mit einem Koordinierungsproblem Handlungsmöglichkeiten wahrnimmt, die zuvor außerhalb seines kognitiven Horizonts lagen. Unter Umständen widerruft der Entscheidungsträger aufgrund dieser neu erkannten Koordinierungsalternativen seine früher geplante Prozeßausführung, um eine verbesserte Koordinierungsentscheidung zu treffen. Daher kann auch das Erkennen neuer Entscheidungsalternativen eine Störung der Prozeßkoordinierung darstellen. Vgl. zu diesem sehr weit gefaßten Störungsverständnis BEER, S. (1979), S. 337, mit der Feststellung: "... plans must continually abort ... because *more information* must have become available since the so-and-so date and today." (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Eine ähnliche Störung dispositiver Art ist möglich, wenn eine Information über die Produktionssituation nachträglich als fehlerhaft erkannt und eine entsprechende Korrektur der Situationsabbildung im Informationssystem vorgenommen wird; vgl. SCHNEEWEIF, C. (1988), S. 285 u. 289. Dann kann nicht ausgeschlossen werden, daß die aktualisierte Informationslage zu einer entsprechenden Anpassung früherer Koordinierungsentscheidungen veranlaßt.

6) Es wird daher auch von Prozeßkoordinierungen in störanfälligen Produktionssystemen gesprochen.

7) Solche störungsbezogenen Koordinierungskonzepte werden im folgenden auch unter der plakativen Bezeichnung eines "Störungsmanagements" thematisiert.

8) Unter einem Optimierungsmodell wird hier ein Entscheidungsmodell verstanden, in dem genau ein Formalziel definiert ist, das entweder ein Minimierungs- oder aber ein Maximierungsziel darstellt. In der Regel liegt dieses Extremierungsziel als eine Zielfunktion vor, deren globales Extremum gesucht ist. Eine optimale Modelllösung ist ein Lösungsvektor, der allen Entscheidungsvariablen des Entscheidungsmodells jeweils genau einen Wert aus deren Definitionsbereichen zuordnet und dabei den Zielfunktionswert mini- bzw. maximiert. Es kann mehrere optimale Modellösungen mit jeweils demselben extremalen Zielfunktionswert geben. Eine Ausweitung von Optimierungsmodellen auf multidimensionale Formalzielsysteme wird hier bewußt unterlassen. Damit werden die bereits angesprochenen Schwierigkeiten vermieden, die immer dann zu befürchten sind, wenn eine Vielzahl nicht-dominierter Lösungen auf die intendierten "optimalen" Modellösungen reduziert werden soll.

9) Die Robustheit eines Modells wird hier als das Ausmaß verstanden, in dem sich die Auswahl einer intendierten - d.h. satisfizierenden, meliorisierenden oder optimalen - Modelllösung gegenüber Veränderungen von Modellkomponenten unempfindlich erweist. Die Modellrobustheit fällt dabei um so höher aus, desto größere Variationen der Modellkomponenten zulässig sind, ohne daß die jeweils ausgewählten Modellösungen revidiert werden müssen. Damit verhält sich die Robustheit eines Modells invers zu dessen Sensitivität gegenüber Komponentenvariationen; vgl. KERN, W. (1987), S. 5 ("alternativ"). Im hier thematisierten Zusammenhang variabler Produktionssituationen interessieren jene Modellkomponenten, die an der Repräsentation der jeweils aktuellen Produktionssituation teilhaben. Vor diesem Hintergrund läßt sich die Robustheit eines Produktionsmodells durch die Anzahl derjenigen

Situationsveränderungen messen, in denen die ursprünglich ermittelten, intendierten Modellösungen unverändert gültig bleiben. Die Modellrobustheit mißt also den Grad der Invarianz, den Modellösungen gegenüber Veränderungen der Produktionssituation besitzen. Vgl. zu einer ähnlichen Robustheitsauffassung HINTZ (1987), S. 85. Die Situationsveränderungen können sowohl das Entscheidungsfeld als auch das Sach- und Formalzielsystem von Koordinierungsproblemen betreffen. Im Vordergrund des Interesses stehen zumeist reale Veränderungen in den koordinierten Produktionssystemen, wie z.B. Betriebsstörungen. Ebenso spielen Sachzielvariationen eine große Rolle. Sie geschehen in der Gestalt von Auftragspaketen, deren Zusammensetzung sich im Verlauf der Abwicklung alter Aufträge und des Eintreffens neuer Aufträge laufend ändert.

Im allgemeinen wird bei Erörterungen des Robustheitsbegriffs nicht die Robustheit ganzer Modelle betrachtet. Statt dessen erfolgt zumeist eine Fokussierung auf die Ausgangszustände von Modellen für dynamische Entscheidungsprobleme. Die Entscheidungsalternative, die es jeweils in einem Ausgangszustand auszuwählen gilt, wird als der "erste Schritt" in einer Sequenz von Entscheidungen thematisiert, mit denen später auf nicht prognostizierbare Entwicklungen in der Modellumwelt reagiert werden soll. Ein solcher erster Entscheidungsschritt gilt als um so robuster, je größer die Anzahl derjenigen zukünftig möglichen Umweltentwicklungen ist, auf die im Modell mit einer Entscheidungssequenz geantwortet werden kann, die noch zu einer der intendierten Modellösungen führt. Dies kann auch so ausgedrückt werden, daß die Robustheit eines initialen Entscheidungsschritts proportional zur Anzahl aller vollständigen Entscheidungssequenzen ist, die den Entscheidungsschritt enthalten und mit denen auf alternative Umweltentwicklungen in intendierter Weise geantwortet werden kann. Zumeist wird diese Sequenzanzahl normiert, indem sie durch die Anzahl aller Entscheidungssequenzen dividiert wird, die angesichts alternativer Umweltentwicklungen überhaupt zu intendierten Modellösungen führen. Vgl. zu diesem Robustheitsverständnis, das die Entscheidungsalternativen für Ausgangszustände von Koordinierungsmodellen beurteilt, GUPTA, S. (1968), S. B-21; ROSENHEAD (1972), S. 418f.; WHITE, D. (1973), S. 312; ROSENHEAD (1980a), S. 214; ROSENHEAD (1980b), S. 334, 337 u. 339f. (mit der Diskussion mehrerer Robustheitsvarianten auf S. 339f.); DIRUF (1984), S. 123 (nur eine knappe Erwähnung); DELFMANN (1989a), S. 225 (distanziert); HANSSMANN (1990), S. 107 u. 337. Mitunter erfolgt in den vorgenannten Quellen eine Einengung auf jeweils *genau eine* Umweltentwicklung. Davon wird hier abgesehen, da es der intendierten Anpassungsfähigkeit an zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten zuwiderläuft. Ebenfalls unbeachtet bleibt die zuweilen konträre Position, einen ersten Schritt nur dann als robust anzuerkennen, wenn er gestattet, auf *alle* Umweltsituationen in der intendierten Weise zu reagieren. Anstelle dieses absoluten Robustheitsbegriffs wird in dieser Arbeit angestrebt, für Netzmodelle verschiedene graduelle Robustheitsmaße zu entwickeln (Näheres dazu später). Ein ähnliches graduelles Robustheitsverständnis findet sich auch bei FRIEND (1973), S. 226. Schließlich werden in manchen der o.a. Quellen die alternativen Umweltentwicklungen durch je eine Wahrscheinlichkeitsverteilung überlagert. Auch davon wird hier abgesehen. Dies folgt aus dem später gerechtfertigten Verzicht auf stochastische Modellierungen. Vgl. dazu auch WHITE, D. (1973), S. 312f., der auf immanente Schwierigkeiten aufmerksam macht, die dem Robustheitskonzept bei Berufung auf solche Wahrscheinlichkeitsverteilungen drohen.

Die voranstehend skizzierte Konzeptualisierung von Entscheidungssequenzen, die dem Robustheitsbegriff gewöhnlich zugrundeliegt, wird fortan als Paradigma Robuster Planung angesprochen. Es entspricht grundsätzlich der Strukturierung dynamischer Koordinierungsprobleme, wie sie in dieser Arbeit erfolgt. Denn die "ersten Schritte" stellen lokale Entscheidungsalternativen dar, aus denen die gesuchten Lösungen der Koordinierungsprobleme sukzessiv als globale Entscheidungsalternativen zusammengesetzt werden. Daher läßt sich im hier erörterten Kontext dynamischer Koordinierungsprobleme der zuvor erläuterte Robustheitsbegriff ohne Schwierigkeiten auf die Robustheit ganzer Modelle übertragen. Dabei wird von der Variabilität möglicher Modellumwelten zur entsprechenden, aber weiter definierten Variabilität möglicher Produktionssituationen übergegangen. Zugleich wird dem Umstand Rechnung getragen, daß in Optimierungsmodellen nicht nur eine lokale Entscheidungsalternative für den jeweils vorliegenden Ausgangszustand ausgewählt, sondern stets eine optimale Entscheidungssequenz als globale Entscheidungsalternative festgelegt wird. Aus dieser erweiterten Perspektive verhält sich eine - lokale oder globale - Entscheidungsalternative um so robuster, je größer die Anzahl derjenigen zukünftig möglichen Entwicklungen der Produktionssituation ausfällt, angesichts derer die ausgewählte Alternative weiterhin eine der intendierten Modellösungen bleibt. Dann läßt sich die Robustheit eines Modells mit der maximalen Robustheit aller Entscheidungsalternativen identifizieren, die in seinem Ausgangszustand zur Auswahl stehen.

Es fällt nicht schwer einzusehen, daß Optimierungsmodelle gegenüber anderen Modellierungsweisen in zweifacher Hinsicht unter Robustheitsdefiziten leiden müssen. Erstens bedeutet ihre Auswahl *globaler* Entscheidungsalternativen, daß schon zu Koordinierungsbeginn die gesamte zukünftige Entscheidungssequenz fixiert wird. Es liegt auf der Hand, daß diese Entscheidungssequenz - *ceteris paribus* - für eine wesentlich kleinere Anzahl von Entwicklungen der Produktionssituation eine intendierte Modellösung bleibt, als wenn nur die lokale Entscheidungsalternative des "ersten Schritts" fixiert worden wäre. Darauf wird in diesem Kapitel unter dem Aspekt der unnötigen Entscheidungsbindung ausführlicher eingegangen. Zweitens wird durch die Voraussetzung von *Extremierungszielen* das Zielerfüllungsniveau intendierten Modellösungen im allgemeinen höher liegen, als es bei Satisfizierungs- oder Meliorierungszielen der Fall wäre. (Von der Komplikation inkonsistenter Satisfizierungszielsysteme, die durch überhaupt keine Modellösung erfüllt werden können, wird hier abgesehen.) Auch dieser zweite Aspekt führt tendenziell dazu, daß die Anzahl der Entwicklungen der Produktionssituationen, unter denen eine Modellösung ihre intendierte Optimalität beibehält, weitaus geringer ausfällt als bei der Voraussetzung von Satisfizierungs- oder Meliori-

sierungszielen. Beide vorgenannten Gründe bewirken zusammen die oben festgestellte "mangelhafte Robustheit" von Optimierungsmodellen.

Vgl. über die voranstehenden Erläuterungen hinaus zu vertiefenden Untersuchungen von Entscheidungsrobustheit und Robuster Planung GUPTA, S. (1968), S. B-20ff.; ROSENHEAD (1972), S. 418ff.; WHITE, D. (1973), S. 311ff.; ELTON (1973a), S. 313ff.; DYSON (1973), S. 317; ELTON (1973b), S. 318f.; FRIEND (1973), S. 107, 121ff., 170ff., 190 u. 226f., insbesondere S. 172ff. u. 226; HANSSMANN (1978a), S. 174ff.; ROSENHEAD (1978), S. 110f.; ROSENHEAD (1980a), S. 214f.; ROSENHEAD (1980b), S. 331ff.; DIRUF (1980a), S. 4ff., insbesondere S. 9ff.; BEST, G. (1986), S. 463f u. 466ff.; HANSSMANN (1987), S. 74f., 129 u. 229ff.; DELFMANN (1989a), S. 222ff., insbesondere S. 224ff.; HANSSMANN (1989), Sp. 1758ff.; HANSSMANN (1990), S. 107f., 259, 322f., 327, 335ff. u. 446. Implizit wird das oben vorgetragene Robustheitsverständnis - insbesondere seine graduelle Ausdeutung - auch von FOX, B. (1987a), S. 234, geteilt ("selecting the action which guarantees the greatest number of ways of completing the ... task."). Allerdings beruft er sich nicht explizit auf das Konzept Robuster Planung.

10) Beispielsweise konstatiert GAINES (1991), S. 209: "Optimal control is over-sensitive to system uncertainties". Er führt dieses Urteil auf S. 210 weiter aus.

11) Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß die Produktionssituation sich zufällig in einer Weise verändert, welche die Optimalität früherer optimaler Modellösungen nicht untergehen läßt. Von solchen seltenen Ausnahmen wird im folgenden abgesehen.

12) Strenggenommen gilt diese Folgerung nur unter der zusätzlichen Prämisse, die Lösung der Optimierungsmodelle erfordere bei der Bearbeitung von Koordinierungsproblemen einen so großen Ressourceneinsatz, daß sein mehrfacher Anfall bei störungsbedingt wiederholten Bestimmungen von optimalen Modellösungen durch den Entscheidungsträger nicht mehr akzeptiert wird. Die Höhe des akzeptablen Ressourceneinsatzes hängt jedoch von Eigenheiten des Entscheidungsträgers ab, die jenseits des Erkenntnishorizonts dieser Arbeit liegen. Vgl. dazu auch die Unbestimmtheit der "akzeptablen Zeitspanne" für die Lösung von Optimierungsproblemen bei WITTE, T. (1979a), S. 76 (ähnlich auf S. 78), der "akzeptablen Durchführungszeiten" bei WITTE, T. (1979b), S. 440 (Fettdruck im Original hier unterlassen), und der "unakzeptablen Rechenzeiten" bei SCHEER (1990c), S. 80. Wegen dieser Vagheit kann die Erfüllung der o.a. Prämisse nicht generell garantiert werden.

Doch findet sich eine Fülle von Hinweisen darauf, daß der Ressourceneinsatz, der zur Lösung von Optimierungsmodellen für die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen erforderlich ist, seitens der betrieblichen Praxis im allgemeinen keine Akzeptanz findet. A fortiori wird auch der entsprechend vervielfachte Ressourceneinsatz für die wiederholte Bestimmung optimaler Modellösungen nicht akzeptiert werden. Vgl. zu solchen Klagen über die erhebliche Ressourcenintensität optimaler Prozeßkoordinierungen JUNGHANNS (1971), S. 169; SCHNEIDER, A. (1979), S. 358; MAIER, U. (1980), S. 26 u. 55; NIEB (1980), S. 29; KÜPPER, H. (1981), S. 113, mit verdeutlichenden Beispielen auf S. 130ff. u. 137ff.; EVERSHEIM (1981), S. 171; OSMAN (1982), S. 38; SELIGER (1983), S. 62; KAZMAIER (1984), S. 164; MERTINS (1985a), S. 93; ALDINGER (1985a), S. 38; STECKE (1985a), S. 73; KNOOP (1986), S. 29 u. 37; WIEBACH (1986), S. 745; HINTZ (1987), S. 67 u. 69; MÜLLER, A. (1987), S. 271f.; NIEDERHAUSEN (1988), S. 403 (sofern die dort angeführten "rein mathematischen" Modelle als Optimierungsrechnungen interpretiert werden); MERTENS (1988e), S. 4. Kommen noch Realzeitbedingungen hinzu, so wird die Bewältigung von Optimierungsmodellen praktisch unmöglich. Vgl. KNOOP (1986), S. 31 u. 33; NIEDERHAUSEN (1988), S. 403; vgl. auch am Rande SPUR (1980), S. 348. Die besonderen Schwierigkeiten bei Realzeitbedingungen klingen auch bei NIEB (1980), S. 29, und BEIER (1988a), S. 240, an.

Darüber hinaus läßt sich eine mehrfach geschichtete Argumentation vortragen, die das praktische Scheitern von Optimierungsmodellen für Prozeßkoordinierungen nahelegt. Bezugspunkt dieser Argumentation ist das Phänomen der Lösungsdefektheit. Es wird hier in exemplarischer Weise auf Optimierungsmodelle für die Maschinenbelegungsplanung bezogen, weil es in diesem Zusammenhang am häufigsten thematisiert wird. Das gleiche Phänomen trifft jedoch auf alle Optimierungsmodelle für die Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen zu, sofern die Koordinierungskomplexität diejenige von Maschinenbelegungsproblemen erreicht. Die Erfüllung der letztgenannten Bedingung für unterschiedliche Koordinierungsprobleme nachzuweisen, liegt nicht mehr im Interesse dieser Ausarbeitung. Aber die früheren Anmerkungen zur Komplexität der Koordinierungsprobleme, die hier vor dem Hintergrund von Flexiblen Fertigungssystemen betrachtet werden, legt die Erfüllung der o.a. Komplexitätsbedingung nahe.

Optimierungsmodelle für die Maschinenbelegungsplanung können zwar leicht formuliert werden. Doch lassen sie sich nur äußerst schwer lösen. Dies hat besonders klar OSMAN (1982), S. 38f., herausgestellt. Vgl. daneben auch WITTE, T. (1979b), S. 437 (in bezug auf Ablaufplanungsmodelle). Die vorgenannte Gegenläufigkeit zwischen Formulierung und Lösung von Optimierungsmodellen gilt zumindest dann, wenn "realistische" Belegungsprobleme mit entsprechend großen Problemumfängen betrachtet werden. (Auf die Schwierigkeiten der Umfangsmessung wird hier nicht weiter eingegangen. Hinzu kommt, daß in realen Situationen zur Bewältigung von Maschinenbelegungsproblemen stets nur begrenzte Ressourcen für die problemlösende Informationsverarbeitung zur Verfügung stehen. Die beiden vorgenannten Voraussetzungen großer Problemumfänge und begrenzter Ressourceneinsätze für die Informationsverarbeitung werden fortan als realistische Bedingungen für die Problembewältigung angesprochen. Wenn sie vorliegen, wirken die erhebliche Lösungsschwierigkeit, der große Problemumfang und die begrenzten

Verarbeitungsressourcen bei der Ermittlung optimaler Maschinenbelegungspläne derart zusammen, daß auf eine Lösung der Optimierungsmodelle in der betrieblichen Praxis zumeist verzichtet wird. So spricht OSMAN (1982), S. 38, von praktisch ungelösten Reihenfolgmodellen (für Maschinenbelegungen). MÜLLER, A. (1987), S. 271f., betont, daß konventionell formulierte Optimierungsmodelle nicht zur Lösung realer Belegungsprobleme eingesetzt würden. WITTE, T. (1979c), S. 491, gelangt hinsichtlich betrieblicher Ablaufplanungsprobleme zu der Feststellung: "Der ... benötigte Zeitaufwand wirkt bei realistischen Problemstellungen prohibitiv." (partieller Fettdruck im Original hier unterlassen). Wegen des Verzichts auf die Ermittlung optimaler Modelllösungen wird in diesem Zusammenhang von "lösungsdefekten" Optimierungsproblemen geredet. Eine besonders ausführliche Erörterung von lösungsdefekten Problemen findet sich bei WITTE, T. (1979a), S. 76ff. u. 141ff., insbesondere S. 76 i.V.m.S. 78 sowie S. 142 i.V.m.S. 167; WITTE, T. (1979b), S. 437ff.; WITTE, T. (1979c), S. 490ff., insbesondere S. 491. Vgl. zu weiteren Bezugnahmen auf lösungsdefekte Probleme MEIBNER (1978), S. 8f.; ADAM, D. (1979), S. 383; RIEPER (1982), S. 438f.; ADAM, D. (1983a), S. 486f.; ADAM, D. (1983b), S. 14; MÜLLER, A. (1987), S. 30ff. Auf Lösungsdefekte von Optimierungsproblemen scheint auch KERN, W. (1988), S. 163, anzuspielen, wenn er feststellt: "Gewisse Grenzen setzen ... noch fehlende Lösungsverfahren ... und der im Einzelfall zu berücksichtigende Aufwand zur ... Lösung der Optimierungsmodelle." Ebenso scheint LUHMANN (1968), S. 183, an eine Art Lösungsdefekt zu denken, wenn er von Problemen spricht, die "zwar als Probleme, nicht aber als vorgeschriebener Gang von Lösungsschritten programmiert werden" können.

Die Schwierigkeit, Probleme der Maschinenbelegung optimal zu lösen, läßt sich im Rahmen der Komplexitätstheorie präzisieren. Da die Untersuchungskonzepte der Komplexitätstheorie später anlässlich der Erreichbarkeitsanalyse von Netzmodellen noch ausführlichere Beachtung finden, werden sie hier zunächst als bekannt vorausgesetzt. Vgl. zu einem ersten Überblick auch GAREY (1979), S. 6ff.; ZELEWSKI (1989a), S. 1ff. u. 41ff. Aus komplexitätstheoretischer Perspektive gehören Maschinenbelegungsprobleme, die als Optimierungsmodelle ausgestaltet sind und keine degenerierten Sonderfälle darstellen, zur Klasse der NP-harten Probleme. NP-harte Optimierungsprobleme sind mindestens so schwer zu lösen wie alle NP-vollständigen Entscheidungsprobleme, da sich die erstgenannten stets auf eine Sammlung von letztgenannten zurückführen lassen. Dies hat der Verf. an anderer Stelle ausführlicher dargelegt; vgl. ZELEWSKI (1989a), S. 5ff. u. 82ff., insbesondere S. 7f. Alle Lösungsverfahren, die bisher für NP-vollständige Entscheidungsprobleme entdeckt worden sind, erweisen sich als ineffizient, weil ihr Ressourcenverzehr mit dem Umfang der jeweils zu lösenden Probleme in exponentieller Weise anwächst (Näheres dazu später). Da praktisch relevante Belegungsprobleme mit entsprechend großen Problemumfängen vorausgesetzt werden, ist auch der Ressourceneinsatz für ihre Lösung "exponentiell explodiert". Er liegt zumeist so hoch, daß er in der betrieblichen Praxis prohibitiv wirkt: Es wird zumeist darauf verzichtet, die Lösungen von NP-vollständigen Problemen mit realistischen Problemumfängen zu ermitteln. Denn der Ressourcenverzehr, mit dem bis zum Auffinden der Problemlösungen gerechnet werden muß, übersteigt bei solchen Problemen die in der Regel noch akzeptierten Verzehrsmengen. Dieser a priori-Verzicht der Praxis auf Versuche, ein NP-vollständiges Problem zu lösen, begründet den oben angesprochenen "Lösungsdefekt" von Problemen nunmehr aus komplexitätstheoretischer Sicht. Aus dieser Perspektive kann auch von einer "Komplexitätsfalle" aller NP-vollständigen Entscheidungsprobleme gesprochen werden, die sich zwar einfach formulieren, aber praktisch kaum noch lösen lassen.

Da der Lösungsdefekt schon für NP-vollständige Probleme gilt und NP-harte Probleme mindestens so schwer sind wie NP-vollständige Probleme, verhalten sich NP-harte Probleme erst recht lösungsdefekt. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß Optimierungsmodelle der Maschinenbelegungsplanung NP-harte Optimierungsprobleme konstituieren. Daher trifft der Lösungsdefekt auch für die Bestimmung optimaler Maschinenbelegungspläne zu; q.e.d. Dies bestätigt auch HINTZ (1987), S. 117. Unter explizitem Bezug auf die NP-Härte (NP-Schwierigkeit) von Optimierungsproblemen der Maschinenbelegung bei flexiblen Fertigungssystemen gelangt er zu dem Schluß, "daß zur Lösung von realistischen Problemen exakt optimierende Verfahren nicht in Betracht kommen". Vgl. zu komplexitätstheoretischen Betrachtungen der NP-Härte von Optimierungsproblemen und zur NP-Vollständigkeit von zugehörigen Entscheidungsproblemen im Bereich der Maschinenbelegungsplanung GAREY (1979), S. 236ff.; BRUCKER (1981), S. 25ff. u. 194ff., insbesondere die Tabellen 1 bis 5 auf S. 60ff.; FRENCH, S. (1982), S. 137ff., insbesondere S. 150ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 271f.; HINTZ (1987), S. 88; ZELEWSKI (1989a), S. 99f. (mit weiterführenden Quellenangaben in Fn. 350 auf S. 100).

Die Lösungsdefektheit von Optimierungsmodellen für Maschinenbelegungsplanungen wird des öfteren nicht explizit in der oben benutzten komplexitätstheoretischen Terminologie erörtert. Statt dessen behandeln andere Autoren dasselbe Phänomen, indem sie sich auf die Ineffizienz der Lösung von kombinatorischen Optimierungsproblemen beziehen. Dabei spielt es keine Rolle, ob sie von den hier betrachteten Maschinenbelegungsproblemen sprechen - oder ob sie analoge kombinatorische Optimierungsprobleme wie Terminplanungs- oder Ablaufplanungsprobleme thematisieren. Die Argumente, die im Kontext der kombinatorischen Lösungseffizienz vorgetragen werden, stimmen mit den oben erfolgten komplexitätstheoretischen Ausführungen inhaltlich überein. Insbesondere wird das dort skizzierte exponentielle Anwachsen des Lösungsaufwands von NP-harten und NP-vollständigen Problemen hier durch die Metapher einer "kombinatorischen Problemexplosion" plastisch umschrieben; vgl. z.B. RICH (1983), S. 34; FOX, B. (1985a), S. 487f.; FOX, M. (1986c), S. 304; KOCHAN, D. (1986), S. 135; MEYER, W. (1987), S. 410; ZELEWSKI (1988c), S. 42; ZELEWSKI (1990a), S. 58; o.V. (1990a), S. 13f.

Die kombinatorische Explosion eines Problems läßt sich in bezug auf den Raum seiner denkmöglichen Problemlösungen erklären. Sie wird durch die Anzahl aller "Kombinationen" konstituiert, in denen die zulässigen Ausprägungen aller Problemeterminanten miteinander auftreten können. Diese Anzahl ergibt sich mathematisch als Anzahl kombinatorisch möglicher Variationen. Bei k Problemeterminanten ($k \in \mathcal{N}$), von denen vereinfacht angenommen wird, sie besäßen jeweils n - und somit nur endlich viele - mögliche Ausprägungen ($n \in \mathcal{N}$), beträgt diese Variationsanzahl n^k . Aus dem exponentiellen Wachstum der Variationsanzahl mit steigender Determinantenanzahl k folgt die kombinatorische Explosion, da exponentielle Wachstumsfunktionen gemeinhin als "explosiv" betrachtet werden (s.o.). Die Art des explosiven Wachstums hängt entscheidend von der inhaltlichen Füllung der Problemeterminanten ab. Bei der einfachsten Modellierung von Maschinenbelegungen für Werkstattfertigungen bildet jede Belegung einer Maschine mit einer Arbeitsgangfolge eine Problemeterminante. Wenn n Aufträge einzuplanen sind und jeder Auftrag auf jeder Maschine genau einmal bearbeitet werden muß, dann ist für jede Maschine jede Permutation der n Aufträge eine mögliche Belegung. Da aus n Elementen genau $n!$ Permutationen gebildet werden können, besitzt jede Maschinenbelegung $n!$ mögliche Ausprägungen (das Symbol "!" bezeichnet den Operator der Fakultätsberechnung). Wenn in einer Werkstatt k Maschinen vorhanden sind, existieren also $(n!)^k$ mögliche Belegungsalternativen; vgl. KERN, W. (1967), S. 119 u. 145; SEELBACH (1979), Sp. 24; FOX, M. (1984a), S. 26f.; HINTZ (1987), S. 72; KERN, W. (1990a), S. 302. Bei dieser Konzeptualisierung der Problemeterminanten wird das explosive exponentielle Wachstum der Anzahl n^k durch die sehr schnell anwachsende Fakultät im Ausdruck $(n!)^k$ noch zusätzlich verstärkt. Dadurch steigt die Anzahl kombinatorisch möglicher Maschinenbelegungen in Abhängigkeit von der Auftrags- und Maschinenanzahl n bzw. k überaus rasch an; vgl. zu illustrierenden konkreten Zahlenangaben MEYER, W. O. (1987), S. 410; HINTZ (1987), S. 72; ZELEWSKI (1988c), S. 42f.; KERN, W. (1990a), S. 302; ZELEWSKI (1990a), S. 58. Bei reichhaltigeren Problemkonzeptualisierungen, wie im Falle der zahlreichen Problemeterminanten, die in dieser Arbeit für Maschinenbelegungen bei flexiblen Fertigungssystemen dargelegt werden, ergibt sich eine entsprechend komplexere Wachstumsfunktion für die Anzahl möglicher Belegungsalternativen. Allerdings führen sachliche oder dispositive Restriktionen in der jeweils zu berücksichtigenden Entscheidungssituation dazu, daß viele der möglichen Belegungsalternativen keine zulässigen Problemlösungen darstellen; vgl. KERN, W. (1990a), S. 302. Der Raum zulässiger Problemlösungen fällt daher im allgemeinen deutlich kleiner aus als der Raum denkmöglicher Lösungen; vgl. KERN, W. (1990a), S. 302; O.V. (1990a), S. 14. Aber hierdurch wird die Lösungskomplexität kombinatorischer Probleme nicht wesentlich reduziert. Denn der Restraum zulässiger Lösungen nimmt zumeist immer noch ein erhebliches Volumen ein; vgl. SEELBACH (1979), Sp. 24 (die Lösungsmenge von Maschinenbelegungsproblemen vermindere sich durch die Einbeziehung technischer Ablaufrestriktionen nur "relativ geringfügig"); KERN, W. (1990a), S. 302.

Die kombinatorische Explosion von Optimierungsproblemen unterscheidet sich - wie bereits oben angedeutet - nicht vom exponentiellen Anwachsen des Lösungsaufwands für NP-harte und NP-vollständige Probleme. Daher kann auf die oben erfolgten Anmerkungen zur Lösungseffizienz solcher Probleme verwiesen werden. Vgl. darüber hinaus zur mangelhaften Beherrschung der Lösungskomplexität kombinatorischer Optimierungsprobleme und zur Ineffizienz ihrer Lösungsalgorithmen OSMAN (1982), S. 38; KOCHAN, D. (1986), S. 35; HELBERG (1987), S. 164; HINTZ (1987), S. 83; MÜLLER, A. (1987), S. 272. Vgl. ebenso die explizite Einordnung von kombinatorischen Optimierungsproblemen in den Argumentationszusammenhang der Lösungsdefektheit bei WITTE, T. (1979a), S. 78, 141f. u. 167, und ADAM, D. (1979), S. 383. Darüber hinaus wird im Bereich der Maschinenbelegungsplanung oder der Ablaufplanung bei Werkstattfertigung oftmals darauf hingewiesen, daß sich kombinatorische Optimierungsmodelle nicht mehr handhaben lassen, sobald versucht wird, sie auf realistische Problemstellungen der betrieblichen Praxis anzuwenden. Vgl. zu solchen Hinweisen, die sich oftmals auch auf (gemischt-)ganzzahlige OR-Programme beziehen, ADAM, D. (1969), S. 165; SCHEER (1976), S. 51f.; SEELBACH (1979), Sp. 23 (ähnlich auch in Sp. 25); NIEB (1980), S. 29; SCHEER (1987a), S. 83 (mit der Anmerkung, daß OR-Programme für PPS-Systeme bis zu 1 Million ganzzahlige Variablen umfassen müßten und infolgedessen von vornherein nicht realistisch seien). Vgl. auch das Beispiel, das in einer früheren Anmerkung präsentiert wurde, um die Größenordnungen von "realistischen" Optimierungsmodellen im Bereich der Produktionsplanung zu veranschaulichen.

Allerdings gehen die Arbeiten zu kombinatorischen Optimierungsproblemen mitunter auf eine interessante phänomenologische Ausdeutung der Lösungsdefektheit ein. Sie führen die Schwierigkeiten, optimale Problemlösungen zu ermitteln, auf das Phänomen der "Semistrukturiertheit" zurück; vgl. HINTZ (1987), S. 88f., insbesondere S. 89. Der Begriff der Semistrukturiertheit dient dabei zur Einordnung in die Konzepte der entweder wohl- oder aber schlechtstrukturierten Probleme. Sie werden später noch ausführlicher angesprochen (vgl. dazu die Erläuterungen im problemtheoretischen Kontext). Hier reicht es als eine erste Annäherung aus, ein Problem als wohlstrukturiert zu betrachten, falls es eine wohldefinierte Problemformulierung besitzt (Näheres dazu später) und seine Problemlösungen ohne praktisch unüberwindliche Schwierigkeiten ermittelt werden können. Ein schlechtstrukturiertes Problem liegt dagegen vor, wenn es nicht wohlstrukturiert ist. Dies kann sowohl auf das Fehlen einer wohldefinierten Problemformulierung als auch auf praktische Lösungsschwierigkeiten zurückgeführt werden. Vor diesem Hintergrund zeichnen sich lösungsdefekte Probleme als eine besondere Klasse der schlechtstrukturierten Probleme aus. Denn sie teilen mit den wohlstrukturierten Problemen noch das Merkmal einer wohldefinierten Problemformulierung, lassen aber unter realistischen Bedingungen nicht mehr zu, die Problemlösungen zu bestimmen. Da ihre Problemformulierung wohldefiniert ist, besitzen lösungsdefekte Probleme auch eine wohldefinierte Lösungsmenge. Dieser Lösungs-

menge fehlt jedoch eine "geeignete" ex ante-Strukturierung, die es gestatten würde, die gesuchten Problemlösungen bei praktisch relevanten Problemstellungen mit entsprechend großen Problemumfängen und begrenzten Ressourcen für die Informationsverarbeitung tatsächlich aufzufinden. Aus dieser Perspektive reicht die Problemstrukturierung zwar aus, um eine wohldefinierte *Problemformulierung* zu liefern, nicht aber, um die intendierten *Problemlösungen* zu gewinnen. Daher wird von einer *Semistrukturiertheit* der lösungsdefekten Probleme gesprochen. Vgl. zum Konzept semistrukturierter Probleme auch NEGOITA (1985), S. 9, der allerdings eine leicht abweichende inhaltliche Position bezieht (obwohl sich HINTZ (1987), S. 89, explizit auf ihn beruft).

Die Charakteristika lösungsdefekter Probleme, die als NP-Härte und -Vollständigkeit, kombinatorische Explosion sowie Schlecht- und Semistrukturiertheit thematisiert wurden, gelten zunächst nur für die hier betrachteten optimierenden Maschinenbelegungsplanungen. Ähnliche, tendenziell noch schwiegere Verhältnisse liegen jedoch auch im umfassenderen Bereich der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung vor. So sprechen MERTENS, HELMER, ROSE und WEDEL von einer "kombinatorischen Explosion ... des PPS-Bereiches" (MERTENS (1988e), S. 13). Von SAINIS (1982), S. 59f., wird das "Unvermögen" beklagt, derart komplizierte Gebilde wie Produktionssysteme "befriedigend auf Modelle abzubilden". Sofern dies dennoch versucht würde, führten die resultierenden Modelle zu so komplizierten Prozesskoordinierungen, daß der "Mensch ... leicht die Übersicht mit negativen Folgen für den gesamten Prozeß" verliere. MÜLLER, A. (1987), S. 31f., ordnet die Koordinierungsaufgaben der kurzfristigen Produktionsplanung explizit in die Thematik lösungsdefekter Probleme ein. Bei RIEPER (1982), S. 427f. u. 438f., findet sich eine nähere Erörterung der Aspekte, deren Zusammenwirken die Lösungsschwierigkeiten von Koordinierungsproblemen der Produktionsplanung und -steuerung hervorbringt. Besonders deutlich hebt er deren Schlechtstrukturiertheit auf S. 428 hervor: "Die Gestaltung der Produktionsplanung und -steuerung muß als ein in jeder Hinsicht schlechtstrukturiertes Entscheidungsproblem aufgefaßt werden." Die Lösungsdefektheit als eine mögliche Ursache der Schlechtstrukturiertheit thematisiert RIEPER ebenso (S. 439). Vgl. des Weiteren zur Schlechtstrukturiertheit von Produktionsplanungsproblemen HOCH (1973), S. 225f. (in bezug auf Reihenfolgeplanungen bei Werkstattfertigung); WINTER, R. O. (1991), S. 194 ("Strukturmängel").

Wohlstrukturierte Optimierungsprobleme im Bereich der Maschinenbelegungsplanung müssen dagegen - wie oben bereits angesprochen wurde - über eine "geeignete" ex ante-Strukturierung ihrer Lösungsmengen verfügen. Sie liegt z.B. dann vor, wenn sich die Lösungsmengen als reellzahlig-dichte und konvexe Mengen erweisen, über denen jeweils eine unimodulare Zielfunktion definiert ist. In diesem Fall können Lösungsverfahren der Differentialrechnung (Variationsrechnung) angewendet werden, um die gesuchten Optima ohne größere praktische Schwierigkeiten zu ermitteln. Ein einfaches Beispiel hierfür ist das klassische Losgrößenmodell; vgl. WITTE, T. (1979a), S. 77. Die gleiche ex ante-Strukturierung der Lösungsmengen wird seitens der Linearen Optimierungsrechnung (Programmierung) vorausgesetzt. Auch DYCKE (1988), S. 161 u. 165, weist darauf hin, daß die Lösbarkeit von Optimierungsproblemen im Bereich der Kontrolltheorie von einer "geeigneten" (ex ante-)Problemstruktur abhängt. Besonders deutlich wird das Bestreben, "lösungstechnisches Know-how" über die ex ante-Strukturierung von Lösungsmengen bei der Problemlösung auszunutzen, bei DAS (1988), S. 1023ff., vor allem S. 1025f. Alle voranstehend skizzierten Beispiele für die ex ante-Strukturierung von Lösungsmengen treffen jedoch auf die Koordinierungsprobleme, die in dieser Arbeit behandelt werden sollen, nicht zu. Zumindest wird unterstellt, daß eine solche lösungserleichternde Vorstrukturierung - sofern sie existieren sollte - dem Modellierungsträger nicht bekannt ist.

Schließlich könnte noch eingewandt werden, die voranstehend erörterten Aspekte der Lösungsdefektheit ließen sich durch den Einsatz besonders leistungsfähiger "Supercomputer" überwinden. Vgl. dazu beispielsweise die detaillierten Leistungsanalysen, die MLADINEO (1989), S. 92ff., für die Anwendung von Supercomputern auf Optimierungsprobleme vorgelegt hat. (Allerdings bezog sich die Autorin auf kontinuierlich formulierte Optimierungsprobleme.) Der Verf. verzichtet darauf, der Frage nachzugehen, ob die Informationsverarbeitungskapazitäten von Supercomputern tatsächlich zur Bewältigung kombinatorischer Explosion ausreicht. Statt dessen verweist er nur auf Wirtschaftlichkeitserwägungen, die den Einsatz solcher Informationsverarbeitungssysteme für Zwecke der Produktionsplanung und -steuerung - zumindest derzeit - utopisch anmuten lassen. Solche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen klingen z.B. bei HINTZ (1987), S. 67, an.

Das voranstehend skizzierte Phänomen der Lösungsdefektheit könnte pointiert als grundsätzliches Versagen des entscheidungstheoretischen Strukturierungsparadigmas ausgelegt werden. Es trifft aber den entscheidungstheoretischen Ansatz nicht generell. Vielmehr wirkt es sich nur dann aus, wenn am Anspruch auf optimale Problemlösungen festgehalten wird, obwohl die Problembewältigung unter realistischen Bedingungen hinsichtlich Problemumfangs und Ressourcenknappheit erfolgen muß. Ein solcher Optimierungsanspruch wird jedoch im Rahmen der hier vorgelegten Ausarbeitung nicht verfolgt. Daher wird sie vom Phänomen der Lösungsdefektheit nicht tangiert. Folglich wird auch weiterhin an der entscheidungstheoretischen Problemstrukturierung festgehalten.

13) Vgl. zu weiteren, aber anders begründeten Vorbehalten gegenüber der Praxisrelevanz von Optimierungsmodellen im Bereich der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung SCHEER (1990c), S. 207ff.

14) Als grobe Arbeitsdefinition reicht es für die Zwecke dieser Arbeit aus, die Flexibilität eines Produktionssystems als dessen Fähigkeit zur Anpassung an variierende Produktionssituationen verstehen.

Vgl. zu ähnlichen, aber oftmals inhaltlich weiter ausdifferenzierteren Flexibilitätsauffassungen aus allgemeiner betriebswirtschaftlicher oder spezieller produktionswirtschaftlicher Perspektive HAX, K. (1966), S. 451; MEFFERT

(1969), S. 779ff., insbesondere S. 784, 786 u. 790; SCHNEIDER, D. (1971), S. 831f. u. 840; ROPOHL (1971), S. 13ff., 107 u. 197ff.; MELLWIG (1972), S. 12ff. (dort als "Elastizität"); JACOB, H. (1974), S. 322ff.; SCHARF, P. (1976), S. 109ff.; SCHAEFER, F. (1980), S. 5ff.; MAIER, U. (1980), S. 32ff.; WARNECKE, H. (1980b), S. 200f.; ROSENHEAD (1980b), S. 332; WICHARZ (1983), S. 135ff. u. 383ff.; AWF (1984), S. 18ff. u. 131f.; MERTINS (1985a), S. 17ff.; HANSSMANN (1987), S. 74f. u. 227ff., insbesondere S. 229; HELBERG (1987), S. 40ff.; ENDELL (1987), S. 32ff.; WILDEMANN (1987a), S. 20f. und - mit weiterführenden Hinweisen - S. 43; HORVATH (1987), S. 93; BÖTZOW (1988a), S. 18ff. u. 140ff. (mit einer detaillierten historischen Betrachtung auf S. 18ff.); WILDEMANN (1988f), S. 112ff.; HORVATH (1988b), S. 116ff.; SCHNEEWEIB, C. (1989b), S. 14ff.; MIRIYALA (1989), S. 147f.; SIEGWART (1989), S. 8; WOLF, J. (1989), S. 51, Fn. 1; KERN, W. (1990a), S. 23f. u. 136; SCHWEITZER, M. (1990b), S. 679ff.; HANSSMANN (1990), S. 259f. u. 337, insbesondere S. 260; JACOB, H. (1990), S. 397f.; KLEINER, F. (1991), S. 10f. u. 13f.

Die Flexibilität eines Produktionssystems läßt sich durch unterschiedliche Flexibilitätsaspekte konkretisieren. Dabei interessieren hier zunächst nur die Facetten der *technischen* Systemflexibilität. Sie kommen einem Produktionssystem an sich zu, ohne von speziellen Konzepten der Systemnutzung abzuhängen. Daher wird auch von einer immanenten Systemflexibilität gesprochen. Später wird ebenso auf nutzungsbezogene Flexibilitätsaspekte eingegangen. Sie lassen sich als organisatorische Systemflexibilität bezeichnen (Näheres dazu später). Sofern die Nutzungskonzepte aus der Perspektive beleuchtet werden, Entscheidungen über die Prozeßausführung im Produktionssystem zu fällen, kann auch von einer Dispositionsflexibilität geredet werden. Im einzelnen kann sich die technische oder immanente Systemflexibilität auf folgende Flexibilitätsfacetten erstrecken:

- Artenflexibilität: Es ist möglich, ein großes Spektrum unterschiedlicher Produktarten herzustellen. Dieser Vielseitigkeitsaspekt wird oftmals in anderslautenden, aber inhaltlich äquivalenten Formulierungen angesprochen. Hierzu zählen vor allem die Möglichkeit, verschiedenartige Werkstücke zu bearbeiten, oder die Fähigkeit, die Produktion an unterschiedliche Produktionsaufgaben oder -situationen anzupassen.
- Rüstflexibilität: Ein Produktionssystem läßt sich so umrüsten, daß Anpassungen an unterschiedliche Produktarten oder verschiedenartige Produktionsaufgaben in wirtschaftlich vorteilhafter Weise durchgeführt werden können. Als Beurteilungskriterien für die Anpassungsqualität werden zumeist die Umrüstkosten oder -zeiten verwendet.
- Mengenflexibilität: Kleine bis mittlere Lose - bis hin zur Losgröße mit dem Umfang einer Produkteinheit (Losgröße "Eins") - lassen sich wirtschaftlich vorteilhaft herstellen. Dieser Vereinzelungsaspekt kann auch als Kombination von Arten- und Rüstflexibilität aufgefaßt werden.
- Durchlaufflexibilität (Durchlauffreizügigkeit, Routenfreiheit): Es kann zwischen mehreren Alternativen, einen Fertigungsauftrag durch ein Produktionssystem durchzuschleusen, gewählt werden.
- Einsatzflexibilität (Ordinierungsflexibilität): Die Arbeitsgänge, die zur Abwicklung von Produktionsaufträgen erforderlich sind, lassen sich in beliebigen zeitlichen Anordnungen ausführen. Dabei kommen einerseits unterschiedliche Ausführungsreihenfolgen in Betracht. Andererseits kann es sich ebenso um zeitlich überlappende, zeitlich verschachtelte oder zeitgleiche Arbeitsgangausführungen handeln.
- Volumenflexibilität (Speicherfähigkeit): Pufferlager ermöglichen den Ausgleich divergierender Arbeitsvolumina in unmittelbar aufeinanderfolgenden Systemkomponenten.
- Verfahrensflexibilität: Ein Produktionssystem kann auf die Ausführung unterschiedlicher technischer Produktionsverfahren umgestellt werden.
- Kapazitätsflexibilität i.e.S.: Aktuell nicht benötigte Betriebsmittelkapazitäten werden vorgehalten, die bei Betriebsmittelausfällen, zum bearbeitungsparallelen Umrüsten oder bei zukünftig erhöhtem Kapazitätsbedarf genutzt werden können.
- Kapazitätsflexibilität i.w.S.: Sie bezeichnet die Erweiterungsfähigkeit der quantitativen und qualitativen Kapazität des Produktionssystems.
- Störfallflexibilität: Ein Produktionssystem läßt sich an unerwartete Veränderungen der Produktionssituation (Produktionsstörungen) anpassen.
- Integrationsflexibilität: Sie betrifft die Möglichkeiten, ein Produktionssystem in ein Umsystem anderer Produktionssysteme einzubetten.
- Kombinationsflexibilität: Endprodukte lassen sich aus standardisierten Bausteinen im Rahmen von Baukastensystemen kombinieren.

Ähnliche Kataloge von Flexibilitätsaspekten wurden in der produktionswirtschaftlichen Literatur in vielfältigen Varianten erarbeitet; vgl. z.B. SCHARF, P. (1976), S. 109ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 106f.; WARNECKE, H. (1984d), S. 456, Abb. 6/17; MERTINS (1985a), S. 17f. u. 20; KOCHAN, D. (1986), S. 27 u. 30; BÜHNER (1986c), S. 8f.; WILDEMANN (1987a), S. 5f. u. 21; HELBERG (1987), S. 40ff.; HINTZ (1987), S. 23f. u. 29; BÖTZOW (1988a), S. 24ff.; WILDEMANN (1988f), S. 113f.; HORVATH (1988b), S. 116.

15) Der grundsätzliche Widerspruch zwischen Optimierungszielen und Flexibilität wird besonders deutlich bei MALIK (1986), S. 61ff., der sich allerdings nicht speziell auf Flexible Fertigungssysteme bezieht. Vor allem moniert er, daß "... im Streben nach Optimalität eine Anpassung, oder besser Überanpassung, an die ... vorherrschenden Umstände erfolgt ist ... bis schlussendlich die Systeme jeglicher Flexibilität beraubt waren ..." (S. 62). Daher "... bedeutet Optimierung aber weitgehend die Elimination von Flexibilität" (S. 61).

Daß sich Optimierungsmodelle bei der Bearbeitung dynamischer Koordinierungsprobleme unter Flexibilitätsaspekten als inadäquat erweisen, unterstreicht auch die Problemkonzeptualisierung seitens der Robusten Planung. Sie wurde bereits an früherer Stelle angesprochen; ihr flexibilitätsorientiertes Offenhalten von Spielräumen für Anpassungsmaßnahmen wird an anderer Stelle herausgestellt. Bemerkenswert ist, daß im Paradigma Robuster Planung Optimierungsziele keine Würdigung erfahren. Statt dessen werden stets nur "gute" Modellösungen auf der Grundlage von Satisfizierungszielen angestrebt; vgl. GUPTA, S. (1968), S. B-21; ROSENHEAD (1972), S. 419 u. 426f.; ROSENHEAD (1980a), S. 214; ROSENHEAD (1980b), S. 334 u. 336; BEST, G. (1986), S. 463, 468f., 472, 474 u. 476; DELFMANN (1989a), S. 225;

Explizit abgelehnt werden Optimierungsmodelle im Rahmen Robuster Planung sogar von ROSENHEAD (1980a), S. 214; ROSENHEAD (1980b), S. 331 u. 336; BEST, G. (1986), S. 463 ("reject optimization in favour of co-ordination") u. 468; DELFMANN (1989a), S. 223 u. 227 (weniger deutlich auf S. 217f.). Entsprechend weist GUPTA, S. (1968), S. B-21 u. B-29, ausdrücklich darauf hin, daß bei Robuster Planung Verminderungen gegenüber der Zielerfüllung durch optimale Modellösungen bewußt in Kauf genommen werden (zugunsten einer größeren Flexibilität bei der Reaktion auf zukünftige Entwicklungen).

Abweichender Ansicht ist dagegen SCHNEEWEIS, C. (1989b), S. 15, der Flexibilität und optimales Reaktionsvermögen gegenüber Umweltveränderungen miteinander identifiziert. Allerdings läßt sich seine Argumentation nur bei stochastischer Umweltmodellierung aufrechterhalten. In dieser Arbeit wird jedoch davon ausgegangen, daß sich die hierfür erforderlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten von Umweltzuständen im allgemeinen *nicht* ermitteln lassen (Näheres dazu später).

16) Ein dritter Blickwinkel, der zu analogen Vorbehalten gegenüber Optimierungszielen führt, wird später ausführlicher vorgetragen. Er betrifft das regelungstheoretische Paradigma.

17) Vgl. darüber hinaus HEINHOLD (1989), S. 689 u. 692ff., insbesondere S. 695ff. Er trägt aus der Perspektive von empirischer Entscheidungs-, Organisations- und Zielforschung eine "fundamentale Prämissenkritik an Optimierungsmodellen" (S. 689) vor. Vgl. ebenso die detaillierte Kritik betriebswirtschaftlichen Optimierungsdenkens bei GEOFFRION (1976), S. 81ff. GEOFFRION deutet zwar in "dialektischer" Weise seine Vorbehalte gegenüber Optimierungsmodellen in eine positive Würdigung "wohlverstandener" Optimierungsrechnungen um. Doch fehlt seiner Argumentation die wünschenswerte Stringenz, weil seine "Rechtfertigungen" nicht auf den *optimierenden* Charakter von Modellen, sondern nur auf deren *numerische* Berechenbarkeit Bezug nehmen. Letztes reicht aber inhaltlich nicht aus, um die Verwendung von Optimierungsmodellen zu begründen. Vgl. des weiteren zu kritischen Auseinandersetzungen mit Positionen, die sich einseitig auf Optimierungsziele fixieren, SIMON, H. (1957a), S. 241ff., insbesondere S. 245f. u. 261; ROSENHEAD (1972), S. 413f.; ROSENHEAD (1980a), S. 210f. u. 213f.; DIRUF (1980a), S. 3f. u. 7f.; SCHMIDT, R.H. (1983), S. 520f.; BÄUERLE, P. (1989), S. 180f.; GAINES (1991), S. 209f.; ZIONTS (1991), S. 378. Vgl. des weiteren die subtile Einschränkung des Optimierungsdenkens auf einen "Objektbereich" der Modelllösung, der von satisfizierenden Verhaltensweisen in einem "Metabereich" der Modellkonstruktion und Lösungsbeurteilung überlagert wird, bei KERN, W. (1987), S. 119ff., und LAUX (1991), S. 54ff. Vgl. auch am Rande KISTNER (1981c), S. 78.

18) Als Dimensionsanzahl eines Formalzielsystems wird die Anzahl der darin enthaltenen Formalzielarten betrachtet. Ein Formalzielsystem heißt daher ein- oder monodimensional, falls es genau eine Zielart enthält. Es wird dagegen als mehr- oder multidimensional angesprochen, wenn es mehrere Zielarten umfaßt.

19) Dabei wird unterstellt, daß die Formalziele - solange nicht ausdrücklich andere Festlegungen erfolgen - im hier thematisierten Kontext von Optimierungsmodellen stets als Extremierungsziele vorliegen.

20) Die Voraussetzung der Eindimensionalität für betriebswirtschaftliche Optimierungsmodelle wird von ADAM, D. (1979), S. 382; ADAM, D. (1980a), S. 127; ADAM, D. (1980d), S. 51 u. 58f.; ADAM, D. (1983a), S. 485, und ADAM, D. (1983b), S. 13, explizit genannt. Eine etwas schwächere Anforderung liegt vor, wenn postuliert wird, die Formalziele sollten eine vollständige oder eindeutige Anordnung aller Lösungsalternativen zulassen; vgl. HEINEN (1972), S. 3; HOFF, H. (1986), S. 35; HINTZ (1987), S. 87. Denn eine solche lineare Alternativenanordnung kann in einzelnen Fällen auch bei der Zugrundelegung von multidimensionalen Formalzielsystemen resultieren. In der Regel wird jedoch auch sie nur von eindimensionalen Zielsystemen erfüllt. Alle vorgenannten Quellen beziehen die Eindimensionalität des Formalzielsystems bzw. die Anordnungslinearität der Lösungsalternativen auf die Definition von wohlstrukturierten Planungssituationen oder Entscheidungsproblemen. Diese Wohlstrukturiertheit präzisiert die oben nur vage angedeutete "Reinform" von Optimierungsmodellen. Dieser Aspekt wurde bereits als Wohlstrukturiertheit von Problemen erwähnt; er wird später vertieft. Daß das Formalzielsystem eines wohlstrukturierten Problems nur ein Extremierungsziel umfassen darf, hat auch schon SIMON, H. (1958a), S. 5, herausgestellt.

21) Es ist hier unerheblich, auf welche Weise die Pluralität der Zielarten zustande kommt. So kann ein Entscheidungsträger betrachtet werden, der nur durch eine Person konstituiert wird, die jedoch mehrere verschiedenartige Ziele verfolgt. Ebenso ist es möglich, daß der Entscheidungsträger eine Gruppe aus mehreren Personen darstellt, die zwar jeweils genau ein Ziel vertreten, deren Ziele jedoch - zumindest zum Teil - verschiedenartig sind. Schließlich können auch die beiden vorgenannten Antipoden beliebig miteinander kombiniert auftreten.

22) Vgl. zur betriebswirtschaftlichen Relevanz multidimensionaler Zielsysteme FANDEL (1972), insbesondere S. 102ff.; FANDEL (1981a), S. 118ff.; VIEFHUES (1982), S. 189ff., 194ff., 210ff. u. 300ff.; VON NEUMANN-COSEL (1983), passim. Vgl. auch die Erörterung des Stundenplanproblems bei KERN, W. (1967), S. 156ff.

23) Vgl. SIMON, H. (1957a), S. 250ff.

24) Darauf wird später ausführlicher eingegangen.

25) Vgl. VINCKE (1986), S. 164.

26) Dies wird z.B. bei PFOHL (1981), S. 174, deutlich. Dort wird für den Fall, daß mehrere nicht-dominierte (effiziente) Problemlösungen vorliegen, ohne jede weitere Einschränkung festgestellt: "Dann werden entsprechende Zielfunktionen benötigt, um eine vollständige Rangordnung abzuleiten." Die Frage, ob eine solche *Vollordnung* überhaupt erwünscht sein muß, scheint keiner weiteren Diskussion würdig zu sein. In ähnlicher Weise äußert MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 136, die Ansicht, daß zusätzliche "Werturteile" nötig seien, um bei multidimensionalen Formalzielsystemen Entscheidungsalternativen auswählen zu können.

27) Vgl. zu einem Überblick über Lösungskonzepte der multikriteriellen oder vektoriellen Entscheidungstheorie ROY, B. (1977a), S. 179ff.; KUPSCH (1979), S. 51ff.; ADAM, D. (1980b), S. 179f.; VINCKE (1986), S. 160ff.; RAJURKAR (1987), S. 513ff.; ZIONTS (1991), S. 377ff., sowie die weiteren Beiträge in dem Sammelband KORHONEN (1991). Vgl. auch die spätere Erörterung des Dominanzkonzepts. Keines dieser Lösungskonzepte läßt sich aus dem jeweils zugrundeliegenden Entscheidungsproblem stringent ableiten. Sie stellen vielmehr zusätzliches Lösungswissen dar.

28) So stellt BENAYOUN (1971), S. 366, für Lineare Optimierungsprobleme mit mehrfachen Extremierungsfunktionen fest: "In this type of problem it is often necessary to replace the concept of 'optimum' with that of 'best compromise'."

29) Vgl. zu Zielsetzungsdefekten ADAM, D. (1979), S. 385; ADAM, D. (1980a), S. 127ff.; ADAM, D. (1980b), S. 178ff.; ADAM, D. (1983a), S. 486; ADAM, D. (1983b), S. 16f.

30) Ein Zielsetzungsdefekt liegt erst dann vor, wenn die Formalziele in einem partiellen Konflikt derart stehen, daß mindestens zwei Formalziele zu verschiedenen - sich gegenseitig ausschließenden - optimalen Modellösungen führten, falls sie jeweils isoliert betrachtet würden. Vgl. ADAM, D. (1979), S. 385; WITTE, T. (1979a), S. 80 (der weniger präzise von Bewertungs- anstelle von Zielsetzungsdefekten spricht); ADAM, D. (1980a), S. 127 u. 130; ADAM, D. (1980b), S. 179f.; ADAM, D. (1983a), S. 486; ADAM, D. (1983b), S. 16.

Die Erfüllung der vorgenannten einschränkenden Bedingungen bedeutet ebenso, daß die Menge nicht-dominierter Entscheidungsalternativen mindestens zwei Elemente umfaßt. Daher fällt die Diskussion der zielsetzungsdefekten Probleme mit den oben angeführten Schwierigkeiten des Dominanzkonzepts der multikriteriellen Entscheidungstheorie inhaltlich zusammen. Dies gilt allerdings nur in dem Ausmaß, wie Zielsetzungsdefekte auf das Verfolgen eines multidimensionalen zurückgeführt werden. Statt dessen lassen sich auch andere Ursachen von Zielsetzungsdefekten identifizieren.

31) Es könnte zwar eingewandt werden, daß sich alle relevanten Formalziele zu einem "Superziel" aggregieren ließen. Hierzu käme vor allem die Gewichtung der Einzelziele und eine anschließende Addition aller gewichteten Formalzielbeiträge in Betracht. Diesem Weg möchte der Verf. jedoch nicht folgen, ohne dies hier ausführlich zu rechtfertigen. Statt dessen verweist er nur auf erhebliche Bedenken, sämtliche Formalziele so vereinheitlichen zu können, daß sie sich in ein Gewichtungsschema einordnen lassen. Deswegen bevorzugt er, die Verschiedenartigkeit von Formalzielen im Rahmen eines multidimensionalen Formalzielsystems durch Verzicht auf solche Zielaggregationen bewußt aufrechtzuerhalten. Die gleiche Ansicht findet sich - mit explizitem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme - bei RAJURKAR (1987), S. 513: "Most problems in the real world are characterized by a large number of interacting objectives ... For a long time, many of these problems have been approached as single objective problems. This basically amounts to a loss of information in the process of decision making ... [because] it is not possible to assign a single measure of achievement to all the objectives." (Ergänzung [...] durch den Verf.).

32) Ein vollkommen anderes Lösungskonzept vertritt z.B. SIMON, H. (1957a), S. 252, indem er vorschlägt, alle Formalziele aus einem multidimensionalen Formalzielsystem grundsätzlich als Satisfizierungsziele zu behandeln. Vgl. zu einem weiteren, abermals grundverschiedenen Lösungskonzept BENAYOUN (1971), S. 366ff.

33) Vgl. zu weiteren Lösungskonzepten, die auf paarweisen Alternativenvergleichen beruhen BARTNICK (1989), S. 311ff.; KEILUS (1990), S. 336ff.; LAUX (1991), S. 74ff.; ROY, A. (1991), S. 128ff., insbesondere S. 130f.

34) Es liegt außerhalb der Thematik dieser Untersuchungen, das Outranking-Konzept im Detail zu erläutern. Es wird hier nur insoweit behandelt, wie es hilfreich erscheint, um das Abrücken von Optimierungszielen zugunsten einer verstärkten Beachtung von Meliorierungszielen zu rechtfertigen. Vgl. zu ausführlichen Darstellungen des Outranking-Konzepts, das vornehmlich von ROY ausgearbeitet und seitdem mit Schwerpunkt in Frankreich fortentwickelt wurde, ROY, B. (1968d), S. 57ff.; ROY, B. (1971a), S. 246ff., insbesondere S. 253ff.; ROSENHEAD (1972), S.

417; ROY, B. (1973a), S. 292ff.; ROY, B. (1973b), S. 179ff.; ROY, B. (1977a), S. 200ff.; ROY, B. (1977b), S. 40ff., insbesondere S. 58ff.; ROY, B. (1978), S. 3ff.; MOSCAROLA (1978), S. 403ff.; ROY, B. (1980), S. 467ff.; HWANG, C. (1981), S. 115ff.; ROY, B. (1982), S. 305ff.; ROY, B. (1984), S. 1323ff.; BRANS (1984), S. 477ff.; ROY, B. (1985), S. 44ff., insbesondere S. 105ff.; VINCKE (1986), S. 164, mit einer kompakten Zusammenfassung des Outranking-Konzepts und zahlreichen weiterführenden Quellenangaben; BRANS (1986), S. 228ff.; ROY, B. (1986), S. 201ff.; ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 9 u. 177ff.; ARNING (1987), S. 155ff.; FISCHER, J. (1989), S. 400ff.; PAGNONI (1990), S. 33, 185f. u. 207ff.; TREULING (1990), S. 46; BANA E COSTA (1991), S. 87ff., insbesondere S. 90ff.; vgl. auch die ausführliche Bibliographie zum Outranking-Konzept bei SISKOS (1983), S. 3ff.

Das Outranking-Konzept basiert auf einer Vergrößerung konventioneller Entscheidungsmodelle mittels einer unscharf formulierten Vorzugsrelation (Outranking-Relation). Dabei wird das kardinale Skalenniveau von Optimierungs- und Satisfizierungszielen verlassen. Vgl. dazu die Ausgrenzung von Präferenzintensitäten bei ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 180, als nicht notwendige Interpretationen des Outranking-Konzepts. Zwar wird das Outranking-Konzept des öfteren weiterhin mit kardinalen Meßkonzepten für die Zielerfüllungsgrade von Entscheidungsalternativen verknüpft, wie z.B. bei ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 178ff. Doch ist dies im Rahmen des Outranking-Konzepts überhaupt nicht erforderlich. Daher wird das Outranking-Konzept hier in einer grundsätzlich ordinal ausgerichteten Variante behandelt. Ihr zufolge reicht es aus, die nicht-dominierten Problemlösungen (Entscheidungsalternativen) hinsichtlich ihrer relativen Vorteilhaftigkeit nur noch auf ordinalem Skalenniveau miteinander zu vergleichen.

Es werden lediglich paarweise Alternativenvergleiche vorgenommen. Hierbei wird festgestellt, ob ausreichende Argumente vorliegen, von der relativen Vorteilhaftigkeit der einen gegenüber der jeweils anderen Alternative überzeugt zu sein. Zusätzlich wird untersucht, ob entgegengesetzte Vorteilhaftigkeitsurteile nahelegen, nicht zu stark sind; vgl. VINCKE (1986), S. 164. Das Ergebnis eines Alternativenvergleichs besitzt also entweder den Charakter einer unscharfen Glaubwürdigkeitsangabe (Evidenz) hinsichtlich der relativen Vorteilhaftigkeit einer von jeweils zwei verglichenen Alternativen. Oder der Entscheidungsträger verhält sich gegenüber den verglichenen Alternativen indifferent, weil sich keine ausreichenden, von entgegengesetzten Einwänden nicht zu stark beeinträchtigte Argumente zum Vorzug einer der beiden Alternative finden lassen. Im ersten Fall wird von überlegenen, im zweiten von indifferenten Entscheidungsalternativen gesprochen. Ein Paar aus indifferenten Entscheidungsalternativen ist kein Element der Vorzugsrelation.

Aus den paarweisen Alternativenvergleichen resultiert eine zweistellige, ordinale, asymmetrische und potentiell unvollständige Vorzugsrelation über der Menge aller nicht-dominierten Entscheidungsalternativen. Die Vorzugsrelation ist potentiell unvollständig, weil stets mit Paaren aus indifferenten Alternativen gerechnet werden muß. Solche Indifferenzen können im positiven Sinne ausdrücken, daß der Entscheidungsträger die verglichenen Alternativen als gleichwertig beurteilt. Ebenso ist es aber auch im negativen Sinne möglich, daß der Entscheidungsträger über keine hinreichenden Argumente verfügt, um von zwei Alternativen eine der anderen glaubwürdig vorzuziehen. Daher beschränkt sich die Vorzugsrelation darauf, dasjenige Bewertungswissen des Entscheidungsträgers zu explizieren, über das dieser mit *hinreichender Glaubwürdigkeit* verfügt. Damit stellt das Outranking-Konzept erheblich niedrigere Anforderungen an das Bewertungsvermögen des Entscheidungsträgers als die konventionelle Entscheidungstheorie (vgl. VINCKE (1986), S. 164). Denn von der letztgenannten wird vorausgesetzt, daß der Entscheidungsträger jede Entscheidungsalternative bezüglich ihrer Zielwirkungen vermittels präziser quantitativer Zielerfüllungsangaben auf kardinalem Skalenniveau zu beurteilen vermag. Dabei ist er nicht auf die Bewertungshilfe einer Vergleichsalternative angewiesen. Dagegen erfordert das Outranking-Konzept keine Feststellung der Zielerfüllungsgrade von Entscheidungsalternativen. Statt dessen werden nur viel schwächere - d.h. unscharfe und ordinale - Angaben über die Glaubwürdigkeiten relativer Vorteilhaftigkeitsurteile benötigt. Darüber hinaus öffnet sich das Outranking-Konzept gegenüber einer breiten Teilmenge indifferenten Entscheidungsalternativen. Sie können immer dann vorliegen, wenn der Entscheidungsträger keine hinreichend glaubwürdigen Argumente sieht, eine Alternative gegenüber einer anderen vorzuziehen. Dies bedeutet jedoch - im Gegensatz zur konventionellen Entscheidungstheorie - keineswegs, daß die indifferenten Alternativen exakt gleiche Auswirkungen auf die Zielsystemerfüllung besitzen müßten.

Die Varianten des Outranking-Konzepts unterscheiden sich nur hinsichtlich der Art, wie das Basiskonzept der Vorzugsrelation konkret ausgestaltet wird. Nachfolgend wird exemplarisch eine Konzeptverfeinerung skizziert, das auf den Ausführungen von ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 177ff., insbesondere S. 179ff. u. 190ff., basiert. Es zielt auf eine Einengung und Präzisierung des Begriffs akzeptabler Entscheidungsalternativen ab. In einem ersten Ansatz können zwar bereits alle Entscheidungsalternativen, die sich in Paarvergleichen als relativ vorteilhaft erwiesen haben, als akzeptabel betrachtet werden. Diese Sichtweise erscheint dem Verf. jedoch zu grob, weil sie in der Regel zu sehr umfangreichen Mengen akzeptabler Alternativen führen wird. Daher wird das Outranking-Konzept in der nachfolgend skizzierten Weise verfeinert. Zunächst werden die globalen Zielwirkungsanalysen, bei denen je zwei Entscheidungsalternativen im Hinblick auf *alle* Ziele simultan bewertet werden, durch partielle Analysen ersetzt. Dabei werden jeweils zwei Entscheidungsalternativen bezüglich genau eines Formalziels beurteilt. Hierdurch wird die Komplexität des zielbezogenen Alternativenvergleichs erheblich reduziert. Zugleich wird die o.a. asymmetrische ordinale Vorzugsrelation, in der alle Argumente für und gegen die Vorteilhaftigkeit einer Alternative bezüglich ihrer Vergleichsalternative zusammengefaßt sind, durch eine kardinale und symmetrische Vorzugsrelation substituiert. In der modifizierten Vorzugsrelation werden die entgegengesetzten Argumente nicht mehr vollständig aggregiert, son-

dem in differenzierter Weise repräsentiert. Hierdurch wird ein zweistelliges, kardinales Glaubwürdigkeitsmaß (Evidenzmaß) für paarweise und einzelzielbezogene Alternativenvergleiche eingeführt (vgl. ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 180).

Zunächst muß der Entscheidungsträger durch einen Wert aus dem normierten reellzahligen Intervall $[0;1]$ präzise festlegen, welches Gewicht er jenen Argumenten zumißt, die von zwei verglichenen Alternativen die erste gegenüber der zweiten in bezug auf ein einzelnes Ziel präferieren. Danach muß er mit einem komplementären Glaubwürdigkeitsmaß für die umgekehrte Alternativenfolge im selben Alternativenpaar ausdrücken, welche Bedeutung er den konkurrierenden Argumenten für die Vorziehungswürdigkeit der vorher zweiten, aber nunmehr an die erste Stelle gerückten Alternative hinsichtlich desselben Einzelziels einräumt. Für die beiden Alternativen werden also - in Abhängigkeit von ihrer Reihenfolge - zwei zueinander komplementäre, jeweils kardinal formulierte Glaubwürdigkeitsgrade angegeben.

Jeder der beiden komplementären Glaubwürdigkeitsgrade nimmt den Extremwert "1,0" an, wenn die relative Vorteilhaftigkeit der ersten gegenüber der zweiten Entscheidungsalternative "vollkommen evident" erscheint. Ebenso ist es möglich, daß zwei Entscheidungsalternativen bezüglich desselben Einzelziels wechselseitig einander vorgezogen werden. Ein derart gespaltenes Vorzugsurteil kann sogar zu einem inkonsistenten Evidenzurteil führen. Dies liegt spätestens dann vor, wenn sich die *beiden* komplementären Glaubwürdigkeitsgrade für dasselbe Alternativenpaar an den Extremwert "1,0" vollkommener Überzeugung annähern, daß jeweils die erste der zweiten Alternative vorzuziehen sei. Falls keine überzeugenden Argumente vorliegen, um eine Alternative gegenüber der jeweils anderen vorzuziehen, nimmt der Glaubwürdigkeitsgrad den Wert Null an. Dabei wird als Annäherung an reales Entscheidungsverhalten in Rechnung gestellt, daß geringe Variationen der Zielwirkungen von verglichenen Entscheidungsalternativen oftmals nicht als hinreichendes Argument anerkannt werden, um eine von zwei Alternativen zu präferieren. Insbesondere können Unsicherheiten bei der Informationssammlung oder anlässlich der Informationsauswertung dazu führen, geringe Wirkungsdifferenzen als "erratische" Schwankungen aus entscheidungsrelevanten Argumentationen auszugrenzen. Daher wird eine Mindestschwelle zugelassen, um die eine Entscheidungsalternative ihr Vergleichspondant hinsichtlich ihrer Zielwirkungen übertreffen muß, um glaubwürdig vorteilhafter zu erscheinen. Wenn diese Schwelle nicht überschritten wird, verhält sich der Entscheidungsträger gegenüber den verglichenen Entscheidungsalternativen indifferent. Die Mindestschwelle stellt abermals eine kardinale Determinante der hier skizzierten Variante des Outranking-Konzepts dar. Denn das Überschreiten dieser Schwelle kann nur geprüft werden, wenn es möglich ist, die Differenz der Zielwirkungen der jeweils verglichenen Entscheidungsalternativen zu ermitteln. Dies verletzt ordinales, es erfordert statt dessen kardinales Skalenniveau.

Aus dem vollständigen Paarvergleich aller Entscheidungsalternativen in bezug auf alle Einzelziele resultieren für jedes Alternativenpaar zwei komplementäre Glaubwürdigkeitsgrade. Sie drücken jeweils die Evidenz für die relative Vorteilhaftigkeit der ersten gegenüber der zweiten Paarkomponente aus. Diese Glaubwürdigkeitsgrade lassen sich zu einem zweistelligen Glaubwürdigkeitsmaß verdichten. Die Verdichtung kann auf verschiedene, hier jedoch im Detail nicht weiter interessierende Weise erfolgen; vgl. statt dessen ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 185ff. In dem zweistelligen Glaubwürdigkeitsmaß werden die Argumente, die entweder für oder aber gegen die relative Vorteilhaftigkeit der ersten von den jeweils zwei verglichenen Alternativen sprechen, differenziert als erste bzw. zweite Stelle des Glaubwürdigkeitsmaßes erfaßt. In dieser Hinsicht stimmt das Outranking-Konzept mit den Konzepten zweistelliger Evidenzwerte überein, das der Verf. bereits in ZELEWSKI (1986a), S. 388ff., ausführlicher gewürdigt hat. Das Glaubwürdigkeitsmaß konstituiert eine zweistellige, unvollständige, kardinale und symmetrische Vorzugsrelation. Mit ihrer Hilfe erfolgt der entscheidende Schritt zur Definition akzeptabler Entscheidungsalternativen.

Es wird auf den ersten Blick nicht mehr nach optimalen, satisfizierenden oder meliorisierenden Problemlösungen gesucht. Statt dessen geschieht eine Dreiteilung der Menge nicht-dominierter Problemlösungen in die disjunkten und exhaustiven Teilmengen der zurückzuweisenden, der näher zu überprüfenden und der akzeptablen Entscheidungsalternativen (vgl. zu dieser Trichotomie ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 191f.). Zu diesem Zweck werden zwei kritische Schwellenwerte als höhere Akzeptanz- und niedrigere Rückweisungsschwelle festgelegt. Wenn die Vorzugsrelation anzeigt, daß der kleinste (größte) Glaubwürdigkeitsgrad für die relative Vorziehungswürdigkeit einer nicht-dominierten Entscheidungsalternative, der in Paarvergleichen mit allen anderen konkurrierenden nicht-dominierten Alternativen ermittelt wurde, die Akzeptanzschwelle mindestens erreicht (die Rückweisungsschwelle unterschreitet), wird die erstgenannte Entscheidungsalternative als akzeptable (zurückzuweisende) Problemlösung eingestuft. Zwischen Zurückweisungs- und Akzeptanzschwelle liegt der Bereich jener Entscheidungsalternativen, bezüglich derer ohne weiterführende Problemanalysen keine eindeutige Beurteilung ihrer Lösungsqualität möglich ist. Die Glaubwürdigkeitsurteile reichen dort weder aus, um eine Entscheidungsalternative zurückzuweisen, noch genügen sie für deren Einstufung als akzeptable Problemlösung.

Nicht-dominierte Lösungen zum Teil als akzeptabel zu qualifizieren, beruht letztlich auf paarweisen Alternativenvergleichen. Jeder dieser Alternativenvergleiche involviert ein Glaubwürdigkeitsurteil über die relative Vorteilhaftigkeit der einen über die jeweils andere Alternative. Daher liegt dem Outranking-Konzept ein weit gefaßtes Meliorisierungsdenken zugrunde. Dieser Meliorisierungsansatz gilt unabhängig davon, welches Ausmaß erwünschter Zielerfüllung vom Entscheidungsträger zunächst vertreten worden ist. Denn für den relativen Vorteilhaftigkeitsvergleich für Alternativenpaare ist es unerheblich, ob der Entscheidungsträger Optimierungs- oder Satisfizierungsziele verfolgt hat und diese anschließend auf der Basis des Outranking-Konzepts im meliorisierenden Sinne über-

formt wurden - oder ob er von vornherein Meliorisierungsziele angestrebt hat. In beiden Fällen wird die meistens große Menge nicht-dominierter Problemlösungen auf eine kleinere Menge akzeptabler Entscheidungsalternativen reduziert. Im allgemeinen besteht diese Menge aber nicht nur aus einer "besten" oder einigen wenigen "sehr guten" Lösungen. Vielmehr enthält sie zumeist noch eine größere Anzahl von akzeptablen Problemlösungen. Vgl. dazu RAJURKAR (1987), S. 513; vgl. auch die Beispiele bei ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 190f. Der Entscheidungsträger verhält sich beim Outranking-Konzept bezüglich dieser akzeptablen Alternativen indifferent. Andernfalls - wenn die Menge akzeptabler Problemlösungen von vornherein leer ist - kann die bereits identifizierte Kategorie der noch näher zu überprüfenden Alternativen betrachtet werden. Ziel ist es dann, aus jenen Alternativen im Rahmen einer verfeinernden Problemanalyse doch noch akzeptable Problemlösungen herauszufiltern. Oder es muß die o.a. Akzeptanzschwelle so weit abgesenkt werden, bis akzeptable Problemlösungen auftreten.

Abschließend ist deutlich darauf hinzuweisen, daß die oben angedeutete Kardinalität von Glaubwürdigkeitsgraden und Mindestschwellen als ein Rückschritt gegenüber dem ordinalen Skalenniveau der ursprünglich eingeführten Vorzugsrelation für das Outranking-Konzept aufgefaßt werden kann. Denn durch diese Kardinalisierung werden die Anforderungen an das Bewertungswissen des Entscheidungsträgers wieder verschärft. Zwar läßt sich diese Verschärfung zum Teil wieder dadurch aufheben, daß auf unscharfe Mengen (fuzzy sets) zurückgegriffen wird. Vgl. darüber zur Formulierung von Glaubwürdigkeitsgraden mit der Hilfe von unscharfen Mengen ROY, B. (1977b), S. 44f. u. 58ff.; MOSCAROLA (1978), S. 404ff.; ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 180ff., insbesondere S. 182ff. Dann drückt der Glaubwürdigkeitsgrad in der Art einer Zugehörigkeitsfunktion aus, in welchem Ausmaß der Entscheidungsträger davon überzeugt ist, daß eine Entscheidungsalternative in der - unscharfen - Menge aller derjenigen Alternativen liegt, die sich in bezug auf eine Vergleichsalternative als relativ vorteilhaft erweisen. Trotz dieser Abschwächungen vermag die Verwendung unscharfer Mengen die kardinale Verschärfung des Skalenniveaus nicht vollkommen aufzuheben. Denn die Zugehörigkeitsfunktion unscharfer Mengen besitzt weiterhin einen kardinalen Charakter: Sie ist als eine Abbildung von einer konventionell definierten Menge auf das reellzahlige Intervall $[0;1]$ definiert. Daher erfüllt das reellzahlige Funktionsbild notwendig kardinales Skalenniveau. Mit Hilfe der Zugehörigkeitsfunktion wird in die Theorie unscharfer Mengen eine - zumeist ungewollte - Schärfe hineingetragen, die in der Regel als solche nicht beachtet wird.

Allenfalls könnte auf die linguistische Interpretation unscharfer Mengen zurückgegriffen werden. Hierbei werden vage natürlichsprachliche Ausdrücke mit der Hilfe von präzise definierten Zugehörigkeitsfunktionen auf unscharfe Mengen abgebildet; vgl. ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 237ff.; HINTZ (1987), S. 98ff. u. 156ff.; ZELEWSKI (1988e), S. 51ff., und die dort angeführte vertiefende Literatur; RABETGE (1991), S. 60f. u. 64f. Dann bräuchten die Glaubwürdigkeitsgrade nicht mehr kardinal im Intervall $[0;1]$ spezifiziert zu werden. Statt dessen ließen sie sich durch vage Begriffe wie z.B. "große" und "geringe" Glaubwürdigkeit ersetzen. Ebenso könnten die Mindestschwellen in unscharfer Weise so formuliert werden, daß sie "wesentlich" überschritten werden müßten. Oder es ließe sich fordern, die Zielwirkungsdifferenz von zwei verglichenen Alternativen müßte "beträchtlich" sein. Aber auch beim Rückgriff auf linguistisch interpretierte unscharfe Mengen würden die natürlichsprachlichen Ausdrücke letztlich wieder auf unscharfe Mengen mit ihren präzisen Zugehörigkeitsfunktionen zurückgeführt. Daher kann auch auf diese Weise die Rückwendung zu einem kardinalen Skalenniveau in letzter Konsequenz nicht aufgehoben werden. Aber der Verf. schätzt die linguistische Interpretation unscharfer Mengen immerhin als einen diskussionswürdigen Ansatz ein. Denn sie reduziert die Anforderungen an das Bewertungswissen eines Entscheidungsträgers vom kardinalen Glaubwürdigkeitsintervall $[0;1]$ auf vage natürlichsprachliche Bewertungsausdrücke. Die Restkardinalität, die in der reellzahligen Zugehörigkeitsfunktion linguistisch interpretierter unscharfer Mengen verborgen ist, kann zwar zu Verzerrungen und Validitätsproblemen führen (vgl. ZELEWSKI (1988c), S. 60f.). Doch wäre es möglich, den tatsächlichen Einfluß dieser Schwierigkeiten auf eine konkrete Alternativenbewertung zu prüfen. Beispielsweise könnte die Robustheit der Bewertungsergebnisse gegenüber Variationen der Zugehörigkeitsfunktionen, die vage natürlichsprachliche Begriffe in unscharfe Mengen einbinden, untersucht werden.

35) Es wird hier nicht der Versuch unternommen, die Charakteristika realer Entscheidungsprozesse im einzelnen darzustellen und entsprechend zu belegen. Statt dessen wird auf die Literatur zur deskriptiven oder empirischen Entscheidungstheorie verwiesen; vgl. z.B. als einführende Überblicke PFOHL (1981), S. 74ff., 116ff. u. 353ff.; SIEBEN (1990), S. 177ff. Vgl. ebenso den frühen Beitrag von LINDBLOM (1959), S. 79ff., der zwar nicht explizit im entscheidungstheoretischen Kontext argumentiert, sich aber inhaltlich mit der Deskription realer Entscheidungsprozesse befaßt.

Als pars pro toto wird lediglich das Charakteristikum des Outranking-Konzepts hervorgehoben, sich auf paarweise Alternativenvergleiche zu beschränken. Diese Einengung der Beurteilungsperspektive auf nur noch jeweils zwei Alternativen bedeutet eine radikale Umsetzung von Erkenntnissen der deskriptiven Entscheidungstheorie. Denn es besteht ein weitreichender Konsens, daß bei realen Entscheidungsprozessen nur eine recht kleine Anzahl von Entscheidungsalternativen in Betracht gezogen und miteinander verglichen wird. Dies hat z.B. schon LINDBLOM (1959), S. 80, nachdrücklich betont. Vgl. auch LINDBLOM (1976), S. 374, 376, 381 u. 385; WITTE, T. (1979a), S. 172f.; MEYER ZU SELHAUSEN (1989), Sp. 747 u. 751; FRESE (1991), S. 44.

36) Vgl. ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 9 i.V.m. S. 8. Er kennzeichnet das Outranking-Konzept als besonders reliabel - im Sinne einer zuverlässigen Realitätsabbildung - und realistisch. Vgl. zu einer ähnlichen Einschätzung VINCKE

(1986), S. 164. Darüber hinaus hat dieses Konzept bereits mehrere praktische Anwendungen auf reale Entscheidungsprobleme erfahren; vgl. ROY, B. (1982), S. 301ff.; VINCKE (1986), S. 164 (und die dort angeführte Literatur). Sogar im Kontext flexibler Fertigungssysteme wurde sein Einsatz schon angeregt; vgl. ARNING (1987), S. 155ff., der seine konzeptionellen Überlegungen allerdings noch nicht in eine praktische Konzeptanwendung umsetzt. Die Praxistauglichkeit des Outranking-Konzepts wird dadurch unterstrichen, daß neuerdings Softwarepakete für den automatenunterstützten, interaktiven Konzepteinsatz zur Verfügung stehen; vgl. VINCKE (1986), S. 164.

Es wird hier keineswegs der Anspruch erhoben, Entscheidungsträger müßten bei der Bewältigung von Koordinierungsproblemen das Outranking-Konzept tatsächlich befolgen. Dies ist zwar durchaus möglich, aber keineswegs notwendig. Zumindest läßt sich aber mit seiner Hilfe reales Entscheidungsverhalten, wie es sich in der betrieblichen Praxis immer wieder offenbart, als zielbezogenes Verhalten rational rekonstruieren und hierdurch nachträglich begründen. Aus dieser Perspektive läßt sich das Outranking-Konzept der deskriptiven Entscheidungstheorie zurechnen; vgl. ZIMMERMANN, H. (1987b), S. 8f.

Für die Fokussierung auf das Outranking-Konzept spricht ebenso, daß es sich als ein theoretisch gehaltvolles Lösungskonzept erweist. Sein theoretischer Gehalt erstreckt sich im wesentlichen darauf, eine wohldefinierte Basismethode für das Auffinden akzeptabler Problemlösungen bei umfangreichen Mengen nicht-dominiertes Lösungen zu etablieren. Dadurch stellt es eine präzise, operationale Definition des Begriffs akzeptabler Problemlösungen zur Verfügung. Eine axiomatische Fundierung des Outranking-Konzepts liegt dagegen - abgesehen von einem rudimentären Ansatz bei ROY, B. (1977a), S. 199, - noch nicht vor; vgl. VINCKE (1986), S. 164f.; ROY, B. (1986), S. 201 u. 212f.

37) Hinsichtlich der Differenzierung zwischen lokalen und globalen Alternativen, die an anderer Stelle für dynamische Koordinierungsprobleme eingeführt wird, sind hier globale Entscheidungsalternativen gemeint.

38) Komparative Modellanalysen decken ein weites Feld denkmöglicher Modelluntersuchungen für unterschiedliche Formalzielsysteme ab. Erstens lassen sie sich benutzen, um bei multiplen Optimierungszielen die jeweils dominierten Modelllösungen in paarweisen Alternativenvergleichen auszusondern. Zweitens gestatten sie, vor dem Hintergrund von Meliorisierungszielen nach solchen Entscheidungsalternativen zu suchen, die ein vorgegebenes Formalzielsystem besser erfüllen als eine bereits bekannte (und zulässige) Alternative. Falls dies auf mehrere Entscheidungsalternativen zutrifft, kann durch ihren Vergleich untereinander ermittelt werden, welche Alternativen zur größten Verbesserung der Zielsystemerfüllung führen. Drittens umfassen komparative Modellanalysen ebenso die Möglichkeit, Satisfizierungsziele zu berücksichtigen. Denn im Rahmen einer jeden komparativen Modellanalyse erfolgen mehrere projektive Modellanalysen, die sich auf jeweils eine der verglichenen Entscheidungsalternativen erstrecken. Bei jeder dieser involvierten projektiven Modellanalysen kann auch die Erfüllung der Anspruchsniveaus von Satisfizierungszielen überprüft werden. Sobald dabei eine projektive Modellanalyse eine satisfizierende Entscheidungsalternative ausweist, braucht der Alternativenvergleich nicht weiter fortgesetzt zu werden.

Allerdings lassen sich mit der Hilfe komparativer Modellanalysen nur Entscheidungsalternativen aus *endlichen* Alternativenmengen miteinander vergleichen. Deshalb ist es unmöglich, mit komparativen Modellanalysen die optimale(n) Lösung(en) eines Entscheidungsmodells zu bestimmen, dessen Formalzielsystem mindestens ein Optimierungsziel umfaßt und für das *unendlich viele* zulässige Entscheidungsalternativen definiert sind. Auf die hier nur grob skizzierten komparativen, projektiven und optimierenden Modellanalysen wird später hinsichtlich der Auswertung von Netzmodellen zurückgekommen.

39) Das handlungstheoretische Paradigma wird hier aus zwei Gründen nur gestreift. Erstens fällt es in zahlreichen Aspekten mit dem entscheidungstheoretischen Paradigma inhaltlich zusammen. Dabei lassen sich einerseits Entscheidungen als Entscheidungen über denkmögliche Handlungsweisen konzeptualisieren (vgl. dazu das konventionelle Planungsverständnis). Andererseits ist es ebenso möglich, jedes Handeln als Entscheidungshandeln aufzufassen, sobald dem Handlungsträger alternative Handlungsoptionen offenstehen (vgl. FRESE (1991), S. 69f.). Die weitreichende Überschneidung zwischen handlungs- und entscheidungstheoretischem Denkmuster wird z.B. deutlich anhand der Basisdefinition von STÜDEMANN (1988), S. 11: "Handlung ist jedes willensgesteuerte, zielgerichtete und mit einem bestimmten Ergebnis ... abschließende menschliche Verhalten." (Fettdruck im Original hier unterlassen).

Zweitens bieten Ausführungen zum handlungstheoretischen Strukturierungsparadigma des öfteren eine Vielfalt terminologischer Besonderheiten, die für die hier behandelte Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen keine Erkenntnisstimulanz erwarten lassen. Der einzige Aspekt des handlungstheoretischen Paradigmas, der nachfolgend besonders herausgestellt wird, erstreckt sich darauf, daß der Mensch - mit allen seinen Beschränkungen - als handelndes (entscheidendes) Subjekt in den Vordergrund rückt. Vgl. zu dieser Betonung des Subjektbezugs im handlungstheoretischen Kontext z.B. KOCH, H. (1971), S. 65f.; KOCH, H. (1973), S. 217; KOCH, H. (1975), S. 38. Vgl. zu ausführlicheren Darstellungen des handlungstheoretischen Paradigmas die Quellen, die zu diesem Paradigma bereits in einer früheren Anmerkung angeführt wurden.

40) Weitere Vorbehalte gegenüber Optimierungsmodellen lassen sich mittelbar auf handlungstheoretische Überlegungen zurückführen, ohne direkt aus dem literarischen Umkreis des handlungstheoretischen Paradigmas zu stammen. Beispielsweise wird auf psychologische Barrieren von Entscheidungsträgern gegenüber optimalen Mo-

dellösungen hingewiesen. Diese Schwierigkeiten resultierten daraus, daß sich die Entscheidungsträger ihrer Entscheidungsfreiheit beraubt fühlten, wenn sie mit Optimallösungen von Modellen konfrontiert würden. Vgl. zu dieser Argumentationsweise EILON (1974), S. 32ff.; GUPTA, J. (1977), S. 89; MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 136.

Darüber hinaus ist in diesem Zusammenhang auch ein häufig vertretener - obgleich vom Verf. nicht geteilter - Anspruch der Erforschung Künstlicher Intelligenz bemerkenswert. Er postuliert, in "Expertensystemen" solle das Denk- oder Entscheidungshandeln menschlicher Experten simuliert werden. Dabei wird vorausgesetzt, daß Expertensysteme tatsächlich eine valide Rekonstruktion der simulierten menschlichen Handlungsweisen leisten. Falls dieser programmatische Anspruch und daran geknüpfte Validitätsprämisse geteilt werden, so läßt sich aus dem Optimierungsvermögen von Expertensystemen auf die Bedeutung von Optimierungsmodellen für das Denk- oder Entscheidungshandeln menschlicher Experten zurückschließen. Tatsächlich spielen Optimierungsmodellierungen bei Expertensystemen nahezu keine - allenfalls eine rudimentäre - Rolle. Daraus folgt unter den vorgenannten Voraussetzungen mittelbar die inferiore Relevanz von Optimierungsmodellen als Grundlage menschlichen Handelns. Vgl. zur weitgehenden Vernachlässigung des Optimierungsgedankens im Bereich der KI-Forschung SIMON, H. (1983a), S. 21f.; HATVANY (1983b), S. 26; MICHAELSEN (1984), S. 152f.; MERTENS (1985b), S. 132f.; ZELEWSKI (1986a), S. 290f.; ZELEWSKI (1988c), S. 41; ZELEWSKI (1990a), S. 57. Vgl. aber auch die Vorbehalte des Verf. gegenüber dem o.a. programmatischen Anspruch, menschliche Experten zu simulieren, in ZELEWSKI (1986a), S. 117ff.

41) Die Fokussierung von Entscheidungshandlungen auf jeweils wenige Entscheidungsalternativen wurde schon kurz zuvor im Zusammenhang mit dem Outranking-Konzept erwähnt.

42) Dies entspricht der Anwendung von Meliorisierungszielen. Ihre große Bedeutung für menschliches Entscheidungshandeln klingt bei HWANG, S. (1984), S. 850, an. Dort werden als Stärken von Automaten und Menschen bei der Informationsverarbeitung u.a. gegenübergestellt: "Computer can *optimize* ... Human has good *comparative judgement*" (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Vgl. auch die Anmerkung zur Einordnung der inkrementellen Planungsstrategie in das Verfolgen von Meliorisierungszielen. Die Relevanz dieser Strategie für menschliches Planungshandeln wurde bereits herausgestellt.

43) Die Bedeutung von Handlungsregeln für die Erfüllung von Koordinierungsaufgaben wird besonders deutlich bei PROBST (1981), S. 3ff., 23ff., 32, 35, 38ff., 77 u. 174. Vgl. darüber hinaus WILDEMANN (1989a), S. 43, der explizit auf einfache Regeln für die übersichtliche Koordinierung von Produktionsprozessen Bezug nimmt (ohne sich dabei auf einen handlungstheoretischen Argumentationshintergrund zu beziehen).

Allerdings mutet es erstaunlich an, daß in handlungstheoretisch ausgerichteten Argumentationen die zentrale Rolle, die einfachen (heuristische Entscheidungs-)Regeln bei der Auswahl zwischen konfliktionären Handlungsalternativen zukommt, oftmals nicht deutlich herausgestellt wird. Falls der handlungsbestimmende Einfluß von Regeln dort überhaupt thematisiert wird, so werden die Regeln statt dessen mitunter als Anleitungen zur *Begrenzung* von Handlungsspielräumen - anstatt zum selektiven *Ausschöpfen* dieser Spielräume - verstanden; vgl. BRAUN, W. (1985), S. 120; MALIK (1986), S. 41.

44) Auf diese Prioritätsregeln gehen handlungstheoretische Erörterungen jedoch in der Regel nicht explizit ein.

45) Vgl. dazu die ähnlichen Ausführungen zur beschränkten menschlichen Informationsverarbeitungs- oder Problemlösungskapazität im Kontext inkrementeller Planungsstrategien bei LINDBLOM (1959), S. 80 u. 84f.; LINDBLOM (1976), S. 380; WITTE, T. (1979a), S. 173; STAUDT (1979a), S. 87f.; PICOT (1979), S. 574; MEYER ZU SELHAUSEN (1989), Sp. 747 u. 749; vgl. ebenso - jedoch ohne den vorgenannten Kontextbezug - HOFMANN, J. (1985), S. 74f. Vgl. darüber hinaus die Ausführungen bei CYERT (1963), S. 117f., hinsichtlich einer "lokalen Rationalität". Dabei wird von CYERT und MARCH festgehalten: "... the importance of ... local rationality is in the tendency for the individual subunits to deal with a limited set of problems and a limited set of goals." (S. 117). Einen ähnlichen Gedanken hat bereits HAX, K. (1959), S. 607, geäußert: "Es verbleiben praktisch nur einige wenige überschaubare Fälle, für die man die Pläne im einzelnen ausarbeitet, um sie dann miteinander vergleichen zu können."

46) Zugleich erklärt die geringe Aufmerksamkeitsspanne auch, warum bei der Alternativenauswahl die zielwirksamen Konsequenzen der in Betracht kommenden Entscheidungsalternativen nicht unmittelbar berücksichtigt, sondern vermittelt einfacher heuristischer Ersatzkriterien beurteilt werden. Vgl. dazu die Hinweise hinsichtlich einer denkmöglichen evolutionären Rechtfertigung von vereinfachenden (komplexitätsreduzierenden) heuristischen Entscheidungskriterien.

47) Falls ein lokaler Spielraum dann immer noch zu groß ist, um von einem Entscheidungsträger im Rahmen seiner Aufmerksamkeitsspanne bewältigt werden zu können, bieten sich zusätzliche dispositive Restriktionen an, um den Entscheidungsspielraum weiter zu reduzieren. Im Rahmen des später entfalteteten Petrinetz-Konzepts wäre z.B. daran zu denken, nicht jeden beliebigen Schaltschritt zuzulassen, sondern nur entweder einelementige oder aber maximale Schaltschritte zu beachten. Eine solche Einengung der Schaltregel würde eine typische dispositive Restriktion darstellen.

48) Statt dessen läßt sich gerade aus diesem Einwand die Berechtigung des Ansatzes dieser Arbeit ableiten, das Petrinetz-Konzept so mit Implementierungshilfen der Automatischen Informationsverarbeitung zu verknüpfen, daß

insgesamt eine automatengestützte optimierende Analyse von umfangreichen Netzmodellen möglich wird. Vgl. dazu die Diskussion optimierender Modellanalysen.

49) Der Verf. hat Konzepte für die "Fabrik der Zukunft", die den Menschen sowohl hinsichtlich seiner ausführenden als auch bezüglich seiner dispositiven Leistungen immer mehr durch Automaten zu ersetzen gedenken, an anderer Stelle ausführlicher behandelt; vgl. ZELEWSKI (1986a), S. 543ff. u. 1249ff. sowie die dort angeführten Quellen. Vgl. auch die Hinweise auf vollautomatische (mannarme) Produktionsschichten, die bereits im Zusammenhang mit der Konzeptualisierung von Lagerstationen erfolgten.

50) Vgl. zur Skepsis, das "Ideal" einer menschenleeren Fabrik verwirklichen zu können, bei ZELEWSKI (1986a), S. 544ff.; EIDENMÜLLER (1987), S. 243; BÖTZOW (1988a), S. 246; SCHUMANN (1988), S. 8; vgl. auch die entsprechende Einschätzung anlässlich der Konzeptualisierung von Arbeitskräften.

51) Die Gewährung begrenzter Entscheidungsspielräume für ausführende Arbeitskräfte im Produktionssystem läßt sich speziell vor dem Hintergrund flexibler Fertigungssysteme dadurch rechtfertigen, daß sie die organisatorische Flexibilität der Systemnutzung erhöhe. Auf diese Weise könne die vorhandene technische Systemflexibilität erst richtig zur Entfaltung gelangen. Vgl. zur Betonung des Aspekts organisatorischer Flexibilität - in bezug auf teilautonome Arbeitskräfte - BÖTZOW (1988a), S. 116, 119 u. 143ff.; KREIMEIER (1988), S. 393. Allerdings handelt es sich in dieser allgemeinen Formulierung um ein globales Argument, das noch nicht erkennen läßt, wie die "organisatorische Entfaltung" der technischen Systemflexibilität konkret geschehen könnte. Diese Argumentationslücke läßt sich jedoch ohne Schwierigkeiten schließen.

Beispielsweise werden den "ausführenden" Arbeitskräften im Produktionssystem begrenzte Dispositionsfreiräume gewährt, damit sie auf Störungen im Produktionssystem mit bewährten Eingriffsstrategien schnell und wirksam reagieren können. Vgl. zu dieser Zielsetzung HORMANN, D. (1973), S. 82; HWANG, S. (1984), S. 851 u. 855 (Arbeitskräfte als "backup decision-maker"); MERTINS (1985a), S. 149; ALDINGER (1985a), S. 28, 39; O.V. (19881), S. 23; KOHEN (1989), S. 42. Die Anpassung der Prozeßkoordinierung an unerwartete Situationsveränderungen wird durch Arbeitskräfte, die im Produktionssystem an Koordinierungsentscheidungen teilhaben, in zweifacher Hinsicht gefördert. Erstens lassen sich zeitaufwendige Kommunikationsprozesse vermeiden, die sonst zwischen ausführenden Arbeitskräften im Produktionssystem und anpassungsplanenden Mitarbeitern im Informationssystem erforderlich wären. Vgl. BÖTZOW (1988a), S. 143ff. Die damit verknüpfte Verkürzung der Entscheidungsdurchsetzungswege äußert sich u.a. in einer Verringerung der Dispositionsstufenanzahl; vgl. BÜHNER (1986c), S. 19. Zweitens besteht die Chance, heuristisches Wissen der ausführenden Arbeitskräfte in die Prozeßkoordinierung einzubeziehen. Es erstreckt sich einerseits auf intime Kenntnisse über technische und ablauforganisatorische Besonderheiten der ausgeführten Produktionsprozesse. Andererseits schließt es Erfahrungen über erfolgversprechende, "bewährte" Strategien zur Reaktion auf Produktionsstörungen ein. Beide Aspekte zusammen verleihen den ausführenden Arbeitskräften das besondere Improvisationsvermögen, "vor Ort" die richtigen Koordinierungsentscheidungen schnell zu treffen. Vgl. dazu FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 355; SELIGER (1983), S. 25f., 33, 62ff., 114f. u. 139; GAUDERON (1984), S. 83 u. 166; AWF (1984), S. 4; MERTINS (1985a), S. 8, 91, 94, 101 u. 139; BÜHNER (1987), S. 264; BÖTZOW (1988a), S. 116, 135f., 143, 149, 198 u. 201; KREIMEIER (1988), S. 394f. Es wird auch von einer "kompetenzorientierten Werkstattsteuerung" gesprochen, wenn das heuristische Erfahrungswissen der ausführenden Arbeitskräfte in die Prozeßkoordinierung einbezogen wird; vgl. SELIGER (1983), S. 62 u. 67 (auf S. 25: "prozeßnahe Kompetenz"); MERTINS (1985a), S. 8 u. 101. (Vgl. aber auch die Kritik, daß hinter Entscheidungsspielräumen für ausführende Arbeitskräfte ebenso das Eingeständnis stehen kann, daß die Werkstattsteuerung über keine Konzepte für die systematische Reaktion auf Produktionsstörungen verfügt.) Die ausführenden Arbeitskräfte sind in der Lage, im Falle einer unerwarteten Situationsveränderung ihr heuristisches Wissen im Produktionssystem unmittelbar anzuwenden. Ihre Reaktionszeit liegt bei der Antwort auf Betriebsstörungen im Produktionssystem nur im Sekundenbereich; vgl. HWANG, S. (1984), S. 851 (0,25 bis 0,33 Sekunden). Diese Reaktionsdauer fällt bei weitem geringer aus als die Zeitspanne, die andernfalls im Informationssystem zur systematischen Planung entsprechender Anpassungsmaßnahmen aufgewandt werden müßte. Dabei wird von der Denkmöglichkeit abgesehen, bei der Anpassungsplanung im Informationssystem die gleichen Heurismen wie die Arbeitskräfte im Produktionssystem zu benutzen. Dadurch ließen sich zwar ähnlich niedrige Reaktionszeiten erzielen. Doch wäre es schwer einzusehen, warum dann nicht gleich die Arbeitskräfte im Produktionssystem reagieren sollten (Kommunikationseinsparung; s.o.). Darüber hinaus ist fraglich, ob das heuristische Wissen der Arbeitskräfte für Verarbeitungszwecke im Informationssystem akquiriert werden kann. Die voranstehenden Argumente legen in ihrer Gesamtheit nahe, daß Dispositionsspielräume für ausführende Arbeitskräfte maßgeblich dazu beitragen, auf unerwartete Veränderungen der Produktionssituation rasch und wirkungsvoll zu reagieren. Dies harmonisiert mit der früher entfalteten Konzeptualisierung dynamischer Koordinierungsprobleme. Daher räumt der Verf. partizipativen Produktionsplanungs- und -steuerungskonzepten, insbesondere auch für die hier thematisierte Prozeßkoordinierung in flexiblen Fertigungssystemen, erhebliche Bedeutung ein.

Eine eng verwandte Argumentation rechtfertigt Entscheidungsspielräume von ausführenden Arbeitskräften vor dem Hintergrund der früher skizzierten Koordinierungskomplexität. Denn die Teilautonomie der Arbeitskräfte im Produktionsbereich bewirkt, daß die zentrale Werkstattsteuerung von Aufgaben der Anpassungsplanung teilweise entlastet wird; vgl. HELBERG (1987), S. 201. Hierdurch wird die Koordinierungskomplexität, die weiterhin seitens der

Werkstattsteuerung bewältigt werden muß, erheblich reduziert; vgl. WILDEMANN (1989a), S. 43. Die Werkstattsteuerung braucht nicht mehr einzelne Arbeitsgänge (Aufträge) und Bearbeitungsstationen einander zuzuordnen. Statt dessen kann sie sich darauf beschränken, größere Arbeitsgangbündel als "Arbeitsvorräte" einer geringeren Anzahl teilautonomer Arbeitsgruppen zuzuweisen; vgl. ARNING (1987), S. 102f. Vgl. zu weiteren Aspekten der Koordinierungsvereinfachung durch teilautonome Arbeitsgruppen BÜHNER (1986c), S. 45. Die Reduzierung der Koordinierungskomplexität im Bereich der Werkstattsteuerung bewirkt tendenziell eine Verringerung des Ressourceneinsatzes, der im Informationssystem für die Koordinierung von Produktionsprozessen aufgewendet werden muß. Vgl. KIESER, A. (1985), S. 372; BÜHNER (1986c), S. 19 u. 45; ARNING (1987), S. 102; BÖTZOW (1988a), S. 114, 144 u. 148f. Allerdings können diesem Rationalisierungseffekt höhere Entgelte für die ausführenden Arbeitskräfte im Produktionssystem entgegenwirken. Denn sie müssen hinreichend qualifiziert (und motiviert) sein, um Teilaufgaben der Prozeßkoordinierung selbst zu übernehmen. Tatsächlich läßt sich ein Trend feststellen, dem zufolge das Entgelt-niveau der Arbeitskräfte in Flexiblen Fertigungssystemen über dem bei Werkstattfertigungen liegt; vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 4f., 352 u. 354ff.; ARNING (1987), S. 100 u. 108. Ohne in dieser Arbeit eine detaillierte Abwägung dieser entgegengesetzten Effekte vorzunehmen, geht der Verf. davon aus, daß die Effizienzvorteile, die aus einer reduzierten Koordinierungskomplexität resultieren, die Zusatzkosten für hochqualifizierte Arbeitskräfte insgesamt überwiegen. Vgl. zu einer ähnlichen Einschätzung FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 34f. u. 354ff.

Vgl. darüber hinaus zu der allgemeinen Erwartungshaltung, durch die Gewährung von Entscheidungsspielräumen für ausführende Arbeitskräfte die Effizienz des Arbeitseinsatzes zu erhöhen, FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 35, 57f., 347, 352 u. 354ff.; SELIGER (1983), S. 33f.; KIESER, A. (1985), S. 374; BÜHNER (1986c), S. 19 u. 51; BÖTZOW (1988a), S. 114, 118 u. 136; WILDEMANN (1988f), S. 165; KREIMEIER (1988), S. 396. Eine indirekt effizienzsteigernde Wirkung wird auch dadurch erhofft, daß Arbeitsmotivation, Arbeitszufriedenheit und Arbeitsplatzattraktivität tendenziell steigen, wenn die Arbeitskräfte an der Gestaltung ihres eigenen Arbeitsablaufs partizipieren können. Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 35 u. 356; SELIGER (1983), S. 31; KIESER, A. (1985), S. 374; BÜHNER (1986c), S. 51 (u. 53ff.); HELBERG (1987), S. 201; ENDELL (1987), S. 211; ARNING (1987), S. 15; BÖTZOW (1988a), S. 114, 122, 133, 135, 137, 198f. u. 202f. (auf S. 114f. u. 134 werden - in umgekehrter Argumentationsrichtung - hohe Absentismus- und Fluktuationsraten bei Unzufriedenheit infolge mangelnder Partizipation an Arbeitsdispositionen herausgestellt). Vgl. auch die Kritik von ADAM, D. (1990a), S. 808, an der demotivierenden Qualität der "zentral erarbeiteten minutengenauen Pläne" bei der Koordinierung von Maschinenbelegungen durch PPS-Systeme.

Die Flexibilitäts- und Effizienzaspekte, die zuvor zugunsten einer Arbeitsbereicherung um dispositive Aufgaben angeführt wurden, beruhen auf einer unternehmungs- oder arbeitgeberorientierten Perspektive. Statt dessen lassen sich aber auch dezidiert arbeitnehmerorientierte Ziele betonen. Denn die Gewährung von Entscheidungsspielräumen für ausführende Arbeitskräfte kommt ebenso dem Streben nach einer "Humanisierung der Arbeit", nach "menschengerechten Arbeitsformen", oder nach einer "sozial verträglichen Technikgestaltung" zugute. Vgl. KREIKEBAUM (1979), Sp. 1399; WARNECKE, H. (1980a), S. 10; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 35, 38, 57f., 61, 197f., 415 u. 438; BÜHNER (1986c), S. 19 u. 51f.; BÖTZOW (1988a), S. 123 u. 131; KREIMEIER (1988), S. 396; MAI (1988), S. 8; ZELEWSKI (1988f), S. 18.

52) Vgl. zum Einräumen von Entscheidungs-, Dispositions- oder Handlungsspielräumen für Mitarbeiter, die im Produktionssystem ausführend tätig sind, ULICH (1973), S. 64ff.; STEFFEN (1978), S. 421f. u. 425ff.; STAUDT (1979a), S. 196ff.; SCHNEIDER, A. (1979), S. 358 (frei disponierbare Arbeitsvorräte); SELIGER (1983), S. 25f. u. 33 i.V.m. S. 31 u. 33 sowie - als "Gestaltungsspielräume" - S. 114; GAUDERON (1984), S. 132 ("Zusammenfassung dispositiver und ausführender Tätigkeiten") u. S. 135; ALDINGER (1985a), S. 58; BÜHNER (1986c), S. 6, 15, 17, 19 u. 52; ZELEWSKI (1986a), S. 1255ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 327f. (mit dem Vorschlag, Entscheidungskompetenz aus PPS-Systemen an Meister und Vorarbeiter im Produktionssystem zu delegieren); HELBERG (1987), S. 191 ("Entscheidungsspielräume in der Reihenfolgebildung") u. 201f.; ARNING (1987), S. 78; BÖTZOW (1988a), S. 122, 135, 137, 144 u. 150; KREIMEIER (1988), S. 393ff.; LOOS, U. (1989), S. 210; KERN, W. (1990a), S. 302; FRESE (1990a), S. 94; WOMACK (1990), S. 14, 99 u. 101.

Die Entscheidungsspielräume nehmen z.B. die Gestalt eines Arbeitsvorrats von Produktionsteilaufträgen oder Arbeitsgangbündeln an. Die Mitglieder einer Dispositionsgruppe entscheiden selbst über die Abarbeitung des Arbeitsvorrats (Autonomieaspekt). Bei einer Dispositionsgruppe kann es sich sowohl um eine teilautonome Arbeitsgruppe als auch um eine einzelne Arbeitskraft handeln. Sie planen die Reihenfolge und die Zeitabschnitte der Erfüllungen der einzelnen Arbeitsaufgaben, entscheiden über die Auswahl geplanter Alternativen und kontrollieren die Ausführung der ausgewählten Alternativen. Vgl. WARNECKE, H. (1980a), S. 10f.; SELIGER (1983), S. 31 u. 33; AWF (1984), S. III, 5, 110f. u. 115ff.; BÜHNER (1986c), S. 6; HELBERG (1987), S. 201; ARNING (1987), S. 78, 98f., 103f. u. 226ff.; ENDELL (1987), S. 196; BÖTZOW (1988a), S. 119, 149f. u. 167ff. (passim); KREIMEIER (1988), S. 393 u. 395; WILDEMANN (1989a), S. 40 u. 43. Hinzu kommt die Möglichkeit, daß die Arbeitskräfte über ihre persönliche Anwesenheitszeit disponieren; vgl. ENDELL (1987), S. 196 u. 250. Damit wird die früher erfolgte Konzeptualisierung persönlicher Verfügbarkeitskalender unterstrichen. Zugleich wird die Dispositionsfreiheit aber eingeschränkt. Denn es werden die Mengen auszuführender Arbeitsaufgaben sowie die Zeitintervalle, Eck- oder Endtermine für die Aufgabenerfüllung fest vorgegeben (Aspekt der *Teilautonomie*). Vgl. zu dieser Vorgabe eines sachlichen und zeit-

lichen Dispositionsrahmens FOTILAS (1980), S. 97ff.; SELIGER (1983), S. 62 u. 64; BÜHNER (1986c), S. 6, 15 u. 45; ENDELL (1987), S. 196; BÖTZOW (1988a), S. 119 u. 149; KREIMEIER (1988), S. 394. Eine übergeordnete Dispositionsebene im Informationssystem bleibt daher weiterhin erhalten; vgl. KREIMEIER (1988), S. 394. Sie wird in der Regel durch die Arbeitsvorbereitung oder einen Leitstand gebildet. Die übergeordnete Instanz ist erforderlich, um die Dispositionen der teilautonomen Arbeitskräfte miteinander zu koordinieren. Dies gilt insbesondere dann, wenn mehrere Dispositionsgruppen an der vollständigen Abwicklung eines Produktionsauftrags beteiligt sind. Auf das diffizile Koordinierungsproblem, ihre gruppenspezifischen Entscheidungsspielräume aufeinander abzustimmen, wird hier aber nicht weiter eingegangen. Vgl. statt dessen zu solchen Abstimmungsschwierigkeiten ALDINGER (1985a), S. 60f.; HELBERG (1987), S. 190. Darüber hinaus wird unterstellt, daß die betroffenen Arbeitskräfte hinreichend qualifiziert sind, um die ihnen eingeräumten Entscheidungsspielräume sachgerecht auszufüllen. Ebenso wird angenommen, daß sie bereit sind, diese Fähigkeit zum aktiven Gestalten von Produktionsprozessen auch tatsächlich zu nutzen. Vgl. zur letztgenannten motivationalen Prämisse auch HELBERG (1987), S. 202.

Die voranstehend skizzierten Entscheidungsspielräume stellen keine *grundsätzliche* Ausweitung der Kompetenzen von Mitarbeitern im Produktionsbereich dar. Denn auch die "ausführende" Arbeit ist kaum jemals auf das reine Ausführen vorgegebener Anweisungen beschränkt. Vielmehr enthalten in der betrieblichen Praxis selbst detaillierteste Arbeitsanweisungen immer noch Spielräume für die konkrete Arbeitsausführung. Darauf hat schon HAX,K. (1959), S. 613f., ausdrücklich hingewiesen. Vgl. auch HAX,H. (1965), S. 10f.; KOSIOL (1973a), S. 504f.; BORMANN (1978), S. 183; ZELEWSKI (1986a), S. 687ff., insbesondere S. 689. Daher handelt es sich bei den hier thematisierten zusätzlichen Entscheidungsspielräumen nur um eine graduelle - aber "wesentliche" - Verstärkung bereits vorhandener Spielräume. Die Vereinigung ausführender mit dispositiven Arbeitsfunktionen wird auch von BÜHNER (1986c), S. 15, und WILDEMANN (1987a), S. 37, in bezug auf Flexible Fertigungssysteme explizit festgestellt (hinsichtlich der dort angeführten Organisationsform vom "Typ B").

53) Vgl. zur Arbeitsanreicherung, die auch als Aufgabenbereicherung, vertikale Aufgabenerweiterung oder "job enrichment" thematisiert wird, ULICH (1973), S. 68ff.; FRESE (1979), Sp. 152ff.; FOTILAS (1980), S. 69ff.; BÜHNER (1986c), S. 17f.; KERN,W. (1990a), S. 19.

Die Arbeitsanreicherung erstreckt sich auf jede Ausweitung von Handlungsspielräumen um "strukturell verschiedenartige Arbeitselemente" (ULICH (1973), S. 68). Sie kann daher durchaus die hier interessierende Bereicherung um neuartige Dispositionsspielräume einschließen; vgl. z.B. KERN,W. (1990a), S. 19. Dies muß jedoch keineswegs der Fall sein. Statt dessen vermag sich die Arbeitsanreicherung ebenso auf die Ergänzung neuartiger Arbeitsrichtungen zu erstrecken, die jedoch weiterhin ausführenden Charakter besitzen. Dies wird hier aber nicht weiter berücksichtigt.

Vgl. zur Empfehlung, die arbeitsanreichernde Organisation von Produktionssystemen verstärkt zu würdigen, BECKER,J. (1978), S. 513; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 343ff. u. 436 (mit speziellem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme); WILDEMANN (1984a), S. 19 u. 24; WILDEMANN (1988f), S. 163ff.; BÖTZOW (1988a), S. 116ff., 131, 143f., 150f. u. 201; vgl. dazu auch die Ausführungen zu dezentralen PPS-Konzepten.

54) Vgl. zu (teil-)autonomen Arbeitsgruppen, die auch als selbststeuernde, (eigen)verantwortliche oder dezentral agierende Arbeitsgruppen, als Gruppenfertigung oder als Gruppenarbeit thematisiert werden, ULICH (1973), S. 84ff.; STEFFEN (1978), S. 422 u. 428ff.; BECKER,J. (1978), S. 513; SCHÄFER,E. (1978), S. 191; FRESE (1979), Sp. 152 u. 154f.; KREIKEBAUM (1979), Sp. 1399f.; FOTILAS (1980), S. 83f.; WARNECKE,H. (1980a), S. 10; SELIGER (1983), S. 25f. u. 31; AWF (1984), S. III u. 5; KIESER,A. (1985), S. 374; BÜHNER (1986c), S. 15, 17, 19, 45, 47 u. 49ff.; WILDEMANN (1987a), S. 149; BÜHNER (1987), S. 263f.; ARNING (1987), S. 78f.; ENDELL (1987), S. 196 u. 246; BÖTZOW (1988a), S. 114, 116, 118, 122, 135f., 137, 148ff. u. 243; KREIMEIER (1988), S. 393 u. 395f.; WILDEMANN (1988c), S. 41 u. 149; WILDEMANN (1988f), S. 56, 139, 167, 203, 215, 225, 232ff. u. 238; MAI (1988), S. 8; WILDEMANN (1989a), S. 40 u. 43; KERN,W. (1990a), S. 19, 93 u. 248; KARSTEN (1990), S. 17f. (als "Meisterfamilien").

Bei der Gestaltung von teilautonomen Arbeitsgruppen erlangen Dispositionsspielräume - im Vergleich zur Arbeitsanreicherung - besondere Bedeutung. Denn dort spielt die Ausweitung von Handlungsspielräumen die Einbeziehung neuer - aber weiterhin ausführender - Tätigkeiten überhaupt keine nennenswerte Rolle mehr. Statt dessen rückt die Bereicherung um Entscheidungs- und Kontrollbefugnisse in den Vordergrund. Vgl. zur ausdrücklichen Zuordnung des Konzepts teilautonomer Arbeitsgruppen zu Flexiblen Fertigungszellen oder -inseln BÜHNER (1986c), S. 50; ARNING (1987), S. 78f.

55) Vgl. zur Würdigung dezentral organisierter Erfüllung von Produktionsplanungs- und -steuerungsaufgaben WARNECKE,H. (1980c), S. 163ff.; ZÄPFEL (1982), S. 278ff.; ALDINGER (1985a), S. 56ff.; HELBERG (1987), S. 8, 181ff., 200 u. 206; MISSBAUER (1987), S. 1, 35ff. u. 43f.; HINTZ (1987), S. 2ff.; ZÄPFEL (1989c), S. 3ff. u. 8ff.; KOHEN (1989), S. 41f. u. 46 (mit speziellem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme); SCHEER (1989h), S. 31; WILDEMANN (1989a), S. 41 u. 43 (die dort empfohlenen selbststeuernden Regelkreise mit autonomen Entscheidungsbefugnissen lassen sich als eine Dezentralisierungsvariante interpretieren, auf S. 40 wird explizit von "Dezentralisierung" gesprochen); WILDEMANN (1990a), S. 622; SCHWEITZER,M. (1990b), S. 660; KARGL (1990), S. 965; WECK (1991d), S. 8(ff.); WINTER,RO. (1991), S. 5 u. 192; ZÄPFEL (1992), S. 1ff.

Vgl. ebenso zur Empfehlung partizipativer Koordinierungskonzepte für die Bewältigung komplexer Koordinierungsprobleme BEST, G. (1986), S. 477.

Bei konventioneller Organisation der Erfüllung von Produktionsplanungs- und -steuerungsaufgaben ist es zumeist üblich, die dispositiven Leistungen der Prozeßkoordinierung in der Organisationseinheit der Arbeitsvorbereitung zentral zu institutionalisieren. ENDELL (1987), S. 245, spricht in diesem Zusammenhang von einer zentralen Totalkoordinierung. Vgl. auch zur konventionellen Ausgestaltung der Arbeitsvorbereitung SCHÄFER, E. (1978), S. 229ff.; ARNING (1987), S. 101f.; KERN, W. (1990a), S. 314ff.

Statt dessen wird von dezentralen PPS-Konzepten angestrebt, dispositive Leistungen auf "ausführende" Arbeitsgruppen im Produktionssystem zu verteilen. Vgl. zu dieser zunehmenden Verlagerung von Leistungen der Arbeitsvorbereitung in den Werkstattbereich ARNING (1987), S. 15, 48, 79, 82 u. 226f.; EIDENMÜLLER (1987), S. 245; KREIMEIER (1988), S. 393. Es soll eine Mischung aus zentraler Rahmenplanung und dezentraler Feinsteuerung resultieren, bei der eine zentrale Instanz im Informationssystem und die dezentral tätigen Arbeitsgruppen im Produktionssystem zusammenwirken. Vgl. ähnliche Andeutungen bei SCHEER (1989h), S. 31.

56) Vgl. daneben auch die Hervorhebung dezentraler Dispositionsmöglichkeiten im Zusammenhang mit dem Konzept der Fertigungssegmentierung bei WILDEMANN (1988c), S. 57ff.; WILDEMANN (1988f), S. 161 (er vertritt das Ziel, "die Erschließung der Problemlösungskapazität der Mitarbeiter zu erhöhen"); WILDEMANN (1989a), S. 47; FRESE (1990a), S. 94; WILDEMANN (1991a), S. 19.

Einen Randaspekt der Übertragung dispositiver Arbeitsaufgaben stellt die Werkstattprogrammierung dar. Früher war die Erstellung von Steuerungsprogrammen für Werkzeugmaschinen (u.ä.) als "Büro-Programmierung" üblich; vgl. DITTRICH, L. (1982), S. 130. Sie erfolgte seitens der zentralen Arbeitsvorbereitung; vgl. BÜHNER (1986c), S. 11. Dagegen werden die Programmierungsaufgaben im Rahmen der Werkstattprogrammierung - zumindest teilweise - an die dezentralen Arbeitsplätze der "ausführenden" Arbeitskräfte verlagert; vgl. FOTILAS (1983), S. 127; BÜHNER (1986c), S. 12. Es liegt eine Übertragung dispositiver Aufgaben in dem Ausmaß vor, in dem bei dieser Verlagerung auf die Arbeitskräfte auch Planungs-, Entscheidungs- und Kontrollkompetenzen übergehen. In die Gestaltung von Steuerungsprogrammen für Werkzeugmaschinen können die vorgenannten dispositiven Aufgabenanteile durchaus einfließen. Beispielsweise muß bei der Erstellung eines sequentiellen Steuerungsprogramms über die Reihenfolge einzelner Arbeitsgänge an einer Bearbeitungsstation entschieden werden, wenn im Arbeitsplan für den betroffenen Auftrag alternative Arbeitsgangfolgen vorgesehen sind. Vgl. zum dispositiven Charakter der Werkstattprogrammierung auch FOTILAS (1983), S. 128; BÜHNER (1986c), S. 18 (mittelbar aufgrund der Gegenüberstellung zum job enlargement ohne dispositive Arbeitsbereicherung). Detaillierter wird von JUNIKE (1988), S. 442f., auf die dispositiven Komponenten der Werkstattprogrammierung eingegangen. Vgl. auch zur Einordnung des Konzepts der Werkstattprogrammierung in Dispositionsspielräume teilautonomer Arbeitsgruppen BÖTZOW (1988a), S. 118 u. 136; KREIMEIER (1988), S. 393. Vgl. ebenso die Hervorhebung der Werkstattprogrammierung als Ausdruck der Unabhängigkeit und Selbstverantwortlichkeit von Fertigungsinseln bei AWF (1984), S. 73.

57) Vgl. ENDELL (1987), S. 245f., die sich explizit auf flexibel automatisierte Fertigungssysteme (Fertigungszellen und -inseln) bezieht; BÖTZOW (1988a), S. 119 u. 136. Das Konzept der Bündelsteuerung empfiehlt die Abkehr von einer zentralen Totalkoordinierung durch PPS-Systeme. Statt dessen soll nur eine grobe Rahmenplanung erfolgen. Aus ihr werden Auftragsbündel für dezentral agierende, teilautonome Arbeitsgruppen abgeleitet. Die Auftragsbündel unterschiedlicher Arbeitsgruppen werden durch Zeitintervalle, in denen die Bündel abgearbeitet werden müssen, aufeinander abgestimmt. Die Feinplanung dieser Abarbeitung geschieht durch die Mitglieder einer Arbeitsgruppe im Produktionssystem "vor Ort" ohne Mitwirkung eines koordinierenden PPS-Systems. Es liegt daher eine gemischte, zentrale und dezentrale Aspekte integrierende Koordinierungsweise vor.

58) Vgl. NIEB (1980), S. 111; WARNECKE, H. (1980a), S. 10f.; GAUDERON (1984), S. 10, 59, 63ff., 83, 132, 135, 138, 142f., 146f., 160f., 163 u. 165; AWF (1984), S. III f., 4f., 9ff., 110f. u. 115ff.; BÜHNER (1986c), S. 6 u. 44ff., insbesondere S. 45; KNOOP (1986), S. 212; HELBERG (1987), S. 183ff., 189ff. u. 201; ARNING (1987), S. 48f., 78f., 99, 103f., 111 u. 228; ENDELL (1987), S. 196 u. 245f.; BÜHNER (1987), S. 245 u. 264; MAI (1988), S. 8; BÖTZOW (1988a), S. 116ff., 122, 133 u. 148ff.; KREIMEIER (1988), S. 394ff.; WILDEMANN (1988f), S. 59.

Im Vordergrund der vorgenannten Quellen steht oftmals die Arbeitsorganisation Flexibler Fertigungszellen. Diesbezüglich wird empfohlen, den "ausführenden" Arbeitskräften zu überlassen, wie sie ihre zelleninternen Arbeiten koordinieren möchten.

59) Dies wird später im Rahmen des problemtheoretischen Paradigmas vor dem Hintergrund lösungsdefekter Koordinierungsprobleme näher erläutert.

60) Eine Problemkonzeptualisierung, die diesem Anspruch gerecht wird, heißt fortan auch kurz eine partizipationsorientierte Konzeptualisierung.

61) Daß Optimierungsmodelle die menschliche Aufmerksamkeitsspanne bei dynamischen Koordinierungsproblemen übersteigen, folgt aus dem bereits dargelegten Sachverhalt, daß sie die Berücksichtigung aller vertikalen Ereignisinterdependenzen erfordern.

Die weitgehende Vernachlässigung von Entscheidungsspielräumen für menschliche Entscheidungsträger liegt bei Optimierungsmodellen ebenfalls auf der Hand. Denn sie eröffnen nur dann noch einen Entscheidungsspielraum, wenn für das modellierte Koordinierungsproblem *mehrere* optimale Lösungen bekannt sind. Dann verfügt der Entscheidungsträger über den - nunmehr global definierten - Spielraum, aus dieser Menge optimaler Lösungen genau ein Element auszuwählen. Dieser Entscheidungsspielraum von Optimierungsmodellen leidet jedoch unter drei gravierenden Nachteilen. Erstens ist es keineswegs sicher, daß ein Optimierungsmodell überhaupt mehrere optimale Lösungen besitzt und diese dann auch tatsächlich ermittelt werden. Zweitens ist die Anzahl der Entscheidungsoptionen, die bestehen, wenn zwischen mehreren optimalen Modellösungen ausgewählt werden kann, im allgemeinen wesentlich kleiner als die Vielfalt lokaler Entscheidungsalternativen, die in der hier präferierten Problemkonzeptualisierung in den zahlreichen lokalen Spielräumen zur Auswahl stehen. Drittens wird die Aufgabe, aus mehreren optimalen Lösungen eines globalen Optimierungsmodells genau eine zu selektieren, den oben angesprochenen Partizipationsgedanken nicht gerecht. Dies gilt zumindest dann, wenn Entscheidungsteilhaber darin gesehen wird, an "interessanten" Entscheidungsproblemen mitzuwirken. Ein Entscheidungsproblem wird hier als interessant erachtet, wenn nicht von vornherein feststeht, daß alle in Betracht kommenden Problemlösungen gleichwertig sind. Darf nun ein Entscheidungsträger nur noch zwischen optimalen Modellösungen auswählen, so vermag er qua Voraussetzung die Güte der Problemlösung nicht mehr zu beeinflussen. Eine derart einflußlose Entscheidungsbeteiligung widerspricht der Intention, den Menschen in die Bearbeitung von Koordinierungsproblemen "gestaltend" und "verantwortlich" einzubeziehen. Statt dessen wird dem Mitarbeiter nur eine Pseudopartizipation an uninteressanten Restproblemen gewährt. Er hätte ebenso durch einen Automaten ersetzt werden können, der mit der Hilfe eines Zufalls(zahlen)-generators zugunsten einer der optimalen Problemlösungen "entscheidet".

Es könnte an dieser Stelle der Einwand vorgetragen werden, daß Optimierungsmodelle mit ihren optimalen Problemlösungen keine Entscheidungen über die tatsächlich zu verwirklichenden Koordinierungshandlungen fixieren, sondern lediglich *Entscheidungsempfehlungen* liefern. Von den empfohlenen optimalen Modellösungen könne jederzeit abgewichen werden. Dies gelte insbesondere dann, wenn der Entscheidungsträger aufgrund von Informationen über das reale Koordinierungsproblem, die bei der idealisierenden Konstruktion des Koordinierungsmodells nicht beachtet wurden, zu der Einsicht gelangt, daß eine andere als die empfohlene Entscheidungsalternative für die Lösung des realen Koordinierungsproblems vorzuziehen ist. Vgl. zu dieser Argumentation HAX, H. (1974), S. 15f.; KERN, W. (1987), S. 119ff.; LAUX (1991), S. 51f. Vgl. auch die ähnliche, allerdings in einem anderen Kontext verfaßte Argumentation von MALIK (1986), S. 332, es bestehe "immer wieder erneut die Möglichkeit, auf eine 'Problemlösung' zurückzukommen und Verbesserungen daran vorzunehmen, ... früher unberücksichtigte Faktoren neu zu erwägen und bislang vernachlässigte Alternativen einer sorgfältigen Prüfung zu unterziehen."

Die Berechtigung dieser Argumentation wird hier nicht bestritten, sofern sie *nur* auf die *Implementierungsphase* von Modellierungsprozessen bezogen wird. In dieser Arbeit interessiert jedoch wegen der Ausgrenzung aller Aspekte, die mit der Lösung konkreter Koordinierungsprobleme zusammenhängen, diese Implementierungsphase überhaupt nicht. Statt dessen wird hier nur die *Konstruktionsphase* thematisiert, in der es *ausschließlich* um die Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen geht. Der Modellierungsträger würde sich jedoch dem Vorwurf eines immanenten Widerspruchs aussetzen, *falls* er bereits während der Strukturierung eines Koordinierungsproblems zwei gegensätzliche Interessen verfolgte: Einerseits möchte er das Koordinierungsproblem in der Gestalt eines Optimierungsmodells konzeptualisieren, das *keine* lokalen Entscheidungsspielräume mit entsprechenden Partizipationspotentialen vorsieht. Andererseits gibt er vor, die Mitarbeiter im Produktionsbereich an der Entscheidungsfindung beteiligen zu wollen, die wegen ihrer begrenzten Aufmerksamkeitsspanne *nur* lokale Entscheidungsspielräume zu überblicken vermögen. Es ist offensichtlich, daß es inkonsistent wäre, beide Ansprüche zusammen an dieselbe Problemkonzeptualisierung zu richten.

Es besteht natürlich die Freiheit, daß der Modellierungsträger während der Problemkonzeptualisierung seine Absicht, die Mitarbeiter an lokalen Koordinierungsentscheidungen teilhaben zu lassen, *zunächst* "ausblendet" und ein Optimierungsmodell konstruiert. *Danach* könnte er diese Konzeptualisierungsblindheit wieder korrigieren, indem er bei der späteren Lösungsimplementierung von den empfohlenen optimalen Problemlösungen abweicht und dabei Ratschläge seiner Mitarbeiter im Produktionssystem berücksichtigt. Dann wird der Selbstwiderspruch, der oben innerhalb der Konstruktionsphase des Koordinierungsmodells aufgezeigt wurde, aber nicht endgültig aufgelöst. Statt dessen wird er nur in eine phasenübergreifende Modellierungsinkonsistenz transformiert. Dies entspricht weitgehend der zeitlichen Inkonsistenz, die in einer anderen Anmerkung hinsichtlich des nachträglich Revidierens von fixierten Produktionsplänen festgestellt wird.

Schließlich kann die Inadäquanz konventioneller Optimierungsmodelle für Koordinierungsprobleme, an deren Lösung die Mitarbeiter im Produktionsbereich mitwirken sollen, auch noch aus dem Blickwinkel der Neuen Institutionenökonomik aufgezeigt werden. Dabei interessiert nur jene Variante, die sich mit der Analyse von Prinzipal/Agenten-Problemen befaßt. Ihre Kalküle gestatten den Nachweis, daß sich optimale Problemlösungen, die im konventionellen Sinne ausschließlich die Interessen des Prinzipals berücksichtigen, im allgemeinen nicht mehr erreichen lassen, sobald den Agenten (Mitarbeitern) Dispositionsspielräume eingeräumt werden. Denn dann muß mit "opportunistischem" Entscheidungsverhalten der Agenten gerechnet werden, die sich an ihren eigenen, vom Prinzipalinteresse zumeist abweichenden Zielen orientieren. Vgl. zur näheren Erläuterung solcher opportunistischen Verhaltensweisen PETERSEN, T. (1989), S. 39f.; WILLIAMSON, O. (1990), S. 34ff., 54ff., 58 u. 73ff. (S. 34, 54 u. 74:

"Verfolgung des Eigeninteresses unter Zuhilfenahme von List"); HANKER (1990), S. 334f.; HAX, H. (1991), S. 56; SCHAUBENBERG (1991), S. 330f.; LENZ, H. (1991), S. 15ff., insbesondere S. 17. Vgl. des weiteren die inhaltlich übereinstimmenden, aber terminologisch abweichenden Ausführungen zum "Partisanentum" von Akteuren in multipersonalen Planungsprozessen bei LINDBLOM (1965), S. 28ff.; PICOT (1979), S. 572; MEYER ZU SELHAUSEN (1989), Sp. 748 u. 751. Sie bewegen sich vornehmlich im Kontext der inkrementellen Planungsstrategie, die bereits in einer früheren Anmerkung erwähnt wurde. Vgl. ebenso die Gegenüberstellung von Organisations- (Prinzipal-) und Individual- (Agenten-) Zielen bei HEINHOLD (1989), S. 700.

Es übersteigt das Erkenntnisinteresse dieser Arbeit nachzuzeichnen, wie trotz opportunistischer Verhaltensweise im Rahmen des Prinzipal/Agenten-Konzepts zu einem revidierten Optimierungsverständnis zurückgefunden werden kann. Statt dessen ist hier nur die Feststellung von Bedeutung, daß die opportunistischen Verhaltensmöglichkeiten der Agenten und die gegensteuernden Koordinierungsmaßnahmen des Prinzipals insgesamt dazu führen, daß sich das Formalzielsystem des Prinzipals nicht mehr in der optimalen Weise erfüllen läßt, wie es ohne die Dispositionsfreiheiten der Agenten in konventionellen Koordinierungsmodellen noch möglich wäre. Vielmehr müssen Verminderungen der Formalzielerfüllung grundsätzlich in Kauf genommen werden. Sie werden zumeist als Agentur- oder Transaktionskosten oder auch als Wohlfahrtseinbußen thematisiert; vgl. z.B. PETERSEN, T. (1989), S. 57f. u. 61ff.; PFAFF, D. (1989), S. 1014, 1021 u. 1023; FRESE (1991), S. 30f. Ob sich diese Agenturkosten angesichts der oben erwähnten Vorzüge rechtfertigen lassen, die von der partizipativen Ausgestaltung der Bearbeitung von Koordinierungsproblemen erhofft werden, wird in dieser Arbeit nicht weiter untersucht. Ausführliche formale Analysen der Einbußen, die ein Prinzipal als Abstriche von seinen eigenen Optimalvorstellungen mindestens in Kauf nehmen muß, wenn er Agenten mit eigenen Dispositionsspielräumen einsetzt, finden sich z.B. bei PETERSEN, T. (1989), S. 44ff., und LAUX (1990a), S. 44ff. u. 234ff. Die Optimalitätsabstriche des Prinzipals werden dabei durch eine agentenbezogene Gehalts- oder Belohnungsfunktion quantifiziert. Der besondere Aspekt, daß dort dennoch "optimale" Gehalts- oder Belohnungsfunktionen ermittelt werden, interessiert hier nicht weiter. Denn sie beziehen sich nur auf Optimierungen unter Sicherheit (LAUX (1990a), S. 42ff.) oder bei Kenntnis von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für das Agentenverhalten (PETERSEN, T. (1989), S. 42ff. u. 52ff.; LAUX (1990a), S. 80ff., 107ff. usw.). In dieser Arbeit wird aber von Unsicherheit ausgegangen, die sich nicht durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen bewältigen läßt.

Es könnte der Einwand erhoben werden, das Zusammenwirken von Prinzipal und Agent sei ein "theoretisches" Problem, das für die "praktischen" Probleme der Koordinierung von Produktionsprozessen keine nennenswerte Relevanz besitze. Dieser Ansicht vermag sich der Verf. jedoch nicht anzuschließen. Denn die Koordinierungsaspekte, die der Prinzipal/Agenten-Ansatz aufzeigt, erweisen sich von so grundlegender Natur, daß sie nahezu jedem betriebswirtschaftlichen Koordinierungsproblem innewohnen. Nur ist dies im produktionswirtschaftlichen Bereich bislang noch nicht intensiv erforscht worden. Allerdings läßt sich auf erste entsprechende Ansätze verweisen. Im hier thematisierten Zusammenhang ist die Arbeit VAN ACKERE (1990), S. 970ff., von besonderem Interesse. Darin analysiert die Autorin, wie sich Prinzipal/Agenten-Probleme auf Terminplanungen in Krankenhausbetrieben auswirken. Ihre Ausführungen lassen sich ohne substantielle Schwierigkeiten auf analoge Terminplanungen bei Werkstattfertigung übertragen. Dies gilt z.B. für die Erkenntnis, daß ein rationaler Koordinierungsträger unter präzise definierten Bedingungen die Startzeitpunkte von Arbeitsgängen bewußt verzögert einplant, weil er opportunistische Verzögerungshandlungen seiner Agenten im Produktionssystem einkalkuliert. Vgl. dazu die Beweisführung und Bedingungsspezifizierung bei VAN ACKERE (1990), S. 975f. (mit erheblichen Erweiterungen und Komplizierungen auf S. 977ff.), und die prägnante Zusammenfassung auf S. 983.

62) Die spielraumorientierte Strukturierung von Koordinierungsproblemen beruht grundsätzlich auf der Identifikation lokaler Entscheidungsspielräume. Dadurch wird sie der ersten Hälfte der ersten Anforderung stets gerecht. Die zweite Hälfte der ersten Anforderung, die identifizierten lokalen Spielräume für teilautonome Entscheidungen der involvierten Mitarbeiter tatsächlich offenzuhalten, läßt sich immer erfüllen, wenn der Koordinierungsträger hierzu gewillt ist. Das hier vorgelegte Koordinierungskonzept legt in keiner Weise fest, wem die Kompetenz zugeordnet wird, die lokalen Spielräume jeweils dispositiv zu schließen. Der zweiten Anforderung wird Genüge geleistet, wenn es gelingt, die lokalen Spielräume so zu gestalten, daß sie die Aufmerksamkeitsspannen menschlicher Entscheidungsträger nicht überfordern. Diese kognitionspsychologische Frage kann hier nicht allgemeingültig entschieden werden. Aber zumindest stehen ihrer positiven Beantwortung keine prinzipiellen Hinderungsgründe im Wege.

63) Gleiches gilt hinsichtlich der analogen Option, die Güte von regelungstheoretisch basierten Koordinierungskonzepten anhand optimaler Lösungen von Koordinierungsmodellen zu beurteilen. Näheres dazu später.

64) Vgl. dazu auch die Anmerkung zum Phänomen der Lösungsdefektheit.

65) Vgl. SELIGER (1983), S. 59; HELBERG (1987), S. 163; SCHRÖDER, H. (1989), S. 9; KOHEN (1989), S. 41; KERN, W. (1990a), S. 324; KARGL (1990), S. 965.

Vgl. zu allgemeinen Klagen über Mängel von konventionellen PPS-Systemen im Bereich der kurzfristigen Produktionskoordinierung bei Einzel- und Kleinserienfertigung, welche den hier angesprochenen speziellen Flexibilitätsmangel mutmaßlich umgreifen, BORMANN (1978), S. 107; ALDINGER (1985a), S. 21; KREIMEIER (1988), S. 393; MERTENS (1988e), Abb. 1 nach S. 1, der sogar eine "PPS-Misere" konstatiert; SCHEER (1989h), S. 33; KOHEN (1989), S. 40; ADAM, D. (1990a), S. 807f.

66) Dies gilt zumindest für den hier ausschließlich betrachteten Bereich der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung. Vgl. dazu auch SCHEER (1990c), S. 207f. In anderen Bereichen - wie z.B. der Mengenplanung mit ihrer Losgrößenbestimmung - können durchaus Optimierungsmodelle implementiert sein.

67) Dazu bemerkt FRESE (1990a), S. 85: "Der zwangsläufig auftretende Zielkonflikt zwischen Produktivität und Flexibilität wird im traditionellen Produktionssystem tendenziell zu Lasten der Flexibilität aufgelöst." Dabei bezieht er sich vorrangig auf den Aspekt der "Regelung der Produktionsaufgabe" (S. 84), also den Anwendungsbereich von PPS-Systemen. Auf S. 90 fügt FRESE (1990a) noch pessimistisch hinzu: "Für die Produktions-«Steuerung»" erscheinen tiefgreifende Änderungen auf absehbare Zeit unwahrscheinlich."

68) Bei dieser Sukzessivkoordinierung werden jedoch nicht alle vertikalen Ereignisabhängigkeiten wie bei der oben skizzierten Struktur dynamischer Koordinierungsprobleme beachtet. Statt dessen werden nur bereits getroffene lokale Entscheidungen als Restriktionen zu den jeweils nachfolgenden lokalen Spielräumen hinzugefügt. Hierdurch werden ausschließlich vertikale Abhängigkeiten gegenüber solchen Ereignissen berücksichtigt, deren Geschehnisse im Verlauf des sukzessiven Schließens lokaler Entscheidungsspielräume bereits festgelegt oder unterbunden worden sind. Alle vertikalen Abhängigkeiten gegenüber zukünftigen Ereignisgeschehnissen bleiben dagegen ausgeklammert.

69) Sie wurden oben anhand von Prioritätsregeln angesprochen.

70) Laut SCHEER (1990c), S. 203, sind in der betrieblichen Praxis von Produktionsplänen, die zu Beginn einer Produktionswoche aufgestellt wurden, am Ende der Woche oftmals nur noch 10% bis 20% der geplanten Sachverhalte gültig. Vgl. zum raschen Veralten von Produktionsplänen auch DICKHUT (1966), S. 56 u. 95; HOCH (1973), S. 39; BENDEICH (1977), S. 12; BECKER, J. (1978), S. 502 u. 511; SCHNEIDER, A. (1979), S. 358; BEER, S. (1979), S. 337, der sich allerdings nicht speziell auf PPS-Systeme bezieht; NIEB (1980), S. 33; SPUR (1980), S. 364, 372 u. 378 (mit speziellem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme); SCHEER (1983b), S. 141f.; BENZING (1983), S. 71; WICHARZ (1983), S. 353; KAZMAIER (1984), S. 164; KEMPF (1985), S. 17f.; ALDINGER (1985a), S. 103; FOX, B. (1985a), S. 487f.; MISSBAUER (1987), S. 31; HELBERG (1987), S. 32, 74, 163 u. 192 (zum Teil nur ansatzweise); SCHEER (1987a), S. 44; ZELEWSKI (1988c), S. 41; KERN, W. (1990a), S. 302; MERTENS (1990b), S. 120; KARGL (1990), S. 965 (Vorwurf mangelhafter Aktualität); ADAM, D. (1990a), S. 807f.; SCHEER (1990c), S. 203; ZELEWSKI (1990a), S. 57.

Das rasche Veralten der Produktionsplanung äußert sich auch mittelbar im Einsatz von "Terminjägern", die versuchen sollen, störungsinduzierte Verzögerungen vormals geplanter Produktionstermine abzufangen oder zu kompensieren; vgl. zu solchen Terminjägern AWF (1984), S. 21; EIDENMÜLLER (1987), S. 245; WILDEMANN (1988c), S. 48; WILDEMANN (1988f), S. 190; KERN, W. (1990a), S. 350.

71) MERTENS (1988e), S. 12, führt Untersuchungen an, denen zufolge in der betrieblichen Praxis von PPS-Systemen 16% bis zu 80% der ursprünglichen Produktionspläne beim Versuch ihrer Realisierung nicht eingehalten werden können.

72) Daher gelten die Ausführungen, die oben zu Optimierungsmodellen erfolgten, für PPS-Systeme analog. Es wird darauf verzichtet, sie hier zu wiederholen.

73) Die Produktionspläne, die mit der Hilfe von heuristischen Entscheidungskriterien aufgestellt werden, verhalten sich ähnlich sensitiv gegenüber Variationen von Produktionssituationen wie die Lösungen von Optimierungsmodellen. Daher gelten auch diese Produktionspläne jeweils nur für eine enge Klasse von Produktionssituationen. Sobald diese Situationsklasse durch Veränderungen der realen Produktionssituation verlassen wird, sind die Produktionspläne der PPS-Systeme durch autonome Ereignisgeschehnisse im jeweils koordinierten Produktionssystem schon wieder überholt.

Es könnte zwar eingewendet werden, daß die heuristischen Entscheidungskriterien erlaubten, wesentlich schneller auf Produktionsstörungen durch entsprechende Anpassungsplanungen zu reagieren, als es bei der Lösung von Optimierungsmodellen möglich ist. Daher bestünde ein mittelbarer Beitrag darin, zwar nicht die Störungsrobustheit von Produktionsplänen zu beachten, wohl aber rasche Plananpassungen zuzulassen. Grundsätzlich erkennt der Verf. diese Argumentation an. Vgl. dazu auch JUNGHANN (1971), S. 172 i.V.m. S. 169, und HINTZ (1987), S. 82. Sie rechtfertigen die Verwendung von Heuristiken (Prioritätsregeln) explizit mit dem Hinweis, daß sie ein besonders flexibles Reagieren der Prozeßkoordinierung auf Produktionsstörungen erlaubten. Ähnliche Äußerungen finden sich bei VAN LOOVEREN (1986), S. 5; HINTZ (1987), S. 85. Vgl. ebenso SCHEER (1987a), S. 53. Er begründet die Bevorzugung heuristischer Planungskonzepte durch die große Geschwindigkeit, mit der die geforderten Planungsergebnisse zur Verfügung stehen. Dennoch ändert sich hierdurch - zumindest derzeit - die mangelhafte Bewältigung von Produktionsstörungen durch PPS-Systeme nicht wesentlich. Denn der Aufwand von Plananpassungen bleibt trotz des Einsatzes von heuristischen Entscheidungsregeln immer noch so hoch, daß die Anpassungsgeschwindigkeit von PPS-Systemen in der Regel kleiner ausfällt als die Geschwindigkeit, mit der sich die Produktionssituation verändert. Auf dieses Geschwindigkeitsproblem wird später aus regelungstheoretischer Perspektive ausführlicher eingegangen. Vgl. auch die allgemeinen Hinweise darauf, daß das Aufstellen von Produktionsplänen durch PPS-Systeme immer

noch ein aufwendiges Unterfangen darstellt, bei ALDINGER (1985a), S. 30; MISSBAUER (1987), S. 31; MERTENS (1988e), S. 4; SCHEER (1990c), S. 203 (mit explizitem Bezug auf Prioritätsregeln).

74) Auf das Konzept der "Fehler 3. Art", das allgemein die Modellierung von Realproblemen betrifft, wird an anderer Stelle näher eingegangen.

75) Das störungsbedingte Veralten von Produktionsplänen kann daher auch als ein "Validitätsdefekt" von PPS-Systemen bezeichnet werden. Den Hintergrund bilden die Lösungsdefekte von Optimalplanungen, die in einer früheren Anmerkung thematisiert wurden.

76) Es könnte zwar daran gedacht werden, die Produktionssituation im Zeitpunkt der Planfreigabe bereits bei der Aufstellung von Produktionsplänen zu antizipieren. Die hierfür erforderliche Vorausschau zukünftiger Produktionssituationen wird jedoch in dieser Arbeit - zumindest für die hier interessierenden Flexiblen Fertigungssysteme - als unrealistisch eingestuft. Das wird an anderer Stelle ausführlich dargelegt. Daher scheidet die voranstehende Situationsantizipation aus.

77) Vgl. CARLSON, R. (1979), S. 755; VOLLMANN (1984), S. 365ff.; SRIDHARAN, V. (1987), S. 1137f.; SCHNEEWEIB, C. (1988), S. 296; ZELEWSKI (1990a), S. 57; WINTER, RO. (1991), S. 181f.

MERTENS (1988e), S. 11, spricht diesen Aspekt indirekt durch die Empfehlung an, daß "im Interesse der Planungsruhe häufige marginale ...änderungen ... besser unterlassen werden sollten." SCHNEEWEIB, C. (1989b), S. 13, stellt ein hektisches Reagieren der rollierenden Planung gegenüber Informationsveränderungen heraus.

78) Vgl. den Hinweis bei GÜNTHER, H. (1986), S. 241, die rollierende Produktionsplanung herrsche derzeit bei praktisch eingesetzten PPS-Systemen vor.

79) Sie werden daher synonym behandelt.

80) Vgl. VOLLMANN (1984), S. 219, 223ff., 228, 364 u. 367; GÜNTHER, H. (1986), S. 240f.; SRIDHARAN, V. (1987), S. 1137ff. Vgl. auch die "festen Pläne" bei BENZING (1983), S. 71, und den indirekten Hinweis bei SCHRÖDER, H. (1989), S. 8, auf die "relativ langen Planungszyklen" konventioneller PPS-Systeme.

Eine spezielle Variante des Einfrierens von Produktionsplänen stellt das Konzept des statischen Auftragseingangs dar. Es erstreckt sich ausschließlich auf dispositive Produktionsstörungen, die durch Veränderungen des abzuwickelnden Auftragspakets verursacht werden. Bei der statischen Behandlung von Auftragseingängen wird das einzuplanende Auftragspaket zu Planungsbeginn fest vorgegeben. Während der ex ante festgelegten Geltungsdauer des Produktionsplans wird es als unveränderlich betrachtet. Diese Fiktion wird ungeachtet der tatsächlich eintretenden Änderungen im einzuplanenden Auftragsbestand so lange aufrechterhalten, bis nach Ablauf der Geltungsdauer eine neue Produktionsplanung initiiert wird. Auf diese Weise erfolgt ein Einfrieren von Produktionsaufträgen. Vgl. zu dieser statischen Konzeptualisierung der Reaktion auf Auftragseingänge VOLLMANN (1984), S. 220ff. u. 367 (firm planned order treatment); KNOOP (1986), S. 65; HINTZ (1987), S. 58. Dieses statische Konzept ist typisch für konventionelle PPS-Systeme; vgl. HINTZ (1987), S. 58.

Demgegenüber sieht das Konzept des dynamischen Auftragseingangs vor, Anpassungsplanungen einzuleiten, sobald eine dispositionsbedingte Störung eingetreten ist. Entsprechend den tatsächlichen Veränderungen des abzuwickelnden Auftragspakets werden Korrekturen des jeweils zuletzt gültigen, aber störungsbedingt obsolet gewordenen Produktionsplans vorgenommen, um sich an die veränderte Produktionssituation zeitnah anzupassen. Vgl. zu dieser dynamischen Konzeptualisierung der Reaktion auf Auftragseingänge KNOOP (1986), S. 65; HINTZ (1987), S. 59.

81) Vgl. zur rollierenden, rollenden oder revolvierenden Planung WITTMANN (1959), S. 180f.; HAX, K. (1966), S. 451f.; KOSIOL (1967), S. 82; MEFFERT (1969), S. 784; SCHNEIDER, D. (1971), S. 832 u. 850; WILD (1974), S. 77, 144 u. 178ff.; STAUDT (1979a), S. 84; SPUR (1980), S. 300f.; MONDEN (1981c), S. 47; KROPP (1983), S. 113ff.; GÜNTHER, H. (1986), S. 241ff.; MALIK (1986), S. 332; HINTZ (1987), S. 123ff.; SRIDHARAN, V. (1987), S. 1137ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 52ff.; HELBERG (1987), S. 189; SCHNEEWEIB, C. (1988), S. 295f.; KERN, W. (1988), S. 168; HAX, H. (1988), S. 85 (u. 227f.); DINKELBACH (1989a), Sp. 510; KERN, W. (1990a), S. 73; HANSSMANN (1990), S. 262 u. 334f. (in kritischer Distanz); TROßMANN (1990), S. 390ff.; KISTNER (1990c), S. 17f., 302 u. 308f.; SCHEER (1990c), S. 59; ADAM, D. (1990a), S. 809 u. 825 (speziell für PPS-Systeme); LAUX (1991), S. 273 u. 275; KERN, W. (1991), S. 18; WINTER, RO. (1991), S. 105.

82) Vgl. zur wiederholten Neuplanung im Zusammenhang mit PPS-Systemen DICKHUT (1966), S. 60; HORMANN, D. (1973), S. 111 u. 113; SPUR (1980), S. 300f. u. 379; KAZMAIER (1984), S. 164; ALDINGER (1985a), S. 70 u. 76ff.; SCHEER (1990c), S. 58ff.

Bei Neuplanungen wird mitunter auch von einem Regenerierungsprinzip gesprochen; vgl. GÜNTHER, H. (1986), S. 242.

83) Das Ausmaß dieser Zeitabstände hängt von der jeweils gewählten Planungsweise ab. Sie werden hier auch als Planungsperioden bezeichnet. VOLLMANN (1984), S. 223, nennt z.B. für eine Werkstattfertigung die exemplarische Zeitspanne von 8 Wochen.

84) Allenfalls lassen sich Produktionsstörungen dadurch berücksichtigen, daß redundante Betriebsmittelkapazitäten, Material- oder Zeitpuffer genutzt werden, um die Störungswirkungen zu kompensieren. Dadurch erfolgt aber keine Anpassung der Produktionspläne an die Produktionsstörungen. Statt dessen wird am ursprünglich geplanten Produktionsplan bis zum Ablauf der Planungsperiode festgehalten. Beispielsweise läßt sich die Abwicklung eines Auftrags, die aufgrund einer Produktionsstörung nicht wie geplant fortgesetzt werden kann, so lange unterbrechen, bis sie sich in Freiräume des nicht angepaßten Produktionsplans - etwa durch Ausnutzen einer Pufferzeit oder einer freien Bearbeitungsstation - nachträglich einpassen läßt; vgl. HINTZ (1987), S. 125.

Der Verzicht auf Plananpassungen gilt jedoch nur in dem Ausmaß, wie sich der freigegeben Produktionsplan in der Planungsperiode tatsächlich noch realisieren läßt. Die Produktionsstörungen können allerdings in ungünstigen Fällen so groß werden, daß sich Plananpassungen - entgegen der Planungsabsicht - doch nicht vermeiden lassen. Dann erfolgen aber keine echten Anpassungsplanungen, wie sie später definiert werden. Statt dessen geschieht die Plananpassung wiederum durch eine Neuplanung. Sie wird lediglich vom Ende der Planungsperiode auf den Zeitpunkt der Produktionsstörung vorgezogen. Vgl. zu ungünstigen Fällen, in denen die Neuplanung eines (eingefrorenen) Produktionsplans unmittelbar durch den Eintritt einer Störung eingeleitet wird, DICKHUT (1966), S. 60; HORMANN, D. (1973), S. 111 u. 113; SPUR (1980), S. 301 u. 379. Solche zeitlich vorgezogenen Neuplanungen lassen sich jedoch weitgehend vermeiden, indem Maßnahmen getroffen werden, um Produktionsstörungen erst gar nicht entstehen zu lassen oder aber zumindest deren Auswirkungen auf Produktionspläne abzuschirmen. Auf solche Stabilisierungsstrategien wird später zurückgekommen; vgl. dazu die Erläuterungen zum passiven Störungsmanagement. Daher braucht beim Einfrieren von Produktionsplänen und bei rollierender Produktionsplanung im Regelfall auf Produktionsstörungen vor Ablauf einer Planungsperiode nicht reagiert zu werden.

85) In der voranstehenden Anmerkung wurde einschränkend dargelegt, daß in ungünstigen Fällen eine vorgezogene Neuplanung erforderlich sein kann. Doch entspricht dies nicht der Absicht rollierender Produktionsplanung. Darüber hinaus wird versucht, solche ungünstigen Fälle durch Stabilisierungsstrategien auszuschließen. Daher wird fortan darauf verzichtet, diesen einschränkenden Vorbehalt immer explizit zu erwähnen.

86) Es wird hier vereinfachend davon abgesehen, daß die starren Produktionspläne im Rahmen der rollierenden Produktionspläne im allgemeinen nur die unterste Ebene einer mindestens zweistufigen Planungshierarchie bilden. Auf den darüber angesiedelten Planungsebenen können gröbere Produktionspläne mit größerem Planungshorizont aufgestellt werden. Diese Grobpläne sind nicht starr festgelegt, sondern werden im Zeitablauf "rollierend" überarbeitet. Aufgrund ihrer periodenübergreifenden Mittel- oder Langfristigkeit spielen die Grobpläne jedoch für die hier interessierende *kurzfristige* Planung und Steuerung von Produktionsprozessen keine Rolle. Statt dessen interessieren nur die kurzfristig gültigen, jeweils periodenspezifischen Produktionspläne. *Diese* Produktionspläne erfüllen in der Tat das traditionelle Konzept starrer Planung. Dies wird z.B. deutlich bei KERN, W. (1990a), S. 73. Er stellt in bezug auf diese (Produktion-)Pläne fest, daß Planrevisionen zugelassen werden, die "nach oder schon kurz vor Ablauf einer Planungsperiode die Pläne für die *nachfolgenden* Perioden aufgrund der jüngsten Informationen" verändern (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Die Denkmöglichkeit, einen (Produktions-)Plan schon *innerhalb* der laufenden Planungsperiode an aktuelle Störungen anzupassen, wird also *nicht* vorgesehen. Vgl. zur Einordnung der rollierenden Planung in die Kategorie starrer Planungen auch SCHNEEWEIS, C. (1989b), S. 13.

87) Echte Anpassungsplanungen werden an anderer Stelle als Anpassungsplanungen im engeren und weiteren Sinne präzisiert.

88) Der Aspekt der Neuplanung wird bei KERN, W. (1988), S. 168, besonders deutlich.

89) Durch das Einfrieren von Produktionsplänen und durch rollierende Produktionspläne drohen zunächst Einbußen der Formalzielerfüllung, weil innerhalb der Planungsperioden keine Plananpassungen erfolgen. Einerseits fallen die Zielbeiträge des beibehaltenen Produktionsplans angesichts einer veränderten Produktionssituation im allgemeinen geringer aus als unter derjenigen Situation, die der Planaufstellung ursprünglich zugrundelag. (Es kann allerdings auch der entgegengesetzte Sonderfall eintreten, daß der unveränderte Produktionsplan in veränderten Produktionssituationen zufällig höhere Zielbeiträge aufweist. Davon wird hier jedoch abgesehen.) Andererseits ist es möglich, daß besondere Maßnahmen erforderlich werden, um den ursprünglichen Produktionsplan auch unter den veränderten Produktionssituationen noch realisieren zu können. Diese Maßnahmen verursachen durch ihre Ressourcenbindung in der Regel zusätzliche Reduktionen der Formalzielerfüllung. Wenn beispielsweise eine Situationsveränderung dadurch eintritt, daß eine Bearbeitungsstation ausfällt, kann der ursprüngliche Produktionsplan unter Umständen nur durch eine Reparatur der Station aufrechterhalten werden. Die zusätzlich anfallenden Reparaturkosten mindern dann die Erfüllung des Formalziels, die produktionsbedingten Gesamtkosten zu minimieren. Vgl. dazu die Ausführungen bei BENZING (1983), S. 71, zu "wachsenden Reibungsverlusten", die mit dem Festhalten an eingefrorenen, zunehmend veraltenden Plänen anfallen. Allerdings muß beachtet werden, daß echte Anpassungsplanungen in den meisten Fällen ebenso dazu führen würden, die Formalzielerfüllung gegenüber den ursprünglich aufgestellten Produktionsplänen absinken zu lassen. Denn sowohl die Ermittlung neuer Produktionspläne als auch die hieraus folgenden Anpassungsmaßnahmen im Produktionssystem erfordern zusätzliche Ressourcen. Daher müssen als Kosten der Plananpassung im allgemeinen Informationsverarbeitungs-, Rüst- und Faktorbereitstellungskosten in

Betracht gezogen werden; vgl. DÖTTLING (1981), S. 63 u. 89. Bei den Faktorbereitstellungskosten handelt es sich im Fall von Flexiblen Fertigungssystemen vor allem um die veränderte Zuteilung von Werkzeugen zu Bearbeitungsstationen. (Nur in extremen Ausnahmen könnten die Produktionsstörungen so unerwartet günstig ausfallen, daß die angepaßten Produktionspläne trotz aller vorgenannten Zusatzkosten insgesamt dennoch eine höhere Formalziel-erreichung zulassen, als es beim Festhalten an den ursprünglichen Produktionsplänen möglich wäre.) Alle zuvor skizzierten Effekte müßten bei einem Versuch, die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit des Konzepts periodisch wiederholter Neuplanungen zu beurteilen, berücksichtigt und zum Teil gegeneinander abgewogen werden. Darauf wird hier verzichtet.

90) Vgl. EVERSHEIM (1981), S. 170f. Er sieht speziell für die Steuerung Flexibler Fertigungssysteme echte Anpassungsplanungen vor. Dabei handelt es sich um Anpassungsplanungen i.e.S.

2.4.2.3.2 Flexibilitätsorientierte Koordinierungsansätze

2.4.2.3.2.1 Überblick

Bisher wurden in negativ abgrenzender Weise die Schwierigkeiten hervorgehoben, die einer flexiblen Prozeßkoordinierung im Rahmen von Optimierungsmodellen und bei PPS-Systemen entgegenstehen. Nunmehr wird diese Kritik positiv gewendet. Zu diesem Zweck werden zwei flexibilitätsorientierte Anforderungen formuliert, die fortan jeder Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen in komplexen Produktionssystemen zugrundeliegen.

- Gebot umfassender Potentialerkenntnis: Die Koordinierungskonzepte sollen in der Lage sein, möglichst große Anpassungspotentiale¹⁾ zu identifizieren. Denn die immanente Flexibilität von Produktionssystemen läßt sich für die Prozeßkoordinierung nur dann nutzen, wenn die technisch vorhandenen Anpassungspotentiale im zugrundeliegenden Koordinierungsmodell auch als solche ausgewiesen werden²⁾.
- Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung: Die Koordinierungsentscheidungen sollen derart getroffen werden, daß die identifizierten Anpassungspotentiale so lange wie möglich aufrechterhalten werden. Auf diese Weise wird der Gefahr am wirksamsten begegnet, daß unnötig früh getroffene Koordinierungsentscheidungen zu Festlegungen führen, die angesichts späterer Veränderungen der Produktionssituation entweder obsolet werden oder aber entsprechende Anpassungsplanungen behindern.

Das Gebot der umfassenden Potentialerkenntnis erstreckt sich in erster Linie auf die Art der Problemstrukturierung, die einem Koordinierungskonzept zugrundeliegt. Es betrifft daher vor allem die Konzeptualisierung der Entscheidungsprobleme, die es bei der Prozeßkoordinierung zu bewältigen gilt. Das Verbot der vorzeitigen Potentialvernichtung bezieht sich dagegen auf die prozedurale Ausgestaltung des Koordinierungskonzepts, in der festgelegt wird, in welcher Reihenfolge und zu welchen Zeitpunkten welche Koordinierungsentscheidungen tatsächlich getroffen werden³⁾. Weder konventionelle Entscheidungsmodelle, die auf Optimalplanungen abzielen, noch herkömmliche PPS-Systeme lassen Ansatzpunkte erkennen, um die zwei vorgenannten Anforderungen bei der Koordinierung flexibler Fertigungssysteme zu berücksichtigen.

Zwar könnte daran gedacht werden, den beiden Anforderungen durch eine Prozeßkoordinierung gerecht zu werden, die ein aktives oder passives "Störungsmanagement"⁴⁾ betreibt. Doch bleibt das Störungsmanagement von Koordinierungskonzepten, die derzeit im Produktionsbereich vorherrschen, in den beiden o.a. Hinsichten unbefriedigend. Denn bislang dominiert das Konzept wiederholter Neuplanungen. Es liegt den Optimalplanungen zugrunde, deren Problematik zuvor ausführlicher diskutiert wurde. Aber auch dann, wenn von zweifelhaften Optimierungsansprüchen Abstand genommen wird, erweist sich der Koordinierungsansatz wiederholter Neuplanungen für störanfällige Produktionssysteme⁵⁾ als prinzipiell ungeeignet. Dies gilt z.B. auch dann, wenn wiederholte Neuplanungen auf der Basis von Satisfizierungszielen durchgeführt werden⁶⁾.

Wiederholte Neuplanungen leiden unter einem grundsätzlichen Dilemma⁷⁾: Einerseits müßten die Produktionspläne aufgrund ihrer mangelhaften Robustheit gegenüber Veränderungen der Produktionssituation⁸⁾ oftmals⁹⁾ an Produktionsstörungen angepaßt werden¹⁰⁾. Andererseits ist die Neuplanung von Produktionsplänen im allgemeinen so aufwendig, daß ein flexibles Reagieren auf Situationsveränderungen praktisch ausgeschlossen erscheint¹¹⁾. Daher lassen wiederholte Neuplanungen allenfalls ein passives Störungsmanagement¹²⁾ zu. Es zielt darauf ab, störungsinduzierte Anpassungsplanungen grundsätzlich zu vermeiden¹³⁾. Statt dessen wird versucht, Produktionsstörungen entweder ex ante zu verhindern oder aber ex post so zu kompensieren, daß Produktionspläne unverändert aufrechterhalten werden können¹⁴⁾. Diese Vorgehensweise wurde bereits anhand des Einfrierens von Produktionsplänen exemplarisch verdeutlicht. Die Nachteile

dieser Koordinierungspraxis, die reale Veränderungen der Produktionssituation künstlich ausblendet, wurden ebenso schon dargelegt.

Lediglich dann, wenn die Produktionsstörungen so groß geworden sind, daß die Maßnahmen zur Störungsverhinderung oder -kompensation nicht mehr greifen, wird reagiert. Aber auch dann geschieht keine störungsinduzierte Anpassungsplanung. Statt dessen erfolgt eine vollständige Neuplanung¹⁵⁾. Es wird jedoch darauf geachtet, das Risiko solcher Neuplanungen möglichst gering zu halten, die durch nicht mehr beherrschte Störungen erzwungen und wegen des unvorhergesehenen Störungseintritts nicht systematisch vorbereitet werden können. Zu diesem Zweck werden die Neuplanungen zumeist in ex ante festgelegten, *störungsunabhängigen* Intervallen wiederholt. Diese Vorgehensweise wurde bereits als rollierende Produktionsplanung angesprochen. Dabei werden die Wiederholungsintervalle so bemessen, daß damit gerechnet wird, innerhalb der Intervalldauer keine unvorbereiteten, von Störungen erzwungenen Neuplanungen einleiten zu müssen.

Die voranstehende Skizze wiederholter Neuplanungen läßt deutlich werden, daß diesem Koordinierungsansatz ein aktives Störungsmanagement durch störungsinduzierte Anpassungsplanungen fremd ist. Das aktive Reagieren auf Produktionsstörungen durch entsprechende Anpassungsplanungen findet auch bei anderen Koordinierungskonzepten, die sich nicht unmittelbar in die Gruppe wiederholter Neuplanungen einordnen lassen, keine konsequente Beachtung. Dies gilt sogar für solche Planungskonzepte, die speziell auf die Prozeßkoordinierung in flexiblen Fertigungssystemen zugeschnitten sind¹⁶⁾. Dieser Befund steht im eklatanten Kontrast mit den häufigen Hinweisen auf die große Rolle, die Störungen für die Produktionsplanung und -steuerung in der betrieblichen Praxis spielen. Deshalb drängt sich die Forderung auf, Konzepte für störungsinduzierte Anpassungsplanungen intensiver zu würdigen. Insbesondere für flexible Fertigungssysteme erscheinen Koordinierungskonzepte wünschenswert, die ein aktives Störungsmanagement unterstützen. Denn es liegt nahe anzunehmen¹⁷⁾, daß sich die beachtliche technische Flexibilität solcher Produktionssysteme erst dann ausschöpfen läßt, wenn im Informationssystem Koordinierungskonzepte mit einer entsprechenden dispositiven Flexibilität¹⁸⁾ zur Verfügung stehen¹⁹⁾.

Immerhin wird in jüngerer Zeit zunehmend Interesse an der Konzipierung von Anpassungsplanungen²⁰⁾ bekundet²¹⁾. Sie sollen eine raschere²²⁾ und effizientere²³⁾ Bewältigung von Produktionsstörungen erlauben, als es mittels wiederholter Neuplanungen möglich wäre. Dafür ist ein aktives Störungsmanagement erforderlich, das bereits eingetretene Produktionsstörungen durch entsprechende Anpassungsmaßnahmen zielgerichtet zu beantworten vermag. Dafür kommen grundsätzlich zwei Konzepte in Betracht²⁴⁾:

- Die Anpassungsplanung i.e.S.²⁵⁾ wird weiterhin von einer originären Neuplanung eingeleitet. Dabei wird zunächst ein vollständiger Produktionsplan aufgestellt. Dies geschieht, bevor mit der Ausführung von Produktionsprozessen begonnen wird. Aber es wird darauf verzichtet, im Störfall die ressourcenintensive Neuplanung zu wiederholen. Vielmehr wird versucht, einen alten Produktionsplan nur so weit zu modifizieren, daß er sich in der veränderten Produktionssituation realisieren läßt²⁶⁾.
- Bei der Anpassungsplanung i.w.S.²⁷⁾ unterbleibt dagegen eine originäre Neuplanung von vornherein. Daher existiert zu Beginn der Prozeßausführung kein vollständiger Produktionsplan. Statt dessen wird ein Produktionsplan nur in dem Ausmaß entworfen, wie es zum Treffen der jeweils nächsten Koordinierungsentscheidungen erforderlich ist. In diesem Fall entsteht der Produktionsplan in einem kontinuierlichen Planungsprozeß parallel zur sich verändernden Produktionssituation. Auch hierbei erfolgt eine Anpassungsplanung, weil sich der Planungsfortschritt stets an die aktuelle Entwicklung der Produktionssituation anpaßt.

Beide Varianten der Anpassungsplanung²⁸⁾ erlauben es, mit wesentlich geringerem Planungsaufwand auf Produktionsstörungen zu reagieren, als es bei wiederholten Neuplanungen erforderlich wäre. Sie gestatten daher rasche Reaktionen auf veränderte Produktionssituationen²⁹⁾. Des-

wegen kommen beide Anpassungskonzepte der Intention eines aktiven Störungsmanagements entgegen.

Allerdings findet das aktive Störungsmanagement in der betrieblichen Praxis bei der kurzfristigen Planung und Steuerung von Produktionsprozessen nur rudimentäre Beachtung. Zumeist werden Produktionspläne an veränderte Produktionssituationen ad hoc angepaßt, ohne dabei ein Konzept für Anpassungsplanungen bewußt zu verfolgen³⁰⁾. In den seltenen Fällen, in denen eine konzeptionelle Basis für Plananpassungen ersichtlich ist, beschränkt sie sich zumeist auf eine Sammlung elementarer Anpassungsgrundsätze³¹⁾. Die Anwendung von feiner ausgearbeiteten Anpassungskonzepten läßt sich dagegen nicht feststellen³²⁾. Daher klafft noch eine breite Lücke zwischen dem Desiderat eines aktiven Störungsmanagements und seiner praktischen Einlösung.

Immerhin wurden für die Anpassungsplanung i.e.S. seitens der produktionswirtschaftlichen Forschung in jüngster Zeit einige bemerkenswerte Beiträge vorgelegt³³⁾. Sie präsentieren detailliert und operational ausgestaltete Konzepte für die Anpassung an Produktionsstörungen. Dennoch werden sie in dieser Arbeit nicht intensiver gewürdigt³⁴⁾. Denn sie berücksichtigen nicht die beiden eingangs angeführten Forderungen, Anpassungspotentiale zunächst umfassend zu erkennen und sie danach nicht vorzeitig zu vernichten. Daher wird in den beiden anschließenden Kapiteln besonderer Wert darauf gelegt, die Voraussetzungen und die Konsequenzen dieser beiden Postulate zu entfalten. Dabei wird sich zeigen, daß Anpassungsplanungen i.e.S. zumindest dem Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung tendenziell zuwiderlaufen. Denn sie neigen dazu, Produktionspläne für die Zukunft so lange festzuschreiben, bis Veränderungen der Produktionssituation eine Revision der fixierten Produktionspläne erzwingen.

Deshalb wird ein alternatives Konzept³⁵⁾ für das aktive Störungsmanagement komplexer Produktionssysteme vorgelegt. Es verzichtet von vornherein auf jeden Versuch, Produktionspläne zu fixieren³⁶⁾. Seine Grundlagen werden in den anschließenden Ausführungen skizziert³⁷⁾. Die daraus gewonnenen Einsichten werden die spätere Ausgestaltung der Modellierung Flexibler Fertigungssysteme auf der Basis des Petrinetz-Konzepts erheblich beeinflussen³⁸⁾. Auf ihrem Fundament werden Ansätze aufgezeigt, die es ermöglichen, die früher festgestellten Robustheitsdefizite von Optimierungsmodellen und PPS-Systemen zu überwinden³⁹⁾. Zugleich wird das Koordinierungskonzept so ausgelegt, daß es den beiden eingangs angeführten Postulaten gerecht wird. Schließlich werden Beiträge aus dem Bereich der KI-Forschung umrissen. Aufgrund ihrer engen konzeptionellen Verwandtschaft mit den hier entfaltenen Gedanken weisen sie einen Weg, wie sich das umrissene Koordinierungskonzept konkretisieren und mit Hilfe der Automatischen Informationsverarbeitung implementieren läßt.

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Als Flexibilität wird in dieser Arbeit die Anpassungsfähigkeit eines Produktionssystems bezüglich variierender Produktionssituationen verstanden. Das Anpassungspotential ist daher zunächst die Gesamtheit aller Reaktionsweisen, die ein Produktionssystem aufgrund seiner technischen Eigenschaften zur Anpassung an veränderte Produktionssituationen zuläßt. Dieses Anpassungspotential i.w.S. wurde oben als immanente Systemflexibilität von Produktionssystemen umschrieben. Es kann jedoch nur in Verbindung mit einem Koordinierungskonzept genutzt werden, das angibt, mit welchen konkreten Anpassungsmaßnahmen auf tatsächlich eingetretene Situationsänderungen reagiert wird. Daher wird das technisch konstituierte Anpassungspotential eines Produktionssystems durch Hinzuziehen eines Koordinierungskonzepts überformt. Hierdurch wird eine Teilmenge der technisch vorhandenen Anpassungsmöglichkeiten als Gesamtheit der konzeptrelevanten Reaktionsoptionen "identifiziert". Das resultierende, sowohl technisch als auch konzeptionell bedingte Vermögen, ein Produktionssystem auf veränderte Produktionssituationen einzustellen, stellt dessen Anpassungspotential i.e.S. dar. Wenn aus dem Argumentationskontext erschlossen werden kann, ob entweder das rein technische oder aber das konzeptionell überformte Anpassungspotential gemeint ist, wird auch kurz von "dem" Anpassungspotential eines Produktionssystems gesprochen. DELFMANN (1989a), S. 222 u. 225; SCHNEEWEIB, C. (1989b), S. 15f.; KOHEN (1989), S. 40; KERN, W. (1990b), S. 228 u. 230, und WOLFRAM (1990), S. 153, bevorzugen statt dessen den Begriff "Flexibilitätspotential". Dieser Diktion wird hier jedoch nicht gefolgt, da es angesichts des oben vorausgesetzten Flexibilitätsbegriffs Schwierigkeiten bereiten würde, *Potentiale der Anpassungsfähigkeit* von Produktionssystemen inhaltlich auszudeuten.

2) Dagegen verstoßen die oben angeführten Stabilisierungskonzepte. Indem sie Produktionspläne festschreiben, lassen sie beispielsweise die Optionen, geplante Starttermine von Arbeitsgängen zu verschieben oder die Ausführungen von Arbeitsgängen auf andere als die eingeplanten Bearbeitungsstationen zu verlagern, überhaupt nicht als Aspekte des Anpassungspotentials erkennen.

3) Am Rande wird darauf hingewiesen, daß sich in diesem prozeduralen Aspekt eine bemerkenswerte Erweiterung des konventionellen entscheidungstheoretischen Paradigmas niederschlägt. Gewöhnlich werden nur faktische und normative Entscheidungsprämissen berücksichtigt, die sich in den Konzeptualisierungen des Entscheidungsfelds bzw. des Sach- und Formalzielsystems (des Entscheidungsträgers) niederschlagen. Bei der Festlegung von Entscheidungsreihenfolgen und -zeitpunkten handelt es sich jedoch weder um normative noch um faktische Prämissen. Vielmehr gehört sie zu einer Prämissenkategorie *sui generis*, die zumeist unter dem Aspekt prozeduraler Entscheidungsprämissen thematisiert wird. Solche prozeduralen Prämissen bleiben in konventionellen Entscheidungsmodellen zumeist unbeachtet, weil sich ihre Modelllösungen in der Regel invariant gegenüber den jeweils angewandten Lösungsprozeduren verhalten. Zwar lassen sich auch dort Modellvarianten konstruieren, in denen die ausgewiesenen Modelllösungen von den jeweils eingesetzten Lösungsprozeduren abhängen. Dies trifft vor allem auf Entscheidungsmodelle mit Satisfizierungs- oder Meliorisierungszielen zu, für deren Lösung heuristische Entscheidungsverfahren eingesetzt werden. Doch findet die prozedurale Varianz von Modelllösungen im Rahmen der konventionellen Entscheidungstheorie kaum Berücksichtigung. Auf weiter gefaßte Perspektiven, die auch die Bedeutung prozeduraler Entscheidungsprämissen anerkennen, wird an anderer Stelle näher eingegangen.

4) Als Störungsmanagement wird hier jedes Konzept verstanden, das in operationaler Weise festlegt, wie sich ein Koordinierungsträger mit Produktionsstörungen auseinandersetzen kann. Ein Störungsmanagement wird als aktiv bezeichnet, falls auf bereits eingetretene Produktionsstörungen durch entsprechende Anpassungsmaßnahmen zielgerichtet reagiert wird. Ein passives Störungsmanagement liegt dagegen in zwei anderen Fällen vor. Entweder wird versucht, das Entstehen von Produktionsstörungen durch Eliminieren möglicher Störungsquellen von vornherein zu verhindern. Oder es werden kompensatorische Vorkehrungen getroffen, mit denen sich die Auswirkungen von Produktionsstörungen so weit abschirmen lassen, daß überhaupt keine Anpassungsmaßnahmen erforderlich werden. In beiden Fällen wird das passive Störungsmanagement durch den Kerngedanken geprägt, Produktionssysteme und Prozeßkoordinierungen gegenüber Produktionsstörungen zu stabilisieren. Es zeichnet sich also durch Stabilisierungsstrategien aus. Jedes aktive Störungsmanagement beruht dagegen auf Reaktionsstrategien. Sie dienen dazu, störungsinduzierte Anpassungsmaßnahmen einzuleiten.

5) Diese Prämisse, die schon im voranstehenden Kapitel hervorgehoben wurde, liegt auch den anschließenden Ausführungen stets zugrunde.

6) Um den Anschluß an die Argumentation des voranstehenden Kapitels zu wahren, wird im folgenden weiterhin von Optimalplanungen ausgegangen. Sie dienen aber nur als exemplarische Verdeutlichung. Die anschließenden Ausführungen gelten *im Prinzip* ebenso für Satisfikationsplanungen, sofern sie weiterhin auf dem Ansatz wiederholter Neuplanungen beruhen. Allenfalls kann das *Ausmaß* der Planungsschwierigkeiten sinken, sofern die Satisfikationsplanungen von vornherein so robust ausgelegt werden, daß sie einen größeren Stabilitätsbereich gegenüber Produktionsstörungen als Optimalplanungen besitzen. Dadurch wird aber das Konzept des *passiven* Störungsmanagements nicht überschritten. Ein *aktives* Störungsmanagement durch Anpassungsplanungen wird auf diese Weise aber nicht erreicht. In den folgenden Ausführungen geht es aber um den *prinzipiellen* Unterschied zwischen

passivem und aktivem Störungsmanagement. Daher können Optimal- und Satisfikationsplanungen "im Prinzip" gleichbehandelt werden, solange sie im Denken wiederholter Neuplanungen verhaftet bleiben.

7) Das Dilemma wurde im voranstehenden Kapitel in bezug auf Optimalplanungen ausführlich erörtert. Für Satisfikationsplanungen, die kurz zuvor angesprochen wurden, gilt das Dilemma "im Prinzip" ebenso. Lediglich wird das Ausmaß des Dilemmas abgeschwächt, wenn die Satisfikationsplanungen hinreichend robust ausgelegt werden. Vgl. dazu die Erläuterung in der voranstehenden Anmerkung.

8) Vgl. dazu die Kritik an Optimalplanungen und konventionellen PPS-Systemen im voranstehenden Kapitel.

9) Lediglich die Reaktionshäufigkeit kann variieren je nachdem, ob entweder extrem störanfällige Optimal- oder aber robustere Satisfikationsplanungen zugrundeliegen. Aber das Konzept *wiederholter* Neuplanungen impliziert von vornherein, daß infolge von Produktionsstörungen stets damit gerechnet wird, am ursprünglichen Produktionsplan nicht festhalten zu können.

10) Es könnte der Einwand erhoben werden, hierbei werde die Flexible Planung übersehen. Dies ist jedoch nicht der Fall. Auf diese Planungsvariante und ihre Relevanz für die Koordinierung von Produktionsprozessen in störanfälligen Produktionssystemen wird später zurückgekommen.

11) Ein Reagieren auf häufige Situationsveränderungen durch rasch wiederholte Neuplanungen läßt sich zwar *theoretisch* weiterhin vorstellen. Doch legen die früher dargelegten Probleme der mangelhaften Robustheit, des raschen Veraltens und der Nervosität nahe, diese Denkmöglichkeit aus dem Spektrum "praktikabler" Koordinierungskonzepte auszuschließen.

12) Das passive Störungsmanagement verfügt über eine breite Palette von Maßnahmen ("Strategien"), um mit Produktionsstörungen umzugehen. Einen der detailliertesten Beiträge in dieser Richtung stellt die typisierende Betrachtung von Sicherheitsstrategien für PPS-Systeme dar, die von SCHNEEWEIS, C. (1988), S. 290ff., vorgelegt wurde. Daneben haben VOLLMANN, BERRY und WHYBARK einen inhaltlich ähnlichen Katalog von Maßnahmen präsentiert; vgl. VOLLMANN (1984), S. 219ff. u. 359ff. Dieser Maßnahmenkatalog wurde zwar nicht explizit auf den Aspekt des Störungsmanagements bezogen, sondern auf die Stabilisierung von PPS-Systemen gegenüber Unsicherheit. Doch hängen Störungsmanagement und Unsicherheitsbehandlung sachlich so eng zusammen, daß sich jener Maßnahmenkatalog ohne Schwierigkeiten auf den hier interessierenden Störungsaspekt übertragen läßt. Eine weitere Darstellung von Möglichkeiten, mit Produktionsstörungen umzugehen, findet sich bei BORMANN (1978), S. 90ff. Durch Zusammenfassen und Ergänzen der vorgenannten Ansätze ergibt sich folgende Systematisierung der Strategien, die dem passiven Störungsmanagement im allgemeinen zugrundeliegen:

- Eliminierungs- oder Konsolidierungsstrategie(n): Die Möglichkeit oder die Eintrittswahrscheinlichkeit von Produktionsstörungen wird eliminiert bzw. reduziert, indem Störungsursachen eingedämmt oder - sofern möglich - vollkommen beseitigt werden; vgl. SCHNEEWEIS, C. (1988), S. 290f. Dies kann sich vor allem erstrecken auf die:
 - = interne Konsolidierungsstrategie, bei der die technische Zuverlässigkeit von Betriebsmitteln erhöht wird.
 - = externe Konsolidierungsstrategie, bei der Absatzschwankungen durch absatzpolitische Maßnahmen geglättet werden.
- Redundanzstrategie(n): Es werden - über die kostenminimalen Faktorkombinationen hinaus - Produktionsfaktoren bereitgehalten, um im Falle eines unvorhergesehenen Störungseintritts durch unmittelbaren Rückgriff auf diese "redundanten" Faktoren die Störungswirkungen kompensieren zu können; vgl. SCHNEEWEIS, C. (1988), S. 290ff.; GOTTSCHALK, E. (1989c), S. 77 (dort in der Gestalt vielfältiger "Prozeßreserven"). Als Subformen der Redundanzstrategie lassen sich unterscheiden die:
 - = Sanierungsstrategie, bei der Potentialfaktoren in einem größeren Umfang vorgehalten werden, als es für die Verwirklichung eines Produktionsplans notwendig wäre (Kapazitäts- und Werkzeugpuffer); vgl. zu Kapazitätspuffern VOLLMANN (1984), S. 364f.; SCHNEEWEIS, C. (1988), S. 290f.; WINTER, RO. (1991), S. 117; vgl. zu Werkzeugpuffern HINTZ (1987), S. 143f. u. 146.
 - = sachliche Präventivstrategie, bei der Repetierfaktoren als Sicherheitsbestände gelagert werden (Materialpuffer); vgl. SCHNEEWEIS, C. (1988), S. 290f.; vgl. auch allgemein zur Analyse der Gestaltung von Pufferlagern, um Produktionsstörungen bei Werkstattfertigung möglichst weitgehend zu verhindern, BORMANN (1978), S. 99ff.; WARNECKE, H. (1984d), S. 509ff.; VOLLMANN (1984), S. 227ff. u. 360ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 101ff., 126ff., 279ff., 293ff. u. 310ff.; WILDEMANN (1988f), S. 19; o.V. (1988n), S. 25 (speziell für Flexible Fertigungssysteme); WECK (1991d), S. 23f. (speziell für Flexible Fertigungssysteme); WINTER, RO. (1991), S. 116f.
 - = zeitliche Präventivstrategie, bei der Sicherheitszeitspannen in der Prozeßplanung berücksichtigt werden (Zeitpuffer); vgl. STUTE (1978a), S. 72; BORMANN (1978), S. 32; DÖTTLING (1981), S. 61; VOLLMANN (1984), S. 360ff. u. 364f.; KAZMAIER (1984), S. 166f.; MÜLLER, A. (1987), S. 131ff., 308f. u. 321; WILDEMANN (1988f), S. 19 (Liegezeitpuffer); KERN, W. (1990a), S. 313 (Pufferzeiten in Netzplänen); ADAM, D. (1990a), S. 829; WINTER, RO. (1991), S. 116f.
- Absorptionsstrategie: Planungskonventionen schreiben vor, daß ein Produktionsplan im Falle einer unvorhergesehenen Störung so ausgeführt wird, als ob die Störung nicht eingetreten sei. Die Störungswirkungen werden

dann durch die Planungskonventionen absorbiert. Im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung erstrecken sich die Konventionen insbesondere auf das:

- = Einfrieren von Produktionsplänen; vgl. VOLLMANN (1984), S. 219, 223ff., 228, 364 u. 367 (freezing).
- = Einfrieren von Produktionsaufträgen; vgl. VOLLMANN (1984), S. 220ff. u. 367 (firm planned order treatment).

Außerhalb des PPS-Bereichs lassen sich weitere Planungskonventionen anführen. Hierzu zählt z.B. die Vorgabe von "Zeitfenstern", innerhalb derer planstörende Dispositionsänderungen - etwa seitens der Absatzsteuerung - zugelassen werden. Außerhalb solcher Zeitfenster werden aber solche dispositionsbedingten Produktionsstörungen nicht mehr akzeptiert. Beispielsweise werden Änderungswünsche der Absatzsteuerung durch Ignorieren absorbiert. Vgl. zu dieser Konvention VOLLMANN (1984), S. 225ff. u. 367 (time fencing).

- Prognosestrategie: Es wird versucht, möglichst genau zukünftige Störungen vorherzusehen und entsprechende störungskompensierende Maßnahmen frühzeitig zu planen; vgl. VOLLMANN (1984), S. 364.
- Verschiebungsstrategie: Die Anpassungsmaßnahmen werden den Mitarbeitern im Produktionsbereich überantwortet, ohne sie bei der Maßnahmenplanung konzeptionell zu unterstützen.

Die vorgenannten allgemeinen Grundsätze reichen für ein *aktives* Störungsmanagement von PPS-Systemen nicht aus. Statt dessen laufen alle Strategien darauf hinaus, Störungen entweder zu verhindern oder aber zu kompensieren. In beiden Fällen wird versucht, durch *passive* Stabilisierungsmaßnahmen ein aktives Reagieren auf Produktionsstörungen zu umgehen. Dies widerspricht aber der Intention, die hohe Anpassungsreagibilität flexibler Fertigungssysteme im Störfall durch entsprechende Anpassungsmaßnahmen auch tatsächlich zu nutzen. Daher verdecken die Stabilisierungsstrategien die Flexibilität eines Produktionssystems, anstatt sie im Rahmen des hier interessierenden aktiven Störungsmanagements für Anpassungsplanungen zu nutzen. Vgl. dazu auch im allgemeinen, nicht auf Produktionssysteme und -prozesse bezogenen Flexibilitätskontext die analogen Andeutungen von MALIK (1986), S. 62. Zur Verdeutlichung dieser allgemeinen Kritik am passiven Störungsmanagement werden seine einzelnen Strategieoptionen abschließend detaillierter beleuchtet.

Die Eliminierungs- oder Konsolidierungsstrategien werden in dieser Arbeit grundsätzlich nicht zum Störungsmanagement durch PPS-Systeme gerechnet. Sie würden Prozeßkoordinierungen dadurch stabilisieren, daß Möglichkeiten der Situationsveränderung reduziert, möglichst sogar zu eliminiert werden. Dies impliziert aber eine tendenzielle Erstarrung von Produktionssystemen in derart stabilisierten, gegenüber situativen Veränderungen abgeschirmten Koordinierungskontexten. Sie widerspricht fundamental dem Anliegen dieser Arbeit, Konzepte zu untersuchen, die speziell auf Prozeßkoordinierungen in störanfälligen Produktionssystemen zugeschnitten sind. Darüber hinaus würden diese Strategien zumeist langfristig wirksame Eingriffe in ein Produktionssystem erfordern. Dabei kann es sich z.B. um Modifizierungen des Potentialfaktorbestands (Austausch störungsanfälliger Anlagenkomponenten), um Veränderungen in Vertragsverhältnissen (Auswechseln unzuverlässiger Materiallieferanten) oder um Überarbeiten des eigenen Informationssystems (Korrigieren von fehlerhaften, störungsverursachenden Planungskonzepten) handeln. Solche *langfristigen* Maßnahmen liegen außerhalb des Erkenntnisrahmens der hier untersuchten *kurzfristigen* Planung und Steuerung von Produktionsprozessen in flexiblen Fertigungssystemen. Schließlich liegen die erforderlichen Maßnahmen in der Regel außerhalb der hier untersuchten Thematik der Prozeßkoordinierung. So stellt die interne Eliminierung von Störquellen durch Erhöhung der technischen Zuverlässigkeit von Betriebsmitteln eine ingenieurtechnische Aufgabe der Anlagenwirtschaft dar. Die externe Eliminierung von Störquellen rechnet wegen ihrer Beeinflussung des Absatzmarkts ebensowenig zum Bereich der Produktionsplanung und -steuerung. Darüber hinaus würde sie - analog zur sachlichen Präventivstrategie - den Einsatzzweck flexibler Fertigungssysteme konterkarieren, Produktionen an schwankende Absatzbedingungen mit hoher Reagibilität anpassen zu können.

Die Sanierungsstrategie, zusätzliche Betriebsmittelkapazitäten oder Werkzeuge vorzuhalten, läßt sich zwar mit den Eigenarten flexibler Fertigungssysteme vereinbaren. Doch liegt diese Variante der Redundanzstrategie außerhalb der hier thematisierten Koordinierung von Produktionsprozessen in Produktionssystemen. Denn aufgrund der vorausgesetzten Kurzfristigkeit der Prozeßkoordinierung werden konstante Produktionskapazitäten präsupponiert. Die gleiche Invarianz gilt für die Werkzeugausstattung von Bearbeitungsstationen, weil die Faktorbereitstellungsplanung aus dem Aufgabenspektrum der Koordinierung von Produktionsprozessen ausgegrenzt wurde.

Die sachliche Präventivstrategie, Materialpuffer einzurichten, widerspricht dagegen der speziellen Zielsetzung flexibler Fertigungssysteme, trotz geringer Lagerhaltung rasche Reaktionen auf schwankende Absatzbedingungen zu ermöglichen. Denn das Vorhalten von Materialpuffern als Sicherheitsbeständen steht dem Anspruch geringer Lagerhaltung diametral entgegen. Ebenso widerspricht es dem allgemeinen Ziel der Ablaufplanung, die Kapitalbindung im Umlaufvermögen möglichst weit zu verringern. Schließlich besitzen Sicherheitsbestände aus der Perspektive des Störungsmanagements den Nachteil, durch das Abpuffern von Störungswirkungen *uno actu* die Störungsursachen zu verdecken. Daher können Materialpuffer langfristig dadurch schaden, daß sie den Stimulus zum Erkennen und Eliminieren der Störungsursachen verkümmern lassen. Vgl. zu dieser störungsursachenverhüllenden Funktion von Pufferlagern, die vor allem im Kontext der just in time-Steuerung Beachtung gefunden hat, z.B. WILDEMANN (1988f), S. 19.

Die Einrichtung präventiver Zeitpuffer betrifft zumeist Pufferzeiten, die jeweils zwischen den Ausführungen von zwei Arbeitsgängen vorgesehen werden; vgl. STUTE (1978a), S. 72; BORMANN (1978), S. 32; DÖTTLING (1981), S.

61; KAZMAIER (1984), S. 166f.; MÜLLER, A. (1987), S. 131ff., 308f. u. 321. Seltener erwähnt, aber von gleicher praktischer Bedeutung ist die Variante, die gesamte Durchlaufzeit eines Produktionsauftrags um einen Sicherheitszuschlag als pauschalen Zeitpuffer zu erweitern; vgl. VOLLMANN (1984), S. 360ff. Einen Sonderfall stellen die Pufferzeiten dar, die im Rahmen der Netzplantechnik ermittelt werden (können). Sie erstrecken sich auf Zeitpuffer, die nicht zwecks Störungskompensierung bewußt geplant, sondern vom Wechselspiel zwischen produktionstechnischen Präzedenzbeziehungen und Arbeitsgangdauern *erzwungen* werden (technische Zeitpuffer). Sie lassen sich aber dennoch im Rahmen des passiven Störungsmanagements nutzen, um Produktionsstörungen - zumindest teilweise - abzufangen. Allerdings können über diese technischen Zeitpuffer hinaus vom Koordinierungsträger *aus eigenem Ermessen* zusätzliche Zeitpuffer geplant werden (dispositive Zeitpuffer). Diese dispositiven Zeitpuffer dürfen auch auf dem kritischen Pfad eines Netzplans eingerichtet werden, der - im Rahmen der Netzplantechnik - per definitionem überhaupt keine Pufferzeiten als technische Zeitpuffer enthält. Alle vorgenannten Varianten der zeitlichen Präventivstrategie lassen sich jedoch mit wesentlichen Formalzielen der Prozeßkoordinierung nicht vereinbaren. Dies gilt vor allem hinsichtlich des Koordinierungsziels, möglichst kurze Auftragsdurchlaufzeiten zu verwirklichen. Darauf wird später näher eingegangen. Darüber hinaus wirken Pufferzeiten analog zu Materialpuffern. Daher gelten die kritischen Anmerkungen zur sachlichen Präventivstrategie hier ebenso. Beispielsweise können Pufferzeiten zu nicht notwendigen Lagerbeständen während der pufferbedingten bearbeitungsfreien Liegezeiten der Werkstücke führen. Wiederum verdecken sie die Störungsursachen durch Abpuffern der Störungswirkungen. Daher sieht der Verf. in der zeitlichen Präventivstrategie keinen Ansatz, mit dessen Hilfe sich ein umfassendes Störungsmanagement für Flexible Fertigungssysteme konzipieren ließe. Auch DÖTTLING (1981), S. 61, spricht davon, daß Zeitpuffer dem Konzept Flexibler Fertigungssysteme (tendenziell) zuwiderliefe. Vgl. ebenso VOLLMANN (1984), S. 365, mit der Feststellung: "... slack costs money. In fact, the objective of a good ... system should be to *reduce* the slack" (dabei sind Zeitpuffer ein Sonderfall des "slack"), sowie die multiple Kritik an Zeitpuffern bei WILDEMANN (1990b), S. 26. Die Absorptionsstrategie ist für die Prozeßkoordinierung im Produktionssystem irrelevant, sofern sie in anderen Dispositionsbereichen betrieben wird und die Störungen sich nicht real auf die zu koordinierenden Produktionsprozesse auszuwirken vermögen. Dies ist z.B. der Fall, wenn im Rahmen der Auftragsumwandlung Kunden- in Produktionsaufträge transformiert werden und die Produktionsaufträge als Vorgabe für die Werkstattsteuerung eingefroren werden unabhängig davon, ob die Kundenaufträge nachträglich modifiziert - z.B. storniert - werden. Die Absorptionsstrategie widerspricht dann dem Ziel, mit Flexiblen Fertigungssystemen rasch auf schwankende Absatzbedingungen reagieren zu können. Denn dies erforderte, die Produktionsaufträge mit großer Reagibilität an Veränderungen im Kundenauftrags-Bestand anzupassen. Daher wird diese Form der Absorptionsstrategie nicht weiter berücksichtigt. Wenn sich dagegen Störungen im Produktionssystem real so auswirken, daß ein Produktionsplan nicht mehr eingehalten werden kann, läßt sich die Absorptionsstrategie grundsätzlich nicht anwenden. Denn es wäre in sich widersprüchlich, an einer Produktionsplanung so festzuhalten, als ob keine Störung stattgefunden hätte, obwohl bekannt ist, daß die geplante Produktion störungsbedingt nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Der letzte Fall obsolet gewordener Produktionspläne liegt bei der kurzfristigen Koordinierung Flexibler Fertigungssysteme wegen ihrer hochgradigen Instabilität sehr häufig vor.

Allerdings läßt sich die Absorptionsstrategie dann anwenden, wenn ein Produktionsplan durch das Eintreten einer Produktionsstörung nicht undurchführbar wird. Diese Strategie des Störungsmanagements durch Nichthandeln kann durchaus vorteilhaft sein. Dies ist immer dann der Fall, wenn hierdurch ein beständiges "nervöses" Plananpassen an veränderte Produktionssituationen eingedämmt wird. Beispielsweise könnte darauf verzichtet werden, für jeden neu eintreffenden Produktionsauftrag eine Anpassungsplanung vorzunehmen. Statt dessen ließen sich neue Produktionsaufträge sammeln, um eine Revision der Produktionsplanung erst dann anzustoßen, wenn eine Mindestanzahl von Aufträgen, die auf ihre Einplanung warten, überschritten wird. Ebenso könnte eine Anpassungsplanung nach dem Ausfall einer Bearbeitungsstation unterbleiben, wenn es gelänge, die Störung durch Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft der Bearbeitungsstation so schnell zu beseitigen, daß die ursprüngliche Produktionsplanung eingehalten werden kann. In beiden Fällen wäre es analog zur aktionsorientierten Informationsverarbeitung möglich, nicht auf jede Information über eine Produktionsstörung durch entsprechende Anpassungsmaßnahmen sofort zu reagieren. Statt dessen würde abgewartet, bis eine kritische Störungsschwelle eingetreten ist. Sie könnte in den beiden vorgenannten Beispielen durch die Mindestanzahl neu eingetroffener Produktionsaufträge bzw. durch die Höchstdauer von nicht behobenen Produktionsstörungen festgelegt sein. Erst wenn eine solche Schwelle überschritten wird, würde die Planung von gegensteuernden Anpassungsmaßnahmen ausgelöst ("getriggert") werden. Bei einem solchen Störungsmanagement durch temporäres Nichthandeln ist es zuweilen möglich, Verbundeffekte zwischen den einzelnen Produktionsstörungen auszunutzen. Dies ist immer dann der Fall, wenn sich auf mehrere Störungen gemeinsam mit einer günstigeren Anpassungsnahme reagiert werden kann, als es bei der isolierten und unmittelbaren Reaktion auf jede einzelne Störung möglich gewesen wäre. Solche Verbundeffekte bei zeitlich verzögerten Anpassungsplanungen deutet z.B. RILLING (1991), S. 17, an. Allerdings bezieht er sich nicht auf die hier interessierende Steuerung von Produktionsprozessen, sondern auf die Tourensteuerung im Werksfernverkehr.

Aufgrund der voranstehenden Erwägungen läßt sich die "antinervöse" Absorptionsstrategie durchaus in das Störungsmanagement Flexibler Fertigungssysteme aufnehmen. Notwendige Bedingung der Möglichkeit seiner Operationalisierung für die betriebliche Praxis ist es, ein Koordinierungskonzept vorzulegen, das gestattet zu entscheiden, ob eine erkannte Produktionsstörung entweder steuernde Eingriffe in das Produktionssystem verlangt oder aber

durch den Stabilitätsbereich des aktuellen Produktionsplans absorbiert werden kann. Es wird später im Rahmen der Robustheitsanalyse von Netzmodellen gezeigt werden, daß sich diese Bedingung erfüllen läßt. Aber auch in dieser Hinsicht erfolgt kein *aktives* Störungsmanagement. Denn es wird darauf abgezielt, durch Ansammeln von Störungen und deren vorläufiges Nichtbeachten entsprechende Anpassungsmaßnahmen zunächst zu vermeiden. Erst wenn dies nicht mehr gelingt, wird eine Anpassungsplanung eingeleitet. Wie diese konkret ausgestaltet werden kann, läßt die antinervöse Absorptionsstrategie jedoch vollkommen offen. Daher wird sie in dieser Arbeit nur in dem Ausmaß berücksichtigt, wie sich dies im Rahmen der Robustheitsanalyse mit der Instabilität Flexibler Fertigungssysteme vereinbaren läßt.

Die Prognosestrategie bietet sich prima facie für ein Störungsmanagement an. Durch ihre Vorausschau zukünftig möglicher Produktionsstörungen gestattet sie, sich rechtzeitig darauf einzustellen. Zumindest unter den Produktionsbedingungen, die hier für Flexible Fertigungssysteme konzeptualisiert werden, lassen sich aber Störungsprognosen im allgemeinen nicht mit hinreichender Genauigkeit treffen. Dies wird an späterer Stelle näher begründet. Auf die Verschiebungsstrategie wird hier nicht näher eingegangen. Sie wird in Kürze ausführlicher kritisiert.

Sobald Produktionsstörungen vorliegen, die weder verhindert noch abgeschirmt werden konnten, versagen alle zuvor behandelten Strategien des passiven Störungsmanagements. Denn sie lassen es vollkommen offen, wie die dann erforderlichen störungskorrigierenden Anpassungsmaßnahmen konkret geplant werden könnten. Darüber hinaus tragen sie nicht zu der hier untersuchten speziellen Frage bei, wie sich das Störungsmanagement von PPS-Systemen durch das möglichst umfangreiche Identifizieren und das möglichst lange Offenhalten von Anpassungsspielräumen bereichern läßt.

13) Das Motiv, Anpassungsplanungen im Störfall bewußt zu vermeiden, wird besonders deutlich bei RILLING (1991), S. 12. Dort beschäftigt sich ein eigenes Kapitel mit dem "Vermeiden von Umdispositionsmaßnahmen". Allerdings beziehen sich die Ausführungen nicht auf den hier interessierenden Produktionsbereich, sondern auf den Werksfernverkehr.

14) Besonders deutlich wird dieses passive Störungsmanagement bei GOTTSCHALK,E. (1989c), S. 77: Er formuliert für PPS-Systeme die Zielsetzung, "daß der größte Teil möglicher Störungen abgewehrt und eintretende Störungen schnell und sicher beherrscht werden können." Dabei entspricht die Störungsabwehr der oben angeführten Verhinderung von Produktionsstörungen. Für die Störungsbeherrschung zählt GOTTSCHALK,E. (1989c), S. 77, Bild 2.8, dagegen eine Fülle von Reserven auf. Sie leisten die oben erwähnte Störungskompensation. Darüber hinaus reichende Anpassungsmaßnahmen, mit deren Hilfe Störungen aktiv begegnet werden könnte, finden sich bei GOTTSCHALK,E. (1989c), S. 76ff., jedoch überhaupt nicht. Dies überrascht um so mehr, als sich GOTTSCHALK,E. (1989c), S. 78, explizit auf Flexible Fertigungssysteme bezieht. Zwar könnte im "Havariebetrieb", den GOTTSCHALK,E. (1989c), S. 79, erwähnt, ein Ansatz für ein aktives Störungsmanagement gesehen werden. Aber es ist bezeichnend, daß sich dort über Reaktionsstrategien für die Planung von störungsbedingten Anpassungsmaßnahmen überhaupt keine konkreten Auskünfte finden. Statt dessen bleibt es bei programmatisch-inhaltsleeren Floskeln, wie z.B. der Empfehlung, ein "Antihavarietraining der Arbeitskräfte" durchzuführen.

15) Die Unterscheidung zwischen Anpassungs- und wiederholten Neuplanungen wird an anderer Stelle näher erläutert.

16) Vgl. z.B. KNOOP (1986), S. 26ff. Er präsentiert einen Prämissenkatalog für Maschinenbelegungsplanungen bei Flexiblen Fertigungssystemen. Dort werden zwar zunächst Störungen durch Verzögerungen beim Werkstücktransport zugelassen. Doch werden sie kurz darauf aus den nachfolgenden Planungen ausgegrenzt, weil sie "vor ihrem Eintritt nicht bekannt" seien (S. 28). Alle anderen Störungsmöglichkeiten werden entweder explizit ausgeschlossen oder durch Nichtbeachtung implizit ausgegrenzt. Insbesondere wird ausdrücklich von allen Störungen im Betriebsmittel- und Arbeitskräftebereich abgesehen. Auf diese Weise werden alle Produktionsstörungen, die Anpassungsplanungen induzieren könnten, von vornherein als Einflußgrößen der Belegungsplanung vernachlässigt.

17) Die Gültigkeit der Forderung, es müsse eine komplementäre Beziehung zwischen technischer System- und dispositiver Konzeptflexibilität bestehen, wird im Rahmen dieser Arbeit vorausgesetzt, aber nicht strikt nachgewiesen. Die postulierte Entsprechung zwischen System- und Konzeptflexibilität läßt sich aber in den Anwendungsbereich des "Varietätsgesetzes" einordnen. Ihm zufolge kann die variationsbedingte Komplexität ("Varietät") eines Systems nur durch Konzepte mit einer mindestens gleich großen Varietät beherrscht werden.

18) Als dispositive Flexibilität wird hier die Eigenschaft eines Koordinierungskonzepts verstanden, die Ausführung von Produktionsprozessen an zeitlich variierende Produktionssituationen kurzfristig anpassen zu können, indem produktionstechnisch vorhandene Anpassungsspielräume durch aktiv geplante Anpassungsmaßnahmen ausgenutzt werden. Die dispositive Konzeptflexibilität gilt als um so größer, je umfangreicher die berücksichtigten Anpassungsspielräume ausfallen und je rascher die Resultate von Anpassungsplanungen vorliegen.

Vgl. zu einer ähnlichen Füllung des Begriffs dispositiver (organisatorischer) Flexibilität MAIER,U. (1980), S. 20 (u. 51f.). Vgl. auch die Ausführungen zur ablauforganisatorischen Flexibilität von nonlinearen Arbeitsplänen. Sie stellt einen Teilaspekt der hier angesprochenen, umfassender verstandenen dispositiven Flexibilität dar.

19) Vgl. dazu die enge Verknüpfung zwischen Flexiblen Fertigungssystemen einerseits und störungsbezogener Prozeßkoordinierung andererseits MAIER, U. (1980), S. 48f. u. 51f.

20) Anpassungsplanungen unterscheiden sich von *wiederholten* Neuplanungen grundsätzlich. Wiederholte Neuplanungen erfolgen, um einen schon vorhandenen, aber störungsbedingt veralteten Produktionsplan neu zu erstellen. Dabei wird ein neuer Produktionsplan erstellt, ohne zu berücksichtigen, wie sich der alte Produktionsplan und die zwischenzeitlich eingetretenen Produktionsstörungen zueinander verhalten. Im Rahmen einer Anpassungsplanung werden dagegen diese Beziehungen zwischen einem alten Produktionsplan und den zwischenzeitlich eingetretenen Produktionsstörungen gezielt ausgewertet. Damit wird beabsichtigt, Anpassungsmaßnahmen abzuleiten, die es gestatten, den alten Produktionsplan zu modifizieren, ohne ihn von Grund auf neu erstellen zu müssen. Nur in extrem ungünstigen Fällen kann die Auswertung des Verhältnisses zwischen altem Produktionsplan und Produktionsstörungen zu der Erkenntnis führen, daß die Modifizierung des alten Produktionsplans durch Anpassungsmaßnahmen so aufwendig ist, daß sie die Qualität einer Neuplanung annimmt. Es liegt jedoch außerhalb des Erkenntnisinteresses dieser Arbeit, die Grenze, an der die Planung von Anpassungsmaßnahmen in eine Neuplanung umzuschlagen droht, zu konkretisieren. Gewöhnlich wird diese Grenze nicht erreicht. Dies wird fortan vorausgesetzt, wenn an der grundsätzlichen Verschiedenartigkeit von wiederholten Neu- und Anpassungsplanungen festgehalten wird. Diese Verschiedenartigkeit wird auch - in abweichender Diktion - als Gegenläufigkeit zwischen Planungsdetailliertheit und störungsbedingten Umdispositionen thematisiert; vgl. BORMANN (1978), S. 105f.; GUTENBERG (1983), S. 151.

Allerdings decken Anpassungsplanungen *originäre* Neuplanungen als Grenzfall ab. Originären Neuplanungen liegen vor, wenn die Abwicklung eines Auftragspakets erstmals geplant wird. Jede solche Neuplanung läßt sich als eine dispositive Produktionsstörung besonderer Art konzeptualisieren: Es wird zunächst ein Produktionssystem betrachtet, in dem sich überhaupt kein Auftrag in Bearbeitung befindet. Die aktuelle Produktionssituation ist dann durch das "leere" Auftragspaket gekennzeichnet. Sobald es gilt, die Abwicklung von vorgegebenen Produktionsaufträgen im selben Produktionssystem "neu" zu planen, tritt eine entsprechende Veränderung der Produktionssituation ein. Dabei wird das aktuelle, zuvor leere Auftragspaket um jene abzuwickelnden Produktionsaufträge erweitert. Die Anpassungsplanung, die durch diese Paketerweiterung angestoßen wird, geschieht wie für jede andere dispositive Veränderung des Auftragspakets.

21) So stellt z.B. RIEBEL fest: "Die Fähigkeit zu ... schnellen Plananpassungen, ja selbst zu tiefgreifenden Umplanungen gewinnt an Bedeutung." (RIEBEL (1987), S. 1155, und RIEBEL (1989a), S. 254; wiedergegeben in RIEBEL (1990), S. 633 bzw. 699.) Allerdings bezieht er sich nicht auf die hier interessierende Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen, sondern auf den Bereich der Unternehmungsrechnung. Speziell für PPS-Systeme hat BENZING bereits im Jahr 1981 als Desiderat formuliert: Es "wird Flexibilität in der Anpassung ... verlangt. Dies soll durch eine ... reaktionsschnelle Planung ... geschehen." (BENZING (1981a), S. 67). "Daher muß die Planung größtmögliche Flexibilität und kurze Reaktionszeiten bei der Anpassung an die jeweilige Situation zulassen und geändert werden können, wenn wesentliche Veränderungen und neue Erkenntnisse eintreten." (BENZING (1981c), S. 391f.). Von WARNECKE, G. (1988), S. 15, werden "schnelle Entscheidungen zur Anpassung bei kurzfristigen Änderungen oder Beseitigung von Störungen" gefordert. ADAM, D. (1990a), S. 809, erklärt als Desiderat für künftig zu entwickelnde PPS-Systeme: "Das Planungskonzept muß über die nötige Flexibilität verfügen, um Datenänderungen ... kurzfristig erfassen zu können." HENNICKE (1991), S. 63, konstatiert für den Bereich "industrieller Fertigungsprojekte": "Durch die mangelnde Berücksichtigung und Planbarkeit von Störungen ergibt sich die Notwendigkeit einer Anpassung und Fortentwicklung des geplanten Projektablaufs, um die Wirkungen aufgetretener Störungen auszugleichen." Vgl. des weiteren BENZING (1983), S. 71f.; FOX, B. (1985a), S. 488 ("benefits could be obtained by focusing on the criteria and frequency for rescheduling"); RILLING (1991), S. 1 ("Umdispositionsaufgaben z.B. auch in der Produktionssteuerung von erheblichem Interesse").

22) Die größere Anpassungsgeschwindigkeit von Anpassungsplanungen folgt unmittelbar aus dem Vergleich ihres Planungskonzepts mit dem von wiederholten Neuplanungen: Wiederholte Neuplanungen erfordern die *vollständige* Neuplanung eines Produktionsplans, falls eine Planrevision durchgeführt wird. Anpassungsplanungen führen dagegen nur eine *partielle* Modifizierung eines bereits vorliegenden Produktionsplans durch, wenn eine Plananpassung geschieht. Diese Reduzierung des Planungsumfangs bedeutet im allgemeinen, daß die Planungsergebnisse von Anpassungsplanungen schneller als diejenigen von wiederholten Neuplanungen zur Verfügung stehen. Hierbei handelt es sich allerdings nur um eine grobe Tendenzaussage, die mehreren Einschränkungen unterliegt. Erstens werden in beiden Fällen gleich leistungsfähige Informationsverarbeitungssysteme für die Planungsdurchführung unterstellt. Zweitens kann in Einzelfällen die Modifizierung von vorhandenen Plänen den Aufwand einer Neuplanung erreichen (oder gar überschreiten). Darauf wurde schon an früherer Stelle hingewiesen. Drittens unterscheidet sich die Anpassungsplanung bei der Einschleusung eines erstmals präsentierten Auftragspakets nicht von einer originär durchgeführten Neuplanung. Im zweiten und dritten Fall ist daher kein Geschwindigkeitsvorteil der Anpassungsplanung zu erwarten. Viertens wurde von einer Reduzierung des Planungsumfangs auf eine frühere Verfügbarkeit von Planungsergebnissen geschlossen. Dies abstrahiert von unterschiedlichen Ausführungsgeschwindigkeiten der jeweils eingesetzten Planungsmethoden. Allerdings sieht der Verf. hierin kein Argument zugunsten der wiederholten Neuplanungen. Dies gilt zumindest dann, wenn wiederholte Neuplanungen auf der Grundlage von Optimierungsmodel-

len und Anpassungsplanungen mit der Hilfe von Heuristiken erfolgen. Denn Optimalplanungsmethoden besitzen ohnehin eine wesentlich geringere Ausführungsgeschwindigkeit als heuristische Planungsmethoden; vgl. z.B. SCHEER (1987a), S. 53. Fünftens wurde implizit unterstellt, daß die Zeitpunkte, in denen Planrevisionen durch wiederholte Neuplanungen erfolgen, und die Zeitpunkte, in denen Plananpassungen durch Anpassungsplanungen geschehen, nicht auseinanderfallen. Wenn diese Voraussetzung nicht zutrifft, so spricht dies jedoch abermals zugunsten von Anpassungsplanungen. Denn aufgrund ihres geringeren Planungsumfangs ist damit zu rechnen, daß sie tendenziell häufiger als wiederholte Neuplanungen durchgeführt werden. Daher wird die Zeitspanne, die zwischen dem Eintreten von Produktionsstörungen und dem Vorliegen von angepaßten oder neuen Produktionsplänen verstreicht, bei Anpassungsplanungen wegen höherer Planungsfrequenz eher kleiner als bei wiederholten Neuplanungen ausfallen.

23) Die Planungseffizienz wird hier nur auf den Ressourceneinsatz bezogen, der zur Gewinnung der erwünschten Planungsergebnisse erforderlich ist. Generell läßt der geringere Planungsumfang von Anpassungsplanungen erwarten, daß sie effizienter als wiederholte Neuplanungen durchgeführt werden können. Der Planungsumfang der beiden Planungsvarianten wurde bereits in der voranstehenden Anmerkung behandelt. Es wird auch auf die dort erörterten Einschränkungen hingewiesen. Allerdings kann der Effizienzvorteil von Anpassungsplanungen dadurch verringert oder sogar überkompensiert werden, daß sie häufiger als wiederholte Neuplanungen erfolgen. Auf die tendenziell höhere Planungsfrequenz von Anpassungsplanungen wurde ebenso schon in der voranstehenden Anmerkung eingegangen. Der Koordinierungsträger muß daher zwischen dem größeren Ressourceneinsatz und der höheren Aktualität von häufigeren Anpassungsplanungen abwägen.

Darüber hinaus läßt die Effizienzperspektive wegen ihrer Ressourcenorientierung die Qualität der Planungsergebnisse außer Acht: Wiederholte Neuplanungen besitzen in der Regel eine höhere Ergebnisqualität als Anpassungsplanungen. Dies gilt zumindest dann, wenn wiederholte Neuplanungen auf der Auswertung von Optimierungsmodellen und Anpassungsplanungen auf der Anwendung von Heuristiken beruhen. Dann erreichen heuristische Anpassungsplanungen - von Sonderfällen abgesehen - nicht die Ergebnisqualität von optimalen Neuplanungen. Allerdings wurde bereits ausführlich dargelegt, daß die hohe Ergebnisqualität von Optimalplanungen angesichts häufiger Produktionsstörungen für die Lösung praktischer Koordinierungsprobleme in komplexen Produktionssystemen keine nennenswerte Bedeutung besitzt. Daher werden die Vorbehalte, die gegenüber der hier zugrundegelegten Effizienzperspektive aus dem Blickwinkel der Ergebnisqualität vorgetragen werden könnten, nicht weiter verfolgt.

Unter den voranstehend skizzierten Voraussetzungen und Einschränkungen besitzen Anpassungsplanungen den Effizienzvorteil, Ressourcenverschwendungen für aufwendige, aber nachträglich störungsbedingt ungültig gewordene Neuplanungen - oftmals Optimalplanungen - zu vermeiden. Vgl. hierzu die Anmerkung von SCHEER (1987a), S. 44: "Der Aufwand für ständige, umfassende und exakte Lösungen wäre deshalb kaum zu vertreten." Ähnlich merkt SCHNEIDER, A. (1979), S. 358, an, es sei "sinnlos, mit hohem Aufwand eine Reihenfolgeplanung durchzuführen, die dann doch nicht eingehalten wird ...". Entsprechende Äußerungen finden sich bei JUNGHANS (1971), S. 169.

24) Die beiden Konzepte werden hier in ihrer Reinform dargestellt. Da sie sich jedoch nicht gegenseitig ausschließen, können sie in vielfältigen Mischformen miteinander kombiniert werden.

Es könnte noch an ein drittes Konzept gedacht werden. Denn es liegt nahe, einen Produktionsplan von vornherein so zu entwerfen, daß sich der Produktionsplan trotz Eintritts von vielfältigen Produktionsstörungen weiterhin verwirklichen läßt. Dann brauchen überhaupt keine Plananpassungen zu erfolgen. Dies läßt sich z.B. dadurch erreichen, daß in den Produktionsplan störungsabsorbierende Puffer eingebaut werden. Diese Konzeptvariante wird hier jedoch aus zwei Gründen nicht weiter beachtet. Erstens zielt sie auf das Vermeiden von Anpassungsplanungen ab. Daher stellt sie allenfalls ein passives Störungsmanagement dar. Sie entspricht daher nicht der oben erwähnten Forderung, durch gezieltes Unterstützen von Anpassungsplanungen ein aktives Störungsmanagement zu ermöglichen. Zweitens läuft die Immunisierung von Produktionsplänen gegenüber möglichst vielfältigen Produktionsstörungen der Intention zuwider, Flexible Fertigungssysteme gerade dann zu nutzen, wenn ein rasches und kostengünstiges Anpassen an schnell veränderliche Produktionssituationen erwünscht ist. Darauf wird später unter dem Aspekt der organisatorischen Instabilität von Flexiblen Fertigungssystemen zurückgekommen.

25) Vgl. zur eng gefaßten Anpassungsplanung im Zusammenhang mit PPS-Systemen DÖTTLING (1981), S. 61 u. 63; EVERSHEIM (1981), S. 171; KAZMAIER (1984), S. 164; ALDINGER (1985a), S. 70ff.; SCHEER (1987a), S. 32ff. Die Vorgehensweise der Anpassungsplanung i.e.S. wird mitunter als Nettoprinzip ("net-change") thematisiert. Vgl. GÜNTHER, H. (1986), S. 242; SCHEER (1987a), S. 32ff.; SCHEER (1990c), S. 60ff.

Zwar knüpft SCHEER (1990c), S. 60, das Nettoprinzip an den speziellen Aspekt, bei der Anpassung an Produktionsstörungen, die sowohl positive als auch negative Planabweichungen ("Datenänderungen") bedeuten, nur die jeweils resultierende Abweichungsdifferenz zu berücksichtigen. Doch er beschreibt die daraus resultierende Anpassungsplanung in einer Weise, die der hier erläuterten Anpassungsplanung i.w.S. entspricht. Daher wird das Nettoprinzip hier nicht in seiner speziellen, differenzbezogenen Weise verstanden. Vielmehr wird es als Kurzbezeichnung für eine Planungsweise begriffen, die bei Produktionsstörungen keine Neuplanung ausführt (Bruttoprinzip), sondern lediglich diejenigen Anpassungsmaßnahmen plant, die für eine Reaktion auf die eingetretenen Störungen ausreichend erscheinen (Nettoprinzip).

26) Auf diese Einschränkung der Planmodifizierung bezieht sich das Nettoprinzip, das in der voranstehenden Anmerkung erwähnt wurde.

27) Die weit aufgefaßte Anpassungsplanung wird in den nachfolgenden drei Kapiteln ausführlicher behandelt. Vgl. auch die Quellen, die dort zu den Stichworten der Online-Planung und des kontinuierlichen Planungsprozesses angeführt werden.

28) Von einer Anpassungsplanung ohne präzisierenden Zusatz wird gesprochen, wenn entweder keine nähere Festlegung erfolgen soll, ob eine Anpassungsplanung im engeren oder weiteren Sinne gemeint ist, oder wenn aus dem jeweils aktuellen Argumentationskontext ersichtlich ist, um welche Variante der Anpassungsplanung es sich handelt.

29) Wegen des Verzichts auf eine Neuplanung muß aber auch der Anspruch auf optimale Produktionspläne oder optimale Plananpassungen aufgegeben werden.

30) Im Rahmen konventioneller PPS-Systeme lassen sich im allgemeinen keine ausgereiften Konzepte zur Reaktion auf Produktionsstörungen erkennen. Äußeres Anzeichen dieser Konzeptlücke ist die weit verbreitete Praxis, daß die Mitarbeiter im Bereich der Produktionssteuerung die Vorgaben der Produktionsplanung, soweit sie störungsbedingt ungültig geworden sind, selbst an die reale Produktionssituation kurzfristig anpassen müssen. Es ist hier unbeachtlich, ob aus aufbauorganisatorischer Sicht die Anpassungsmaßnahmen entweder von Mitarbeitern im Informationssystem (in der Arbeitsvorbereitung) oder aber von qualifizierten Arbeitskräften im Produktionssystem geplant und veranlaßt werden. Denn es interessiert nur die prozeßkoordinierende Funktion, die von Arbeitsverteilern, Werkverteilern, Terminjägern oder Meistern erfüllt wird. Vgl. zu ihrer Beteiligung an störungsinduzierten Koordinierungsentscheidungen HOCH (1973), S. 38f.; FORSCHBACH (1978), S. 259f., 280 u. 282; BECKER, J. (1978), S. 502; BORMANN (1978), S. 106f.; NIEB (1980), S. 20 u. 33, der von einer "Flexibilität unter der Hand" (S. 20) spricht; GUTENBERG (1983), S. 224f.; WICHARZ (1983), S. 371ff.; WILDEMANN (1988c), S. 48; BEIER (1988a), S. 225; KRALLMANN (1989b), S. 2 i.V.m. S. 1; KERN, W. (1990a), S. 302 i.V.m. S. 346 u. S. 350.

Die o.a. Konzeptlücke äußert sich vor allem darin, daß in den vorgenannten Quellen keine nähere Auskunft darüber erfolgt, auf *welche Weise* die beteiligten Mitarbeiter ihre Plananpassungen tatsächlich vornehmen (sollen). Statt dessen herrscht diesbezüglich ein "beredtes Schweigen". Dies wird besonders deutlich bei HORMANN, D. (1973), S. 110ff.; HOCH (1973), S. 38f.; BORMANN (1978), S. 106f.; BECKER, J. (1978), S. 502; KRALLMANN (1989b), S. 2. Es bleibt in der Regel Intuition und Erfahrung der produktionssteuernden Mitarbeiter überlassen, entsprechende Steuerungseingriffe in das Basissystem ad hoc zu "planen" - oder treffender: zu improvisieren - und zu veranlassen. Die Aufgabe, störungsinduzierte Anpassungsmaßnahmen zu koordinieren, wird auf die betroffenen Mitarbeiter abgewälzt. Den intuitiven Charakter solcher Anpassungsmaßnahmen betont z.B. RILLING (1991), S. 15 (jedoch auf Tourenanpassungen im Werksfernverkehr bezogen). Ihr ad hoc-Charakter tritt bei HOCH (1973), S. 39, und NIEB (1980), S. 33, hervor. Die Improvisationsnotwendigkeit betonen SCHÄFER, E. (1978), S. 234; MAIER, U. (1980), S. 17 u. 102; KERN, W. (1988), S. 152 (ohne Bezugnahme auf PPS-Systeme, wohl aber im Hinblick auf "unvorhergesehene Ereignisse", die "rasche Anpassungshandlungen erfordern"). In der voranstehend skizzierten Weise wird die konzeptionelle Lücke des aktiven Störungsmanagements aber nicht behoben, sondern nur verschoben. Daher muß BEIER (1988a), S. 225f., beigepflichtet werden, der die mangelhafte Kenntnis konkreter und zugleich praxistauglicher (Anpassungs-)Konzepte für die Werkstattsteuerung bei hochvariablen, ständig störungsgefährdeten Produktionssituationen kritisiert. In die gleiche Richtung weist die beißende Anmerkung von WINTER, RO. (1991), S. 13: "Die weitgehende Einbeziehung des Benutzers begründet sich eigentlich nicht mit einer überaus großen Benutzerfreundlichkeit, sondern liegt hauptsächlich an der mangelnden 'Intelligenz' der Planungsumgebung." Allerdings bezieht sich WINTER nicht speziell auf störungsinduzierte Anpassungsplanungen. Vielmehr beschäftigt er sich allgemein mit interaktiv genutzten PPS-Systemen. Dennoch trifft WINTER's Einschätzung oftmals ins Schwarze; vgl. z.B. WILKINS (1984), S. 297 ("The problem of replanning is also critical. ... In accordance with this, the plan can be updated interactively to cope with unanticipated occurrences.").

Auf indirekte Art wird die Konzeptlücke des Störungsmanagements auch von solchen Autoren bestätigt, die anscheinend überhaupt keine konzeptionelle Differenz wahrnehmen zwischen originären Produktionsplanungen auf der einen und störungsbedingten Anpassungsplanungen auf der anderen Seite. Beispielsweise DÖTTLING (1981), S. 29, keine prinzipiellen Eigenarten der störungsbedingten Anpassungsplanung: "Die Vorgehensweise bei der UmDisposition ist grundsätzlich die gleiche wie bei der Maschinenbelegungsplanung ...". Ähnlich äußert sich HORMANN, D. (1973), S. 112: "Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die ... Steuerungsmodelle auch bei Störungen eingesetzt werden können. Die Entwicklung spezieller Ausweichstrategien ... ist nicht erforderlich." Solche Gleichsetzungen von originären Produktionsplanungen und störungsbedingten Anpassungsplanungen ließen sich aber nur dann nachvollziehen, wenn Anpassungsplanungen mit den Neuaufwürfen originärer Produktionsplanungen identifiziert würden, die lediglich unter modifiziertem Informationsstand durchgeführt werden. Es wird im folgenden herausgearbeitet werden, daß diese Gleichsetzung einem Planungsverständnis zuwiderläuft, das speziell auf die Prozeßkoordinierung in störanfälligen Produktionssystemen zugeschnitten ist.

31) Vgl. zu allgemeinen Grundsätzen der Plananpassung STUTE (1978a), S. 75ff., 82f. u. 94ff.; PFERDMENGENES (1980), S. 114; EVERSHEIM (1981), S. 178ff.; DÖTLING (1981), S. 61, 63, 75, 82ff. u. 89ff.; WICHARZ (1983), S. 371ff.; ALDINGER (1985a), S. 71ff. (nur für den Fall neu eintreffender Produktionsaufträge); KNOOP (1986), S. 122; MERTENS (1988d), S. 10ff.; MERTENS (1988g), S. 19ff.; RILLING (1991), S. 17f. (jedoch für den Bereich der Tourensteuerung im Werksfernverkehr); WECK (1991d), S. 15.

Sofern die Anpassungsgrundsätze auf Prozeßkoordinierungen im Produktionsbereich bezogen werden, erstrecken sie sich im wesentlichen auf folgende Empfehlungen für ein aktives Störungsmanagement:

- Anpassung durch Maschinenvorziehen: Wenn für einen Produktionsauftrag eine Maschinenfolge geplant wurde, aber die nächste eingeplante Bearbeitungsstation gestört ist, wird aus der Maschinenfolge des Auftrags die erste nachfolgende Bearbeitungsstation vorgezogen, auf der sich in der aktuellen Produktionssituation ein Arbeitsgang des Auftrags ausführen läßt; vgl. STUTE (1978a), S. 76, 82 u. 94f. ("Modul B"). Es ist auch möglich, daß die Maschinenfolge des betroffenen Auftrags überhaupt keine solche vorzuziehende Bearbeitungsstation enthält.
- Anpassung durch Verfahrenswahl: Falls sich ein Produktionsauftrag im Produktionssystem wegen Produktionsstörungen nicht in der ursprünglich geplanten Weise abwickeln läßt, aber unterschiedliche Produktionsverfahren für die Auftragsabwicklung möglich sind, wird eine Verfahrensmodifizierung versucht. Sie ist erfolgreich, wenn es gelingt, den nächsten auszuführenden Arbeitsgang auf einer betriebsbereiten Bearbeitungsstation auszuführen. In diesem Sinne läßt sich auch MERTENS (1988g), S. 21, auslegen, der die "Verwendung von Alternativarbeitsplänen" empfiehlt. Solche Alternativarbeitspläne können als Repräsentationen unterschiedlicher Produktionsverfahren aufgefaßt werden.
- Anpassung durch temporäre Auftragsstornierung: Produktionsaufträge, deren Abwicklung sich im Produktionssystem aufgrund einer Störung nicht fortsetzen läßt, werden vorübergehend storniert. Die auftragszugehörigen Werkstücke werden aus dem Produktionssystem herausgeschleust und in dessen Eingangslager zwischengespeichert. Die suspendierten Aufträge werden später wieder eingelastet, nachdem die Produktionsstörung beseitigt ist. Dieser Strategie kommt die zeitliche Anpassung von NIEB (1980), S. 33, nahe. Bei ihr wird die Fortsetzung der Abwicklung eines gestörten Produktionsauftrags zeitlich so lange hinausgeschoben, bis die Störung beseitigt ist. Vgl. auch WECK (1991d), S. 15.
- Anpassung durch Reserveaufträge: Reserveaufträge werden in das Produktionssystem eingeschleust, wenn sich bereits eingelastete Aufträge störungsbedingt nicht weiter abwickeln lassen. Voraussetzung ist, daß sich mindestens ein Auftrag im Eingangslager des Produktionssystems befindet, der auf Einlastung wartet und dessen Abwicklung von der eingetretenen Störung nicht betroffen ist.
- Anpassung durch Auftragseinschleusen: Neue Produktionsaufträge werden in das Produktionssystem eingeschleust, sobald ihre jeweils ersten Arbeitsgänge auf Bearbeitungsstationen ausgeführt werden können, denen im aktuellen Zustand des Produktionssystems kein Arbeitsgang von alten Aufträgen zugeordnet ist; vgl. ALDINGER (1985a), S. 71ff. Dabei können zwei unterschiedliche Strategien verfolgt werden. Entweder werden die neuen Produktionsaufträge mit der Hilfe von Prioritätsregeln in einer eindeutigen Rangfolge angeordnet. Die Aufträge werden dann entsprechend ihrer Rangfolge eingelastet (auftragsorientiertes Einschleusen). Oder es wird für jede aktuell freie Bearbeitungsstation, auf der sich mindestens ein erster Arbeitsgang eines neuen Auftrags ausführen läßt, genau ein solcher Arbeitsgang ausgewählt. Der jeweils zugehörige neue Auftrag wird eingelastet (maschinenorientiertes Einschleusen).
- Anpassung durch kleinstmögliche Arbeitsgangverlagerung: Von einer Bearbeitungsstation, die infolge einer Produktionsstörung nicht mehr betriebsbereit ist, werden diejenigen Arbeitsgänge abgezogen und auf Ausweichstationen verteilt, deren Ausführungen notwendige Voraussetzungen für die Ausführung nachfolgender Arbeitsgänge auf anderen, aber betriebsbereiten Bearbeitungsstationen sind; vgl. STUTE (1978a), S. 95 ("Modul D"). Alle anderen Arbeitsgänge der gestörten Bearbeitungsstation bleiben dieser zugeordnet und werden später ausgeführt, wenn die Betriebsbereitschaft der Station wiederhergestellt ist. Dabei wird unterstellt, daß die Betriebsstörung der Bearbeitungsstation nur vorübergehenden Charakter besitzt.
- Anpassung durch Auftragsrückführung: Falls eine Bearbeitungsstation voraussichtlich längerfristig ihre Betriebsbereitschaft nicht wiedererlangen kann, werden alle Werkstücke von Arbeitsgängen, die ihr bereits zugeordnet worden sind, in das Eingangslager des betroffenen Produktionssystems zurücktransportiert; vgl. STUTE (1978a), S. 96 ("Modul G"). Die betroffenen Produktionsaufträge werden hinsichtlich ihrer noch nicht ausgeführten Arbeitsgänge als "neu eingetroffene" Aufträge behandelt und erneut in das Produktionssystem eingelastet. Diese Anpassungsweise fällt inhaltlich weitgehend mit der Anpassung durch temporäre Auftragsstornierung zusammen. Es wird lediglich die auftrags- durch eine stationsbezogene Perspektive ersetzt und zusätzlich die Dauerhaftigkeit der Produktionsstörung vorausgesetzt.
- Anpassung durch Arbeitsgangvorziehen: Wenn für eine Bearbeitungsstation eine Arbeitsgangfolge geplant wurde, aber der nächste eingeplante Arbeitsgang nicht ausgeführt werden kann, wird aus der Arbeitsgangfolge der Bearbeitungsstation der erste nachfolgende Arbeitsgang vorgezogen, dessen Ausführung aktuell möglich ist; vgl. STUTE (1978a), S. 76, 82 u. 94 ("Modul A"); SPUR (1980), S. 378f.; DÖTLING (1981), S. 83 u. 90ff. Die Ausführung eines Arbeitsgangs kann z.B. dadurch verhindert sein, daß an der Bearbeitungsstation ein dazu erforderliches Werkzeug fehlt. Oder Arbeitsgänge desselben Auftrags, die dem betrachteten Arbeitsgang notwendig vorausgehen und anderen Bearbeitungsstationen zugeordnet waren, konnten dort infolge von Störungen nicht

wie geplant ausgeführt werden. Unter Umständen existiert aber gar kein Arbeitsgang, der sich statt dessen vorziehen läßt.

- Anpassung durch Ausweichstationen: Arbeitsgänge, die sich wegen einer Störung auf der ursprünglich vorgesehenen Bearbeitungsstation nicht ausführen lassen, werden alternativen Bearbeitungsstationen zugeordnet; vgl. HORMANN, D. (1973), S. 111; STUTE (1978a), S. 76 u. 96; DÖTTLING (1981), S. 83f. u. 90; BEIER (1988a), S. 238f. Die Verlagerung von Arbeitsgangausführungen auf Ausweichstationen findet sich auch bei NIEB (1980), S. 33, als technische Anpassung. Vgl. ebenso WECK (1991d), S. 15.
- Anpassung durch Abwarten: Arbeitsgänge, die infolge einer Störung nicht wie geplant ausgeführt werden können, werden so lange aufgeschoben, bis die Störung beseitigt ist; vgl. STUTE (1978a), S. 75f. u. 82; MERTENS (1988g), S. 21 ("Veränderung von Auftragsterminen"). Die Werkstücke, die zu den aufgeschobenen Arbeitsgängen gehören, können in Auffanglagern des Produktionssystems oder in Pufferlagern der gestörten Bearbeitungsstationen zwischengespeichert werden.
- Anpassung durch kleinstmögliche Abweichungen: Die Anpassungen sollen so vorgenommen werden, daß vom zuletzt gültigen Produktionsplan so wenig wie möglich abgewichen werden muß. Vgl. STUTE (1978a), S. 83 u. 95; DÖTTLING (1981), S. 63, 75 u. 82. Mitunter wird diese Anpassungsweise auch als "turnpike scheduling" thematisiert.

Die letztgenannte Anpassungsform enthält keine operationale Beschreibung, wie die unterstellten Anpassungsmaßnahmen mit den kleinstmöglichen Abweichungen aufgefunden werden können. Darüber hinaus bleibt unklar, wie die Abweichungen konkret gemessen werden sollen. Bei DÖTTLING (1981), S. 83f., werden zwar unterschiedliche Anpassungsweisen aufgelistet. Sie stellen aber nur allgemeine Anpassungsmaßnahmen dar, die - bis auf eine Ausnahme (das "Modul E" auf S. 84) - in keiner Weise erkennen lassen, wie sie die spezielle Funktion erfüllen sollen, zu *kleinstmöglichen* Planabweichungen zu führen. Wenn von diesen Operationalisierungsdefiziten abgesehen wird, so spricht für die Strategie kleinstmöglicher Abweichungen die praktische Erfahrung, daß die Kosten der Plananpassung tendenziell um so größer ausfallen, je weiter vom ursprünglichen Plan abgewichen wird. Dieser Aspekt klingt bei DÖTTLING (1981), S. 63, an. Allerdings handelt es sich nur um ein Plausibilitätsargument. Erstens wird lediglich ein grober Tendenzzusammenhang zwischen Abweichungsausmaß und Anpassungskosten konstatiert. Er braucht im Einzelfall einer konkreten Anpassungsplanung keineswegs erfüllt zu sein. Zweitens ist es nicht notwendig, daß kleine Abweichungen vom zuletzt gültigen Produktionsplan auch nur geringe Variationen der Formalzielerfüllung bewirken. Statt dessen kann es ebenso vorteilhaft sein, größere Abweichungen - auch mit entsprechend höheren Anpassungskosten - in Kauf zu nehmen. Dies ist dann der Fall, wenn hierdurch insgesamt eine höhere Erfüllung des Formalzielsystems erreicht wird, als es bei nur geringen Abweichungen der Anpassungsplanung vom ursprünglichen Produktionsplan möglich wäre. Auf die Strategie kleinstmöglicher Abweichungen wird später im Zusammenhang mit der Robustheitsanalyse von Netzmodellen und der daraus abgeleiteten Anpassungsplanung zurückgekommen.

Die voranstehend skizzierten Anpassungsgrundsätze lassen sich keineswegs immer anwenden. Statt dessen präsupponieren sie jeweils einen Freiheitsgrad für Anpassungsmaßnahmen, der im zugrundeliegenden Produktionssystem und im darauf angewandten Koordinierungskonzept auch tatsächlich vorhanden bzw. vorgesehen sein muß. Falls diese Präsuppositionen nicht erfüllt sind, scheiden die jeweils zugehörigen Anpassungsgrundsätze von vornherein aus; vgl. STUTE (1978a), S. 76f., 83 u. 85f. Beispielsweise kommt bei flexiblen Fertigungssystemen, die ausschließlich über ergänzende Bearbeitungsstationen verfügen, das Einplanen von Ausweichstationen niemals in Frage. Bei Arbeitsplänen, die nur jeweils genau eine lineare Arbeitsgangfolge für jeden Auftrag vorsehen, ist es nicht möglich, während der Abwicklung eines Auftrags einzelne Arbeitsgänge vorzuziehen. Universell läßt sich dagegen der Grundsatz des Abwartens anwenden. Darüber hinaus können die o.a. Anpassungsgrundsätze bei der Festlegung einer konkreten Anpassungsmaßnahme auch miteinander kombiniert werden. Z.B. ist es möglich, die Maschinenfolge eines Produktionsauftrags zu variieren und zugleich für die jeweils nächste Bearbeitungsstation eine Ausweichstation in Betracht zu ziehen.

32) Vgl. dazu RILLING (1991), S. 15 u. 17f. Dort werden die Umdispositionen, die bei der Tourenplanung im Werksfernverkehr erforderlich sind, praxisnah und detailreich beschrieben. Bemerkenswert ist, daß nur allgemeine Anforderungen spezifiziert werden, die von den Ergebnissen der Anpassungsplanungen erfüllt werden sollen (S. 17). Wie diese Ergebnisse erreicht werden können, bleibt in der Planungspraxis dagegen den Koordinierungsträgern überlassen: "Die Vorgehensweise der Disponenten bei der Umdisposition ist *nicht programmatisch*, sondern eher intuitiv zu nennen." (S. 15; kursive Hervorhebung durch den Verf.). Diese Konzeptionslosigkeit hinsichtlich der Durchführung von Anpassungsplanungen hat RILLING und BORKOWSKI dazu veranlaßt, für die Aufgabe der Umdisposition ein Expertensystem zu entwickeln. Darauf wird in der nächsten Anmerkung zurückgekommen. Diesem Expertensystem liegt ein detailliertes Konzept für die systematische Durchführung von Anpassungsplanungen zugrunde. Es wird in RILLING (1991), S. 22ff., insbesondere S. 26ff., ausführlich erläutert.

33) Dazu gehören insbesondere die Arbeiten von MERTENS (1988d), S. 14ff.; MERTENS (1988g), S. 23ff.; ROSE, HA. (1989), S. 55ff., und BÜTTNER (1989), S. 4f., 8f., insbesondere S. 10ff. u. 52ff., über Plananpassungen im Bereich der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung. Sie entfalten ein umfangreiches Konzept, das PPS-Systemen ein aktives Störungsmanagement ermöglichen soll. Der Konzeptbogen spannt sich vom systematischen Erkennen

der Produktionsstörungen über die Beurteilung ihrer Eingriffsrelevanz bis hin zum Einplanen von Anpassungsmaßnahmen. Dabei kann auf ein breites Maßnahmenspektrum zurückgegriffen werden, wie z.B. das Verlagern von Arbeitsgängen auf Ausweichstationen oder das Splitten von Losen. Ein breites, empirisch fundiertes Wissen über produktionstechnische Sachverhalte wird genutzt, um die Auswahl solcher Anpassungsmaßnahmen zu empfehlen, die hinsichtlich der intendierten Störungsbeseitigung oder -eindämmung besonders erfolgversprechend erscheinen. Diese wissensbasierte Ausgestaltung des aktiven Störungsmanagements legt es nahe, die Beiträge von BÜTTNER, MERTENS und ROSE in den Bereich der KI-Forschung einzuordnen. In der Tat befassen sich die Autoren auch mit der Anregung, der Konzipierung und schließlich auch mit der Implementierung eines Expertensystems, das speziell der störungsinduzierten Anpassungsplanung im Produktionsbereich dient. Es handelt sich um das Exemplar UMDEX (Umdisposition durch ein Expertensystem), das zur Zeit von der Informatik-Forschungsgruppe VIII unter der Leitung von MERTENS an der Universität Erlangen-Nürnberg entwickelt wird. Vgl. dazu die o.a. Quellen, insbesondere MERTENS (1988d), S. 13f.; MERTENS (1988g), S. 21f.; ROSE,HA. (1989), S. 101ff.; vgl. darüber hinaus zum Expertensystem UMDEX die Ausführungen bei MERTENS (1988e), S. 2 u. 12ff.; MERTENS (1990b), S. 120f. u. 145. Ein wesentlicher Aspekt des Expertensystems UMDEX besteht darin, Empfehlungen von Anpassungsmaßnahmen in situationsabhängiger Weise auszusprechen. Denn es trifft seine Urteile über die mutmaßliche Eignung von Anpassungsmaßnahmen angesichts der jeweils aktuellen Produktionssituation. Dadurch knüpft es an die schon früher angesprochenen Konzepte an, Expertensysteme mit Wissen über die situationsabhängige Eignung von Prioritätsregeln für die Zuordnung von Aufträgen zu Bearbeitungsstationen zu entwickeln. Darüber hinaus realisiert das Expertensystem UMDEX die Vorstellungen, die schon vor langer Zeit STUTE (1978a), S. 94ff. u. 99f., vorgetragen hat. STUTE wollte in einem Automatischen Informationsverarbeitungssystem für die Steuerung Flexibler Fertigungssysteme unterschiedliche Anpassungsstrategien in jeweils einem strategiespezifischen Softwaremodul vorhalten, um Anpassungsplanungen mit situationsabhängigen Planungsstrategien vorzunehmen. Die situationsabhängige Anwendung verschiedener Anpassungsstrategien nahm STUTE vorweg, indem er ankündigte: "Die Zulässigkeit einzelner Moduln ... kann abhängig von der Systemauslegung festgelegt sein. Zusätzlich ist es noch möglich, auch während des Betriebs Veränderungen vorzunehmen und somit die Ausweichstrategie automatisch dem Systemzustand anzupassen." (S. 94). Allerdings haben diese frühen Ideen noch keine konkrete, detaillierte Verwirklichung gefunden. Einen ernsthaften Ansatz in dieser Richtung stellt erst das hier erwähnte Expertensystem UMDEX dar.

Das Expertensystem UMDEX ist in den weiter gefaßten Forschungsansatz des Projekts UPPEX eingebettet, das sich mit der "Unterstützung der Produktionsplanung und -steuerung durch Expertensysteme" befaßt. Im Rahmen dieses Projekts wird untersucht, welche Perspektiven sich für die Koordinierung von Produktionsprozessen bei Werkstattfertigung eröffnen, wenn konventionelle PPS-Systeme mit Expertensystemen kombiniert werden. Dabei dient das weit verbreitete PPS-System COPICS als konventionelle Grundlage. Vgl. zu einem Überblick über die Intentionen und die ersten Resultate des Forschungsprojekts UPPEX ROSE,HA. (1989), S. 46ff.; MERTENS (1990b), S. 120f. (ohne das Projekt explizit zu nennen); vgl. auch den frühen Hinweis auf die Thematik dieses Forschungsprojekts, das damals als solches noch nicht ins Leben gerufen war, bei MERTENS (1986b), S. 920. In die gleiche Richtung wie das Expertensystem UMDEX und das Projekt UPPEX zielt das Umdispositionsmodul des Expertensystems RATOUREX (Rascher Touren Experte). Dieses Expertensystem wird ebenso unter der Leitung von MERTENS an der Universität Erlangen-Nürnberg entwickelt. Sein Umdispositionsmodul ist wiederum darauf ausgelegt, bei unvorhergesehenen Störungen situationsentsprechende Anpassungsmaßnahmen zu planen. Allerdings befaßt sich das Expertensystem RATOUREX nicht mit Störungen im Produktionsbereich, sondern unterstützt die Tourensteuerung beim Werksfernverkehr. Daher wird es hier nicht weiter betrachtet. Vgl. statt dessen die ausführlichere Beschreibung des Umdispositionsmoduls von RATOUREX bei RILLING (1991), S. 1f., 19, 22ff. u. 36ff.

Des weiteren ließe sich das Konzept der Restriktionspropagierung nutzen, um Anpassungsplanungen durch Erkenntnisse aus der Erforschung Künstlicher Intelligenz zu unterstützen. Hierbei wird versucht, Produktionsplanungsprobleme vollständig durch Restriktionen zu beschreiben und zulässige (friktionsfreie) Produktionspläne durch sukzessives Einbeziehen (Propagieren) der problemspezifisierenden Restriktionen abzuleiten. Es handelt sich um einen Planungsansatz, der sich aufgrund seiner Restriktionsorientierung hervorragend mit der früheren Konzeptualisierung von Koordinierungsspielräumen verträgt. Darüber hinaus bedeutet seine Beschränkung auf das Ausdrucksmittel von Restriktionen, das Formalziele ausschließlich den Charakter von Satisfizierungszielen anzunehmen vermögen. Dies entspricht dem früher thematisierten Abrücken von Optimierungsmodellen.

Produktionsstörungen lassen sich im Rahmen der Restriktionspropagierung dadurch erfassen, daß entweder bereits bestehende Restriktionen enger formuliert werden oder aber neue Restriktionen in das problembeschreibende Formelsystem aufgenommen werden. Der erste Fall kommt z.B. in Betracht, wenn eine Restriktion ausdrückt, wie viele "ersetzende" Bearbeitungsstationen von einer bestimmten, restriktionsspezifischen Stationsart zur Verfügung stehen. Die Störung der Betriebsbereitschaft einer solchen Bearbeitungsstation bedeutet eine Verringerung der verfügbaren Stationsanzahl und somit eine "Verschärfung" der vorgenannten Restriktion. Eine neue Restriktion muß dagegen der Beschreibung eines Produktionsplanungsproblems hinzugefügt werden, wenn das abzuwickelnde Auftragspaket um einen Produktionsauftrag erweitert wird. Die Beschreibung der Produktionssituation muß dann um Restriktionen erweitert werden, die den spätest zulässigen Fertigstellungstermin und die auftragspezifische Endproduktmenge spezifizieren. Ebenso können Sachverhalte, die zur Verzögerung einer Auftragsabwicklung geführt haben, durch zu-

sätzliche Restriktionen repräsentiert werden; vgl. dazu das Beispiel aus dem Bereich der Terminplanung bei ZELEWSKI (1986a), S. 832. Mit den speziellen Techniken der Restriktionspropagierung kann dann untersucht werden, wie sich die verschärften oder neuen Restriktionen auf die zuvor erstellten Produktionspläne auswirken. Stellen sich dabei Restriktionsverletzungen auf, werden Anpassungsoperationen angestoßen, die sowohl Modifizierungen des letzten vorläufigen Produktionsplans als auch Veränderungen - vor allem Abschwächungen - der bisher berücksichtigten Restriktionen bedeuten können. Es wird darauf verzichtet, diese Operationen im Detail darzustellen. Vgl. statt dessen die Erläuterungen des Konzepts der Restriktionspropagierung, das vornehmlich im Bereich der Erforschung Künstlicher Intelligenz behandelt wird, SUSSMAN (1980), S. 35ff.; STEFIK (1981), S. 115f. (einschließlich der dort behandelten Restriktionssatisfizierung); SMITH, S. (1983), S. 1 u. 14ff.; FOX, M. (1984a), S. 37ff.; RAUCH-HINDIN (1985), S. 18f.; REINFRANK (1985b), S. 74ff.; FENDLER (1986), S. 36ff.; WILLIAMS, B. (1986), S. 105ff.; DAVIS, E. (1987), S. 281ff.; TSANG (1987a), S. 66ff.; MEYER, W. (1987), S. 406 u. 410; GÜSGEN (1988a), S. 424ff.; GÜSGEN (1988b), S. 426f.; RIT (1986), S. 386f.; ZELEWSKI (1988c), S. 40f.; LODWICK (1989), S. 143ff. (aus der Perspektive von OR-Programmen); THUY (1989), S. 118ff.; VOß, A. (1989a), S. 218ff.; MESEGUER, P. (1989), S. 6ff.; DORN (1989), S. 134 u. 138ff.; FOLDENAUER (1990), S. 52ff. (mit besonderem produktionswirtschaftlichen Bezug); ZELEWSKI (1990a), S. 56f.; WINTER, R. O. (1991), S. 152 u. 155.

Die Relevanz der Restriktionspropagierung für Anpassungsplanungen unterstreichen die Ausführungen bei MERTENS (1988d), S. 10ff.; MERTENS (1988g), S. 19f. Sie beschäftigen sich mit der Anwendung dieses Ansatzes auf PPS-Systeme. Darüber hinaus wurde schon eine Anzahl von Expertensystemen für den Bereich der kurzfristigen Produktionsplanung entwickelt, die auf dem Konzept der Restriktionspropagierung beruhen. Als bekanntestes Exemplar wird hier nur auf das Expertensystem ISIS (*Intelligent Scheduling and Information System*) und seinen Nachfolger OPIS (*Opportunistic Intelligent Scheduler*) verwiesen. Beide Expertensystemvarianten nutzen das Konzept der Restriktionspropagierung, um bei Produktionsstörungen echte Anpassungsplanungen anstelle von wiederholten Neuplanungen durchzuführen. Dies wird von WINTER, R. O. (1991), S. 155, besonders herausgestellt.

Nähere Beschreibungen des Expertensystems ISIS finden sich bei FOX, M. (1982a), S. 155ff.; FOX, M. (1983a), S. 31ff.; FOX, M. (1983b), S. 117 u. 122ff.; FOX, M. (1983c), S. 76ff.; SMITH, S. (1983), S. 1ff.; FOX, M. (1984a), S. 26ff.; FOX, M. (1984b), S. 34f.; FOX, M. (1984d), S. 3ff.; BOURNE (1984), S. 82ff.; DOUMEINGTS (1984a), S. 251ff.; MILLER, R. K. (1984), S. 66ff. u. 72ff.; DOUMEINGTS (1985), S. 205ff.; SMITH, S. (1985), S. 1013ff.; o.V. (1985f), S. 3ff.; RAUCH-HINDIN (1985), S. 14ff.; FOX, M. (1986a), S. 410ff.; FOX, M. (1986b), S. 5ff.; SMITH, S. (1986a), S. 54ff.; KRALLMANN (1986), S. 407f.; KRALLMANN (1987b), S. 135f.; HEINE (1987), S. 40ff. u. 65ff.; ZELEWSKI (1988c), S. 73ff. (insbesondere S. 79 hinsichtlich des Aspekts der Anpassungsplanung); ZELEWSKI (1990b), S. 71ff.; WINTER, R. O. (1991), S. 154ff. (mit besonderer Betonung der Ausrichtung auf Anpassungsplanungen auf S. 155); PAPAS (o.J.), S. 1ff.

Vgl. ebenso zum Expertensystem OPIS die Erläuterungen von OW (1985a), S. 1ff. (ohne explizite Namensnennung); OW (1986), S. 3 u. 8ff.; SMITH, S. (1986a), S. 57ff.; SMITH, S. (1986b), S. 2-126ff.; FOX, M. (1986b), S. 12f.; HEINE (1987), S. 49ff.; KRALLMANN (1987b), S. 136; OW (1988a), S. 87f. u. 92ff.; SMITH, S. (1988a), S. 116ff.; ZELEWSKI (1988c), S. 80ff.; MERTENS (1989c), S. 842f.; MERTENS (1989d), S. 5f.; ZELEWSKI (1990b), S. 73.

Vgl. zu weiteren restriktionspropagierenden Expertensystemen WILKINS (1984), S. 278ff., insbesondere S. 280f.; TSANG (1987a), S. 69ff.; ZELEWSKI (1988c), S. 65f.; HUBER, A. (1990a), S. 115ff.; FOLDENAUER (1990), S. 75ff. i.V.m. S. 95 u. 52ff.; ZELEWSKI (1990b), S. 69; WINTER, R. O. (1991), S. 152ff. u. 159f.

Weitere Beiträge, die sich ebenso mit der Planung von Anpassungsmaßnahmen im Rahmen der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung befassen, hier aber nicht näher erörtert werden, finden sich bei SACERDOTI (1979), S. 1083f.; WARMAN (1984), S. 60ff. (speziell für Flexible Fertigungssysteme); ZELEWSKI (1986a), S. 830ff. (aus der Perspektive der KI-Forschung); WEBER, E. (1990), S. 60 u. 62ff.

Vgl. darüber hinaus zur Thematik von Um- oder Anpassungsplanungen, allerdings ohne den voranstehend betonten produktionswirtschaftlichen Bezug, HERTZBERG (1986), S. 158, und ZELEWSKI (1991d), S. 5ff. u. 26ff.

34) Dies gilt aber nur für die hier thematisierte *Konzeptualisierung* von Koordinierungsproblemen bei Flexiblen Fertigungssystemen und für die spätere *Konstruktion* von Netzmodellen. Der Verf. möchte dagegen die Relevanz der Beiträge, die in einer früheren Anmerkung skizziert wurden, für die *Lösung* von Koordinierungsproblemen in der betrieblichen Praxis keineswegs bezweifeln. Nur gehört dieser Aspekt nicht mehr zur Thematik dieser Arbeit, aus der die Lösung praktischer Koordinierungsprobleme ausgeschlossen wurde.

Wenn diese thematische Einschränkung fallen gelassen wird, ließe sich eine fruchtbare Kombination des Petrinetz-Konzepts mit dem aktiven Störungsmanagement vorstellen, das im Expertensystem UMDEX - und in ähnlichen Ansätzen - verfolgt wird. Es wäre zunächst ein detailliertes Netzmodell desjenigen Produktionssystems zu konstruieren, dessen Produktionsprozesse koordiniert werden sollen. Dabei braucht es sich nicht, wie beim UPPEX-Projekt unterstellt wird, um eine Werkstattfertigung handeln. Ebenso käme ein Flexibles Fertigungssystem in Betracht. Innerhalb des Netzmodells könnten die Anpassungsmaßnahmen des Expertensystems UMDEX hinsichtlich ihrer Konsequenzen simuliert und beurteilt werden. Dadurch würde das empirisch fundierte produktionstechnische Wissen des Expertensystems um netzbasierte Maßnahmenbeurteilungen ergänzt. Darüber hinaus ließe sich das Netzmodell des Produktionssystems nutzen, um heuristisch gewonnene Prioritäten für einzelne Anpassungsmaßnahmen in umfangreicheren Simulationsstudien zu überprüfen. Dies wurde hinsichtlich der simulativen Untersuchung von Prioritätsregeln schon ausgeführt. Dort wurde allerdings nur die Zielwirksamkeit von Prioritätsregeln in *ungestörten*

Produktionssystemen ermittelt. Als Erneuerung käme hier hinzu, im Netzmodell des Produktionssystems zunächst die Folgen von Produktionsstörungen zu simulieren und hinsichtlich ihrer Eingriffsrelevanz zu beurteilen. Dieser Gedanke findet sich bereits bei STUTE (1978a), S. 103. Für alle Produktionsstörungen, die als so erheblich erkannt werden, daß sie eine Anpassungsplanung erfordern, könnte dann die Wirksamkeit unterschiedlicher Anpassungsmaßnahmen simuliert werden. Die Simulationsergebnisse ließen sich für eine modellgestützte Überprüfung der oben genannten heuristischen Maßnahmenprioritäten nutzen. Schließlich wäre es sogar möglich, das empirisch ausgerichtete Anpassungswissen des Expertensystems UMDEX durch theoretisch erarbeitete Anpassungskonzepte zu bereichern. In diesem Zusammenhang wird auf die Ausführungen zur Robustheitsanalyse von Netzmodellen verwiesen.

Der Verf. hofft mit den voranstehenden Gedankenskizzen hinreichend zu verdeutlichen, daß er sich keineswegs in Opposition zu Konzepten für Anpassungsplanungen begeben möchte, die bereits vorliegen und anhand des Expertensystems UMDEX exemplarisch erläutert wurden. Vielmehr läßt er jene Anpassungskonzepte zunächst außer acht, um die Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen durch die zwei Postulate, die sich auf das Identifizieren und Schließen von Koordinierungsspielräumen erstrecken, gegenüber konventionellen Konzeptualisierungen von Anpassungsplanungen zu vertiefen. Darauf basiert die spätere Modellierung von Prozeßkoordinierungen mit der Hilfe des Petrinetz-Konzepts. Darüber hinaus - außerhalb der hier vorgelegten Untersuchungen - ist es jedoch möglich, die derart konzeptualisierten und konstruierten Netzmodelle mit anderen Konzepten für die Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen zusammenzuführen. Auf die dadurch erschlossenen Befruchtungspotentiale wurde schon voranstehend hingewiesen.

35) Eine solche konzeptionelle Neuorientierung scheint MERTENS (1988g) abzulehnen. Nachdem er Konzepte für die Anpassung von PPS-Systemen an Produktionsstörungen behandelt hat (S. 18ff.), stellt er zwar fest, daß konventionelle PPS-Systeme des öfteren die in sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllt hätten (S. 21). Doch sieht er darin keinen Anlaß, die Konzepte für Anpassungsplanungen zu überdenken: "Diese Enttäuschungen sind aber oft nicht in schlechter Methodik der PPS-Systeme, sondern in ungünstiger Einstellung des umfangreichen Parameter-Sets begründet ..." (S. 21). In gleicher Weise äußert sich der Autor in MERTENS (1988d), S. 13, und MERTENS (1990b), S. 120.

Der Verf. vertritt dagegen die Auffassung, daß die o.a. störungsbezogenen Schwierigkeiten konventioneller PPS-Systeme nicht nur durch parametrische Adjustierungen überwunden werden können. Vielmehr scheinen substantielle Konzeptveränderungen angezeigt. Diese Ansicht wird in den nachfolgenden Ausführungen belegt. Ihr entsprechen auch *andere* Passagen in den Arbeiten von MERTENS, in denen er neben der parametrischen Anpassung von PPS-Systemen auch eigenständige Konzepte für die Anpassung an Produktionsstörungen thematisiert; vgl. MERTENS (1988e), S. 7ff. i.V.m. S. 12ff.; vgl. auch die Erläuterungen zum Expertensystem UMDEX und zum Projekt UPPEX.

36) Daher handelt es sich um ein Konzept für Anpassungsplanungen i.w.S.

37) Aus dem thematischen Rahmen dieser Arbeit wurden Lösungen für konkrete Koordinierungsprobleme ausgegrenzt. Daher wird hier nicht versucht, ein Koordinierungskonzept für Flexible Fertigungssysteme im Detail auszuarbeiten oder gar mittels der Automatischen Informationsverarbeitung zu implementieren. Statt dessen geht es nur darum, im hier entfaltenen konzeptionellen Bezugsrahmen die Konturen eines Ansatzes aufzuzeigen, der für die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen fruchtbar erscheint. Später wird das Petrinetz-Konzept so entfaltet, daß sich das darauf fußende Modellierungskonzept für Produktionssysteme in den vorgenannten Bezugsrahmen kohärent einfügt. Daher wird hier das konzeptionelle Fundament gelegt, auf dem sich später - aber außerhalb der hier vorgelegten Ausarbeitung - ein entsprechendes Konzept für die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen konkretisieren ließe.

38) Darauf wird bereits in den Anmerkungen zu den Ausführungen der nachfolgenden Kapitel sporadisch hingewiesen.

39) Diese Ansätze werden später im Zusammenhang mit der Robustheitsanalyse von Netzmodellen weiter ausgeführt werden.

2.4.2.3.2.2 Das Postulat anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierung

Das Gebot, Anpassungspotentiale möglichst umfassend zu identifizieren¹⁾, wird näher untersucht. Ausgangspunkt ist das Konzept der Entscheidungsspielräume. Jeder lokale Spielraum²⁾, der bei der Strukturierung eines dynamischen Koordinierungsproblems wahrgenommen wird, überdeckt³⁾ die Gesamtheit potentieller Anpassungsmaßnahmen, mit denen auf eine aktuell veränderte Produktionssituation reagiert werden kann. Jede Anpassungsmaßnahme, die sich in dieser Produktionssituation einleiten läßt, kann als ein Teilprozeß konzeptualisiert werden. Seine Ausführung beginnt mit einem Startereignis, dessen Geschehnis im Spielraum des betrachteten Systemzustands zulässig ist⁴⁾. Das Gebot umfassender Potentialerkenntnis wird daher erfüllt, wenn die Entscheidungsstruktur so konzeptualisiert wird, daß sich jeder zustandsspezifische lokale Spielraum anpassungsmaximal verhält:

Der Spielraum soll *alle* Anpassungsmaßnahmen aus dem Anpassungspotential des betrachteten Produktionssystems enthalten, die im betroffenen Systemzustand als Reaktion auf eine veränderte Produktionssituation technisch möglich sind⁵⁾.

Ein solcher anpassungsmaximaler Spielraum liegt aus der Perspektive der system- und entscheidungstheoretischen Strukturierung von Prozeßkoordinierungen genau dann vor, wenn für jede technisch mögliche Anpassungsmaßnahme gilt: Das Startereignis ihres Teilprozesses gehört zu denjenigen Ereignissen, deren Geschehnisse im betrachteten Spielraum zulässig sind. Das Gebot umfassender Potentialerkenntnis kann daher auch als Postulat anpassungsmaximaler (lokaler) Entscheidungsspielräume ausgedrückt werden.

Die Definition anpassungsmaximaler Spielräume mag auf den ersten Blick abstrakt und inhaltsleer erscheinen. Ihre konkrete Bedeutung für die Strukturierung von Entscheidungsproblemen läßt sich jedoch anhand eines Beispiels verdeutlichen. Es betrifft die Aufgabe, die Aufbau-⁶⁾ und Ablaufstruktur⁷⁾ von Produktionsaufträgen mit der Hilfe von Arbeitsplänen zu konzeptualisieren⁸⁾. Diese Arbeitspläne spielen für Prozeßkoordinierungen eine bedeutsame Rolle. Denn sie stellen eine wesentliche Informationsquelle der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung dar⁹⁾.

Konventionelle Arbeitspläne¹⁰⁾ besitzen eine lineare Ablaufstruktur¹¹⁾. In ihnen werden die Ausführungen aller Arbeitsgänge¹²⁾, die zur Abwicklung eines Auftrags erforderlich sind, in einer zeitlich wohlbestimmten Sequenz¹³⁾ angeordnet¹⁴⁾. Dadurch wird die Arbeitsgangmenge¹⁵⁾ eines linearen Arbeitsplans vollständig geordnet. Die sequentielle Anordnung aller Arbeitsgangausführungen verletzt jedoch im allgemeinen¹⁶⁾ das Gebot, Anpassungspotentiale von Produktionssystemen möglichst umfassend zu identifizieren. Denn lokale Spielräume, die im selben Zustand eines Produktionssystems für Arbeitsgangausführungen offenstehen, werden durch die lineare Anordnung aller Arbeitsgänge unterdrückt¹⁷⁾. Daher können bei Entscheidungen über Prozeßkoordinierungen die entsprechenden Anpassungsoptionen, die aufgrund der technischen Eigenschaften eines Produktionssystems existieren, überhaupt nicht wahrgenommen werden.

Existenz und Berücksichtigung von Anpassungsoptionen sind aber notwendige Bedingungen der Möglichkeit, durch ablauforganisatorische Maßnahmen ein flexibles Reagieren auf unerwartete Veränderungen der Produktionssituation vorzubereiten¹⁸⁾. Erst wenn diese Bedingungen erfüllt sind, wird die technische Systemflexibilität¹⁹⁾ in einer entsprechenden ablauforganisatorischen Koordinierungsflexibilität reflektiert²⁰⁾. Bei konventionellen Konzeptualisierungen der Ablaufstruktur von Aufträgen durch lineare Arbeitspläne werden den Anpassungsoptionen jedoch keine - oder nur rudimentäre - Aufmerksamkeit gewidmet²¹⁾. Zu den nicht beachteten Spielräumen für Anpassungsmaßnahmen gehören vor allem²²⁾:

- Unterschiedliche Arbeitsgänge können wegen horizontaler Unabhängigkeit²³⁾ nacheinander in beliebigen Reihenfolgen oder auch nebenläufig ausgeführt werden (Ordinierungsspielraum)²⁴⁾. Daher läßt sich zwischen alternativen, nicht-leeren Mengen von Arbeitsgängen auswählen. Jede Arbeitsgangmenge enthält nur solche Arbeitsgänge, deren Ausführungen im aktuellen Zustand des Produktionssystems begonnen werden können²⁵⁾.
- Derselbe Arbeitsgang läßt sich auf alternativen Bearbeitungsstationen²⁶⁾ ausführen (Lokalisierungsspielraum)²⁷⁾. Deshalb kann für die Arbeitsgangausführung zwischen unterschiedlichen Bearbeitungsstationen ausgewählt werden²⁸⁾.
- Derselbe Produktionsauftrag läßt sich mit der Hilfe von verschiedenen Produktionsverfahren²⁹⁾ abwickeln (Verfahrensspielraum). Sie schließen sich wegen der horizontalen Verfahrenabhängigkeit wechselseitig aus³⁰⁾. Daher gilt es, genau einen verfahrensspezifischen Arbeitsgang für die Fortsetzung der Auftragsabwicklung auszuwählen.

Diese drei Spielraumarten werden durch das Konzept linearer Arbeitspläne eliminiert. Alternative Ausführungsreihenfolgen werden ausgegrenzt, weil in einem linearen Arbeitsplan nur genau eine Arbeitsgangfolge fixiert wird. Nebenläufige Arbeitsgangausführungen bleiben außer Acht, weil ihre überlappenden, verschachtelten oder zeitgleichen Arbeitsgangausführungen der Prämisse linearer Arbeitspläne widersprechen, die Ausführungen aller Arbeitsgänge müßten streng sequentiell aufeinander folgen. Alternative Bearbeitungsstationen werden übersehen³¹⁾, da sie zu Verzweigungen bei der Arbeitsgangausführung führen³²⁾. Die sequentielle Anordnung aller Arbeitsgangausführungen in einem linearen Arbeitsplan läßt solche Ausführungsverzweigungen grundsätzlich nicht zu. Alternative Arbeitsgänge, die im selben Abwicklungszustand eines Produktionsauftrags aufgrund verschiedener Produktionsverfahren ausgeführt werden könnten, verursachen eine gleichartige Ausführungsverzweigung. Daher finden auch sie keine Berücksichtigung. Folglich werden alle Entscheidungsspielräume, die durch nebenläufige oder alternative Arbeitsgangausführungen eröffnet werden, in einem linearen Arbeitsplan überhaupt nicht erfaßt. Statt dessen wird auf Anpassungsmöglichkeiten, die durch das Ausschöpfen solcher Spielräume eröffnet würden, von vornherein verzichtet³³⁾.

Deshalb stehen für Entscheidungen der Prozeßkoordinierung nur noch erheblich reduzierte Spielräume zur Verfügung³⁴⁾. Die Spielraumverengung wird durch *zusätzliche* Präzedenzbeziehungen³⁵⁾ zwischen den Start- und Schlußereignissen von Arbeitsgängen verursacht³⁶⁾. Diese artifiziellen Präzedenzen sorgen dafür, daß die Start- und Schlußereignisse eine wohlbestimmte Sequenz von Ereignisgeschehnissen bilden. Lineare Arbeitspläne führen daher zu einer *künstlichen Sequentialisierung*³⁷⁾ der Arbeitsgangausführung. Zugleich konstituieren sie auf der Menge aller arbeitsgangbezogenen Ereigniseintritte eine zeitliche Vollordnung³⁸⁾. Dadurch verstößt die Sequentialisierung von Arbeitsgängen gegen die Halbordnungsprämisse³⁹⁾, die früher für die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen aufgestellt wurde.

Die mangelhafte Identifizierung von Anpassungspotentialen durch Konzepte, die bei der Prozeßkoordinierung benutzt oder vorausgesetzt⁴⁰⁾ werden, stellt keineswegs eine Besonderheit linearer Arbeitspläne dar. Sie wurden zuvor nur als pars pro toto angeführt. Statt dessen wohnt zahlreichen Konzepten eine Tendenz inne, Spielräume für Koordinierungsentscheidungen künstlich zu verengen⁴¹⁾. So findet sich die künstliche Sequentialisierung der Geschehnisse von kausal unabhängigen Ereignissen, die grundsätzlich sowohl in beliebigen Reihenfolgen als auch zeitlich parallel eintreten könnten, in zahlreichen Koordinierungskonzepten⁴²⁾. Gleiches gilt für die mangelhafte Berücksichtigung von tatsächlich vorhandenen Entscheidungsalternativen⁴³⁾.

Dagegen wird in dieser Arbeit das Gebot, vorhandene Anpassungspotentiale umfassend zu erkennen, von vornherein unterstützt. Dies geschieht im Rahmen der hier exemplarisch herausgestellten Arbeitsplanung dadurch, daß die artifizielle Sequentialisierung von Arbeitsgängen in linearen Arbeitsplänen grundsätzlich unterbleibt⁴⁴⁾: Es erfolgt ein konsequenter Sequentialisierungsverzicht⁴⁵⁾. Für diesen Zweck werden nonlineare Arbeitspläne⁴⁶⁾ mit minimal geordneten⁴⁷⁾ Arbeitsgangmengen⁴⁸⁾ verwendet⁴⁹⁾. Diese Arbeitspläne werden hier aber noch nicht de-

tailliert behandelt. Statt dessen wird auf das später präsentierte Netzmodul für die Repräsentation von Produktionsaufträgen verwiesen⁵⁰). Es wird so konstruiert, daß es für den jeweils modellierten Produktionsauftrag einen nonlinearen Arbeitsplan darstellt⁵¹).

Nonlineare, minimal geordnete Arbeitspläne enthalten von vornherein für die Ausführung von Arbeitsgängen anpassungsmaximale Spielräume⁵²). Diese Arbeitspläne schöpfen bei der Abwicklung eines Auftrags die Freiheitsgrade der technischen Flexibilität eines Produktionssystems durch eine entsprechende ablauforganisatorische Flexibilität vollständig aus⁵³). Die technische Systemflexibilität wird hier⁵⁴) mit den Freiheitsgraden gleichgesetzt, die ein Produktionssystem aufgrund der oben aufgezeigten Ordinierungs-, Lokalisierungs- und Verfahrensspielräume für die Abwicklung eines Produktionsauftrags besitzt⁵⁵). Diese Spielräume würden durch artifizielle Sequentialisierungen von Arbeitsgangausführungen unnötig eingeschränkt, indem alternative und nebenläufige Ausführungsoptionen unterdrückt wären. Alle solche Sequentialisierungen unterbleiben in nonlinearen Arbeitsplänen mit minimal geordneten Arbeitsgangmengen. Daher bieten diese Arbeitspläne eine größtmögliche ablauforganisatorische Flexibilität.

Darüber hinaus wurde dem Gebot umfassender Erkenntnis von Anpassungspotentialen schon früher entsprochen, ohne dies explizit zu erwähnen. Denn bei der systemtheoretischen Konzeptualisierung des abstrakten Objekts "Produktionsauftrag" wurde darauf verzichtet, für solche Aufträge, die sich auf die Herstellung mehrerer Endprodukteinheiten erstrecken, eine losweise Produktion festzulegen⁵⁶). Daher brauchen die Werkstückkomplexe, die zur Herstellung je einer Endprodukteinheit bearbeitet werden müssen, weder in der gleichen Weise noch zeitlich zusammenhängend bearbeitet zu werden⁵⁷). Statt dessen erlaubt das später präsentierte Netzmodul für nonlineare Arbeitspläne, die Werkstückkomplexe in unzusammenhängender und unterschiedlicher Weise durch das Produktionssystem zu schleusen. Diese beiden werkstückbezogenen Freiheitsgrade lassen sich mit den arbeitsgangbezogenen Freiheitsgraden kombinieren, die zuvor für nonlineare Arbeitspläne mit minimal geordneten Arbeitsgangmengen erläutert wurden⁵⁸). Auf diese Weise werden die Spielräume, die in jeder Produktionssituation für die Fortsetzung der Abwicklung eines Produktionsauftrags offenstehen, in jeweils größtmöglicher Weise konzeptualisiert⁵⁹).

Schließlich wird die Identifizierung maximaler Spielräume auch noch durch die spätere dynamische Strukturierung von Netzmodellen unterstützt. Denn die Netzdynamik wird von vornherein so ausgelegt, daß in jedem Modellzustand die Gesamtheit *aller* dort zulässigen Ereignisgeschehnisse als lokaler, zustandsspezifischer Entscheidungsspielraum ausgewiesen wird⁶⁰). Daher kann auf übersichtliche Weise überprüft werden, ob diese Spielräume die Startereignisse aller Anpassungsmaßnahmen enthalten, die aufgrund des Anpassungspotentials des konzeptualisierten Produktionssystems tatsächlich möglich sind. Darüber hinaus gestattet die dynamische Struktur von Netzmodellen, alle horizontalen Abhängigkeiten zu berücksichtigen, die zwischen den Startereignissen von Anpassungsmaßnahmen bestehen⁶¹).

Anmerkungen zum Kapitel:

- 1) Der Identifikationsaspekt klingt auch im Kontext der Robusten Planung an bei BEST,G. (1986), S. 472 ("the way in which options for future decisions were maintained lay in the identification of possible action sets") u. 474. Vgl. ebenso die Definition der Produktionsplanung von ZÄPFEL (1989b), S. 1: "Produktionsplanung hat ... die Aufgabe, die gegenwärtigen Handlungsmöglichkeiten systematisch zu identifizieren ..." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Dabei entsprechen ZÄPFEL's Handlungsmöglichkeiten dem hier thematisierten Anpassungspotential. Vgl. des weiteren STAUDT (1979a), S. 68 ("Planung als Entwurf eines 'technologischen Möglichkeitsraumes'").
- 2) Es interessieren hier nur lokale Spielräume. Denn jede Produktionssituation, die aufgrund ihres Abweichens von der vorausgeplanten Produktionssituation einen Koordinierungsbedarf auslöst, involviert - neben den relevanten Sach- und Formalzielen - den jeweils aktuellen Zustand des betrachteten Produktionssystems. Wegen dieses Bezugs auf einzelne, situationspezifische Systemzustände spielen nur die zustandsbezogen definierten Spielräume lokaler Art eine Rolle.
- 3) Daneben umfaßt der lokale Spielraum in der Regel auch noch zulässige Ereignisgeschehnisse, die nicht zu einer der technisch möglichen Anpassungsmaßnahmen gehören. Solche Ereignisse können z.B. aus denjenigen der bereits eingeplanten Teilprozesse stammen, die trotz der veränderten Produktionssituation weiterhin ausgeführt werden können. Diese Prozeßfortsetzungen stellen keine Anpassungsmaßnahmen dar, da sie lediglich die frühere Prozeßplanung verwirklichen.
- 4) Daher wird jede Entscheidung darüber, eine Anpassungsmaßnahme entweder zu ergreifen oder aber zu unterlassen, auf eine Disposition über das Geschehnis desjenigen Ereignisses zurückgeführt, mit dem der maßnahmenrepräsentierende Teilprozeß im aktuellen Systemzustand beginnen würde. Dies entspricht dem "prozeßwirtschaftlichen" Ansatz von LANGEN (1983), dem zufolge das gesamte betriebliche Geschehen auf Prozessen gründet (S. 754) und jeder dieser Prozesse durch "eine spezielle Disposition eingeleitet" (S. 757) wird.
- 5) Die möglichst vollständige Erkenntnis aller tatsächlich vorhandenen Anpassungsmaßnahmen hebt z.B. HELBERG (1987), S. 195, hervor: "Insbesondere bei eingetretenen Störungen, die den geplanten Ablauf unrealisierbar machen, ist es ... wichtig, für den bereits erreichten Bearbeitungszustand alle Möglichkeiten der weiteren Bearbeitungsfolge zu kennen." Der gleiche Gedanke klingt bei BORMANN (1978), S. 106f., an. Er fordert, daß bei der Reaktion auf Produktionsstörungen die Grundlagen für entsprechende Anpassungsplanungen *vollständig* sein sollten. Auf der Vollständigkeit der Situationsrepräsentation beharrt auch PRESSMAR (1982), S. 329. Allerdings bezieht er sich allgemein auf Planungsmodelle. Vgl. auch die Ausführungen, die später im Kontext der opportunistischen Prozeßkoordination zum Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit erfolgen. Weniger deutlich, aber in die gleiche Argumentationsrichtung zielend, beklagt ADAM,D. (1990a), S. 808, daß konventionelle PPS-Systeme "keine Hilfestellung bei der Auswahl ökonomisch sinnvoller Koordinierungsalternativen" bieten. Daher sollten zukünftige PPS-Konzepte es ermöglichen, "alternative Planungsentwürfe für den Auftragsdurchlauf zu erstellen" (S. 809). In ähnlicher Weise wünscht HENNICKE (1991), S. 65, für industrielle Fertigungsprojekte, ihre Durchführungsalternativen sollten sich (möglichst umfassend) darstellen lassen.
- 6) Als Aufbaustruktur eines Produktionsauftrags wird hier die Zusammensetzung des auftragsspezifischen Endprodukts aus Zwischen- und Vorprodukten verstanden. Die End-, Zwischen- und Vorprodukte sind sowohl hinsichtlich der involvierten Produktarten als auch der Produktmengen zu spezifizieren. Wenn von den Endproduktmengen abgesehen wird, läßt sich die Endproduktzusammensetzung durch GOZINTO-Graphen darstellen, die bereits eingeführt wurden. Darauf wird später noch näher eingegangen, wenn das Netzmodul für Produktionsaufträge konzeptualisiert wird.
 Von Zwischenprodukten wird genau dann gesprochen, wenn Güter bei der Abwicklung eines Auftrags sowohl aus anderen Gütern (Vor- oder Zwischenprodukten) hergestellt werden als auch in die Herstellung anderer Güter (Zwischen- oder Endprodukte) eingehen. Vorprodukte liegen dagegen vor, wenn die Güter zwar in die Herstellung andere Güter (Zwischen- oder Endprodukte) eingehen, aber bei der Auftragsabwicklung nicht aus anderen Gütern hergestellt werden. Endprodukte zeichnen sich dadurch aus, daß sie zwar aus anderen Gütern (Vor- oder Zwischenprodukten) hergestellt werden, jedoch bei der Auftragsabwicklung nicht mehr in die Herstellung anderer Güter eingehen. Bei der Klassifizierung von Gütern als End-, Zwischen- oder Vorprodukte handelt es sich daher um keine absolut gültige, sondern nur um eine auftragsspezifische Gütereinteilung.
- 7) Die Ablaufstruktur eines Produktionsauftrags umfaßt alle Ereignisse, die zur Abwicklung eines Auftrags geschehen müssen, sowie die Gesamtheit der horizontalen und vertikalen Ereignisabhängigkeiten, welche die Zulässigkeit von Ereignisgeschehnissen determinieren. Dabei wird die kausale Konzeptualisierung von Produktionsprozessen vorausgesetzt, die aus systemtheoretischer Sicht bereits entfaltet wurde. Allerdings werden als Determinanten der Ablaufstruktur eines Produktionsauftrags nur diejenigen Ereignisabhängigkeiten zugelassen, die als rein kausale Restriktionen oder als temporal angereicherte Kausalrestriktionen ein kausales Fundament besitzen. Sie folgen notwendig aus der Spezifizierung eines Produktionsauftrags oder aus den Eigenarten des zugrundeliegenden Produktionssystems. Daher werden sie auch kurz als produktionstechnische Ereignisabhängigkeiten oder Restriktio-

nen bezeichnet. Alle übrigen Ereignisabhängigkeiten stellen dagegen dispositive Restriktionen dar, die nicht durch Produktionsauftrag oder -system zwingend vorgegeben sind, sondern auf Entscheidungen des Koordinierungsträgers beruhen. Sie werden hier grundsätzlich nicht zur Ablaufstruktur eines Produktionsauftrags gerechnet. Dadurch wird es später möglich, künstliche Sequentialisierungen zu identifizieren. Bei den produktionstechnischen Restriktionen handelt es sich zunächst um die Präzedenzbeziehungen, die zwischen den Start- und Schlußereignissen verschiedener Arbeitsgänge bestehen. Hinzu kommen die Ausführungsdauern von Arbeitsgängen, die den zeitlichen Abstand zwischen ihren Start- und Schlußereignissen determinieren. Ebenso kommt die Auflistung derjenigen Bearbeitungsstationen in Betracht, auf denen sich ein Arbeitsgang grundsätzlich ausführen läßt. Auch können wechselseitige Ausschlußbeziehungen zwischen den Startereignissen von solchen Arbeitsgängen bestehen, die zu unterschiedlichen Produktionsverfahren für die Erfüllung der jeweils selben Produktionsaufgabe gehören.

Die hier definierte Ablaufstruktur eines Produktionsauftrags entspricht jedoch nicht der üblichen produktionswirtschaftlichen Vorgehensweise. Dort werden im Rahmen der Arbeitsgangplanung zunächst die Arbeitsgänge identifiziert, die für die Herstellung einer Endprodukteinheit des Produktionsauftrags erforderlich sind. Danach werden durch die Arbeitsfolgeplanung die zeitlichen Präzedenzbeziehungen zwischen den auszuführenden Arbeitsgängen ermittelt. Vgl. zu dieser vorherrschenden Perspektive von Arbeitsgang- und Arbeitsfolgeplanung KERN, W. (1990a), S. 285f. Für die Ermittlung der oben beschriebenen, ereignisorientierten Ablaufstruktur eines Produktionsauftrags kann jedoch ohne größere Schwierigkeiten auf die vorherrschende arbeitsgangorientierte Strukturierung von Arbeitsplänen zurückgegriffen werden. Zu diesem Zweck kann die Arbeitsgangplanung unverändert übernommen werden. Die Arbeitsfolgeplanung muß lediglich so modifiziert werden, daß in ihr nicht die zeitlichen Präzedenzbeziehungen zwischen Arbeitsgängen, sondern die o.a. produktionstechnischen Abhängigkeiten zwischen Start- und Schlußereignissen von Arbeitsgängen ermittelt werden.

Die Ablaufstruktur eines Produktionsauftrags setzt die Kenntnis seiner Aufbaustruktur bereits voraus. Daher wird die Ablaufstruktur im allgemeinen nicht neben der Aufbaustruktur durch ein separates Darstellungsmittel repräsentiert. Vielmehr dienen Arbeitspläne dazu, die Überlagerung von Aufbau- und Ablaufstruktur gemeinsam auszudrücken. Vgl. zu dieser Integrationsqualität von Arbeitsplänen KERN, W. (1990a), S. 286.

8) Die Techniken zur Erstellung von Arbeitsplänen werden im folgenden als bekannt vorausgesetzt; vgl. z.B. KERN, W. (1990a), S. 285ff.; REMBOLD (1990), S. 47ff.

9) Vgl. KERN, W. (1990a), S. 301 u. 317.

10) Vgl. zu konventionellen (linearen) Arbeitsplänen FORSCHBACH (1978), Abb. 3 zwischen S. 272 u. 273; SPUR (1980), S. 37; REFA (1985c), S. 147ff., insbesondere S. 166ff. (REFA-Lehrarbeitsplan); WIENDAHL (1986b), S. 754; ARNING (1987), S. 38; KERN, W. (1990a), S. 286ff., insbesondere Abb. 90 auf S. 288; HEBBELER (1991), S. 275.

11) Sie werden daher als lineare Arbeitspläne bezeichnet. Die Linearität der Arbeitspläne wird zwar nicht explizit festgelegt. Aber sie liegt implizit allen Ausführungen zugrunde, die sich mit konventionellen Arbeitsplänen beschäftigen. Vgl. dazu die Quellen, die in der voranstehenden Anmerkung aufgeführt wurden. Vgl. darüber hinaus die linearen Präzedenzgraphen bei WIENDAHL (1986b), S. 752. Solche Präzedenzgraphen stellen zwar nicht unmittelbar Arbeitspläne dar. Doch repräsentieren sie immerhin in graphischer Weise die Ablaufstruktur von Arbeitsplänen. Um die Linearität dieser Ablaufstruktur geht es hier.

12) Arbeitsgänge werden hier als atomare Teilprozesse konzeptualisiert, die durch eine Start- und eine Schlußereignismenge charakterisiert sind. Dabei wird zwecks Diktionsvereinfachung der Standardfall einelementiger Start- und Schlußereignismengen unterstellt. Daher wird kurz vom Start- bzw. Schlußereignis eines Arbeitsgangs gesprochen. Die arbeitsgangbegrenzenden Ereignisse gehören zu jener Ereignismenge, die in einer früheren Anmerkung als Konstitutivum der Ablaufstruktur eines Auftrags angesprochen wurde.

13) Die Sequenz von Arbeitsgangausführungen wird kurz als Arbeitsgangfolge desjenigen Produktionsauftrags bezeichnet, für den der lineare Arbeitsplan erstellt wurde. Mitunter wird auch von der Bearbeitungs(reihen)folge des betroffenen Produktionsauftrags gesprochen. Um eine Maschinenfolge handelt es sich, wenn jedem Arbeitsgang diejenige Bearbeitungsstation (Maschine) zugeordnet ist, auf der er ausgeführt werden soll. Arbeitsgang-, Bearbeitungs- und Maschinenfolgen werden fortan im Kontext linearer Arbeitspläne nicht näher unterschieden.

Arbeitsgangfolgen werden in der produktionswirtschaftlichen Literatur fast einhellig - und überwiegend als selbstverständlich - vorausgesetzt; vgl. z.B. MUSCATI (1970), S. 25, 57 u. 65; OSMAN (1982), S. 24; MISSBAUER (1987), S. 23f.; HINTZ (1987), S. 70; BEIER (1988a), S. 230f.; EVERSHEIM (1989g), S. 28 i.V.m. Abb. 2 auf S. 27; KRAUSE, F. (1989b), S. 547; KLEINER, F. (1991), S. 51f.

Sogar bei der Prozeßkoordination in Flexiblen Fertigungssystemen läßt sich immer noch ein Festhalten an sequentieller Denkweise beobachten. So merkt EVERSHEIM (1981), S. 134, hinsichtlich eines exemplarisch angeführten Flexiblen Fertigungssystems an, es werde den Aufträgen jeweils eine feste Maschinenfolge zugeordnet. Die Spielräume, für die Auftragsabwicklung alternative Maschinenfolgen oder sogar alternative Bearbeitungsstationen in Betracht zu ziehen, scheint überhaupt nicht wahrgenommen zu werden.

Eine Ausnahme stellt DÖTTLING (1981), S. 49, dar. Er führt zwar Arbeitsgangfolgen an, hebt jedoch hervor, daß es sich nur um eine mögliche Darstellungsweise handele. Auf S. 49ff. präsentiert er nonlineare Alternativen. Sie entsprechen im Prinzip den nonlinearen Arbeitsplänen, auf die in Kürze eingegangen wird.

14) Die Anordnung leisten vertikale Ereignisabhängigkeiten derart, daß das Startereignis eines jeden Arbeitsgangs nicht vor dem Schlußereignis des jeweils unmittelbar vorausgehenden Arbeitsgangs geschehen darf. Dadurch werden Normalfolgen zwischen den ausgeführten Arbeitsgängen konstituiert, wie sie im Rahmen der Netzplantechnik oftmals üblich sind. Lediglich für den ersten Arbeitsgang, der vor allen anderen Arbeitsgängen auszuführen ist, ist keine solche Ereignisabhängigkeit definiert, weil er keinen unmittelbar vorausgehenden Arbeitsgang besitzt.

15) Strenggenommen handelt es sich um eine vollständig geordnete Menge von Arbeitsgangausführungen. Um die umständliche Begriffsbildung einer "Arbeitsgangausführungsmenge" zu vermeiden, wird derselbe Begriffsinhalt vereinfacht als Arbeitsgangmenge besprochen. Dabei sind jedoch stets nicht die Arbeitsgänge selbst, sondern deren Ausführungen gemeint. Bei linearen Arbeitsplänen spielt diese Präzisierung noch keine Rolle. Denn dort wird für jeden Arbeitsgang nur genau eine Arbeitsgangausführung berücksichtigt. Daher wird zwischen Arbeitsgängen und deren Ausführungen im allgemeinen überhaupt nicht differenziert. In Kürze wird jedoch aufgezeigt, daß sich für denselben Arbeitsgang unterschiedliche Ausführungen - auf verschiedenen Bearbeitungsstationen - konzeptualisieren lassen. Spätestens dann ist es erforderlich, Arbeitsgänge und Arbeitsgangausführungen gedanklich auseinanderzuhalten. Darüber hinaus ist zu beachten, daß bei der Abwicklung eines Produktionsauftrags unter Umständen derselbe Arbeitsgang mehrfach ausgeführt wird. Solche wiederholten Arbeitsgangausführungen lassen sich nur durch eine Arbeitsgangausführungsmenge korrekt erfassen. Denn in einer Arbeitsgangmenge darf wegen der Wohlunterschiedenheit der Elemente einer Menge jeder Arbeitsgang nur einmal enthalten sein. Sollte an Arbeitsgängen festgehalten werden, müßte statt dessen auf Arbeitsgangmultimengen zurückgegriffen werden. Das formale Instrument der Multimengen (Näheres dazu später) ist jedoch im produktionswirtschaftlichen Bereich so unvertraut, daß es hier der Arbeitsplanung nicht zugemutet wird. Daher werden hier stets Arbeitsgangausführungsmengen vorausgesetzt. Dies gilt auch dann, wenn zwecks Diktionsvereinfachung nur kurz von Arbeitsgangmengen geredet wird.

16) Auf Ausnahmefälle wird an anderer Stelle hingewiesen.

17) Es wird hier von der Möglichkeit abgesehen, Anpassungsoptionen trotz linearer Arbeitspläne dadurch offenzuhalten, daß jeder denkmöglichen Kombination von Anpassungsalternativen ein kombinationsspezifischer linearer Arbeitsplan zugeordnet wird. Dann wird das Anpassungspotential, das für die Abwicklung eines Auftrags besteht, durch die Gesamtheit aller linearen, sich wechselseitig ausschließenden Arbeitspläne für diesen Auftrag vollständig abgebildet. Vgl. zu dieser Möglichkeit, statt dessen für denselben Auftrag mehrere (konventionelle) Alternativarbeitspläne vorzusehen, MAIER,U. (1980), S. 58; REFA (1985c), S. 154 u. 156f.; KRAUSE,F. (1989b), S. 547 u. 554. Vgl. ebenso HENNICKE (1991), S. 66f. u. 69. Er erwägt die analoge Möglichkeit, für dasselbe industrielle Fertigungsprojekt so viele alternative Netzpläne zu entwerfen, wie sich verschiedene Optionen für die Projektdurchführung miteinander kombinieren lassen.

Bei realistischen Problemstellungen führt jedoch die große immanente Anpassungsfähigkeit Flexibler Fertigungssysteme zu einer "kombinatorischen Explosion" der denkmöglichen linearen Arbeitspläne. Der Verf. erachtet daher diesen Weg, das Anpassungspotential Flexibler Fertigungssysteme mit der Hilfe konventioneller linearer Arbeitspläne zu modellieren, als praktisch untauglich. Darüber hinaus erweist er sich als konzeptionell inadäquat. Denn es wird versucht, mit der Hilfe *starrer* linearer Arbeitspläne die immanente *Flexibilität* von Produktionssystemen abzubilden. Auch von MAIER,U. (1980), S. 58, und REFA (1985c), S. 154, wird diese Möglichkeit mit plausiblen Argumenten verworfen. Sie erstrecken sich vor allem auf den Aufwand für die Arbeitsplanverwaltung und die mangelhafte Alternativentransparenz. Der Verf. schließt sich diesen Argumenten an. Vgl. des weiteren HENNICKE (1991), S. 66 u. 69. Er stellt die mangelhafte Praktikabilität alternativer Netzpläne infolge kombinatorischer Explosion heraus. Zugleich belegt er sein Urteil anhand von plastischen Beispielen (S. 66).

Abweichender Ansicht scheint dagegen MIRIYALA (1989), S. 150ff. u. 157f., zu sein. Dort werden weiterhin alternative lineare Arbeitspläne - in einer stark vereinfachten Form als verzweigungsfreie gerichtete Graphen (process-spanning graphs) - verwendet, um die Zuverlässigkeit von Flexiblen Fertigungssystemen gegenüber Störungen ihrer Systemkomponenten zu beurteilen. Zwar räumt auch MIRIYALA (1989), S. 161, den Nachteil kombinatorischer Explosion ein, sieht hierin jedoch keinen Anlaß, an der Konzeption linearer Arbeitspläne zu zweifeln.

Vgl. zu weiteren Konzeptualisierungsalternativen für Arbeitspläne, die - wie z.B. die Kombination aus Grundform- und Plus-Minus-Arbeitsplänen - ebenso keine Berücksichtigung erfahren, REFA (1985c), S. 158ff.

18) Vgl. MAIER,U. (1980), S. 51f. u. 57f., zu der erheblichen Bedeutung, die der Berücksichtigung von Ablaufalternativen für die Anpassungsfähigkeit Flexibler Fertigungssysteme bei variierenden Produktionssituationen zukommt.

19) Die technische Flexibilität, durch die sich Flexible Fertigungssysteme auszeichnen, wird anschließend anhand von drei Spielraumarten konkretisiert. Diese technische Systemflexibilität betont z.B. auch SCHMIDT,HU. (1989), S. 16: "Bei Fertigungssystemen mit wahlfreier Verkettung von Bearbeitungsstationen und einer leistungsfähigen Transportsteuerung wird erst kurz vor der Bearbeitung aufgrund des aktuellen Systemzustands (Kapazitätssituation, verfügbare Werkzeuge und Vorrichtungen) festgelegt, welche Bearbeitungseinrichtungen die Werkstücke in welcher

Reihenfolge fertigen." KLEINER, F. (1991), S. 14 (u. 67), spricht von einer strukturellen Flexibilität, wenn er die Vielzahl unterschiedlicher Möglichkeiten hervorhebt, die in flexiblen Fertigungssystemen für die Ausführung einzelner Arbeitsgänge oder die Herstellung ganzer Produkte offenstehen. Auch STUTE (1978a), S. 75 u. 82f., hebt Freiheitsgrade bei der Steuerung flexibler Fertigungssysteme hervor.

20) Vgl. zum Begriff organisatorischer Flexibilität MAIER, U. (1980), S. 20f. In ähnlicher Weise spricht KNOOP (1986), S. 67, von einem substitutiven Betriebsmodus flexibler Fertigungssysteme, der die Nutzung von Ausweichmaschinen und Ausweicarbeitsgängen erlaubt.

21) Vgl. zur Kritik an der mangelhaften Erfassung von Alternativen bei der konventionellen Arbeitsablaufplanung MAIER, U. (1980), S. 20 u. 103.

22) Die nachfolgenden Anpassungsoptionen für die Ausführung von Arbeitsgängen gelten nur in dem Ausmaß, wie es von den produktionstechnischen Restriktionen der Aufbau- und Ablaufstruktur eines Auftrags und des zugrundeliegenden Produktionssystems zugelassen wird. Es handelt sich jeweils um *einfache* Alternativen für die Arbeitsgangausführung. *Komplexe* Ausführungsalternativen kombinieren mindestens zwei der drei nachfolgenden einfachen Alternativen miteinander. Vgl. zu einem instruktiven Beispiel für eine komplexe Ausführungsalternative DÖTTLING (1981), S. 50f. Beispielsweise sind Ausweicarbeitsgänge oftmals mit Ausweichstationen gepaart; vgl. MAIER, U. (1980), S. 52f. Mitunter wird auch unterstellt, daß eine solche Paarung notwendig sei, um eine Ausführungsalternative zu begründen; vgl. MAIER, U. (1980), S. 52. Dies ist jedoch nicht der Fall. Beispielsweise kann in einem Bearbeitungszentrum die Ausführung eines Arbeitsgangs durch das Fehlen eines erforderlichen Werkzeugs verhindert werden. Eine Ausführungsalternative besteht schon dann, wenn auf demselben Bearbeitungszentrum ein Ausweicarbeitsgang zur Verfügung steht, der sich dort tatsächlich ausführen läßt.

23) Arbeitsgänge verhalten sich horizontal unabhängig, wenn zwischen ihren Start- und Schlußereignissen keine kausalen horizontalen Ereignisabhängigkeiten existieren.

24) Wenn ein Ordinierungsspielraum besteht, liegt der nächste auszuführende Arbeitsgang nicht fest. Statt dessen kann entweder zwischen verschiedenen nächsten Arbeitsgängen gewählt werden. Oder es werden mehrere Arbeitsgänge zugleich als nächste ausgeführt. Im ersten Fall wird der Ordinierungsspielraum ausgeschöpft, indem unterschiedliche Reihenfolgen der Arbeitsgangausführung gebildet werden. Dabei ist es möglich, einen Arbeitsgang bei der Auswahl des nächsten Arbeitsgangs generell zu bevorzugen. Alle anderen Arbeitsgänge desselben Ordinierungsspielraums werden dann als Ausweicarbeitsgänge bezeichnet. Im zweiten Fall wird der Ordinierungsspielraum zur nebenläufigen Arbeitsgangausführung genutzt. Dann wird auf den Sachverhalt zurückgegriffen, daß die horizontale Unabhängigkeit der betrachteten Arbeitsgänge vorausgesetzt wurde.

Vgl. zur Option, unterschiedliche Reihenfolgen der Arbeitsgangausführung zu verwirklichen, STUTE (1978a), S. 73 u. 89; BORMANN (1978), S. 106; MAIER, U. (1980), S. 52f. u. 57f.; NIEB (1980), S. 20f.; DÖTTLING (1981), S. 25, 37f. u. 45; SELIGER (1983), S. 39; FOX, M. (1983a), S. 4; AWF (1984), S. 16, Abb. 7; REFA (1985c), S. 156; KNOOP (1986), S. 20; HINTZ (1987), S. 85; KOHEN (1989), S. 41; LANGE, V. (1989), S. 26; SCHMIDT, H. U. (1989), S. 16; KRAUSE, F. (1989b), S. 547; KERN, W. (1990a), S. 286; HENNICKE (1991), S. 64f.

25) Diese Mengen von Arbeitsgängen werden fortan auch als Folgearbeitsgangmengen bezeichnet. Falls nur ein-elementige Arbeitsgangmengen betrachtet werden, handelt es sich um die Auswahl desjenigen Arbeitsgangs, der als nächster ausgeführt werden soll. Wenn mehrelementige Arbeitsgangmengen erwogen werden, wird das Starten nebenläufiger Arbeitsgangausführungen in Betracht gezogen. Eine vollständige Spielraumkonzeptualisierung liegt erst dann vor, wenn alle ein- und alle mehrelementigen Arbeitsgangmengen berücksichtigt werden, die sich grundsätzlich bilden lassen. Alle nicht-leeren Arbeitsgangmengen, die zur Auswahl stehen, bilden jeweils den Beginn einer anderen "Reihenfolge" der Arbeitsgangausführung. Dabei wird der Reihenfolgebegriff allerdings auf nicht-lineare Prozesse erweitert. Denn in derselben Produktionssituation können auch mehrere Arbeitsgänge zugleich - also nebenläufig - ausgeführt werden.

26) Es wird hier explizit nur auf die Zuordnung von Arbeitsgängen und Bearbeitungsstationen Bezug genommen. Dies dient der Klarheit der Argumentation und der Konzentrierung auf den bedeutsamsten Aspekt. Für die Zuordnungen zwischen Arbeitsgängen und anderen Faktorarten gelten jedoch analoge Verhältnisse, sofern sich ein Arbeitsgang mit alternativen Einheiten derselben Faktorart ausführen läßt. So können z.B. in einem flexiblen Fertigungssystem an derselben Bearbeitungsstation zur Ausführung eines Arbeitsgangs unterschiedliche Werkzeuge - etwa Einzelbohrwerkzeuge oder Bohrsysteme mit austauschbaren Bohrköpfen - mit einem zu bearbeitenden Werkstück kombiniert werden; vgl. HELBERG (1987), S. 123 u. 126.

27) Vgl. zur Option, für die Ausführung desselben Arbeitsgangs alternative Bearbeitungsstationen zu nutzen, OPITZ, H. (1967), S. 108; HORMANN, D. (1973), S. 12, 52f. u. 111; STUTE (1978a), S. 5, 76 u. 96; MAIER, U. (1980), S. 52f. u. 57f.; NIEB (1980), S. 20f., 35 u. 42; DÖTTLING (1981), S. 25, 32f., 83f. u. 90; FOX, M. (1983a), S. 4; GURECKI (1983), S. 92; REFA (1985c), S. 156; KNOOP (1986), S. 67 u. 201ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 258f. (bei Werkstattfertigung); HELBERG (1987), S. 160, 194ff. u. 199f.; HINTZ (1987), S. 59 u. 85; BEIER (1988a), S. 238f.;

SCHMIDT, H. (1989), S. 16; KRAUSE, F. (1989b), S. 547 u. 554; KOHEN (1989), S. 41; KLEINER, F. (1991), S. 67f., 98 u. 130.

Der Spielraum, den gleichen Arbeitsgang auf verschiedenen Bearbeitungsstationen ausführen zu können, schlägt sich auch in Maschinen-Einplanungsregeln oder Routing-Regeln nieder. Sie dienen dazu, Lokalisierungsspielräume zu schließen. Diese Auswahlregeln wurden bereits im Zusammenhang mit der Auftragsabwicklungsplanung erwähnt.

Wenn mehrere Bearbeitungsstationen für die Ausführung eines Arbeitsgangs in Betracht kommen, läßt sich eine von ihnen als präferierte Bearbeitungsstation auszeichnen. Alle ebenso geeigneten, alternativen Bearbeitungsstationen werden dann als Ausweichstationen oder -maschinen angesprochen. NIEß (1980), S. 41, berichtet über die Analyse 26 realer flexibler Fertigungssysteme, bei der durchschnittlich je Arbeitsgang 2 Ausweichmaschinen zur Verfügung standen, bei 3 flexiblen Fertigungssystemen sogar mindestens 4 Ausweichmaschinen je Arbeitsgang. (Der Verf. hegt allerdings Bedenken hinsichtlich der Validität dieser Angaben, weil sich NIEß auf eine Untersuchung von WAYSON (1965), bezieht. Sie war dem Verf. zwar nicht zugänglich, läßt jedoch aufgrund ihres Erscheinungsjahrs und ihres Titels ("... general job shops ...") eher einen allgemeinen Bezug auf die Werkstattfertigung als auf flexible Fertigungssysteme vermuten. Immerhin kann NIEß (1980), S. 41f., die Bedeutung von Ausweichmaschinen für den Betrieb flexibler Fertigungssysteme in Simulationsstudien belegen.)

Diese dichotome Klassifizierung von Bearbeitungsstationen läßt sich aufgrund produktionswirtschaftlicher Überlegungen noch weiter verfeinern. Es ist möglich, allen Bearbeitungsstationen, die für die Ausführung desselben Arbeitsgangs technisch geeignet sind, Prioritäten zuzuordnen. Diese Prioritäten können z.B. die Ausführungskosten oder -dauern für den Arbeitsgang auf den unterschiedlichen Bearbeitungsstationen widerspiegeln. Falls mehrere Bearbeitungsstationen zufällig dieselben Ausführungskosten oder -dauern aufweisen, erhalten sie identische Ausführungsprioritäten. Daher entsteht nicht notwendig eine lineare Prioritätsfolge der betroffenen Bearbeitungsstationen. Statt dessen konstituieren die Prioritäten auf der Menge aller Bearbeitungsstationen, auf denen derselbe Arbeitsgang ausgeführt werden kann, im allgemeinen nur eine Halbordnung.

Noch weiter würde eine Konzeptualisierung reichen, bei der einem Arbeitsgang überhaupt keine Bearbeitungsstationen zugeordnet werden. Statt dessen wird für einen Arbeitsgang nur noch die Menge derjenigen Verrichtungsarten spezifiziert, die von seiner Ausführung betroffen sind. Hiermit korrespondiert, für jede Bearbeitungsstation eines Produktionssystems die Menge aller Verrichtungsarten festzulegen, die von der variationalen Kapazität der Bearbeitungsstation abgedeckt werden. Ein Arbeitsgang kann dann auf allen Bearbeitungsstationen ausgeführt werden, deren stationsspezifischen Verrichtungsartenmengen jeweils eine Obermenge der arbeitsgangspezifischen Verrichtungsartenmenge darstellen. In jedem Zustand des Produktionssystems, in dem ein Arbeitsgang einer Bearbeitungsstation zugeordnet werden soll, erfolgt ein Abgleich ("matching") seiner Verrichtungsartenmenge mit den Verrichtungsartenmengen aller Bearbeitungsstationen, die im aktuellen Systemzustand betriebsbereit und durch keinen anderen Arbeitsgang belegt sind. Diese abstrakte Konzeptualisierung von Lokalisierungsspielräumen erweist sich dann als vorteilhaft, wenn sich die Ausstattung eines Produktionssystems mit Bearbeitungsstationen im Zeitablauf verändern kann (Kapazitätsflexibilität). In diesem Fall behält der Arbeitsplan eines Produktionsauftrags seine Gültigkeit, obwohl die verfügbaren Bearbeitungsstationen variieren. Auf eine solche abstraktere - und zugleich flexiblere - Spielraumkonzeptualisierung wird hier jedoch verzichtet. Denn für den vorausgesetzten *kurzfristigen* Koordinierungszeitraum spielen die strukturellen Veränderungen des Produktionssystems keine Rolle. Die Konzeptualisierungsalternative läßt aber erkennen, daß die Identifizierung anpassungsmaximaler Spielräume stets vom jeweils gewählten Bezugsrahmen abhängt. NIEß (1980), S. 45ff., beschreibt in ähnlicher Weise, wie auf direkte Zuordnungen zwischen Bearbeitungsstationen und Arbeitsgängen verzichtet werden kann. Allerdings bezieht er sich nicht auf die Arbeitsplanung. Ebenso verzichtet MAIER, U. (1980), S. 60f., auf die Zuordnung zwischen Bearbeitungsstationen und Arbeitsgängen in Arbeitsplänen. Jedoch unterläßt er die oben skizzierte indirekte Kopplung mittels gemeinsamer Verrichtungsarten.

Vgl. auch OPITZ, H. (1967), S. 108. Er weist darauf hin, daß "Änderungen im Maschinenpark auch Änderungen der Maschinenbelegung mit sich bringen können" und warnt deswegen vor der festen Zuordnung zwischen Arbeitsgängen und Maschinen bei der Arbeitsablaufplanung. Allerdings zieht er hieraus nicht die Konsequenz, auf diese Zuordnungen vollständig zu verzichten. Statt dessen beschränkt er sich darauf, die Arbeitsgänge jeweils einer Maschinengruppe zuzuordnen. In ähnlicher Weise unterstellt ALDINGER (1985a), S. 68f., der Werkstattsteuerung seien die Zuordnungen von Arbeitsgängen zu Maschinengruppen seitens der mittelfristigen Produktionsplanung fest vorgegeben. Vgl. ebenso zur Zuordnung zwischen Arbeitsgängen und Maschinengruppen SCHNEIDER, A. (1979), S. 358; HELBERG (1987), S. 160; KRALLMANN (1989b), S. 1; KERN, W. (1990a), Abb. 90 auf S. 288. In allen diesen Fällen geschieht jedoch eine künstliche Spielraumverengung. Zwar werden noch die Anpassungsoptionen offengehalten, zwischen den gleichartigen (ersetzenden) Maschinen derselben Maschinengruppe auszuwählen. Doch geht die Möglichkeit verloren, auf verschiedenartige Bearbeitungsstationen zurückzugreifen, deren variationalen Kapazitäten die Ausführung des gleichen Arbeitsgangs ebenso erlauben würden.

28) Die Auswahl zwischen alternativen Bearbeitungsstationen erstreckt sich allerdings nur für die Bearbeitung eines Werkstückes oder mehrerer gemeinsam zu bearbeitender Werkstücke. Es ist aber durchaus möglich, daß sich in derselben Produktionssituation bei der Abwicklung desselben Produktionsauftrags mehrere Werkstücke unabhängig voneinander bearbeiten lassen. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn der Produktionsauftrag eine nicht-degenerierte

Losgröße besitzt. Dann können die Werkstückkomplexe, die zur Herstellung je einer Endprodukteinheit bearbeitet werden müssen, bei der Ausführung der jeweils gleichen Arbeitsgänge auf verschiedenen Stationen bearbeitet werden. Diese Option erlaubt z.B. das Lossplitten, das bereits in einer früheren Anmerkung angesprochen wurde.

29) Als ein Produktionsverfahren - oder kurz: Verfahren - wird hier jede nicht-leere Menge aus Arbeitsgängen verstanden, mit deren Hilfe es möglich ist, eine Produktionsaufgabe zu erfüllen. Von der Definition der dabei betrachteten Produktionsaufgabe hängt es ab, wie mächtig die Produktionsverfahren ausfallen. Die Produktionsaufgabe kann z.B. darin gesehen werden, eine Endprodukteinheit des vorgegebenen Produktionsauftrags herzustellen. Dann erstreckt sich ein Produktionsverfahren auf die Menge aller Arbeitsgänge, die für die vollständige Bearbeitung eines auftragsspezifischen Werkstückkomplexes erforderlich sind. Ebenso läßt sich eine Produktionsaufgabe aber auch so eng auffassen, daß sie sich nur auf den jeweils nächsten auszuführenden Arbeitsgang - die nächste Produktionsstufe - bezieht. Dann degeneriert das Produktionsverfahren zu einer einelementigen Arbeitsgangmenge. In diesem Fall kann - analog zu Bearbeitungsstationen - eine Präferenz für den einen Arbeitsgang aus einem der alternativen Produktionsverfahren bestehen. Die Arbeitsgänge aller anderen Produktionsverfahren lassen sich dann als Ausweicharbeitsgänge bezeichnen. In dieser Arbeit werden alle denkmöglichen, jeweils arbeitsgangbezogenen Auslegungen von Produktionsaufgaben und -verfahren zugelassen. Bei jeder Auslegung läßt sich die Auswahl zwischen alternativen Produktionsverfahren auf die Existenz alternativ auszuführender Arbeitsgangmengen zurückführen. Sofern diese Arbeitsgangmengen mindestens zwei Elemente enthalten und eine sequentielle Ausführung der Arbeitsgänge unterstellt wird (der Verf. teilt diesen Standpunkt nicht), kann auch von alternativen, jeweils verfahrensspezifischen Arbeitsgangfolgen gesprochen werden.

Vgl. zu alternativen Arbeitsgängen, Ausweicharbeitsgängen, alternativen Produktionsverfahren und alternativen verfahrensspezifischen Arbeitsgangfolgen OPITZ, H. (1967), S. 108; STUTE (1978a), S. 73 u. 89; MAIER, U. (1980), S. 52f. u. 57f.; NIEß (1980), S. 20f.; DÖTTLING (1981), S. 45 und - mit konkreten Beispielen für Arbeitsgangalternativen S. 50f.; REFA (1985c), S. 156; KNOOP (1986), S. 20, 27, 67, 140 u. 201ff.; HELBERG (1987), S. 195ff.; KRAUSE, F. (1989b), S. 547 u. 553f.; GROß, M. (1991c), S. 98f.

Anstelle der oben gewählten einfachen Definition von Produktionsverfahren könnte auch eine komplexere gewählt werden. Bei dieser Komplexdefinition wird ein Produktionsverfahren als eine nicht-leere Menge von Arbeitsgängen behandelt, denen jeweils eine Bearbeitungsstation für die Arbeitsgangausführung fest zugeordnet ist. Hinzu kommt eine Präzedenzrelation über der Arbeitsgangmenge, welche die zeitliche Ordnung aller Arbeitsgangausführungen ausdrückt. Die Präzedenzrelation muß keine lineare Arbeitsgangfolge definieren. Falls sie die nebenläufige Ausführung von Arbeitsgängen zuläßt, besteht innerhalb desselben Produktionsverfahrens ein Ordinerungsspielraum. Jedes derart weit definierte Produktionsverfahren stellt eine komplexe Alternative dar. Denn die Auswahl zwischen zwei unterschiedlichen Produktionsverfahren kann dann simultane Veränderungen von Arbeitsgängen, zugeordneten Bearbeitungsstationen und zulässigen Arbeitsgangfolgen bedeuten. Um die unterschiedlichen Anpassungsoptionen voneinander zu trennen, wird hier die komplexe Verfahrensdefinition nicht weiter verfolgt.

30) Ob diese Arbeitsgänge auf gleichen oder unterschiedlichen Bearbeitungsstationen auszuführen sind, kann hierbei offenbleiben. Im ersten Fall kommt zu der horizontalen Verfahrensabhängigkeit noch eine horizontale Ressourcenabhängigkeit hinzu. Denn es wurde vorausgesetzt, daß auf einer Bearbeitungsstation zur selben Zeit immer nur höchstens ein Arbeitsgang ausgeführt werden darf. Im zweiten Fall besteht dagegen keine Ressourcenabhängigkeit, weil sich die Arbeitsgänge unterschiedlicher Produktionsverfahren auf verschiedenen Bearbeitungsstationen ausführen lassen.

Der wechselseitige Ausschluß alternativer Produktionsverfahren gilt allerdings nur für die Bearbeitung eines Werkstückes oder mehrerer gemeinsam zu bearbeitender Werkstücke. Vgl. dazu die analoge Erläuterung für Bearbeitungsstationen. Falls in derselben Produktionssituation bei der Abwicklung desselben Produktionsauftrags mehrere Werkstücke unabhängig voneinander bearbeitet werden können, läßt sich für jede Bearbeitung ein anderes Produktionsverfahren auswählen.

31) Vgl. die Kritik von HELBERG (1987), S. 155, 161 u. 193f., an konventionellen PPS-Systemen, in ihren linearen Arbeitsplänen würden Ausweichmöglichkeiten auf andere Bearbeitungsstationen nicht berücksichtigt. Vgl. dazu die starren Zuordnungen zwischen Arbeitsgängen und Bearbeitungsstationen bei SCHEER (1976), S. 55; WITTEMANN (1985), S. 70; WINTER, RO. (1991), S. 60. Sogar bei der Prozeßkoordinierung flexibler Fertigungssysteme werden alternative Bearbeitungsstationen für die Ausführung eines Arbeitsgangs ausgeklammert; vgl. SPUR (1980), S. 376. Vgl. dazu auch die vorherrschende Praxis, bei konventioneller Arbeitsplanung für jeden Arbeitsgang nur jeweils eine Bearbeitungsstation vorzusehen, NIEß (1980), S. 33; HELBERG (1987), S. 161; HINTZ (1987), S. 58f.; MÜLLER, A. (1987), S. 259f. u. 358 (mit Schwergewicht nicht auf der Arbeits-, sondern auf der Ablaufplanung); EVERSHEIM (1989g), S. 27.

32) Bei der Möglichkeit, denselben Arbeitsgang auf unterschiedlichen Bearbeitungsstationen auszuführen, muß zwischen entsprechend vielen, jeweils stationsspezifischen Ausführungen desselben Arbeitsgangs unterschieden werden. Da derselbe Arbeitsgang in derselben Produktionssituation nur höchstens einmal ausgeführt werden kann, schließen sich diese Arbeitsgangausführungen wechselseitig aus. Daher stellen die Ausführungsalternativen dessel-

ben Arbeitsgangs notwendig eine Verzweigung in der zeitlichen oder kausalen Anordnung der Arbeitsgangausführungen dar.

33) Beispielsweise bleiben Anpassungsspielräume außer acht, die darauf beruhen, daß sich derselbe Arbeitsgang auf unterschiedlichen Bearbeitungsstationen ausführen läßt. Bei konventioneller Arbeitsplanung wird eine dieser Bearbeitungsstationen für die Arbeitsgangausführung selektiert, um eine eindeutige Reihenfolge aller Arbeitsgangausführungen festzulegen. Falls nun während der Auftragsabwicklung genau diese Bearbeitungsstation ihre Betriebsbereitschaft einbüßt, kann die Auftragsabwicklung laut Arbeitsplan so lange nicht fortgesetzt werden, bis die gestörte Bearbeitungsstation wieder betriebsbereit ist. Dann erfolgt eine zeitliche Anpassung im Sinne von NIEß (1980), S. 33. Es handelt sich jedoch um eine unbefriedigende, zumindest Flexiblen Fertigungssystemen kaum angemessene Anpassungsmaßnahme. Denn sie erschöpft sich im schlichten "Aussitzen" der Produktionsstörung. Darüber hinaus müssen Folgestörungen bei der Abwicklung anderer Aufträge in Kauf genommen werden, sofern mehrere Produktionsaufträge sachlich aufeinander aufbauen. Als Anpassungsalternative käme nur in Betracht, eine neue Arbeitsablaufplanung anzustoßen. Damit ließe sich versuchen, einen anderen Arbeitsplan zu erstellen, in dem die gestörte Bearbeitungsstation nicht mehr enthalten ist. Wegen des erheblichen Aufwands der Arbeitsplanermittlung dürfte diese Denkmöglichkeit jedoch in der betrieblichen Praxis keine Rolle spielen.

In einem Arbeitsplan, der Ausführungen desselben Arbeitsgangs auf alternativen Bearbeitungsstationen nicht unterdrückt, kann die Auftragsabwicklung dagegen flexibel an die Betriebsstörung einer Bearbeitungsstation angepaßt werden; vgl. HELBERG (1987), S. 194ff. u. 199f. Dazu braucht lediglich im Zeitpunkt des Störungseintritts eine Ausweichstation ausgewählt zu werden. Es erfolgt dann eine technische Anpassung im Sinne von NIEß (1980), S. 33. Diese Anpassungsmaßnahme bereitet zumeist keinen nennenswerten Aufwand, da sie im Arbeitsplan als Ausführungsalternative von vornherein vorgesehen ist. Allerdings ist zu beachten, daß mit dem Erkennen einer Ausweichstation die Störung noch nicht vollständig überwunden sein muß. Vielmehr ist es mitunter erforderlich, die Arbeitsgangausführung auf der alternativen Bearbeitungsstation anzupassen. Beispielsweise kann der Fall eintreten, daß für die Ausführung desselben Arbeitsgangs auf einer Ausweichstation die Steuerungsprogramme der betroffenen (C)NC-Bearbeitungsmaschinen modifiziert oder sogar vollständig neu erzeugt werden müssen; vgl. HORMANN, D. (1973), S. 52ff.; DÖTTLING (1981), S. 32f.; HELBERG (1987), S. 203. Ebenso kann eine Umstellung auf die maschinenspezifischen Werkzeuge erforderlich werden.

Insbesondere für den Einsatz Flexibler Fertigungssysteme erscheint es angeraten, in Arbeitsplänen die Anpassungsspielräume zu berücksichtigen, die von alternativen Bearbeitungsstationen für die Ausführung desselben Arbeitsgangs geboten werden. Denn solche Produktionssysteme halten zumeist für die Ausführung gleichartiger Arbeitsgänge eine größere Anzahl unterschiedlicher Bearbeitungsstationen vor ("ersetzende Stationen"). Vgl. NIEß (1980), S. 35. Die dadurch geschaffene technische Flexibilität läßt sich zur Anpassung an Produktionsstörungen aber erst dann ausschöpfen, wenn ihr eine entsprechende ablauforganisatorische Flexibilität von Arbeitsplänen mit Ausweichstationen gegenübersteht.

Einer anderen Auswirkung künstlicher Sequentialisierung geht KNOOP (1986), S. 201ff., 213 u. 215, anhand einer Simulationsstudie nach. Er zeigt, daß der zusätzliche Freiheitsgrad, in halbgeordneten Präzedenzgraphen zwischen alternativen Bearbeitungsstationen und Arbeitsgängen wählen zu können, tendenziell zu höherer Formalzielerfüllung führt als die - ceteris paribus - unnötige Beschränkung auf lineare Präzedenzgraphen. (Allerdings müssen hierbei auch kompensierende Effekte beachtet werden, die sich in steigenden variablen Herstellkosten äußern können.) Diese Simulationsergebnisse beziehen sich jedoch im Gegensatz zu der o.a. störungsorientierten Argumentation auf eine deterministische Simulation, bei der keine Störungen der Auftragsabwicklung berücksichtigt werden.

34) Um diese Überlagerung erfassen zu können, wurde in einer früheren Anmerkung zwischen Anpassungspotentialen im weiteren und im engeren Sinne differenziert. Erste betreffen die Gesamtheit aller technisch möglichen Anpassungsmaßnahmen. Zweite erstrecken sich dagegen nur noch auf die Teilmenge aller Anpassungsmaßnahmen, die nach der Überlagerung eines (Koordinierungs-)Konzepts verbleiben. Im hier erörterten Zusammenhang stellt das Konzept linearer Arbeitspläne zwar kein Koordinierungskonzept für die kurzfristige Produktionsplanung und -steuerung dar. Aber es gehört zu jenen Koordinierungskonzepten, die diesem PPS-Bereich sachlogisch vorangehen.

35) Es handelt sich insofern um zusätzliche oder artifizielle Präzedenzbeziehungen, als sie nicht zu jenen kausal fundierten, horizontalen oder vertikalen Ereignisabhängigkeiten gehören, die als spielraumkonstituierende Konstrukte eingeführt wurden. Jene kausalen Ereignisabhängigkeiten können zwar ebenso als Präzedenzbeziehungen ausgedrückt werden. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn es sich um vertikale Ereignisabhängigkeiten handelt, die als zeitliche Folgebeziehungen (Präzedenzen) reformuliert sind. Ebenso kommen temporal angereicherte Kausalrestriktionen in Betracht, in denen kausale Ereignisabhängigkeit um einen zeitlichen Abstand zwischen den Ereignisgeschehnissen erweitert sind. Doch alle kausal fundierten Ereignisabhängigkeiten stellen Restriktionen dar, die sich - zumindest im Rahmen der hier betrachteten Prozeßkoordinierung - grundsätzlich nicht umgehen lassen. Sie wurden daher als produktionstechnische Ereignisabhängigkeiten oder Restriktionen bezeichnet. Die Präzedenzbeziehungen, die in linearen Arbeitsplänen *darüber hinaus* eingeführt werden, um eine Sequenz von Arbeitsgangausführungen zu erzwingen, besitzen dagegen keine produktionstechnische Rechtfertigung. Statt dessen bilden sie ein Artefakt der Arbeitsplanung. Es handelt sich daher um artifizielle Restriktionen. Sie gehören zu den dispositiven Restriktionen, die bereits an früherer Stelle angesprochen wurden. Denn sie resultieren aus Sequentialisierungs-

entscheidungen, die im Rahmen der Arbeitsplanung erfolgt sind. Vgl. zu solchen artifiziellen Restriktionen FOX, B. (1985a), S. 489. Die Künstlichkeit von Präzedenzbeziehungen, die zwecks Sequentialisierung von Prozeßausführungen zusätzlich vorgegeben werden, hebt BYRN (1974), S. III-38 besonders hervor. Er spricht sie als "false precedence relationships" an. Allerdings argumentiert er nicht im Kontext der Arbeitsplanung.

36) Die Schwierigkeiten, die solche artifiziellen Präzedenzbeziehungen bei der Koordinierung von komplexen Prozessen bereiten können, werden auch von BYRN (1974), S. III-38ff., thematisiert.

37) Von einer Sequentialisierung wird genau dann gesprochen, wenn in einem Arbeitsplan, dessen Arbeitsgangausführungen zunächst noch nicht vollständig geordnet waren, zusätzlich zu den kausal fundierten - horizontalen oder vertikalen - Abhängigkeiten zwischen den Start- und Schlußereignissen von Arbeitsgängen *weitere*, nicht mehr kausal fundierte Ereignisabhängigkeiten mit der Zielsetzung eingeführt werden, daß danach die Ausführungen aller Arbeitsgänge des Arbeitsplans eine zeitlich vollständig geordnete Sequenz bilden. Diese Vorgehensweise wurde in der voranstehenden Anmerkung bereits detaillierter beschrieben. Da hierbei stets zusätzliche - "artifizielle" - Präzedenzbeziehungen ergänzt werden, besitzt jede Sequentialisierung künstlichen Charakter. Die Ausdrucksweise "künstliche Sequentialisierung" stellt daher einen - zwecks Verdeutlichung beabsichtigten - Pleonasmus dar.

Eine Sequentialisierung unterbleibt nur dann, wenn die produktionstechnischen Restriktionen zufällig so eng ausfallen, daß die kausal fundierte Halbordnung über der Menge aller Start- und Schlußereignisse von Arbeitsgängen in den Grenzfall einer Vollordnung übergeht. Daher muß nicht jeder lineare Arbeitsplan auf einer künstlichen Sequentialisierung beruhen. Aber sie geht der Konzipierung linearer Arbeitspläne im Regelfall voraus.

38) Die Absicht, durch künstliche Sequentialisierungen zeitliche Vollordnungen zu errichten, wurde schon von SCHWEITZER, M. (1966), S. 52, im Hinblick auf die Terminierung von Produktionsprozessen explizit ausformuliert: "... Strukturregeln determinieren die Folgebeziehungen in Gangfolgen derart, daß die in ihnen herrschende *Teilordnung* einer ökonomisch ausgerichteten *Vollordnung* angenähert wird. In diesem Sinne nehmen Strukturregeln in einer Theorie der Aktionsstrukturierung einen zentralen Standort ein." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Mit Strukturregeln meint SCHWEITZER Entscheidungsregeln, die lokale Entscheidungsspielräume durch Ordinieren der dort ausführbaren Arbeitsgänge schließen. Bemerkenswert ist, daß diese Spielraumvernichtungen nicht etwa als ein Problem, sondern im Gegenteil als ein zentrales Desiderat der Ablaufplanung dargestellt werden. Dies unterstreicht nochmals die bereits mehrfach vorgetragene These, daß vom konventionellen Planungsverständnis das Flexibilitätserhöhende Offenhalten von Anpassungsspielräumen nicht wahrgenommen wird.

39) Vgl. zur Unverträglichkeit der Sequentialisierung von Ereignisgeschehnissen einerseits mit der Modellierung zeitlich halbgeordneter ("paralleler") Systemverhaltensweisen auch FIDELAK (1988b), S. 16ff.

40) Damit wird berücksichtigt, daß sich manche Konzepte, die nicht unmittelbar zur Koordinierung von Produktionsprozessen eingesetzt werden, dennoch zu einer Vorstrukturierung dieser Koordinierungsprobleme führen. Diese Vorstrukturierung kann sich dann auf die Koordinierungskonzepte in einengender Weise auswirken. Ein Beispiel dafür liefert das oben diskutierte Konzept linearer Arbeitspläne. Es wirkt sich auf Konzepte für die Prozeßkoordinierung durch die sequenzialisierende Verengung der Anpassungsspielräume aus.

41) So beklagt auch KOHEN (1989), S. 40, daß zu den "Unzulänglichkeiten aktueller PPS-Konzepte ... [die] ... mangelnde Nutzung der vorhandenen Flexibilitätspotentiale ... [und die] ... Einschränkung der charakteristischen Autonomie" von Flexiblen Fertigungssystemen gehörten (Ergänzungen [...] durch den Verf.).

Da diese Arbeit keinen Vergleich alternativer Modellierungskonzepte anstrebt, wird dieser Aspekt hier nicht systematisch vertieft. Statt dessen wird auf solche artifiziellen Spielraumreduktionen jeweils an gegebener Stelle hingewiesen.

Strenggenommen kann für kein Konzept mit Sicherheit festgestellt werden, daß es überhaupt keine künstlichen Spielraumverengungen involviert. Statt dessen ist stets nur ein Vergleich mit dem technisch bedingten Anpassungspotential eines Produktionssystems möglich. Jenes Anpassungspotential stellt jedoch seinerseits das Ergebnis einer Konzeptualisierung des betrachteten Produktionssystems dar. Bereits in diese Konzeptualisierung können spielraumverengende Strukturierungskonzepte eingeflossen sein. Dies kann jedoch so lange nicht erkannt werden, wie die vorliegende Konzeptualisierung des Produktionssystems nicht mit abweichenden Konzeptualisierungen verglichen wird, die größere "technische" Anpassungspotentiale aufweist. Schwierigkeiten dieser Art werden in der hier vorgelegten Ausarbeitung jedoch nicht weiter betrachtet, da die Konzeptualisierung des Produktionssystems als bekannt und akzeptiert vorausgesetzt wird. Vgl. dazu auch die Erläuterungen zum modelltheoretischen Strukturierungsparadigma, insbesondere zu den dort vorausgesetzten mentalen Modellen.

42) Vgl. FIDELAK (1988b), S. 16ff., der dies für Koordinierungskonzepte aus der Erforschung Künstlicher Intelligenz herausarbeitet. Vgl. auch BYRN (1974), S. III-40, hinsichtlich der Implementierung artifizieller Sequentialisierungen in einem Betriebssystem der Automatischen Informationsverarbeitung.

43) Vgl. MAIER, U. (1980), S. 52. Er wendet sich gegen Grobplanungen, bei denen Arbeitsgänge einzelnen Bearbeitungsstationen fest zugeordnet werden, ohne dabei zu berücksichtigen, einen Arbeitsgang auf alternativen Bearbeitungsstationen auszuführen. Auf die mangelhafte Explizierung von Entscheidungsalternativen konventioneller

Modellierungen von Koordinierungsproblemen verweist auch die Kritik von HELBERG (1987), S. 170 u. 206. Er beklagt, daß konventionelle PPS-Systeme die Koordinierungsalternativen nur unvollständig abbildeten und hierdurch die - explizit als solche benannten (S. 170) - Entscheidungsspielräume unnötig einschränkten. Vgl. ebenso die Ausführungen zur mangelhaften Repräsentation von Entscheidungsalternativen im Rahmen der Netzplantechnik. Im Hinblick auf einen weiter entfernten Koordinierungsbereich - die strategische Unternehmensplanung - weist HANSSMANN (1990), S. 332, pointiert auf die mangelhafte Berücksichtigung von alternativen Entscheidungsoptionen hin.

44) Die Forderung, auf alle künstlichen Sequentialisierungen durch zusätzliche Präzedenzbeziehungen zu verzichten, klingt auch an bei BYRN (1974), S. III-38 (allerdings in einem anderen Argumentationskontext). Ein Sequentialisierungsverzicht liegt ebenso den Ausführungen von FIDELAK (1988b), S. 17f., zugrunde.

Besondere Würdigung erfährt die Strategie des Sequentialisierungsverzichts im Rahmen des Expertensystems SIPE (für: System for Interactive Planning and Execution Monitoring). Dort wird die Planungsstrategie verfolgt, die inhärente Nebenläufigkeit eines Plans möglichst lange aufrechtzuerhalten; vgl. WILKINS (1984), S. 287; WINTER,RO. (1991), S. 159f. Allerdings erfolgt kein vollkommener Sequentialisierungsverzicht. Denn es wird nach der Maßgabe von Heuristiken lediglich darüber befunden, ob eine Sequentialisierung der Operationenausführung angeraten oder vermeidenswert erscheint; vgl. WILKINS (1984), S. 288f.; WINTER,RO. (1991), S. 159f. Vgl. zu ausführlicheren Beschreibungen des Expertensystems SIPE WILKINS (1984), S. 271ff.; WILKINS (1987), S. 663ff.; WINTER,RO. (1991), S. 157ff.

45) Der Sequentialisierungsverzicht läßt sich ebenso als ein Lokalisierungsverzicht interpretieren. Denn es wird unterlassen, die Arbeitsgangausführung an einer bestimmten Bearbeitungsstation zu lokalisieren (sofern alternative Bearbeitungsstationen in Betracht kommen). Des weiteren kann auch von einem Verzicht auf Verfahrensfixierung gesprochen werden, da die Einengung auf ein bestimmtes Produktionsverfahren unterbleibt (sofern alternative Produktionsverfahren technisch möglich sind).

46) Nonlineare Arbeitspläne stellen eine bereichsspezifische Ausprägung des allgemeinen Konzepts nichtlinearer Pläne dar, das vor allem im Rahmen der KI-Forschung behandelt wird. Ein nichtlinearer Plan liegt vor, wenn die Menge aller eingeplanten Ausführungen von atomaren Aktionen nicht vollständig geordnet ist, sondern nur einer zeitlichen oder kausalen - Halbordnung unterliegt. Es wird dann auch oftmals von prozeduralen "Netzen" gesprochen. Dieser Terminus technicus der KI-Forschung besitzt jedoch keinen inhaltlichen Bezug zum Petrinetz-Konzept. Vgl. zu nichtlinearen Plänen und der halbgeordneten Mengen ihrer eingeplanten Aktionsausführungen SACERDOTI (1977), S. 76ff.; DANIEL,L. (1984), S. 446ff.; WILKINS (1984), S. 272 u. 289ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 240 u. 670; MCLEAN (1987), S. 192; BELL,C.E. (1988), S. 136ff.; MILLER,D. (1988), S. 172f.; DORN (1989), S. 39ff.; ZELEWSKI (1991a), S. 311ff. u. 317.

Die Übereinstimmung des Konzepts nichtlinearer Pläne mit den früher vorgestellten halbgeordneten Ereignismengen ist offensichtlich. Denn jede atomare Aktion aus einem solchen Plan kann als ein Prozeß aufgefaßt werden, der aus einem Ereignis des Aktionsbeginns, einem Ereignis des Aktionsendes sowie je einem davor, dazwischen und danach liegenden Systemzustand besteht. Daher impliziert eine Halbordnung über der Menge der Aktionsausführungen ebenso eine Halbordnung über den aktionskonstituierenden Ereignisgeschehnissen. MCLEAN (1987), S. 192, bezieht die nichtlinearen Pläne von SACERDOTI als "procedural network concepts" sogar explizit auf die Erstellung von Arbeitsplänen.

Nonlineare Arbeitspläne lassen sich auch als eine produktionsspezifische Anwendung des Konzepts der Datenflußautomaten auffassen. Dabei entsprechen die Werkstücke, die für die Abwicklung eines Produktionsauftrags bearbeitet werden müssen, den Daten, die durch einen Datenflußautomaten verarbeitet werden sollen. Die Input- und Outputbeziehungen zwischen den Verarbeitungseinheiten eines Datenflußautomaten entsprechen den kausalen Abhängigkeiten zwischen den Start- und Schlußereignissen von Arbeitsgängen (sofern es sich um Abhängigkeiten vom Typ der Normalfolgen handelt). Vgl. zum Konzept der Datenflußautomaten HUTNER (1989), S. 147ff.

Nonlineare Arbeitspläne werden in der produktionswirtschaftlichen Literatur kaum behandelt. Zu den seltenen Ausnahmen gehören die "modifizierten Arbeitspläne" von STUTE (1978a), S. 73. Vgl. ebenso die "Strukturarbeitspläne" bei MAIER,U. (1980), S. 59ff.; NIEB (1980), S. 20, und HELBERG (1987), S. 195ff., sowie die "Assembly Partial-Order Graphs" bei LEE,S. (1988), S. 383f. u. 387ff. Dazu zählen des weiteren die Arbeitspläne, die MCLEAN (1987), S. 192f., auf der Basis des "procedural network concepts" erwähnt, und das "Auftrags-/Arbeitsgangnetz" bei IDS (1990), S. 12. Vgl. schließlich auch ZELEWSKI (1991a), S. 312ff. u. 318.

Darüber hinaus existiert eine konzeptionelle Vorstufe in der Gestalt von Arbeitsganggraphen. Dabei handelt es sich um arbeitsablaufbezogene, halbgeordnete Präzedenzgraphen. Ihre Knoten repräsentieren jeweils einen Arbeitsgang. Ihre Kanten stellen die Präzedenzbeziehungen dar, die zwischen den Arbeitsgängen bestehen. Vgl. zu solchen Arbeitsganggraphen (Präzedenzgraphen) MAIER,U. (1980), S. 59; DÖTTLING (1981), S. 46f. u. 51f.; FOX,B. (1985a), S. 489 u. 491f., insbesondere Abb. 2 auf S. 492; FOX,B. (1987a), S. 232 i.V.m. Abb. 3 auf S. 236; WIENDAHL (1986b), S. 752 u. 759 (dort werden allerdings die Arbeitsgänge durch die Bearbeitungsstationen ersetzt, auf denen die Arbeitsgänge ausgeführt werden); HELBERG (1987), S. 195, insbesondere Abb. 71 auf S. 196; ADAM,D. (1988a), S. 110 (Dort wird zwar auf "Produktnetze" Bezug genommen. Die Knoten der Graphen stellen jedoch Arbeitsgänge dar.); FALSTER (1988), S. 110ff. Die Arbeitsganggraphen lassen sich ohne Schwierigkeiten zu nichtlinearen Ar-

beitsplänen fortentwickeln. Dazu brauchen ihre Arbeitsgänge (Aktionen u.ä.) lediglich durch arbeitsplantypische Informationen, wie z.B. Angaben über Ausführungsdauern und Bearbeitungsstationen, ergänzt zu werden. Daher werden sie fortan vereinfacht mit nonlinearen Arbeitsplänen gleichgesetzt. Die Präzedenzgraphen werden auch in der späteren Fallstudie der Konstruktion von Auftragsnetzen zugrundegelegt. Allerdings erfolgt dort eine Modifizierung der Kanten- und Knotendefinition, um Präzedenz- und GOZINTO-Graphen miteinander zu kombinieren. Dadurch wird vom o.a. Typ der Arbeitsganggraphen zum komplementären Typ der Zustandsgraphen übergegangen. Eine weitere konzeptionelle Vorstufe findet sich bei SANDERS, M. (1987). Er beschäftigt sich mit Kontrollmodellen für Arbeitsabläufe. Dabei läßt er sieben verzweigte "Verknüpfungsarten" für "die Tätigkeiten eines Arbeitslaufes" (S. 33) aus. Sie werden von SANDERS auf S. 33ff. u. 77ff. - einschließlich eines Überblicks auf S. 37 - ausführlicher behandelt. Allerdings erfolgt kein systematischer Ausbau der verzweigten Verknüpfungsarten zu entsprechenden nonlinearen Arbeitsplänen.

Ein Hinweis auf die Praxisrelevanz nonlinearer Arbeitspläne findet sich auch bei KOHEN (1989), S. 41: Dort wird für PPS-Konzepte, die Produktionsprozesse in Flexiblen Fertigungssystemen koordinieren sollen, eine "netzartige Arbeitsplandarstellung" empfohlen, um alternative Prozeßausführungen erfassen zu können. Solche netzartigen Präsentationsformen lassen sich vor allem mit Hilfe der Netzplantechnik konkretisieren. Die Kombination konventioneller PPS-Konzepte mit Darstellungs- und Berechnungsinstrumenten der Netzplantechnik findet sich z.B. bei PÜTZ, W. (1973), S. 54ff.; AQUILANO (1980), S. 57ff.; HEIZER (1988), S. 675ff. Allerdings behandeln die vorgenannten Quellen keine Koordinierungsprobleme, wie sie für die industrielle Stückgüterproduktion in Flexiblen Fertigungssystemen typisch sind. Statt dessen beschäftigen sie sich - trotz ihrer Bezugnahme auf "PPS-Konzepte" (vor allem bei HEIZER) - mit der Aufgabe, umfangreiche Projektplanungen vorzunehmen. Für diesen Bereich liegt zwar die Verwendung der Netzplantechnik nahe. Doch unterscheidet sich die projektbezogene "Arbeitsplanung" (Projektstrukturplanung) erheblich von den Aufgaben der Arbeitsplanung, die hier für die Vorbereitung von Produktionsaufträgen in Flexiblen Fertigungssystemen interessiert. Eine beispielhafte Anwendung der Netzplantechnik auf einen typischen Produktionsauftrag bei Werkstattfertigung findet sich dagegen bei KERN, W. (1987), S. 93ff. Die dort präsentierten Netzpläne (Abb. 17a u. 17b auf S. 95) stimmen im Prinzip mit den hier erörterten nonlinearen Arbeitsplänen überein. Allerdings erfolgt bei KERN keine explizite Verknüpfung der Netzpläne mit PPS-Konzepten. Ein weiterer Beitrag, der sich mit der Kombination von Instrumenten der Netzplantechnik mit Aufgaben der Prozeßkoordination befaßt, findet sich bei STEINBERG (1980), S. 69ff. Zwar behandelt er nicht die Prozeßkoordination in Produktionssystemen, sondern die Missionsplanung des Space Shuttles. Aber seine Ausführungen lassen sich ohne Schwierigkeiten auf die Ablaufplanung eines Produktionsauftrags bei Werkstattfertigung übertragen. Dies wird besonders deutlich anhand der drei Ablaufpläne auf S. 74. Sie entsprechen genau denjenigen Ablaufplänen, die oftmals für Produktionsaufträge zur Ermittlung von Vorlauf- oder Schlupfzeiten aufgestellt werden. Vgl. dazu den exemplarischen Ablaufplan eines Produktionsauftrags, der im Rahmen der später präsentierten Fallstudie vorgestellt wird. Er besitzt die gleiche Struktur wie die drei vorgenannten Ablaufpläne.

47) Eine Arbeitsgangmenge ist minimal geordnet, wenn für jede Anordnungsbeziehung zwischen den Start- oder Schlußereignissen ihrer zugehörigen Arbeitsgänge gilt: Falls eine solche Anordnungsbeziehung vernachlässigt würde, könnte mindestens ein Arbeitsplan erstellt werden, der zwar allen berücksichtigten Anordnungsbeziehungen gerecht wird, aber dennoch wegen der Verletzung von produktionstechnischen Zusammenhängen zwischen den Arbeitsgangausführungen niemals realisiert werden kann. Die minimale Anordnung der Arbeitsgangmenge eines Auftrags repräsentiert daher alle produktionstechnischen Sachverhalte, welche die Ausführung von Arbeitsgängen bei der Auftragsabwicklung einschränken. Alle darüber hinausgehenden Einschränkungen, die sich nicht aus der Spezifizierung des betrachteten Produktionsauftrags oder aus den Eigenarten des zugrundeliegenden Produktionssystems zwingend herleiten lassen, stellen artifizielle Abwicklungsrestriktionen dar. Sie dürfen in einer minimal geordneten Arbeitsgangmenge grundsätzlich nicht als Anordnungsbeziehungen zwischen Ereignissen von Arbeitsgängen enthalten sein. Auf eine minimal geordnete Menge von Arbeitsgangausführungen beziehen sich z.B. FOX, B. (1985a), S. 489; FOX, B. (1987a), S. 232.

Ebenso kann von nonlinearen Arbeitsplänen mit maximal halbgeordneten Arbeitsgangmengen gesprochen werden. Eine Arbeitsgangmenge heißt hier maximal halbgeordnet, wenn jede Vergrößerung der Halbordnung durch Außernachlassen einer Anordnungsbeziehung zwischen den Start- oder Schlußereignissen von Arbeitsgängen zu einem produktionstechnisch unzulässigen Arbeitsplan führen würde. Dies entspricht genau der Definition von minimal geordneten Arbeitsgangmengen in der voranstehenden Anmerkung. Im eng verwandten Kontext nonlinearer Pläne empfiehlt BELL, C.E. (1988), S. 136, maximal halbgeordnete Aktivitätsmengen ("as much parallelism as possible"). Ebenso wird bei LEE, S. (1988), S. 383, hervorgehoben: "... scheduling in a 'flexible assembly system' aims at the ... generation of a *parallel* assembly sequence ... This requires to study how to formulate a *partial order* ... An assembly partial order should provide the *maximum parallelism* ...; this is to support the subsequent assembly process scheduler to achieve the *maximum concurrency* in assembly operations ..." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Allerdings schränkt LEE, S. (1988), S. 389, später die Forderung nach maximaler Parallelität durch die Ressourcen ein, die aktuell für die Arbeitsgangausführung bereitstehen. Dadurch wird der Gedanke *maximal* halbgeordneter Arbeitsgangmengen partiell zurückgenommen. Der Verf. folgt dieser Modifizierung nicht. Denn die Aufstellung eines Arbeitsplans soll so flexibel gehalten werden, daß es möglich bleibt, auf spätere Veränderungen der verfügbaren Ressourcen zu reagieren.

48) Strenggenommen handelt es sich um die Mengen aus Ausführungen von Arbeitsgängen, die für die Abwicklung der Aufträge jeweils erforderlich sind. Schon dort wurde vereinbart, die Arbeitsgangausführungsmengen verkürzt als Arbeitsgangmengen anzusprechen.

49) Die Anforderung, es müsse sich um Arbeitspläne mit minimal geordneten Arbeitsgangmengen handeln, ist strenger, als lediglich nonlineare Arbeitspläne vorauszusetzen. Denn ein nonlinearer Arbeitsplan liegt schon dann vor, wenn mindestens zwei Arbeitsgangausführungen nicht sequentiell angeordnet sind. Diese *partielle* Devianz von einer vollständigen Sequentialisierung aller Arbeitsgangausführungen braucht jedoch nicht zu bedeuten, daß *alle* Anpassungspotentiale bei der Arbeitsgangausführung beachtet zu werden. Dies gilt insbesondere auch für die nonlinearen (Arbeits-)Pläne, die in einer früheren Anmerkung angesprochen wurden. Erst wenn zusätzlich gefordert wird, die Anpassungspotentiale, die ein Produktionssystem für die Ausführung der Arbeitsgänge eines Auftrags bietet, *vollständig* zu erfassen, resultieren nonlineare Arbeitspläne mit minimal geordneten Arbeitsgangmengen. Daher realisieren erst diese Arbeitspläne einen umfassenden Verzicht auf *alle* artifiziellen Sequentialisierungen.

50) Der Verf. erachtet das Netzmodul für die Auftragsrepräsentation als so aussagekräftig, daß es nicht erforderlich ist, das Konzept nonlinearer Arbeitspläne hier näher zu erläutern. Darüber hinaus erfolgte bereits in einer früheren Anmerkung eine allgemeine Definition nonlinearer Arbeitspläne.

51) Es handelt sich sogar um einen nonlinearen Arbeitsplan mit minimal geordneter - oder äquivalent: mit maximal halbgeordneter - Arbeitsgangmenge.

52) Dies gilt allerdings nur in bezug auf die kurzfristige Produktionsplanung und -steuerung.

53) Damit wird eine programmatische Forderung von KRAUSE,F. (1989b), S. 547, eingelöst: "To fulfill requirements of flexibility it is necessary to offer variable process plans, which contain alternative possibilities of machining a workpiece. ... New methods of process planning must be developed, which first generate a flexible plan and, during machining select an actual plan taking into account the actual situation of the flexible manufacturing system. Even without any break of equipment the FMS-scheduler has more degrees of freedom in assigning jobs to machines." (vgl. auch KRAUSE,F. (1989b), S. 555).

Der Gedanke, die technische Systemflexibilität durch entsprechende flexible Planungskonzepte auszunutzen, liegt auch den Ausführungen von NIEß (1980), S. 21, 34f., 37, 42ff. u. 110, insbesondere S. 37, 45ff. u. 63ff., zugrunde. Das Offenhalten der "planerischen Freiheitsgrade" (S. 21 u. 42), das NIEß für die Steuerung Flexibler Fertigungssysteme empfiehlt, entspricht dem hier geforderten Verzicht auf spielraumverengende Sequentialisierungen. Vgl. zur Hervorhebung von Freiheitsgraden bei der Steuerung Flexibler Fertigungssystemen auch STUTE (1978a), S. 75 u. 82f. Die dort vorgetragene Unterscheidung zwischen "natürlichen" (S. 82) und "planerischen Freiheitsgraden" (S. 83) vermag der Verf. allerdings inhaltlich nicht nachzuvollziehen.

54) Es handelt sich nur um denjenigen Ausschnitt aus der Flexibilität von Produktionssystemen, der für die hier betrachteten Arbeitspläne bei kurzfristiger Produktionsplanung und -steuerung relevant ist. Auf einen darüber hinaus gehenden Aspekt der Systemflexibilität wurde bereits in einer früheren Anmerkung eingegangen. Vgl. auch den Überblick über Flexibilitätäsfacetten an anderer Stelle.

55) Vgl. zu der unmittelbaren Verknüpfung zwischen der technischen Systemflexibilität und solchen Spielräumen STUTE (1978a), S. 5.

56) Produktionslose können allenfalls als Seiteneffekt von Koordinierungsentscheidungen entstehen. Dies ist der Fall, wenn so entschieden wird, daß mehrere Werkstückkomplexe durch die gleichen Arbeitsgänge auf den gleichen Bearbeitungsstationen zeitlich zusammenhängend bearbeitet werden. Dann stellen die Lose aber keine *ex ante* fixierten Entscheidungsvorgaben, sondern vielmehr Entscheidungswirkungen dar.

57) Falls mehrere Werkstückkomplexe in der gleichen Weise - d.h. durch gleiche Arbeitsgänge auf gleichen Bearbeitungsstationen - bearbeitet werden, dann braucht dies nicht zeitlich zusammenhängend - also unmittelbar nacheinander - zu geschehen. Statt dessen besteht der Freiheitsgrad, an den involvierten Bearbeitungsstationen zwischen die Werkstückbearbeitungen des betrachteten Auftrags die Bearbeitungen von Werkstücken anderer Aufträge zu schieben. Umgekehrt besteht jedoch kein analoger Freiheitsgrad: Wenn mehrere Werkstückkomplexe desselben Auftrags zusammenhängend bearbeitet werden, dann müssen sie auch in der gleichen Weise bearbeitet werden. Dann erfolgt eine losweise Bearbeitung der Werkstückkomplexe.

In analoger Weise wird verfahren, wenn zur Herstellung von genau einer Endprodukteinheit mehrere gleichartige Werkstücke bearbeitet werden müssen. Auch dann brauchen die Werkstücke weder durch gleiche Arbeitsgänge auf gleichen Bearbeitungsstationen noch zusammenhängend bearbeitet zu werden. Beispielsweise können die Kolben, die zur Herstellung eines Kraftfahrzeugmotors bearbeitet werden müssen, das Produktionssystem auf unterschiedlichen Bearbeitungsstationen zeitlich parallel oder auch in beliebiger, unzusammenhängender Reihenfolge durchfließen.

58) Eine solche Kombination erfolgt später im bereits angesprochenen Netzmodul für nonlineare Arbeitspläne.

59) Dadurch erfolgt eine anpassungsmaximale, auftragsspezifische Spielraumidentifizierung. Denn die Fortsetzung der Auftragsabwicklung in einer Produktionssituation läßt sich als auftragsbezogene Anpassung an die jeweils aktuelle Produktionssituation auffassen.

60) Der Spielraum, der in einem Zustand des Netzmodells offensteht, umfaßt genau alle Schaltakte von Transitionen, die unter der zustandsrepräsentierenden Netzmarkierung aktiviert sind. Jeder potentielle Schaltakt einer solchen Transition stellt ein Ereignis dar, dessen Geschehnis im Modellzustand zulässig ist (Näheres dazu später). Dieser Spielraum wird später in den Erreichbarkeitsgraphen von Netzmodellen durch die Gesamtheit aller Schaltkanten angezeigt, die von einem Markierungsknoten ausgehen.

61) Vgl. dazu das nebenläufige Schalten von Transitionen und die Identifizierung von konfliktionär aktivierten Transitionen an späterer Stelle. In beiden Fällen stellen die Schaltakte der aktivierten Transitionen Geschehnisse von Ereignissen dar, die im selben Spielraum eines aktuellen Systemzustands geschehen können. Diese Ereignisgeschehnisse unterliegen genau dann einer (keiner) horizontalen Ereignisabhängigkeit, wenn es sich um die Schaltakte von konfliktionär (nebenläufig) aktivierten Transitionen handelt.

2.4.2.3.2.3 Das Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließung

Neben dem Gebot, das Anpassungspotential eines Produktionssystems möglichst vollständig zu identifizieren, wurde das komplementäre Verbot aufgestellt, Anpassungspotentiale durch unnötig früh getroffene Koordinierungsentscheidungen vorzeitig zu vernichten. Dabei blieb zunächst offen, unter welchen Umständen eine Koordinierungsentscheidung "unnötig früh" erfolge. Diese Explizierungslücke wird nunmehr durch das Konzept der Entscheidungsbindung geschlossen. Dabei wird abermals auf die spielraum- und restriktionsbezogene Konzeptualisierung dynamischer Koordinierungsprobleme zurückgegriffen.

Jede Koordinierungsentscheidung, die einen lokalen Spielraum schließt, wirkt sich über vertikale Ereignisabhängigkeiten auf alle nachfolgenden lokalen Spielräume und die dort noch möglichen Entscheidungen aus. Denn die Auswahl einer lokalen Entscheidungsalternative legt fest, zu welchem der nachfolgend zulässigen Zustände des Produktionssystems tatsächlich übergegangen wird. Dadurch werden alle späteren Entscheidungsspielräume auf den Spielraum des nächsten Systemzustands und alle danach noch zulässigen Spielräume eingeschränkt. Zugleich werden alle Koordinierungsentscheidungen ausgeschlossen, die zwar in anderen Spielräumen noch getroffen werden könnten, sich aber aufgrund des ausgewählten nächsten Systemzustands nicht mehr erreichen lassen¹⁾. Daher bedeutet jede Koordinierungsentscheidung notwendig eine Beeinflussung der (Un-)Möglichkeit nachfolgender Koordinierungsentscheidungen. *Diese Art der Entscheidungsausstrahlung auf spätere Entscheidungen wird nicht weiter thematisiert. Sie läßt sich in dynamischen Koordinierungsproblemen mit vertikalen Ereignisabhängigkeiten grundsätzlich nicht vermeiden.*

Anders verhält es sich jedoch mit dem Phänomen der Entscheidungsbindung. Bei ihr wird nicht nur der lokale Spielraum im aktuellen Zustand des betrachteten Produktionssystems²⁾ dadurch geschlossen, daß eine der dort lokal definierten Entscheidungsalternativen ausgewählt wird. Vielmehr wird für mindestens einen der nachfolgenden Systemzustände³⁾ die dort zu verwirklichende lokale Entscheidungsalternative ebenso festgelegt ("gebunden"). Diese ex ante-Fixierung⁴⁾ einer zukünftigen Entscheidungsalternative geht über die zuvor erwähnten Ausstrahlungen, die gegenwärtige Entscheidungen auf spätere Entscheidungsmöglichkeiten bei vertikalen Ereignisabhängigkeiten grundsätzlich ausüben, deutlich hinaus. Denn es wird nicht nur eine *unvermeidbare* vertikale Entscheidungsausstrahlung auf zukünftige Spielräume akzeptiert. Vielmehr wird in mindestens einem nachfolgenden Systemzustand der zustandsspezifische Spielraum geschlossen, obwohl dies im aktuellen Systemzustand überhaupt noch nicht notwendig ist. Daher führt jede Entscheidungsbindung zu einer *unnötigen* Spielraumschließung. Zugleich werden hierdurch jene Anpassungspotentiale abgebaut, die in den betroffenen Folgezuständen bestanden hätten, aber zugunsten der einen dort ausgewählten Entscheidungsalternative bereits ausgegrenzt worden sind. Dadurch erfolgt eine vorzeitige Vernichtung zukünftiger Anpassungspotentiale. Folglich besitzen Entscheidungsbindungen im Gegensatz zu Entscheidungsausstrahlungen sowohl unnötigen als auch vorzeitigen Charakter⁵⁾.

Jede Entscheidungsbindung verletzt das früher aufgestellte Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung. Andere Verbotsverletzungen als solche, die durch Entscheidungsbindungen verursacht werden, kommen nicht in Betracht. Daher entspricht dem Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung das Verdikt aller unnötigen und vorzeitigen Entscheidungsbindungen⁶⁾. Der verbots-erfüllende Verzicht auf Entscheidungsbindungen zieht vor allem für die drei Objektarten der Produktionsaufträge, Bearbeitungsstationen und Transportmittel gewichtige Konsequenzen nach sich:

- Bei der Abwicklung eines Produktionsauftrags wird in jedem Zustand des Produktionssystems, in dem mit der Ausführung mindestens eines Arbeitsgangs begonnen werden könnte, nur darüber entschieden, welche Arbeitsgangausführungen in diesem aktuellen Systemzustand tatsächlich gestartet werden sollen. Hinsichtlich der Arbeitsgangausführungen in allen späteren Systemzuständen erfolgt keine Festlegung. Daher wird für einen Auftrag keine Arbeitsgangfolge fixiert. Ebenso wird darauf verzichtet, zukünftigen Arbeitsgangausführungen im voraus Bearbeitungsstationen zuzuordnen⁷⁾. Deshalb wird auch keine Maschinenfolge festgelegt⁸⁾.
- Falls mehrere Werkstücke im Eingangspuffer einer Bearbeitungsstation auf Bearbeitung warten, wird in Systemzuständen, in denen die Bearbeitungsstation frei ist, nur darüber entschieden, ob an ihr ein nächstes Werkstück zur Bearbeitung eingelastet werden soll und - im positiven Fall - um welches Werkstück es sich dabei handelt. In welcher Reihenfolge alle anderen Werkstücke in späteren Systemzuständen an derselben Bearbeitungsstation eingelastet werden, bleibt dagegen offen. Dadurch unterbleibt die Festlegung einer maschinenspezifischen Arbeitsgangfolge⁹⁾. Sofern die Werkstücke zu unterschiedlichen Aufträgen gehören¹⁰⁾, gilt ebenso: Für eine Bearbeitungsstation wird keine Auftragsfolge festgelegt.
- Falls mehrere Werkstücke im Ausgangspuffer einer Bearbeitungsstation auf Abtransport warten, wird beim Eintreffen eines Transportmittels an diesem Puffer nur darüber entschieden, welches Werkstück von diesem Transportmittel als nächstes befördert wird¹¹⁾. In welcher Reihenfolge alle anderen wartenden Werkstücke in späteren Systemzuständen durch dasselbe oder andere Transportmittel abtransportiert werden, wird nicht festgelegt. Daher wird für die Werkstücke keine Transportfolge fixiert.
- Der Weg, den ein Transportmittel im Produktionssystem zwischen seiner Start- und seiner Zielstation zurücklegt, wird nicht fixiert. Statt dessen kann an jeder Verzweigung von Transportwegen neu entschieden werden, welche Fortsetzung der Transportroute gewählt wird¹²⁾.

Durch das Verbot aller unnötigen und vorzeitigen Entscheidungsbindungen werden Spielräume, die weiterhin Anpassungen an nachträglich auftretende Veränderungen der Produktionssituation ermöglichen, so lange und in solchem Ausmaß offengehalten¹³⁾, wie es mit dem sachlogischen Zwang, im aktuellen Systemzustand überhaupt eine Koordinierungsentscheidung zu treffen, maximal vereinbart werden kann. Einschränkungen zukünftig möglicher Anpassungsmaßnahmen erfolgen daher nur so weit, wie es sich aufgrund vertikaler Ereignisinterdependenzen nicht vermeiden läßt¹⁴⁾. Aufgrund dieses Zusammenhangs zwischen dem Verbot von Entscheidungsbindungen und dem größtmöglichen Offenhalten zukünftiger Entscheidungsspielräume kann das Bindungsverbot ebenso als eine Forderung nach wirkungsminimalen¹⁵⁾ Spielraumschließungen ausgedrückt werden:

Prozeßkoordinierungen sollen so erfolgen, daß in jedem Zustand des betrachteten Produktionssystems nur der zustandsspezifische lokale Spielraum durch die Auswahl einer lokalen Entscheidungsalternative geschlossen wird. Alle weiterreichenden Festlegungen hinsichtlich nachfolgender Systemzustände sollen dagegen unterbleiben.

Das Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließungen impliziert eine Revision des konventionellen Planungsverständnisses¹⁶⁾. Planen wird im allgemeinen¹⁷⁾ als das Festlegen zukünftiger Handlungsweisen¹⁸⁾ verstanden, das zukünftige Handlungsmöglichkeiten¹⁹⁾ und ihre erwarteten Wirkungen²⁰⁾ geistig vorwegnimmt²¹⁾. Diesem konventionellen Planungsbegriff liegt als implizites Denkmuster zugrunde, Koordinierungsprobleme durch vorausschauende Planung in optimaler²²⁾ Weise bewältigen zu wollen. Das Planungsergebnis stellen optimale Produktionspläne dar.

Das konventionelle Planungsverständnis zeichnet sich durch zwei charakteristische Eigenschaften aus. Einerseits können optimale Problemlösungen nur dann geplant werden, wenn zwei Voraussetzungen erfüllt sind. Erstens müssen *alle zukünftig erwarteten*²³⁾ Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen berücksichtigt werden²⁴⁾. Zweitens müssen die bewerteten Koordinierungsalternativen, die aus diesen Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen abgeleitet sind, jeweils *vollständig* formuliert sein²⁵⁾. Das Optimierungsdenken erzwingt daher einen vorausschauenden²⁶⁾ und globalen²⁷⁾ Planungsansatz. Andererseits führt die immanente Planungsrationalität dazu, eine einmal als optimal erkannte Problemlösung auch realisieren zu wollen. Deshalb erfordert das Optimierungsdenken ebenso, Planungsergebnisse als Handlungsanweisungen für die Zukunft *verbindlich* zu erklären²⁸⁾. Dadurch werden zukünftig mögliche Handlungsweisen²⁹⁾, die aus den lokalen Entscheidungsspielräumen von erst später erwarteten Systemzuständen stammen, bereits im aktuellen Systemzustand - also "ex ante" - ausgewählt und fixiert. Auf diese Weise entstehen Entscheidungsbindungen, die zukünftige Spielräume vorzeitig schließen³⁰⁾. Im aktuellen Systemzustand ist das aber überhaupt noch nicht notwendig. Weder kausale oder dispositive Restriktionen noch Integritätsbedingungen zwingen dazu. Statt dessen geht die Möglichkeit, auf spätere unerwartete Veränderungen der Produktionssituation zu reagieren, durch solche vorzeitigen Spielraumschließungen verloren³¹⁾.

Besonders deutlich wird der handlungsfixierende Charakter konventioneller Planung³²⁾ anhand der früher erwähnten Praxis, Produktionspläne "einzufrieren". Dabei werden Koordinierungsentscheidungen hinsichtlich der zukünftig auszuführenden Produktionsprozesse im Zeitpunkt der Planfreigabe festgeschrieben. Sollte sich die Produktionssituation anders als geplant entwickeln, so wird - innerhalb eines feststehenden zeitlichen Rahmens - an den bereits fixierten Koordinierungsentscheidungen dennoch festgehalten. Dadurch wird es unmöglich, das eventuell vorhandene Anpassungspotential eines flexiblen Fertigungssystems anlässlich einer unerwarteten Veränderung der Produktionssituation durch neue Koordinierungsentscheidungen auszuschöpfen. Auf solche technisch vorhandenen Anpassungsoptionen wird durch das Konzept dispositiv fixierter Produktionspläne im Zeitpunkt ihrer Freigabe vorzeitig und unnötig verzichtet. Dieses Planungskonzept "absorbiert" Unsicherheit³³⁾ über zukünftig mögliche Entwicklungen der Produktionssituation und entsprechend zu ergreifende Anpassungsmaßnahmen³⁴⁾. Denn es blendet qua Planfixierung aus der Konzeptualisierung von komplexen Koordinierungsproblemen jede Unsicherheit nach der Planfreigabe aus³⁵⁾. Daher handelt es sich um einen typischen Fall der Komplexitätsreduzierung³⁶⁾ durch künstlich vereinfachte³⁷⁾ Problemkonzeptualisierung³⁸⁾.

Dieses Denkmuster konventioneller Planung läßt sich mit dem Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließungen grundsätzlich nicht vereinbaren. Dabei bereitet die Zukunftsorientierung, die sich in der *Antizipation* von Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen niederschlägt, noch keine Schwierigkeiten³⁹⁾. Denn sie schließt wirkungsminimale Spielraumschließungen keineswegs aus⁴⁰⁾. Deshalb wird hier auch nicht zugunsten einer zukunftsblinden ad hoc-Planung⁴¹⁾ argumentiert. Entscheidend wirkt sich vielmehr die konventionelle Sichtweise aus, Planen involviere das *Festlegen* zukünftiger Handlungsweisen. Dies widerspricht fundamental dem Verbot aller Entscheidungsbindungen⁴²⁾. Daher wird das Einfrieren von Produktionsplänen als Option der Prozeßkoordination abgelehnt⁴³⁾.

Die Unsicherheitsabsorption, die ab dem Freigabezeitpunkt eines eingefrorenen Plans eintritt, wurde als ein Akt der Reduzierung von Koordinierungskomplexität herausgestellt. Vor diesem Hintergrund kann der Verzicht auf das Einfrieren von Plänen auch als ein Verdikt unnötiger Komplexitätsreduzierung angesprochen werden. Denn das verbotsbedingte Offenhalten zukünftiger Entscheidungsspielräume führt dazu, daß die Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen der Produktionssituation in das hier unterbreitete Konzept für die Prozeßkoordination in komplexen Produktionssystemen voll aufgenommen wird⁴⁴⁾. Unsicherheitsaspekte werden daher aus der Konzeptualisierung solcher Koordinierungsprobleme nicht mehr ab dem Zeitpunkt der Planfreigabe ausgeblendet, sondern in die Problemkonzeptualisierung als weiterhin offene Entscheidungsspielräume integriert. Zugleich wird deutlich, daß das allgemeine Ziel der Komplexitäts-

beherrschung⁴⁵⁾ keineswegs nur auf dem konventionellen Weg der Komplexitätsreduzierung⁴⁶⁾ verwirklicht werden kann⁴⁷⁾. Statt dessen wird der Denkansatz von ASHBY's "Varietätsgesetz"⁴⁸⁾ aufgegriffen. Aus dieser Perspektive wird die übliche Strategie der Komplexitätsreduzierung durch eine varietätsgenerierende Beherrschungsstrategie ersetzt⁴⁹⁾.

Dem Varietätsgesetz zufolge muß ein Koordinierungskonzept mindestens das gleiche Komplexionsniveau - die gleiche "Varietät"⁵⁰⁾ - wie das zu bewältigende Koordinierungsproblem besitzen⁵¹⁾. Das konventionelle Planungsverständnis befolgt das Varietätsgesetz auf reduktionistische Weise: Die tatsächlich vorhandene Unsicherheit über zukünftige Produktionssituationen wird durch das Einfrieren von Plänen ab dem Zeitpunkt ihrer Freigabe vernachlässigt. Das Komplexionsniveau der Problemkonzeptualisierung wird derart vereinfacht, daß es schließlich durch die geringe Varietät des konventionellen Koordinierungskonzepts fixierter Produktionspläne bewältigt werden kann⁵²⁾. Statt dessen liegt dem Verbot aller Entscheidungsbindungen die expansive Alternative zugrunde, das Varietätsgesetz dadurch zu erfüllen, daß die Varietät des Koordinierungskonzepts gezielt erhöht wird. Durch das Offenhalten von Entscheidungsspielräumen wird das Komplexionsniveau der Prozeßkoordinierung so hoch gehalten, daß nicht darauf verzichtet zu werden braucht, die Unsicherheit bezüglich zukünftiger Entwicklungen der Produktionssituation in die Prozeßkoordinierung explizit einzubinden.

Die voranstehende Kritik an der entscheidungsbindenden Qualität des konventionellen Planungsverständnisses beruht allerdings auf einer wesentlichen Konzeptualisierungsprämisse. Denn die kritischen Argumente setzen voraus, daß jederzeit Veränderungen der Produktionssituation möglich sind, die bei der ursprünglichen Planung eines Produktionsprozesses nicht erwartet wurden⁵³⁾. Solche unvorhergesehenen Situationsveränderungen brauchen keineswegs einzutreten. Es lassen sich durchaus Produktionssysteme vorstellen, die so weit beherrscht werden, daß in ihnen unerwartete Produktionssituationen überhaupt keine Rolle spielen⁵⁴⁾. Aber solche Produktionssysteme gehören nicht zur Klasse der flexiblen Fertigungssysteme, die den Argumentationshintergrund dieser Arbeit bilden. Denn flexible Fertigungssysteme sind so ausgelegt, daß ihre immanente Systemflexibilität nachträgliche Anpassungen an unvorhergesehene Produktionssituationen begünstigt.

Die hohen Bereitstellungs- und Koordinierungskosten flexibler Fertigungssysteme ließen sich gegenüber weniger flexiblen Produktionssystemen überhaupt nicht wirtschaftlich rechtfertigen⁵⁵⁾, falls davon abgesehen würde, die Anpassungspotentiale zur raschen und kostengünstigen Reaktion auf unerwartete Veränderungen der Produktionssituation⁵⁶⁾ in Rechnung zu stellen. Hinzu kommt die technische Instabilität flexibler Fertigungssysteme, auf die später näher eingegangen wird⁵⁷⁾. Aus beiden vorgenannten Gründen würde es der Eigenart flexibler Fertigungssysteme widersprechen, Produktionsstörungen auszuklammern oder als "lästige" Randerscheinungen zu marginalisieren. Statt dessen ereignen sich dispositiv oder technisch bedingte Störungen derart häufig⁵⁸⁾, daß sie den "Normalfall" der Prozeßkoordinierung konstituieren⁵⁹⁾.

Daher werden in dieser Arbeit Prozeßkoordinierungen von vornherein so konzeptualisiert, daß stets unerwartete Veränderungen der Produktionssituation eintreten können. Folglich basiert die Planung von Koordinierungsentscheidungen auf dem Bewußtsein, daß sich die zukünftige Entwicklung des betrachteten Produktionssystems nicht - zumindest nicht vollständig - "geistig vorwegnehmen" läßt⁶⁰⁾. Dieser zentralen Konzeptualisierungsprämisse entspricht das Gebot, zukünftige Anpassungspotentiale nicht durch unnötige Entscheidungsbindungen vorzeitig zu vernichten. Denn seine Beachtung verbietet es, Planen als das Festlegen zukünftiger Handlungsweisen zu verstehen. Statt dessen wird hier die Planung (Koordinierung) eines Produktionsprozesses als eine Folge von lokalen Koordinierungsentscheidungen angesehen, die im jeweils aktuellen Zustand des zugrundeliegenden Produktionssystems ausschließlich den zustandsspezifischen lokalen Spielraum durch die Auswahl einer Menge dort zulässiger Ereignisgeschehnisse schließen⁶¹⁾. In die Beurteilung der lokalen Entscheidungsalternativen, die in einem zustandsspezifischen Spielraum zur Auswahl stehen, gehen zwar in der Regel hypothetische Annahmen über zukünftige Systemzustände ein⁶²⁾. Aber es wird grundsätzlich darauf verzichtet, bei der

Schließung eines lokalen Entscheidungsspielraums bereits Entscheidungsbindungen für erst zukünftig mögliche Spielräume einzugehen.

Aufgrund der voranstehenden Erläuterungen läßt sich nunmehr der revidierte Planungsbegriff präzisieren, der in dieser Arbeit der Koordinierung von Produktionsprozessen zugrundegelegt wird⁶³). Ihm zufolge wird Planen verstanden als⁶⁴):

- ❑ das Festlegen gegenwärtiger Handlungsweisen
- ❑ angesichts gegenwärtiger Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen,
- ❑ das keine zukünftigen Handlungsweisen fixiert,
- ❑ wohl aber zukünftige Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen berücksichtigen kann.

Da der Gegenwartsbezug von Planungsfestlegungen dominiert, läßt sich von einem situativen Planungsverständnis⁶⁵) sprechen. Wegen des Verzichts, zukünftige Spielräume vorzeitig zu schließen, liegt eine zukunfts offene Planungsweise⁶⁶) vor.

Die Kehrseite des Offenhaltens zukünftig möglicher Spielräume besteht darin, daß ein dynamisches Koordinierungsproblem niemals im Ausgangszustand des jeweils betrachteten Produktionssystems durch eine dort getroffene Koordinierungsentscheidung abschließend gelöst werden kann. Vielmehr wird durch eine Koordinierungsentscheidung im Ausgangszustand zunächst nur der eine Spielraum dieses Zustands geschlossen. Die Realisierung dieser lokalen Entscheidung im zugrundeliegenden Produktionssystem bewirkt einen Übergang zu einem neuen Systemzustand. Dort öffnet sich ein neuer zustandsspezifischer Entscheidungsspielraum. Er wird durch eine entsprechende lokale Koordinierungsentscheidung erst dann geschlossen, wenn der neue Systemzustand auch tatsächlich eingetreten ist. Daher kann auf Störungen des Produktionssystems, die im Ausgangszustand nicht erwartet wurden, im neuen Systemzustand nachträglich reagiert werden.

Es wurde vorausgesetzt, den Entscheidungsspielraum, der im neuen Systemzustand besteht, in anpassungsmaximaler Weise zu konzeptualisieren. Deshalb lassen sich alle Anpassungsmaßnahmen, die als lokale Entscheidungsalternativen im Spielraum des neuen Systemzustands enthalten sind, für die Reaktion auf die Produktionsstörung in Betracht ziehen. Genau eine von ihnen wird ausgewählt. Falls im neuen Systemzustand keine unvorhergesehene Veränderung der Produktionssituation eingetreten ist, erfolgt die Koordinierungsentscheidung in prinzipiell gleicher Weise. Auch dann gilt es, aus dem zustandsspezifischen Entscheidungsspielraum eine der dort möglichen lokalen Entscheidungsalternativen auszuwählen. Also fallen das störungsbedingte Planen einer Anpassungsmaßnahme und das ungestörte Fortsetzen der Prozeßkoordinierung konzeptionell zusammen⁶⁷). In beiden Fällen wird dann, wenn ein neuer Systemzustand eingetreten ist, aus dem aktuell offen stehenden, zustandsspezifischen Spielraum eine lokale Entscheidungsalternative selektiert. Die Umsetzung dieser Entscheidungsalternative im zugrundeliegenden Produktionssystem durch entsprechende Prozeßausführungen ruft abermals einen neuen Systemzustand hervor. Sobald er eingetreten ist, gilt es wiederum, den zustandsspezifischen lokalen Entscheidungsspielraum zu schließen (usw.).

Auf diese Weise nimmt die Lösung eines dynamischen Koordinierungsproblems die Gestalt einer Sukzession von lokalen Koordinierungsentscheidungen an⁶⁸). Ihre Gesamtheit bildet einen Entscheidungsprozeß, der im Informationssystem abläuft, um einen Produktionsprozeß zu koordinieren, der im zugrundeliegenden Produktionssystem ausgeführt wird. Die Lösung von dynamischen Koordinierungsproblemen erhält hierdurch einen grundsätzlich prozessualen Charakter⁶⁹). Die Problemlösung wird nicht mehr *vor* der Ausführung des zu koordinierenden Produktionsprozesses geplant, sondern *schritthaltend*⁷⁰) zur Prozeßausführung⁷¹) sukzessiv entwickelt⁷²). Die Planung von Koordinierungsentscheidungen begleitet also denjenigen Produktionsprozeß, der im zugrundeliegenden Produktionssystem aufgrund der Koordinierungsentscheidungen ausgeführt wird⁷³). Die Prozeßkoordinierung nimmt daher die Gestalt eines "kontinuierlichen"⁷⁴) Planungsprozesses an, der "zeitgleich"⁷⁵) mit der Ausführung des geplanten

Produktionsprozesses abläuft. Daher kann auch von einer Online-Planung⁷⁶⁾ gesprochen werden. Ebenso läßt sich von einer kontinuierlichen Anpassungsplanung⁷⁷⁾ reden. Dann steht die Perspektive im Vordergrund, die lokalen Koordinierungsentscheidungen, die während eines solchen Planungsprozesses getroffen werden⁷⁸⁾, jeweils als Anpassungen an Produktionsstörungen zu betrachten.

Der prozessuale Charakter der Lösung von dynamischen Koordinierungsproblemen steht im Gegensatz zum konventionellen Planungsverständnis. Dort wird eine globale Entscheidungsalternative in einem zusammenhängenden Entscheidungsakt ausgewählt⁷⁹⁾. Sie wird als optimaler⁸⁰⁾ Produktionsplan für einen begrenzten Zeitraum als verbindlich erklärt⁸¹⁾. Im Zeitpunkt der Planfreigabe liegt ein starrer Produktionsplan vor. Er geht der anschließenden Ausführung der planrealisierenden Produktionsprozesse zeitlich voran. Plananpassungen sind im Produktionsplan selbst nicht vorgesehen und werden nach Möglichkeit vermieden. Dies wurde bereits als Einfrieren von Produktionsplänen im Rahmen der rollierenden Planung dargelegt.

Der Übergang von einer konventionellen Vorausschauplanung zu einer kontinuierlichen Anpassungsplanung stellt eine "Problembewältigung zweiter Art"⁸²⁾ dar. Es erfolgt eine Problemersetzung, indem das Problem der Prozeßkoordinierung neuartig formuliert wird⁸³⁾: Das Denkmuster der Vorausschauplanung wird durch das der Anpassungsplanung abgelöst⁸⁴⁾. Dabei werden zwei interdependente Kernannahmen des konventionellen Planungsverständnisses durch revidierte Annahmen des hier vertretenen Koordinierungskonzepts substituiert. Erstens wird die charakteristische Voraussetzung der konventionellen Planung, die zukünftige Entwicklung eines Produktionssystems lasse sich vorhersehen, aufgegeben. Sie wird durch die Prämisse ersetzt, jederzeit könnten unvorhergesehene Veränderungen der Produktionssituation eintreten. Zweitens wird das Koordinierungsziel, ein Produktionssystem durch die vorausschauende Planung seiner Produktionsprozesse möglichst gut (optimal) zu koordinieren, nicht mehr verfolgt. An seine Stelle tritt das Ziel, ein Produktionssystem laufend an die jeweils aktuelle Produktionssituation anzupassen und hierbei zukünftige Anpassungsoptionen so weit wie möglich aufrechtzuerhalten.

Aufgrund des hier bevorzugten revidierten Planungsverständnisses unterbleibt jede Planfixierung zugunsten des Offenhaltens von zukünftigen Anpassungsspielräumen. Dies bedeutet vor allem einen Ordinierungs-, Terminierungs- und Optimierungsverzicht. Ordinierende Reihenfolgeplanungen⁸⁵⁾ kommen nicht in Betracht⁸⁶⁾, weil sie vorzeitige Entscheidungsbindungen bewirken⁸⁷⁾. Diese Entscheidungsbindungen fließen durch künstliche Sequentialisierungen⁸⁸⁾ zukünftiger Arbeitsgangausführungen ein. Denn jede Reihenfolgeplanung zielt darauf ab, eine sequentielle Anordnung aller Arbeitsgangausführungen zu erschaffen. Dadurch wird die Arbeitsgangmenge eines Auftrags vollständig geordnet⁸⁹⁾. Diese Vollordnung vernichtet aber alle Anpassungsspielräume, die in einem nonlinearen Arbeitsplan mit maximal halbgeordneter Arbeitsgangmenge noch enthalten waren⁹⁰⁾. Terminplanungen⁹¹⁾ unterbleiben aus dem gleichen Grund⁹²⁾. Denn sie fixieren die Startereignisse zukünftiger Arbeitsgangausführungen durch das Festlegen von Startterminen. Auf diese Weise erfolgen wiederum unnötige Entscheidungsbindungen⁹³⁾. Der Anspruch auf optimale Produktionspläne, die verbindliche Vorgaben für die Prozeßausführung im Produktionssystem darstellen (sollen), muß ebenso aufgegeben werden⁹⁴⁾.

Der Optimierungsverzicht gilt allerdings nicht kategorisch. Statt dessen betrifft er die Bewältigung dynamischer Koordinierungsprobleme nur in dem Ausmaß, in dem die zuvor erfolgte Problemkonzeptualisierung akzeptiert wird. Außerdem erstreckt er sich nur auf jene optimalen Produktionspläne, die im Sinne des konventionellen Planungsverständnisses fixiert werden⁹⁵⁾. Darüber hinaus lassen sich durchaus spezielle Aufgaben vorstellen, in denen konventionelle Optimalplanungen auch weiterhin von Bedeutung sind. Beispiele dafür wurden bereits an früherer Stelle angesprochen: Einerseits kann untersucht werden, ob das hier vorgestellte Modellierungskonzept auf der Basis von Petrinetzen grundsätzlich in der Lage ist, auch konventionelle Optimalplanungen hervorzubringen. Dann wird von allen zuvor dargelegten Besonderheiten der Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen - insbesondere Flexiblen Fertigungssysteme-

men - abstrahiert. Andererseits lassen sich die Ergebnisse von Optimalplanungen heranziehen, um die Güte von heuristischen Entscheidungsregeln zu beurteilen⁹⁶⁾.

Schließlich könnte der Einwand⁹⁷⁾ erhoben werden, die gesamte bisher vorgetragene Argumentation beruhe auf der Unterscheidung, daß entweder die ursprünglich erwarteten Produktionssituationen tatsächlich immer einträten oder aber Veränderungen der Produktionssituation grundsätzlich nicht vorhergesehen werden könnten. Diese Disjunktion sei aber unvollständig, weil sie nur zwischen deterministischer Prozeßkoordinierung auf der einen und Koordinierung unter Unsicherheit auf der anderen Seite differenziere. Statt dessen ließen sich Koordinierungsprobleme aber auch in stochastischer Weise modellieren. Dazu bräuchte lediglich das gesamte Spektrum von Produktionssituationen, die grundsätzlich für möglich gehalten werden, durch Eintrittswahrscheinlichkeiten für diese Situationen überdeckt zu werden. Dies schlosse insbesondere auch die Prognose von Produktionsstörungen durch entsprechende Störungswahrscheinlichkeiten ein⁹⁸⁾.

Die Eintrittswahrscheinlichkeiten könnten den Charakter subjektiver Wahrscheinlichkeiten⁹⁹⁾ besitzen. Sie drücken aus, in welchem Ausmaß der Entscheidungsträger das Eintreten der Produktionssituationen erwartet. Prognoserechnungen erlaubten daher stets, alle unerwarteten - aber grundsätzlich möglichen - Produktionssituationen im Rahmen des konventionellen Planungsverständnisses zu berücksichtigen. Denn die "unerwarteten" Situationen ließen sich dadurch erfassen, daß sie als Produktionssituationen mit geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten "vorhergesehen" werden.

Der Verf. folgt diesem Einwand jedoch nicht. Dafür lassen sich fünf Gründe anführen. Erstens wird bezweifelt, daß ein Entscheidungsträger in der Lage ist, für ein realistisch modelliertes Produktionssystem und für alle Produktionssituationen, die grundsätzlich in Betracht gezogen werden, Eintrittswahrscheinlichkeiten tatsächlich anzugeben¹⁰⁰⁾. Dieser Zweifel gilt zumindest dann, wenn "seriöse" Wahrscheinlichkeitsschätzungen¹⁰¹⁾ vorausgesetzt werden¹⁰²⁾. Zweitens wäre der Frage nachzugehen, ob die geschätzten Wahrscheinlichkeiten auch die Anforderungen an Wahrscheinlichkeitsverteilungen erfüllen¹⁰³⁾, die für das weiterführende Rechnen mit Eintrittswahrscheinlichkeiten vorausgesetzt werden müssen¹⁰⁴⁾. Drittens beziehen sich Wahrscheinlichkeitsschätzungen im allgemeinen nicht auf Produktionssituationen in ihrer Gesamtheit, sondern nur auf partikuläre Sachverhalte¹⁰⁵⁾. Das Erfordernis, diese Teilwahrscheinlichkeiten zu schätzen, verstärkt die vorgenannten Zweifel an der Ermittlungsmöglichkeit subjektiver Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht nur in quantitativer Hinsicht¹⁰⁶⁾. Darüber hinaus kommt auch ein qualitativ neuartiges Aggregationsproblem hinzu. Denn die Zusammenfassung der Teilwahrscheinlichkeiten zur hier interessierenden Eintrittswahrscheinlichkeit einer Produktionssituation hängt von Voraussetzungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung ab, deren Erfüllung hier höchst fragwürdig ist¹⁰⁷⁾. Beispielsweise ist wegen der vielfachen horizontalen und vertikalen Ereignisabhängigkeiten kaum zu erwarten, daß diese Ereignisse der üblichen Voraussetzung, ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten verhielten sich stochastisch unabhängig¹⁰⁸⁾, gerecht werden¹⁰⁹⁾. Viertens ist es möglich, die Variabilität von Produktionssituationen auf die situationsbezogenen Eintrittswahrscheinlichkeiten zu übertragen. Denn die implizite Prämisse aller stochastischen Modellierungen, den ermittelten Wahrscheinlichkeiten liege ein konstanter Verursachungszusammenhang zugrunde¹¹⁰⁾, braucht überhaupt nicht zuzutreffen. Vielmehr können sowohl exogene Einflüsse als auch Prozeßausführungen innerhalb eines Produktionssystems das kausale Gerüst von Wahrscheinlichkeitsermittlungen nachträglich verändern. Daher ist es möglich, daß sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Produktionssituationen im Zeitablauf verändern¹¹¹⁾.

Es wird darauf verzichtet, die vorgenannten vier Gründe näher auszuführen. Denn der nachfolgende fünfte Grund wiegt weit schwerer. Er veranlaßt selbst dann noch zum Absehen von stochastischen Planungsmodellen, wenn sich die ersten vier Gründe als nicht stichhaltig erweisen sollten. Denn auch jede stochastische Planung führt zu Entscheidungsbindungen, die Spielräume zukünftiger Systemzustände vorzeitig schließen: In Übereinstimmung mit dem o.a. konventionellen Planungsverständnis werden abermals Produktionspläne aufgestellt. Auch dort sind zu-

künftige Handlungsweisen ex ante festgelegt¹¹²). Daher gelten alle Argumente, die oben gegen die vorzeitige Vernichtung von Anpassungspotentialen ins Feld geführt wurden, im Prinzip ebenso für stochastische Planungen von Produktionsprozessen.

Aufgrund der voranstehenden Erwägungen wird in dieser Arbeit grundsätzlich auf eine stochastische Konzeptualisierung der Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen verzichtet¹¹³). Es wäre jedoch verfehlt, diese Ausgrenzung stochastischer Problemstrukturierungen mit der Einschränkung auf deterministische Koordinierungsmodelle gleichzusetzen. Statt dessen wird hier eine indeterministische Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen verfolgt¹¹⁴). Denn die planenden Koordinierungsentscheidungen werden strikt auf die Festlegung einer lokalen Entscheidungsalternative für den jeweils aktuellen Zustand des Produktionssystems begrenzt. Weil Entscheidungsbindungen für zukünftige Systemzustände unterbleiben, determiniert eine Koordinierungsentscheidung im aktuellen Systemzustand alle zukünftigen Koordinierungsentscheidungen nicht mehr, als es aufgrund vertikaler Ereignisabhängigkeiten unvermeidlich ist. Deshalb wird die konventionelle Planungsperspektive aufgegeben, zukünftige Ausführungen von Produktionsprozessen durch vorausschauende Koordinierungsentscheidungen optimal festzulegen. Statt dessen bleibt der Planungsprozeß offen für die Alternativenauswahl in späteren Systemzuständen. Dabei wird die zukunftsorientierte und alternativenfixierende Optimalplanung des konventionellen Planungsverständnisses durch eine situationsbezogene und flexible Anpassungsplanung verdrängt.

Das revidierte Planungsverständnis zielt vornehmlich darauf ab, eine möglichst große Anpassungsfähigkeit zur Reaktion auf unvorhergesehene Produktionssituationen vorzuhalten¹¹⁵). Daher erhält es den Charakter eines aktiven Störungsmanagements für komplexe Produktionssysteme. Dabei wird von vornherein in dem Bewußtsein geplant, daß die zukünftige Entwicklung der Produktionssituation von ursprünglich gehegten Planungsvermutungen erheblich abweichen vermag¹¹⁶). Alle solche Mutmaßungen über zukünftig mögliche Produktionssituationen werden grundsätzlich als potentiell fehlerhafte Planungsprämissen behandelt¹¹⁷). Auf diese Weise werden die Aspekte der Unsicherheit und Fallibilität in der Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen miteinander verwoben.

Die Anpassungsplanung verfolgt den Anspruch, jederzeit auf unvorhergesehene Veränderungen der Produktionssituation in "akzeptabler" Weise reagieren zu können¹¹⁸). Bei den Spielräumen, die für Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung stehen, handelt es sich um die lokalen Entscheidungsspielräume, die früher für dynamische Koordinierungsprobleme in komplexen Produktionssystemen herausgearbeitet wurden. Daher stellt jede zulässige Reaktionsalternative eine lokale Entscheidungsalternative dar, die zum Spielraum des jeweils aktuellen Systemzustands gehört¹¹⁹). Fraglich ist jedoch, welche von diesen lokalen Entscheidungsalternativen als akzeptable Reaktionsalternativen ausgezeichnet werden sollen. Zunächst grenzen die Postulate anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierungen und wirkungsminimaler Spielraumschließungen den Bereich derjenigen Reaktionsalternativen ein, die als akzeptable Ergebnisse einer Anpassungsplanung überhaupt in Betracht kommen.

Aufgrund der voranstehenden Erläuterungen wird die Erfüllung der beiden Postulate im allgemeinen¹²⁰) nicht dazu führen, daß die akzeptablen Ergebnisse einer Anpassungsplanung mit den Resultaten aus einer konventionellen Optimalplanung zusammenfallen¹²¹). Damit sind die akzeptablen Reaktionsalternativen aber nur negativ bestimmt. Für eine Positiveingrenzung der akzeptablen Reaktionsalternativen ist hingegen zusätzliches Wissen erforderlich. Es muß durch eine vertiefte Konzeptualisierung des jeweils betrachteten Koordinierungsproblems bereitgestellt werden. Dieses ergänzende Wissen erstreckt sich auf Entscheidungskriterien, die festlegen, welche lokalen Entscheidungsalternativen in den jeweils aktuellen Spielräumen akzeptiert werden. Für die inhaltliche Ausgestaltung dieser Entscheidungskriterien stehen grundsätzlich zwei Wege offen.

Entweder wird jede lokale Entscheidungsalternative dadurch zu einer hypothetischen¹²²⁾ globalen Entscheidungsalternative vervollständigt¹²³⁾, daß zukünftig noch mögliche lokale Entscheidungsalternativen in projektiver Weise erfaßt werden. Für jede derart global vervollständigte Entscheidungsalternative läßt sich beurteilen, in welchem Ausmaß sie das originäre Sach- und Formalzielsystem des zugrundeliegenden Koordinierungsproblems¹²⁴⁾ erfüllt. Ein Entscheidungskriterium legt dann konkret fest, in welchem Ausmaß die vorgenannte Alternativenvervollständigung erfolgt, wie die vervollständigten Alternativen bewertet werden und auf welche Weise sich diese Bewertungsergebnisse zu einem Entscheidungswert der jeweils betrachteten lokalen Entscheidungsalternative aggregieren lassen¹²⁵⁾. Schließlich bestimmt das Entscheidungskriterium anhand dieses Entscheidungswerts, welche lokalen Entscheidungsalternativen aus dem aktuellen Spielraum als akzeptabel gelten.

Oder es wird darauf verzichtet, einen mittelbaren Bezug zum originären Sach- und Formalzielsystem des zugrundeliegenden Koordinierungsproblems zu konstruieren. Dann muß ein Entscheidungskriterium zusätzliches Wissen über Ersatzziele¹²⁶⁾ enthalten, die so formuliert sind, daß sich ihre Erfüllung durch jede lokale Entscheidungsalternative nunmehr unmittelbar beurteilen läßt¹²⁷⁾. Alle lokalen Entscheidungsalternativen aus dem aktuellen Spielraum, welche die kriterienspezifischen Ersatzziele in der jeweils intendierten Weise erfüllen, stellen jetzt die gesuchten akzeptablen Alternativen dar.

Der zweite Weg rein lokaler Entscheidungskriterien wird von allen Prioritätsregeln beschritten, die als heuristische Entscheidungsregeln für die Auswahl lokaler Entscheidungsalternativen herangezogen werden. Dies wurde bereits an früherer Stelle erörtert. Der erste Weg, auf dem mittelbar globale Entscheidungskriterien formuliert werden, mag auf den ersten Blick fremdartig oder umständlich erscheinen. Dennoch wird er hier ausdrücklich erwähnt. Denn er stellt nicht nur eine abstrakte Denkmöglichkeit dar¹²⁸⁾. Vielmehr liegt er der Konstruktion von Entscheidungskriterien zugrunde, die später die Auswahl robuster Schritte als akzeptable lokale Entscheidungsalternativen auszeichnen werden. Die darauf gründende Robustheitsanalyse von Netzmodellen wird verdeutlichen, wie sich die hier skizzierten Konzepte für ein revidiertes Planungsverständnis und daraus abgeleitete Anpassungsplanungen inhaltlich konkretisieren lassen¹²⁹⁾.

Die voranstehend erläuterten Entscheidungskriterien legen fest, welche lokalen Entscheidungsalternativen aus den jeweils aktuellen Spielräumen akzeptabel sind¹³⁰⁾. Die Auswahl von akzeptablen lokalen Entscheidungsalternativen in aufeinander folgenden Spielräumen konstituiert einen Prozeß sukzessiver Anpassungsplanungen. Dieser Planungsprozeß bringt schließlich eine globale Entscheidungsalternative hervor, die eine Lösung für das gesamte dynamische Koordinierungsproblem darstellt¹³¹⁾. Welche konkrete Gestalt diese globale Problemlösung annimmt, kann wesentlich von den Entscheidungskriterien geprägt werden, die in den involvierten lokalen Spielräumen festlegen, welche Entscheidungsalternativen dort als akzeptabel gelten¹³²⁾. Daher besitzt das zusätzliche Wissen, das zur Konzeptualisierung des Koordinierungsproblems in der Gestalt von zusätzlichen Entscheidungskriterien beigetragen hat, den Charakter von lösungsbeeinflussendem Wissen¹³³⁾.

Das Lösungswissen stellt eine bemerkenswerte Facette von dynamischen Koordinierungsproblemen dar¹³⁴⁾. Sie wird zwar durch konventionelle entscheidungstheoretische Modellierungen von Koordinierungsproblemen im allgemeinen nicht erfaßt¹³⁵⁾. Doch spielt das Lösungswissen für die *praktische* Bewältigung von dynamischen Koordinierungsproblemen eine erhebliche Rolle¹³⁶⁾. Daher trägt seine konzeptionelle Erfassung zur Entfaltung praktischer¹³⁷⁾ oder prozeduraler¹³⁸⁾ Rationalität bei¹³⁹⁾.

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Vgl. ROSENHEAD (1972), S. 419 u. 422.

2) Dieser Spielraum wird fortan auch kurz als gegenwärtiger (Entscheidungs-)Spielraum angesprochen.

3) Die Spielräume, die in solchen nachfolgenden Systemzuständen offenstehen, heißen auch zukünftige (Entscheidungs-)Spielräume.

4) Das Präfix "ex ante" bezieht sich hier stets auf zukünftige Spielräume, die von Entscheidungen beeinflusst werden, welche im jeweils aktuellen (gegenwärtigen) Zustand des Produktionssystems getroffen werden.

5) Der Verf. hat alle Ausstrahlungen gegenwärtiger Spielraumschließungen auf zukünftige Entscheidungsspielräume, die sich aufgrund vertikaler Ereignisabhängigkeiten nicht vermeiden lassen, von vornherein aus seinen weiteren Ausführungen ausgegrenzt. Daher handelt es sich bei allen Entscheidungsbindungen, die hier erörtert werden, stets um unnötige und vorzeitige Entscheidungsbindungen. Daher handelt es sich bei den beiden bindungscharakterisierenden Attributen um keine Präzisierungen, sondern lediglich um Pleonasmen. Sie brauchen daher nicht erwähnt zu werden. Dennoch werden sie fortan mitunter verwendet, um den Anschluß an ähnliche Formulierungen in der produktionswirtschaftlichen Literatur zu wahren. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der "kleinstmöglichen" Entscheidungsbindungen, die an anderer Stelle angesprochen werden. Dabei werden kleinstmögliche Entscheidungsbindungen als affirmatorische Reformulierung des negatorischen Ausgrenzens aller unnötigen und vorzeitigen Entscheidungsbindungen begriffen.

6) Das Verbot aller unnötigen und vorzeitigen Entscheidungsbindungen wird oftmals in affirmatorischer Weise reformuliert und dann als Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindungen ("principle of least commitment") thematisiert, vgl. FOX, B. (1985a), S. 489; FOX, B. (1987a), S. 232 u. 234; BELL, C.E. (1988), S. 135 u. 141ff., insbesondere S. 144 ("Postponing actions until they can be proven essential"); HERTZBERG (1989), S. 167; WINTER, R.O. (1991), S. 159. Diese äquivalente Formulierung wird auch in dieser Arbeit - vor allem im Kontext der opportunistischen Prozeßkoordinierung - verwendet.

7) Vgl. NIEB (1980), S. 37 u. 43 i.V.m. S. 34f. u. 41ff. Er plädiert besonders energisch für die Unterlassung solcher Zuordnungen mit speziellem Bezug auf Flexible Fertigungssysteme.

8) Voraussetzung ist, daß der Arbeitsplan des Produktionsauftrags nicht von vornherein - ohne jede künstliche Sequentialisierung - zu einer linearen Anordnung von Arbeitsgängen degeneriert ist, für deren Ausführungen sich jeweils nur genau eine Bearbeitungsstation eignet.

9) Der Verzicht auf maschinenspezifische Arbeitsgangfolgen bedeutet, daß die Strategie vorausschauender Einlastungsentscheidungen ausgeschlossen wird, *sofern* die Einlastungsvorausschau mit einer Fixierung der maschinenspezifischen Ausführungsreihenfolge von Arbeitsgängen verknüpft wird. Diese Einlastungsstrategie findet sich z.B. bei MERTINS (1985a), S. 139. Bei ihr werden die Arbeitsgänge von Aufträgen, die an einer Maschine auf Bearbeitung warten, nicht mehr mit der Hilfe von lokal definierten Prioritätsregeln vorgenommen. Statt dessen werden weitergreifende Optimierungsüberlegungen darüber angestellt, welche Ausführungsreihenfolgen (Einlastungssequenzen) an der Maschine - unter der Berücksichtigung von reihenfolgeabhängigen Zielwirkungen - zur günstigsten Erfüllung vorgegebener Formalziele führen. Hierdurch lassen sich insbesondere reihenfolgeabhängige Rüstzeiten oder -kosten erfassen. Durch die Vorausschau ("look ahead") der Formalzielwirkungen alternativer Reihenfolgen lassen sich die Einlastungssequenzen an Bearbeitungsstationen so festlegen, daß die Rüstkosten oder -zeiten minimal ausfallen.

Allerdings wäre es selbstwidersprüchlich, die Auftragsfolge an einer Bearbeitungsstation zu optimieren, ohne die erkannte optimale Einlastungssequenz verbindlich vorzuschreiben. Daher ist die vorausschauende Einlastungsstrategie mit einer Fixierung der Einlastungssequenz verbunden. Hierdurch werden zukünftige Spielräume bei der Auftragsbelastung an derselben Maschine vorzeitig geschlossen. Da solche unnötigen Entscheidungsbindungen verboten werden, bleibt auch die Strategie vorausschauender Einlastungsentscheidungen aus der Modellierung von Prozeßkoordinierungen in Flexiblen Fertigungssystemen ausgeklammert. Gleiches gilt für alle ähnlich gelagerten Anregungen, optimale oder zumindest besserstellende Reihenfolgen dadurch zu bilden, daß reihenfolgeabhängige Formalzielbeiträge von Umrüstungen berücksichtigt werden. Vgl. KERN, W. (1967), S. 120f.; RÜGER (1974), S. 28ff., 34ff. u. 157ff.; ALDINGER (1985a), S. 55; MÜLLER, A. (1987), S. 325 (die allerdings auf die mangelhafte Eignung reihenfolgeabhängiger Optimierungen für praktische Planungsprobleme hinweist); MÜLLER, U. (1988b), S. 149f.; KERN, W. (1990a), S. 308.

10) Dies muß nicht der Fall sein. Denn derselbe Auftrag kann sich auch auf die Bearbeitung mehrerer Werkstücke erstrecken. Darüber hinaus können sich diese auftragszugehörigen Werkstücke im selben Systemzustand - zufällig oder geplant - im Eingangspuffer derselben Bearbeitungsstation befinden.

11) Gleiches gilt für Werkstücke, die im Eingangslager des Produktionssystems oder im Ausgangspuffer einer Lagerstation auf Abtransport warten.

12) Dadurch ist es möglich, die Transportroute zwischen Start- und Zielstation flexibel an die jeweils aktuelle Produktionssituation anzupassen. Wenn z.B. zunächst die kürzeste Verbindung zwischen beiden Stationen eingeschlagen, aber infolge einer Produktionsstörung während des Transportvorgangs gestört wird, kann eine störungsbedingte Korrektur des Transportwegs erfolgen.

13) Die Absicht, durch Vermeiden von Entscheidungsbindungen Spielräume für zukünftig erforderliche Anpassungen offenzuhalten, wird besonders deutlich bei FOX, B. (1987a), S. 234. Er schlägt vor, jeweils diejenige Entscheidungsalternative auszuwählen, welche die größte Vielfalt zukünftiger Anpassungsmöglichkeiten zu garantieren vermag ("... the principle of least commitment dictates ... [to] ... pursue a course of action which preserves and guarantees future flexibility. This can be accomplished, in part, by selecting the action which guarantees the greatest number of ways of completing the ... task."; Ergänzung [...] durch den Verf.). Die Einstellung, zukünftige Spielräume offenzuhalten, findet sich auch im Konzept der Flexiblen Planung wieder. Vgl. z.B. HART, A. (1951), S. 60: "... uncertainty ... will plainly increase ... the inducements to lay plans so as to leave room for changes ..." (kursive Hervorhebung durch den Verf.); WITTMANN (1959), S. 158 u. 180; HAX, H. (1972), S. 320f. (Beispiel), 321f. u. 326; LAUX (1990b), S. 54.

Allerdings drücken Vertreter der Flexiblen Planung das Offenhalten von Entscheidungsspielräumen oftmals weniger präzise in der Weise aus, daß es gelte, Entscheidungen so weit wie möglich aufzuschieben. Vgl. zu dieser Formulierung insbesondere HART, A. (1951), S. 55 ("many decisions can be postponed"); WITTMANN (1959), S. 187 ("Es ist sinnvoll, ... Handlungen erst dann endgültig festzulegen, wenn dies zeitlich unumgänglich wird."), 189 u. 208; SCHNEIDER, D. (1971), S. 832 (distanziert). Ohne explizite Bezugnahme auf die Flexible Planung empfiehlt auch DORN (1989), S. 117 u. 153, die "Strategie, daß nicht notwendige Entscheidungen möglichst lange hinausgezögert werden." (S. 117). Er präzisiert: "Existiert eine Auswahlfreiheit in der Planung, wird die Auswahl so lange wie möglich verzögert ..." (S. 117) und: "... grundlegende Strategie beim Planen ist die Aufschiebung von Entscheidungen bis zu dem Zeitpunkt, an dem notwendigerweise entschieden werden muß, welche Alternative auszuführen ist." (S. 153). Das Prinzip, Entscheidungen so weit wie möglich hinauszuzögern, findet sich auch bei SPUR (1980), S. 304ff. (S. 304f.: "Ein ablauftechnisches Prinzip stellt die maximal zu verzögernde Entscheidung für die Belegung von Bearbeitungsstationen dar.") u. 388; MERTINS (1985a), S. 139; WINTER, RO. (1991), S. 4.

SCHNEIDER, D. (1971), S. 834ff. u. 841, hat jedoch zu Recht das generelle Hinauszögern von Entscheidungen als eine unhaltbare Maxime kritisiert. Beispielsweise führt bei fixiertem Liefertermin die spätest zulässige Inangriffnahme der Auftragsabwicklung dazu, daß alle zeitlichen Spielräume zur Anpassung an Produktionsstörungen, die während der Auftragsabwicklung eintreten können, verloren gehen. Das maximale Hinauszögern von Koordinierungsentscheidungen - hier hinsichtlich des Starts der Auftragsabwicklung - läßt sich also im allgemeinen nicht mit dem Postulat vereinbaren, Entscheidungsspielräume für Anpassungen an unvorhergesehene zukünftige Produktionssituationen möglichst weitgehend offenzuhalten. Der scheinbare Widerspruch löst sich jedoch auf, sobald die o.a. Formulierungen so ausgedeutet werden, daß sie strenggenommen kein "größtmögliches Aufschieben von Entscheidungen" meinen. Dies wird exemplarisch aufgezeigt. Zunächst wird auf die Flexible Planung Bezug genommen, gegen die sich SCHNEIDER's Kritik ursprünglich wandte.

Bei Formulierungen der vorgenannten Art handelt es sich nur um unglückliche Umschreibungen eines ähnlich anmutenden, aber inhaltlich grundverschiedenen Ansatzes der Flexiblen Planung. Er läßt sich in der hier vorgelegten Konzeptualisierung von dynamischen Koordinierungsproblemen präzisieren: Es sollen nur solche (lokalen) Koordinierungsentscheidungen getroffen werden, die im jeweils aktuellen Systemzustand aus den dort zulässigen Entscheidungsalternativen genau eine auswählen. Dies schließt die Unterlassungsalternative als die Auswahl der leeren Ereignismenge ein. Daher stellt auch das "Abwarten" eine wohldefinierte Koordinierungsentscheidung dar. Dadurch wird der aktuelle Systemzustand beibehalten, sofern er nicht von selbst durch autonome, von Entscheidungen unabhängige Ereignisgeschehnisse in einen Folgezustand übergeht. Diese Unterlassungsalternative stellt aber *nur eine von vielen zulässigen Entscheidungen* dar. Daher ist es grundsätzlich verfehlt, der Flexiblen Planung ein generelles Hinauszögern von Entscheidungen zu unterstellen. Statt dessen meint das o.a. "Aufschieben von Entscheidungen" etwas anderes: Alle (lokalen) Koordinierungsentscheidungen, die sich auf die Auswahl von Entscheidungsalternativen erstrecken, die *nicht* zum Spielraum des jeweils *aktuellen* Systemzustands gehören, sollen solange hinausgezögert werden, bis derjenige Systemzustand tatsächlich eingetreten ist, aus dessen Spielraum die betrachteten Entscheidungsalternativen jeweils stammen. Dies hat bereits HAX, H. (1972), S. 324, bezüglich einer mißverständlichen Sentenz bei HART, A. (1951), S. 55 (s.o.), für die Flexible Planung klargestellt: "Aus dem Zusammenhang ergibt sich aber, daß HART damit keineswegs sagen will, bei der Wahl zwischen einer gegenwärtigen Aktion und dem Aufschub der Aktion auf einen späteren Zeitpunkt sei letzteres grundsätzlich vorzuziehen. Er meint lediglich, daß Entscheidungen über die Aktionen eines *späteren* Zeitpunktes erst in *diesem* Zeitpunkt endgültig getroffen werden müssen." (Kapitälchen und kursive Hervorhebungen hier abweichend vom Original; darüber hinaus würde der Verf. das abschließende "müssen" zu einem "dürfen" inhaltlich verschärfen). Vgl. dazu auch die erhellende, bereits zu Beginn dieser Anmerkung zitierte Äußerung von HART, A. (1951), S. 60. Vgl. darüber hinaus die deutliche Stellungnahme von LAUX (1990b), S. 53. Ihm zufolge "ist es *nicht* sinnvoll, zukünftige Aktionen vorher schon *endgültig festzulegen*. Über die in einem zukünftigen Zeitpunkt zu ergreifende Aktion sollte erst dann definitiv entschieden werden, wenn dieser Zeitpunkt tatsächlich eingetreten ist." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.).

Ein konkretes Beispiel für diese Haltung findet sich bei MERTINS (1985a), S. 139. Er empfiehlt, aus einer Menge von Aufträgen, die vor einer Maschine auf Bearbeitung warten, erst so spät wie möglich einen bestimmten Auftrag auszuwählen. Damit werde das Risiko, daß unnötig früh vorgenommene Auswahlentscheidungen wegen zwischenzeitlich eingetretener Produktionsstörungen revidiert werden müßten, weitgehend reduziert. Dieses Aufschieben der Auftragsauswahl entspricht genau der Maxime, eine lokale Einlastungsentscheidung erst dann zu treffen, wenn sie zum Spielraum des aktuellen Systemzustands gehört. Dies ist der Fall, wenn die betrachtete Maschine die Bearbeitung eines vorangehenden Auftrags beendet hat (und weiterhin betriebsbereit ist). Daher entspricht es dem Vermeiden vorzeitiger Entscheidungswirkungen, wenn die Auftragsauswahl an der Maschine so lange hinausgezögert wird, bis er vorgenannte Fall eingetreten ist.

Darüber hinaus liegt das Motiv, Spielräume für Anpassungen an zukünftig mögliche Situationsveränderungen durch Vermeiden von Entscheidungsbindungen offenzuhalten, auch der Planung robuster "erster Schritte" zugrunde. Sie wurde bereits in einer früheren Anmerkung angesprochen. Auch dort werden Modelle für sequentielle Entscheidungsprozesse betrachtet, bei denen nur für die Ausgangszustände die Entscheidungsalternativen fixiert werden. Alle Entscheidungsbindungen bezüglich zukünftiger Modellzustände unterbleiben. Dabei wird versucht, die initialen Entscheidungsalternativen so auszuwählen, daß in möglichst vielen der zukünftigen Entscheidungssituationen die Freiheit besteht, weiterhin eine der intendierten Modellösungen zu realisieren. Vgl. zur Auswahl (maximal) robuster "erster Schritte" GUPTA, S. (1968), S. B-20f. u. B-28 ("the main advantage will be in *delaying* the need for *firmly committed decisions* ..., so that *later decisions* ... can be *postponed* until more up-to-date information is available"; kursive Hervorhebungen durch den Verf.); ROSENHEAD (1972), S. 418 ("A plan whose initial decision limit the future as little as possible has an evolutionary advantage in an uncertain world."); HANSSMANN (1978a), S. 174; MÜLLER-MERBACH (1978), S. 425 u. 430 (dort allerdings als robuste *nächste* Schritte); DIRUF (1980a), S. 9ff.; HANSSMANN (1987), S. 75 (mit expliziter Hervorhebung des Aspekts des Offenhaltens), 233 u. 235; DELFMANN (1989a), S. 224f.; HANSSMANN (1989), Sp. 1759f.; HANSSMANN (1990), S. 107, 259 ("Planung ist die Festlegung eines langfristig sinnvollen ersten Schritts"; im Original Fettdruck), 322f., 327, 335ff. u. 446.

Vgl. ebenso die Betonung des Offenhaltens zukünftiger Entscheidungsmöglichkeiten durch Robuste Planung bei FRIEND (1973), S. 171, 172 u. 174f.; ROSENHEAD (1980b), S. 331, und BEST, G. (1986), S. 463 ("try to keep options open"), 466, 472 u. 474. ROSENHEAD (1980a), S. 213f., stellt heraus, daß der Flexibilitätsbegriff mit dem Offenhalten von zukünftigen Entscheidungs- und Handlungsspielräumen notwendig verknüpft sei (S. 213: "keeping options open" und S. 214: "flexibility means opportunities for taking future decisions ... flexible planning ... should accept the uncertainty of future states, attempt to keep options open ... The prudent organisation should ... preserve future options."). Schließlich möchte auch STAUDT (1979a), S. 69, Planung "nicht ... als eine die Zukunft fixierende Tätigkeit, sondern als offene Planung" verstehen (ohne Bezug auf robuste Planungsansätze). Vgl. auch am Rande WOLF, J. (1989), S. 88ff. i.V.m. Fn. 61 auf S. 89. Allerdings wird dort der Aspekt des *Offenhaltens* von Spielräumen weniger deutlich. Immerhin klingt dieser Gesichtspunkt noch an, wenn WOLF, J. (1989), S. 90, abschließend Flexibilität als "Weite des Aktionsspielraums künftiger ... Entscheidung" definiert.

14) Dies entspricht der Intention, für Prozeßkoordinierungen in Flexiblen Fertigungssystemen solche Koordinierungskonzepte zu betrachten, welche die immanente Systemflexibilität nicht künstlich verengen.

15) Es wurde schon herausgestellt, daß sich die Ausstrahlungen auf spätere Entscheidungsmöglichkeiten bei vertikalen Ereignisabhängigkeiten grundsätzlich nicht umgehen lassen. Daher liegen keine wirkungsfreie, sondern nur wirkungsminimale Spielraumschließungen vor.

16) Darüber hinaus verdeutlicht das Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließungen nochmals die Fruchtbarkeit der hier zugrundegelegten system- und entscheidungstheoretischen Strukturierung von Koordinierungsproblemen. Denn sein Verbot von Entscheidungsbindungen ist im Kontext anderer - konventioneller - Konzeptualisierungen von Koordinierungsproblemen nicht üblich. Auf einen besonderen Ansatz, aus dem sich das Verbot ebenso ablesen läßt, wird später hingewiesen. Bei dieser "opportunistischen" Prozeßkoordinierung handelt es sich aber - zumindest in betriebswirtschaftlichen Argumentationskontexten - auch um keine etablierte Konzeptualisierungsform. Schließlich wird die Rechtfertigung des hier entwickelten revidierten Planungsverständnisses dazu führen, auf stochastische Modellierungen von Koordinierungsproblemen grundsätzlich zu verzichten. Auf diese Weise wirkt sich das Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließungen nicht nur auf das Treffen von Koordinierungsentscheidungen, sondern auch auf das Konstruieren von Koordinierungsmodellen aus. Da in dieser Arbeit der Modellkonstruktion großes Gewicht zugemessen wurde, erlangt das Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließungen aus dieser stochastischen Perspektive besondere Bedeutung.

17) Zunächst wird das Konzept der Flexiblen Planung von den nachfolgenden - kritischen - Ausführungen zum konventionellen Planungsverständnis ausdrücklich ausgenommen. Denn dort werden zukünftige Entscheidungsspielräume nicht durch unnötiges Festlegen von Entscheidungsalternativen vorzeitig geschlossen. Statt dessen wird aus jedem dieser Spielräume nur eine Entscheidungsalternative als "Eventualplan" ausgewählt unter der aufschiebenden Bedingung, daß der spielraumzugehörige Systemzustand tatsächlich erreicht wird. Ob dies tatsächlich der Fall sein wird, bleibt jedoch offen. Zukünftige Entscheidungsspielräume werden daher nicht vorzeitig, sondern nur bedingt "geschlossen". Diese bedingte Spielraumschließung besitzt aber die Qualität eines Offenhaltens zukünftiger Ent-

scheidungsspielräume. Denn es wird im Rahmen der Flexiblen Planung nicht vorweggenommen, welcher der zukünftig zulässigen Systemzustände tatsächlich eintreten wird. Daher bleiben die zustandsspezifischen Spielräume so lange erhalten, wie die jeweils betroffenen zukünftigen Systemzustände weder verwirklicht noch unzulässig geworden sind. Dieses Offenhalten zukünftiger Entscheidungsspielräume wurde bereits in einer früheren Anmerkung herausgestellt.

In dem Ausmaß, in dem das zukünftige Verhalten eines Systems noch nicht feststeht, erfolgen also auch keine Entscheidungsbindungen bezüglich zukünftig auszuwählender Entscheidungsalternativen. Daher werden seitens der Flexiblen Planung keine zukünftigen Handlungsweisen geistig vorweggenommen. Statt dessen plant sie nur die *gegenwärtige* Handlungsweise im Angesicht zukünftiger Handlungsmöglichkeiten (und ihrer Wirkungen). Diesen ausschließlichen Gegenwartsbezug der Planfixierung stellen z.B. WITTMANN (1959), S. 180f.; HANSSMANN (1976), S. 11 ("Der einzige Zweck der Planung ist, *gegenwärtige* Aktionen zu beeinflussen und zu lenken."); Unterstreichung im Original hier kursiv) i.V.m. S. 4 (Flexibilität der Planung); HELLOWIG, K. (1989b), S. 404; LAUX (1991), S. 252, 256 u. 279, heraus. Deshalb fällt die Flexible Planung nicht mit dem oben angeführten konventionellen Planungsverständnis zusammen. Folglich kann der Verf. auch nicht den Einwendungen SCHNEIDER's folgen, die Flexible Planung unterscheidet sich in keiner Weise von der gewöhnlichen - "starrten" - Planung (vgl. dazu die voranstehend angegebenen Quellen). Insbesondere trifft das Argument von SCHNEIDER, D. (1971), S. 850, nicht zu, daß eine Flexible Planung bei jeder neu eintreffenden Information - wie im Fall konventioneller starrer Planung - revidiert werden müßte. Dies verkennt, daß ein Flexibler Plan offen ist gegenüber dem nachträglichen Erwerb von Informationen darüber, welcher von mehreren zukünftig zulässigen Systemzuständen tatsächlich eingetreten ist.

Das zuvor skizzierte Konzept der Flexiblen Planung entspricht hinsichtlich seines Offenhaltens zukünftiger Entscheidungsspielräume dem revidierten Planungsverständnis, das an anderer Stelle angesprochen wird. Daher könnte den anschließenden Überlegungen hinsichtlich einer Revision des konventionellen Planungsverständnisses vorgeworfen werden, sie seien angesichts der Verfügbarkeit Flexibler Planung überflüssig. Dieser prima facie naheliegenden Folgerung schließt sich der Verf. jedoch aus vier Gründen nicht an.

Erstens betont die Flexible Planung nur den Aspekt, zukünftige Entscheidungsspielräume nicht durch unnötige Entscheidungsbindungen vorzeitig zu schließen. Der komplementäre Aspekt, anpassungsmaximale Spielräume zu identifizieren, findet im Rahmen der Flexiblen Planung jedoch keine Beachtung. Dies klingt auch bei WOLF, J. (1989), S. 88f., an. Dabei unterscheidet er deutlich die "Planung von Flexibilität" (S. 88), die auf die Ausgestaltung der Weite von Anpassungsspielräumen abzielt, von der Flexiblen Planung, die sich lediglich mit der Handhabung von fest vorgegebenen Anpassungsspielräumen befaßt. LAUX (1990b), S. 54, spricht sich im Rahmen der Flexiblen Planung sogar explizit gegen (anpassungs-)maximale Spielräume aus. Daher bevorzugt der Verf. die Formulierung eines Planungskonzepts, das beide Antipoden - anpassungsmaximale Spielraumidentifikation und wirkungsminimale Spielraumschließung - gleichberechtigt gegenüberstellt. Allerdings handelt es sich nur um ein "ästhetisierendes" Argument. Denn es muß eingeräumt werden, daß sich die Erkenntnis möglichst großer Anpassungsspielräume auch mit der Flexiblen Planung implizit vereinbaren läßt (sofern ihr nicht - wie von LAUX explizit widersprochen wird).

Zweitens setzt die Flexible Planung eine *azyklische* dynamische Struktur derjenigen Koordinierungsmodelle voraus, zu deren Lösung sie eingesetzt wird. Denn die Koordinierungsmodelle müssen sich als Entscheidungsbäume darstellen lassen, um die Lösungstechniken der Flexiblen Planung anwenden zu können. Auf Entscheidungsbäume und entsprechende Lösungstechniken wird in dieser Arbeit noch zurückgekommen; vgl. ebenso die o.a. Quellen zur Flexiblen Planung. Hierbei handelt es sich um eine harte Konzeptualisierungsprämisse hinsichtlich der abgedeckten Koordinierungsprobleme. In späteren Ausführungen werden mehrere Aspekte von Prozeßkoordinierungen angesprochen werden, die diese Konzeptualisierungsprämisse *nicht* erfüllen. Dazu gehören z.B. die Untersuchung der Reversibilität des Systemverhaltens oder das Verfangen von Systemprozessen in unerwünschten Endlosschleifen (Livelocks). Solche Aspekte der Prozeßkoordinierung lassen sich mit der Hilfe von Entscheidungsbäumen, die von den Lösungstechniken der Flexiblen Planung präsupponiert werden, grundsätzlich nicht Konzeptualisieren. Demgegenüber schränkt die hier thematisierte Revision des konventionellen Planungsverständnisses nicht in impliziter Weise die dynamische Struktur der zulässigen Koordinierungsmodelle ein. Vielmehr wird später ihre Vereinbarkeit mit dem Konzept der Erreichbarkeitsgraphen aufgezeigt. Ihre Auswertungstechniken gestatten es, die vorgenannten Koordinierungsprobleme für Netzmodelle mit beliebigen dynamischen Strukturen zu bearbeiten. Allerdings räumt der Verf. ein, daß das voranstehende zweite Argument nicht generell gegen das Planungsverständnis der Flexiblen Planung spricht. Es wendet sich nur gegen die - allgemein übliche - Verknüpfung der Flexiblen Planung mit Lösungstechniken, die auf dem Konzept der Entscheidungsbäume basieren. Es könnte zwar eingewendet werden, daß die Flexible Planung auch ohne Entscheidungsbäume auskommt. Die dann eingesetzte Lösungstechnik der Linearen Programmierung greift aber auch auf eine baumartige Problemkonzeptualisierung zurück, die in der Gestalt von Zustandsbäumen vorausgesetzt wird; vgl. LAUX (1971), S. 51ff., insbesondere S. 58; HAX, H. (1985), S. 172ff. u. 188ff.; HAX, H. (1988), S. 219ff.; KRUSCHWITZ (1990), S. 291; MARTIN, R.K. (1990), S. 128f. u. 132ff.; LAUX (1991), S. 262ff., 270ff. u. 278. Bezüglich jener Zustandsbäume gelten die gleichen Vorbehalte wie gegenüber den vorgenannten Entscheidungsbäumen, da beide die gleiche dynamische Systemstruktur involvieren. Die fortbestehende Azyklizität wird besonders deutlich bei MARTIN, R.K. (1990), S. 128f. u. 133ff. (Theorem 1 und Corollary 1).

Drittens beruht die Flexible Planung zumeist auf der zusätzlichen Informationsprämisse, daß eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Eintreten derjenigen Situationen (Systemzustände) bekannt ist, für welche die Eventualpläne jeweils vorgesehen sind. Dadurch erhalten die Koordinierungsmodelle der Flexiblen Planung einen stochastischen Charakter. Vgl. zur üblichen Verknüpfung der Flexiblen Planung mit Eintrittswahrscheinlichkeiten LAUX (1971), S. 18; JACOB, H. (1974), S. 303 u. 404; DINKELBACH (1989a), Sp. 511 ("... setzt die flexible Planung im allgemeinen insbesondere die Kenntnis der Wahrscheinlichkeitsfunktionen ... voraus ... Nur auf diese Weise können bei der Lösung ... optimale Erwartungswerte der Zielfunktionen ... gebildet werden."); SCHNEEWEIS, C. (1989b), S. 9 (er identifiziert Flexible Planung mit "stochastischer Dynamischer Optimierung"), S. 11 (Abschwächung durch BAYES-Schätzungen), S. 13 u. 15f.; SCHEER (1990c), S. 60f.; KISTNER (1990c), S. 17 ("Eine flexible Planung setzt ein stochastisches Modell voraus; für jede mögliche Datenkonstellation müssen deren Wahrscheinlichkeit ... bekannt sein."); KRUSCHWITZ (1990), S. 285; LAUX (1991), S. 252ff. Mittelbar wird die Informationsprämisse dadurch bestätigt, daß die o.a. Entscheidungsbäume in der Regel durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen überlagert werden; vgl. SCHWARZE, J. (1990), S. 240; GÖTZE, U. (1991), S. 329; PERRIDON (1991), S. 127. Der Verf. vertritt hingegen die Ansicht, daß diese Informationsprämisse für die denkmöglichen Produktionssituationen bei der Prozeßkoordination in komplexen Produktionssystemen gemeinhin nicht erfüllt ist. Dies wird er in Kürze näher ausführen. Dann scheidet aber die stochastische Konzeptualisierung von Koordinierungsmodellen aus. Entsprechend muß auf die Flexible Planung verzichtet werden, sofern sie die Kenntnis von Eintrittswahrscheinlichkeiten für alle Produktionssituationen voraussetzt. Darauf scheint auch DELFMANN (1989a), S. 222, abzielen, wenn er auf die "mangelnde Operationalität" der Flexiblen Planung angesichts ihrer "hohen informatorischen Anordnungen" verweist. In ähnlicher Weise wird in KISTNER (1990c), S. 17, vom Scheitern der flexiblen Planung in "komplizierteren Fällen" gesprochen. SCHEER (1990c), S. 61, weist darauf hin, daß sich auch die Eintrittswahrscheinlichkeiten im Zeitablauf verändern können und damit die Informationsprämisse Flexibler Planung ungültig werden lassen. Die Flexible Planung ist allerdings an die stochastische Problemkonzeptualisierung nicht notwendig gebunden. Daher richtet sich das dritte Argument auch nicht gegen die Flexible Planung schlechthin, sondern nur gegen ihre vorherrschende stochastische Ausgestaltung. Statt dessen lassen sich auch Lösungstechniken vorstellen, die keine Eintrittswahrscheinlichkeiten als bekannt unterstellen. Beispielsweise ist es möglich, in Entscheidungsbäumen zunächst aus alternativen Produktionssituationen alle bis auf eine schlechtestmögliche auszublenden und danach im resultierenden quasi-deterministischen Entscheidungsbaum eine bestmögliche (globale) Entscheidungsalternative zu konstruieren. Auf die Anwendung einer solchen "Max/Min-Lösungstechnik", wie sie sich etwa im Rahmen der nonkooperativen Spieltheorie oftmals findet, ist dem Verf. im Rahmen der Flexiblen Planung jedoch noch nicht gestoßen. Bezeichnend ist, daß WITTMANN (1959), der das Konzept der Flexiblen Planung vertritt, zwar ein solches "Max/Min"-Kriterium explizit für Entscheidungen unter Unsicherheit erörtert (S. 151ff.), aber an keiner Stelle für die Lösung eines Problems Flexibler Planung einsetzt. Eine andere Variante der Flexiblen Planung, die ohne Eintrittswahrscheinlichkeiten auskommt, ist die Alternativ- oder Eventualplanung; vgl. KERN, W. (1988), S. 163. Allerdings widmet sie sich nicht dem hier interessierenden Aspekt des *Auswahl* zwischen Koordinierungsalternativen.

Viertens muß zu denken geben, daß die Flexible Planung bislang in keinem nennenswerten Ausmaß eingesetzt worden ist, um Aufgaben bei der Prozeßkoordination in komplexen Produktionssystemen - insbesondere Flexiblen Fertigungssystemen - zu erfüllen. Es ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, den Gründen für dieses Phänomen detailliert nachzuspüren. Nur zwei Verdachtsmomente werden hier exemplarisch angeführt. Erstens könnte die einseitige Betonung des Offenhaltens zukünftiger Entscheidungsspielräume beim *Lösen* dynamischer Koordinierungsprobleme dazu führen, daß die *Konzeptualisierung* aller koordinierungsrelevanten Zustände von Flexiblen Fertigungssystemen und der zugehörigen zustandsspezifischen Entscheidungsspielräume seitens der Flexiblen Planung zu wenig Aufmerksamkeit erfährt. Flexible Fertigungssysteme zeichnen sich jedoch gerade durch die Vielfalt ihrer Anpassungsmöglichkeiten an veränderte Produktionssituationen aus. Daher erfordert ihre realitätsnahe Modellierung, die Systemzustände und Entscheidungsspielräume mit großer Sorgfalt abzubilden. Dies spricht zwar nicht grundsätzlich gegen die Flexible Planung. Denn sie ist als ein Konzept für die Lösung von Koordinierungsproblemen nicht für die zugrundeliegende Problemkonzeptualisierung zuständig. Doch könnte die oftmals anzutreffende Verquickung von Modellkonstruktion und -lösung dazu verleiten, auf das Lösungskonzept der Flexiblen Planung schon deswegen zu verzichten, weil es zumeist nur auf Koordinierungsmodelle mit einer relativ einfachen dynamischen Struktur angewendet wird. Vgl. dazu die Beispiele aus den Quellen, die oben zur Flexiblen Planung angeführt wurden. Die dort bearbeiteten Entscheidungsbäume reichen bei weitem nicht an die Komplexität der Prozeßkoordination in Flexiblen Fertigungssystemen heran, wie sie etwa in der Fallstudie dieser Arbeit exemplarisch verdeutlicht wird. Vgl. auch die Kritik von BLOHM (1988), S. 305, die Demonstrationsbeispiele Flexibler Planung seien allzu simpel strukturiert. Aber selbst diese - relativ einfache - Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen scheint noch so hoch auszufallen, daß die Flexible Planung im Bereich Flexibler Fertigungssysteme auf keine Akzeptanz stößt. Dies könnte - so das zweite Verdachtsmoment - auf dem optimierenden Lösungsansatz der Flexiblen Planung beruhen. Er erfordert Lösungsalgorithmen der Dynamischen Programmierung (oder äquivalente Lösungstechniken). Sie werden seitens der Modellierungspraxis im allgemeinen als "zu aufwendig" abgelehnt. Dies wird bei RAMAN (1989b), besonders deutlich. Er entwickelt für die Prozeßkoordination in Flexiblen Fertigungssystemen zunächst ein theoretisches Koordinierungsmodell auf dem Fundament der Dynamischen Programmierung (S. 27). Sodann reduziert er es aber auf einen konventionellen nicht-dynamischen Programmierungsansatz (S. 14, 20

u. 28), weil er es für unrealistisch hält, das erstgenannte theoretische Modell für praktische Koordinierungsprobleme tatsächlich lösen zu wollen (S. 28: "[it] suffers from the 'curse of dimensionality', and from not providing a feasible solution prior to complete generation of the state space."; Zusatz [...] durch den Verf.). Auch SCHNEBEWEIß, C. (1989b), S. 13, erwähnt das Problem eines "exorbitanten Rechenaufwandes". Vgl. ebenso zum hohen Aufwand der Flexiblen Planung KRUSCHWITZ (1990), S. 290f.

Die voranstehenden Ausführungen lassen erkennen, daß die Flexible Planung nicht grundsätzlich ausgegrenzt wird. Vielmehr stellt sie eine wichtige Komponente desjenigen Hintergrundwissens dar, das im Bezugsrahmen für die Entfaltung des Petrinetz-Konzepts vorausgesetzt wird. Es werden lediglich Vorbehalte gegenüber denjenigen "üblichen" Ausprägungen Flexibler Planung vorgetragen, die in den o.a. Quellen belegt sind. Wenn von den zuvor angesprochenen Besonderheiten dieser Planungsausprägungen abgesehen wird, kann das hier skizzierte Planungskonzept mit seinen Geboten anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierung und wirkungsminimaler Spielraumschließung durchaus als eine Reformulierung des bereits bekannten Grundkonzepts Flexibler Planung betrachtet werden. Ein Aspekt dieser Ausarbeitung liegt dann darin, die erkenntnisbefruchtende, heuristische Kraft dieser Reformulierung auszuloten. Als pars pro toto wird auf das bereits angesprochene, später detaillierter ausgeführte Konzept der Erreichbarkeitsgraphen verwiesen. Es läßt sich als eine *Bereicherung* der Flexiblen Planung begreifen, das sie von der strukturellen Einschränkung ihrer konventionellen Lösungstechniken auf Entscheidungsbäume befreit. Daher stellen die hier vorgelegten Ausführungen keine Alternative, sondern eine konzeptionelle Fortentwicklung der Flexiblen Planung dar. Darüber hinaus wird aber auch in praktischer Hinsicht angestrebt, das Konzept der Flexiblen Planung konkreten Anwendungen näherzubringen. Denn sie leidet - wie bereits im o.a. vierten Argument angedeutet - derzeit immer noch darunter, daß sie kaum zur Lösung konkreter Problemstellungen eingesetzt wird. Dies hat jüngst DINKELBACH (1989a), Sp. 511, noch einmal deutlich herausgestellt. Ihm zufolge "muß flexible Planung mehr als ein Planungskonzept, d.h. eine Idee, ein Planungsproblem strukturell zu durchdringen, denn als ein ausgefeiltes, jederzeit einsetzbares Planungsinstrument gesehen werden." Die späteren Ausführungen zum Petrinetz-Konzept werden hingegen so weit vorangetrieben, daß auf ihrer Grundlage die Bearbeitung praktischer Koordinierungsprobleme keine Schwierigkeiten mehr bereiten sollte. Dabei tragen zur Operationalisierung des netzgestützten Modellierungskonzepts insbesondere bei: die Transformationsmethoden zur Ableitung von Netzmodellen aus natürlichsprachlichen Problemschreibungen, die Methoden zur Konstruktion und (optimierenden) Auswertung von Erreichbarkeitsgraphen sowie die Vorbereitungen zur Implementierung von Netzmodellen mit Hilfe der Automatischen Informationsverarbeitung.

Vgl. zu ausführlicheren Darstellungen der Flexiblen Planung HART, A. (1951), S. 51ff., insbesondere S. 55ff. (als konzeptioneller Vorläufer); WITTMANN (1959), S. 158f. u. 178ff., insbesondere S. 181 u. 187ff.; LAUX (1969), S. 728ff., insbesondere S. 737ff.; LAUX (1971), S. 13ff., insbesondere S. 17ff.; HAX, H. (1972), S. 318ff.; HAX, H. (1974), S. 82ff.; WILD (1974), S. 77ff. u. 145; HAX, H. (1985), S. 165ff.; HAX, H. (1988), S. 217ff.; BLOHM (1988), S. 304ff.; KERN, W. (1988), S. 163 (dort als Alternativ- oder Eventualplanung); DINKELBACH (1989a), Sp. 510f.; HELLWIG, K. (1989b), S. 404ff.; KRUSCHWITZ (1990), S. 285ff.; LAUX (1991), S. 249ff. u. 322ff. Vgl. auch - allerdings in kritischer Auseinandersetzung - SCHNEIDER, D. (1971), S. 831ff.; SCHNEIDER, D. (1972), S. 456ff.

18) Eine Handlungsweise entspricht bei der hier verfolgten system- und entscheidungstheoretischen Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen entweder dem Entscheidungshandeln, in einem lokalen Spielraum eine Ereignismenge als Entscheidungsalternative auszuwählen. Oder die Handlungsweise wird mit jenen Teilprozessen (Arbeitsgängen, Anpassungsmaßnahmen o.ä.) identifiziert, deren Ausführungen durch die vorgenannte Auswahl einer Ereignismenge angestoßen werden. Im zweiten Fall werden genau jene Teilprozeßausführungen angestoßen, deren Startereignisse in der ausgewählten Ereignismenge vorkommen und daher im aktuellen Systemzustand geschehen.

19) Als Handlungsmöglichkeiten werden - im Sinne der voranstehenden Anmerkung - alle Handlungsweisen angesehen, die zulässige Entscheidungsalternativen aus zukünftigen lokalen Spielräumen darstellen bzw. Startereignisse von Teilprozessen bilden, deren Geschehnisse in den vorgenannten Spielräumen zulässig sind.

20) Mit Handlungswirkungen sind hier erstens alle Beeinflussungen gemeint, die Handlungsweisen aufgrund horizontaler oder vertikaler Ereignisabhängigkeiten aufeinander auszuüben vermögen. Hinzu kommen zweitens alle Wirkungen, welche die Verwirklichung einer Handlungsmöglichkeit auf die Erfüllung des jeweils vorausgesetzten Sach- und Formalzielsystems ausübt.

21) Vgl. zu diesem konventionellen Planungsverständnis HAX, K. (1959), S. 606 ("Planung ist die gedankliche Vorewegnahme zukünftigen Geschehens"; ebenso auf S. 611); WITTMANN (1959), S. 211 (distanziert); HEIBEY (1977), S. 182; ADAM, D. (1983b), S. 11; KNOOP (1986), S. 51; KERN, W. (1988), S. 148; FRESE (1989c), S. 169; KERN, W. (1990a), S. 71.

22) Der Verf. verkennt nicht, daß sich konventionelle Planungsansätze auch auf Satisfizierungs- oder Meliorisierungsziele erstrecken können. Für solche suboptimalen Ansätze gelten die nachfolgenden Anmerkungen jedoch analog, wenn auch in abgeschwächter Weise. Denn auch solche Pläne, mit denen "nur" Satisfizierungs- oder Meliorisierungsziele erfüllt werden sollen, werden im Lichte des konventionellen Planungsverständnis als verbindliche Handlungsanweisungen behandelt. Darüber hinaus stützen sich weitaus die meisten Arbeiten, die sich mit betriebs-

wirtschaftlichen Planungskonzepten befassen, auf die Verwendung von Optimierungszielen. Darauf wurde schon früher im Zusammenhang mit der sonst üblichen Vorliebe für Optimierungsmodelle hingewiesen.

23) Es werden nur diejenigen Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen "erwartet", die ein Entscheidungsträger aufgrund seiner Konzeptualisierung des Koordinierungsproblems für relevant erachtet. Bei den anderen, unerwarteten Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen kann es sich entweder um solche handeln, die der Entscheidungsträger zwar für möglich, aber auch für irrelevant erachtet. Oder sie erstrecken sich auf Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen, die der Entscheidungsträger überhaupt nicht in Betracht gezogen hat. Die Einschränkung auf "erwartete" Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen berücksichtigt u.a. die Vorgabe eines endlichen Planungshorizonts. Alle zukünftigen Handlungsaspekte, die jenseits dieses Planungshorizonts liegen, werden von vornherein als irrelevant ausgegrenzt. Diese spezielle Auslegung von "zukünftig erwarteten" Möglichkeiten und Wirkungen wird fortan stets vorausgesetzt, wenn auf Vorausschau- und Vollständigkeitsprobleme eingegangen wird.

24) Würde mindestens eine zukünftige Handlungsmöglichkeit oder -wirkung nicht als Entscheidungsalternative bzw. als Alternativenbewertung berücksichtigt, obwohl sie der Entscheidungsträger als relevant erachtet, so könnte die Optimalität eines Planungsergebnisses nicht garantiert werden. Denn gerade jene eine unberücksichtigte zukünftige Entscheidungsalternative könnte ein notwendiger Bestandteil des Planungsoptimums sein. Die Notwendigkeit, zukünftig relevante Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen *vollständig* zu erfassen, wird im Rahmen des konventionellen Planungsverständnisses zumeist nicht deutlich ausgesprochen. Statt dessen herrscht nur ein allgemeiner Zukunftsbezug vor; vgl. dazu die Hinweise zum Vorausschaucharakter konventioneller Planung und zur zukunftsgerichteten Planverbindlichkeit. Die erforderliche Vollständigkeit der Zukunftserfassung wird jedoch - in kritischer Distanz - von WILLIAMSON, O. (1990), S. 35 u. 65, klar herausgestellt.

25) Wäre eine Koordinierungsalternative unvollständig formuliert, so könnte sie auf zwei Weisen die Erkenntnis des Planungsoptimums verhindern. Entweder gehört die unvollständige Alternative nicht zu denjenigen Koordinierungsalternativen mit den besten bekannten Formalzielerfüllungen. Dann kann nicht ausgeschlossen werden, daß die Vervollständigung der Alternative eine der gesuchten, aber unbekanntesten optimalen Koordinierungsalternativen ist. Oder die unvollständige Alternative zählt zu denjenigen Koordinierungsalternativen mit den besten bekannten Formalzielerfüllungen. Dann läßt sich nicht ausschließen, daß die spätere Alternativenvervollständigung insgesamt zu einer schlechteren Formalzielerfüllung führt als mindestens eine andere bekannte vollständige Koordinierungsalternative.

26) Der Vorausschaucharakter konventioneller Planung wird schon bei HAX, K. (1959), S. 606, deutlich, der Prognosen als konstitutives Element jeder Planung ansieht. Vgl. auch KOSIOL (1967), S. 79 ("Die Planung ist im Kern als *prospektives* Denkhandeln aufzufassen, in dem eine *geistige Vorwegnahme* und Festlegung zukünftigen Tathandelns erfolgt."; kursive Hervorhebungen durch den Verf.); WILD (1974), S. 13 ("Planung ist stets zukunftsbezogen", so daß sie "im wesentlichen auf Prognosen fußt"); KOCH, H. (1977b), S. 12 (Antizipationscharakter der Planung) u. 13f. (Planung als vorausschauende Anpassung an zukünftig erwartete Entwicklungen); ROSENHEAD (1980a), S. 210 ("The most influential methodology of planning ... puts its emphasis on prediction and certainty ..."); ADAM, D. (1983b), S. 11 ("Planung als gestaltendes Denken für die Zukunft"; kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen); REIB (1989), Sp. 1629 ("prospektive Ausrichtung"); FRESE (1989c), S. 169; KLEIN, S. (1989), S. 4, 109 u. 195, der Planung grundsätzlich auf eine Antizipation zukünftiger Entwicklungen zurückführt; JACOB, H. (1990), S. 385. Vgl. darüber hinaus die Hinweise zur zukunftsbezogenen Planverbindlichkeit.

27) Die Globalität konventioneller Planung betonen z.B. LINDBLOM (1959), S. 80 ("comprehensiveness of overview") u. 81; ROSENHEAD (1980a), S. 210 ("comprehensive planning"), und BEST, G. (1986), S. 463 ("Problems are formulated as static, in the sense that they are to be solved *in toto* at one point in time."; kursive Hervorhebung im Original). Vgl. des weiteren GUTENBERG (1983), S. 151, der auf möglichst vollständigen, lückenlosen Plänen insistiert. Darauf beruft sich auch BORMANN (1978), S. 106. Vgl. ebenso den kritischen Hinweis von WILLIAMSON, O. (1990), S. 35 u. 65, daß konventionelles Planen darauf angewiesen sei, "alle Eventualitäten" von vornherein vollständig zu berücksichtigen (kursive Hervorhebung durch den Verf.).

28) Diese zukunftsbezogene Planverbindlichkeit wird oftmals hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Qualität konventioneller Planung nicht ausdrücklich gewürdigt. Offen zu Tage tritt sie hingegen bei MIEFFERT (1969), S. 784: "Jede Entscheidung findet zwar in der Gegenwart statt, sie führt indes zu *Festlegungen* und *unwiderruflichen* künftigen Auswirkungen. Jede Entscheidung ... bindet ..." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Ähnlich spricht HAX, K. (1966), S. 452, vom "Charakter des Planes als eines Solls, das für die ausführenden Organe *vollzugsverbindlich* ist ... Für die ausführenden Kräfte hat der Plan insofern Zwangscharakter." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). HELBERG (1987), S. 150, hebt als Charakteristikum aller konventionellen PPS-Systeme hervor: "Das übliche ... PPS-Konzept unterstellt, daß in der industriellen Produktion folgende Prämissen gelten: ... Der ... Durchlauf der Aufträge durch die Fertigung ist determinierbar, d.h. ... vorausplanbar." und zieht daraus die Konklusion: "Produziert wird nur das, was geplant ist."

Vgl. des weiteren zum zukunftsfixierenden Charakter konventioneller Planung HAX, K. (1959), S. 607 ("wird der Plan zum ... Befehl, der der Ausführung harrt"); KOSIOL (1967), S. 79 ("Die Planung ist im Kern als *prospektives* Denkhandeln aufzufassen, in dem eine *geistige Vorwegnahme* und *Festlegung* zukünftigen Tathandelns erfolgt.");

kursive Hervorhebung durch den Verf.); KERN,W. (1967), S. 117f. ("Zukünftige Ereignisse ... hinsichtlich eines zeitlichen Nacheinander zu *fixieren*, ... ist ein Komplex, der zu den wesentlichsten Anliegen der Ablauforganisation gehört." (kursive Hervorhebung durch den Verf.); ULRICH,H. (1975), S. 17; ADAM,D. (1979), S. 380 ("Planung ... legt künftiges Handeln ... fest."; Fettdruck im Original hier unterlassen); WITTE,T. (1979a), S. 48 ("Einen Plan machen bedeutet, zukünftige Handlungen und Tätigkeiten festzulegen."); STAUDT (1979a), S. 80ff., insbesondere S. 82 (distanziert); ADAM,D. (1980d), S. 48; ROSENHEAD (1980b), S. 339 ("planning as colonization of the future", SANDBERG zitierend); ADAM,D. (1983a), S. 484; KERN,W. (1990a), S. 306 ("Die Erstellung der für die ausführenden Organe verbindlichen Vorgaben obliegt ... einem eigenständigen Planungsprozeß, der Terminfeinplanung" (Fettdruck im Original hier unterlassen); HANSSMANN (1990), S. 262 ("Die Entscheidungen des ersten Planjahres sind jeweils verbindlich.") u. 333 ("Zementierung der Planung"); JACOB,H. (1990), S. 386.

Das Festlegen zukünftiger Handlungsweisen durch gegenwärtige Planungsentscheidungen klingt auch im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch durch die Formulierung des "commitment" an, das die Selbstbindung eines Planungsträgers an das Ergebnis seiner Planungstätigkeit zur Geltung bringt. Besonders deutlich wird der Aspekt der Verbindlichkeit konventioneller Planungen bei ROSENHEAD (1980a), S. 209: "The failure of the planning process to produce plans which can *respond flexibly* to changed circumstances is well documented." Als Grund für diese Planverfestigung identifiziert er: "... the mechanism by which *premature specificity* and *commitment* are generated in ... planning" (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Von ROSENHEAD (1980a), S. 210ff., wird ausführlich dargelegt, warum diese inflexibilitätsverursachende Planverbindlichkeit in konventionellem Planungsdenken zutiefst verwurzelt ist. Seine wohlfundierte Argumentation verdeutlicht, daß sich der substantielle Kern von Planungshandeln gewöhnlich flexibilitätsfeindlich verhält: Es wird versucht, Turbulenzen in der Umwelt einer Unternehmung so weit abzubauen oder abzuschirmen, daß unternehmungsintern unter weitgehend - aber künstlich - stabilisierten Planungsbedingungen gehandelt werden kann. Pointiert faßt ROSENHEAD (1980a), S. 210, diese Einschätzung so zusammen: "Planners and planning theorists may pay lip-service to the need for flexibility. But very practical needs of planning organisations are served by its reverse". Vgl. zum verbindlichkeitsstiftenden Charakter des Phänomens "commitment" z.B. auch LEE,Y. (1990), S. 1106 u. 1108.

29) Es wird hierbei unterstellt, daß ein prozeßkoordinierender Plan im aktuellen Zustand des jeweils betrachteten Produktionssystems aufgestellt und freigegeben wird. Die eingeplanten Handlungsweisen beziehen sich daher auf alle Entscheidungsalternativen, die im aktuellen Systemzustand und in seinen Folgezuständen ergriffen werden sollen. Vgl. dazu auch ROSENHEAD (1980a), S. 210. Diejenige Handlungsweise, durch die der Spielraum im aktuellen Systemzustand geschlossen wird, ist jedoch unstrittig, da sie zur Fortsetzung der Produktionsprozesse im Produktionssystem auf jeden Fall erforderlich ist. Für die hier interessierenden Entscheidungsbindungen des konventionellen Planungsansatzes interessieren lediglich jene Handlungsweisen, die Spielräume von nachfolgenden Systemzuständen durch die vorzeitige Festlegung der dort zu ergreifenden Entscheidungsalternativen schließen. Daher werden hier nur die letztgenannten Handlungsweisen als "zukünftige" Handlungsweisen thematisiert.

30) Vgl. ROSENHEAD (1972), S. 427 ("robustness analysis will favour the rejection of unnecessary or premature commitment to decisions"); ROSENHEAD (1980a), S. 209, und ROSENHEAD (1980b), S. 331 ("premature ... commitment").

31) Vgl. zu diesem vorzeitigen Verzicht auf künftige lokale Entscheidungsspielräume ROSENHEAD (1980a), S. 211 ("All these factors tend to discourage sectoral attempts to revise particular decisions.").

Es besteht zwar immer die Freiheit, früher getroffene Entscheidungsbindungen nachträglich zu widerrufen, wenn eine unerwartete Produktionssituation derart eintritt, daß gilt: Das Anpassungspotential des betrachteten Produktionssystems würde eine andere und wirtschaftlich vorteilhaftere Entscheidungsalternative zulassen, als sie bei der früheren Planung des Produktionsprozesses *ex ante* fixiert wurde. Dann kann der ursprüngliche Produktionsplan zugunsten der nunmehr vorteilhafteren Entscheidungsalternative umgestoßen werden. Dies widerspricht aber dem zugrundegelegten konventionellen Planungsverständnis, dem zufolge Planen in der *Festlegung zukünftiger Handlungsweisen* besteht. Daher bedeutet jede nachträgliche Revision von Entscheidungsbindungen eine zeitliche Inkonsistenz des Entscheidungsträgers. In dieser Arbeit wurde jedoch der Konsistenznorm für die Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen großes Gewicht zugemessen. Daher wird hier die Denkmöglichkeit des zeitlichen Selbstwiderspruchs durch Widerrufen von Entscheidungsbindungen nicht weiter beachtet. Vgl. dagegen zur Vertiefung des Phänomens zeitlicher Inkonsistenz LOEF (1989), S. 446ff.; GÄRTNER,M. (1989), S. 606f.

Durch den Hinweis auf zeitliche Inkonsistenz wird keineswegs bestritten, daß die nachträgliche Revision zuvor festgelegter Pläne vielfach üblich ist. Statt dessen wird ohne Zögern zugestanden, daß die Möglichkeit der Planrevision angesichts eines veränderten Informationsstands als Prinzip rollierender, revolvierender oder rollender Planung seit langem allgemein akzeptiert ist. Darauf wurde schon in einer früheren Anmerkung mit entsprechenden Literaturbelegen hingewiesen. Es geht hier dem Verf. jedoch um ein tieferliegendes, konzeptionelles Problem. Es betrifft die immanente Diskrepanz zwischen zwei *entgegengesetzten* Denkmustern, die beide *gemeinsam* der konventionellen Planung zugrundeliegen: Einerseits wird der Anspruch erhoben, ein Plan sei für die nachfolgende Phase der Planrealisierung *verbindlich*. Folglich sind die geplanten Objekte - z.B. die Starttermine von auszuführenden Arbeitsgängen - fixiert. Andererseits wird unterstellt, die Planinhalte könnten jederzeit *revidiert* werden, um eine Anpassung an veränderte Produktionssituationen zu ermöglichen. Das widerspricht aber der vorausgesetzten Planverbind-

lichkeit. Auch SCHNEBEWEIB, C. (1989b), S. 13, hebt hervor, daß ein "tiefgreifender Widerspruch" die "rollierend eingesetzte starre Planung" fragwürdig erscheinen lasse.

Es könnte zwar eingewandt werden, die Verbindlichkeit der Planung besitze nur bedingten Charakter, weil die Planvorgaben nur unter der Prämisse unveränderten Informationsstands fixiert seien. Doch wird durch diesen Einwurf die Widersprüchlichkeit der involvierten Denkmuster nicht beseitigt. Denn es muß entweder mit der Erfüllung oder aber mit der Verletzung der Anwendungsprämisse konventioneller Planung, der zugrundegelegte Informationsstand variere nicht, gerechnet werden. Falls die Prämisserfüllung erwartet wird, erscheint es widersinnig, sich jederzeit die Möglichkeit der Planrevision vorzubehalten. Wenn hingegen von der Prämissenverletzung ausgegangen wird, ist es ebenso widersprüchlich, einen Plan unter einem Informationsstand aufzustellen, mit dessen Nichtzutreffen bereits gerechnet wird. Aus dem voranstehend skizzierten Dilemma, das durch widersprüchliche Erwartungshaltungen hinsichtlich der Variabilität des planungsrelevanten Informationsstands konstituiert wird, existieren zwei Auswege.

Entweder es wird tatsächlich damit gerechnet, der jeweils zugrundegelegte Informationsstand verändere sich - zumindest kurzfristig - nicht. Dann ist es schlüssig, in konventioneller Weise einen verbindlichen Plan mit der Festlegung zukünftiger Handlungsweisen aufzustellen. Mit dieser Erwartungshaltung konsistent sind alle planbegleitenden Maßnahmen, die zu einer *Stabilisierung* der Planverwirklichung beitragen. Dazu gehört gerade nicht der Vorbehalt jederzeit möglicher Planrevision, sondern vielmehr das bewußte "Einfrieren" eines einmal gefaßten Plans. Dabei wird versucht, die für verbindlich erklärten Planinhalte auch dann noch zu realisieren, wenn sich die Produktionssituation anders als geplant entwickelt. Darauf wird in Kürze zurückgekommen. Ebenso können Kosten für das Verwerfen früher festgelegter Planungen angesetzt und dabei so hoch bemessen werden, daß sie sich in der Planungspraxis gegenüber denkmöglichen Planrevisionen als prohibitiv erweisen; vgl. GUPTA, S. (1968), S. B-19. Dies ist der Fall, wenn der zusätzliche Ressourceneinsatz für die Neuaufgabe entsprechender Planungsrechnungen diejenigen Verbesserungen der Erreichung von Koordinierungszielen überkompensiert, die sich durch ständige Planrevisionen gegenüber dem temporären Festhalten an eingefrorenen Produktionsplänen erzielen lassen. Vgl. dazu CARLSON, R. (1979), S. 755 ("... although the optimality of the solution ... is valuable, its price is too high - that price being the cost of changing plans.") u. 758; VOLLMANN (1984), S. 219. Allgemeingültige Nachweise für die tendenzielle Unwirtschaftlichkeit dieses Strebens, durch Planrevisionen immer wieder optimale Produktionspläne vorzulegen, sind dem Verf. zwar nicht bekannt. Doch wurde sie bereits für vereinfachte Produktionsplanungsmodelle im Kontext der Losgrößenfestlegung exakt nachgewiesen; vgl. CARLSON, R. (1979), S. 754ff., insbesondere S. 757ff.

Statt dessen kann aber auch in entgegengesetzter Weise erwartet werden, daß sich der planungsrelevante Informationsstand im Zeitablauf - auch kurzfristig - ändern wird. Dann verhält sich nur eine solche Planung konsistent, die unter dem zunächst vorliegenden Informationsstand so wenig wie nötig verbindliche Festlegungen trifft und statt dessen schon im Plan selbst Spielräume für die spätere Anpassung an nachträglich gewonnene Informationen einschließt. Dies hat HAX, H. (1972), S. 321f., als Basiskonzept der flexiblen Planung treffend zum Ausdruck gebracht: "Es genügt nicht, die Planung mit dem Fortschreiten der Zeit und der damit verbundenen Veränderung des Informationsstandes laufend zu überarbeiten und anzupassen; vielmehr müssen die Möglichkeiten einer späteren Anpassung *von vornherein* gesehen und einkalkuliert werden. ... Dem Prinzip der flexiblen Planung wird nicht schon damit entsprochen, daß die Planung laufend revidiert wird. Vielmehr muß man die Revisionsmöglichkeiten als Eventualentscheidungen *von vornherein* einplanen ..." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). In ähnlicher Weise stellt HANSSMANN (1990), S. 335, für die Robuste Planung die Forderung auf, "die Unsicherheit der Umwelt anzuerkennen und *in den Planungsprozess einzubauen*" (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Mit gleicher Strenge merkt ROSENHEAD (1980b), S. 331, an: "Without planning instruments explicitly designed to achieve flexibility, any such aspiration will remain impotent ...". Vgl. auch die ähnlichen Stellungnahmen von HART, A. (1951), S. 55; WITTMANN (1959), S. 188; GUPTA, S. (1968), S. B-19f.; BEST, G. (1986), S. 463; HINTZ (1987), S. 88 ("Der Dynamik der Problemstellung, in der ... unerwartet Störfälle auftreten können, muß durch das Planungsverfahren Rechnung getragen werden."; Fettdruck des Originals hier unterlassen); MEYER ZU SELHAUSEN (1989), Sp. 752, Punkt (8). Die letzte der zwei vorgenannten Alternativen wird auch in dieser Arbeit verfolgt. Dazu dienen die beiden Postulate, einerseits Spielräume für künftige Anpassungsmaßnahmen möglichst umfassend zu konzeptualisieren und andererseits diese Spielräume nur im jeweils unvermeidlichen Ausmaß durch "planende" Koordinierungsentscheidungen zu schließen.

Die voranstehend skizzierte Problematik der Selbstwidersprüchlichkeit läßt sich auch - in modifizierter Weise - bei konventionellen PPS-Systemen feststellen. Einerseits wird dort eine detaillierte Produktionsplanung vollzogen. Dadurch wird implizit die Prämisse akzeptiert, die Zukunft könne vorausschauend gestaltet werden. Andererseits werden korrigierende Eingriffe der Produktionssteuerung gerade dadurch gerechtfertigt, daß die Annahmen der Produktionsplanung in der betrieblichen Praxis zumeist nicht vollständig erfüllt seien. Die Produktionssteuerung wird als "Lückenbüßer" eingesetzt, um störungsbedingt ungültig gewordene Produktionspläne ad hoc zu korrigieren. Dies wird jedoch nicht zum Anlaß genommen, die vorausschauend "optimierende" Produktionsplanung selbst in Zweifel zu ziehen. Hierin offenbart sich eine eigentümliche Diskrepanz: Seitens der Produktionsplanung und -steuerung wird die Vorstellung zukunftsantizipierender Prozeßgestaltung zugleich bejaht und verneint. Besonders deutlich wird diese immanente Widersprüchlichkeit bei BECKER, J. (1978), S. 502: "Sicherlich wird in der Planung bereits eine Auftragsreihenfolge nach Prioritäten festgelegt. Bei Beginn und während der Fertigung ergeben sich jedoch so viele nicht vorausplanbare Situationen, daß eine flexible kurzfristige Vorgabesteuerung für einen reibungslosen Fer-

tigungsablauf von großer Bedeutung ist." Eine ähnliche Inkonsistenz findet sich bei DÖTLING (1981), S. 66. Obwohl DÖTLING einerseits das Erfordernis störungsbedingter Anpassungsplanungen anerkennt, gibt er sich dennoch andererseits der Illusion hin, durch eine vorausschauende Produktionsplanung könne "die Planungsqualität erhöht" werden. Denn es lasse sich eine Vielfalt von Problemeterminanten über einen großen vorausschauenden Planungshorizont hinweg berücksichtigen. Er behauptet sogar, daß sich (im Falle von Produktionsstörungen) "das Planungsergebnis nachträglich durch manuelle Eingriffe ... verbessern" lasse. Daß die angeblich hohe Planungsqualität von vorausschauend geplanten Produktionsprozessen durch Produktionsstörungen hinfällig wird, scheint DÖTLING nicht zu sehen. Warum nachträgliche "manuelle" Plankorrekturen die Planung sogar noch verbessern sollen, vermag der Verf. überhaupt nicht nachzuvollziehen, zumal wenn die vorausschauende Planung schon von so hoher Qualität gewesen sein soll.

32) Vgl. dazu auch die Quellen, die bereits zum konventionellen Planungsverständnis angeführt wurden.

33) Unsicherheit wird in dieser Arbeit grundsätzlich als der Sachverhalt verstanden, daß zwar Wissen über die Möglichkeit *mehrerer* alternativer Zukunftsentwicklungen vorliegt, jedoch *keine* Kenntnisse über die *Eintrittswahrscheinlichkeiten* dieser Entwicklungsmöglichkeiten einschließt. Dies folgt aus der weiter unten erläuterten Ausgrenzung von stochastischen Modellierungskonzepten, die ihrerseits das Wissen über solche Eintrittswahrscheinlichkeiten präsupponieren. Der Unsicherheitsbegriff fällt daher mit dem oftmals verwendeten Begriff der Entscheidung unter Ungewißheit zusammen. Vgl. zur hier bevorzugten Begriffsbildung der Unsicherheit z.B. SIEBEN (1990), S. 51; JACOB, H. (1990), S. 399.

34) Das Motiv der Unsicherheitsabsorption wird besonders deutlich bei GUTENBERG (1983), S. 148: "Die Planung ... schirmt gegen Unordnung ab, indem sie den Betriebsprozeß vorausbedenkt und versucht, ihn soweit als möglich von allen Zufälligkeiten ... frei zu halten." (ähnlich auch auf S. 7). Vgl. auch WILD (1974), S. 144 (bezüglich der bereits angesprochenen rollenden Planung); ROSENHEAD (1980a), S. 210 ("The most influential methodology of planning ... puts its emphasis on prediction and *certainty* ..."; kursive Hervorhebung durch den Verf.); FRESE (1989c), S. 173 ("Reduzierung von Ungewißheit").

35) Vgl. zur Kritik an dieser Unsicherheitsabsorption auch BEST, G. (1986), S. 463 ("Attempts are made to abolish the uncertainty in the problem environment, rather than accept it as a defining characteristic.").

36) Auf die Komplexitätsreduzierung als allgemeines Denkmuster bei der Bewältigung von komplexen Koordinierungsproblemen wurde bereits im modellierungstheoretischen Kontext hingewiesen.

37) Die *Vereinfachung* besteht in der Vernachlässigung aller Unsicherheitsaspekte nach der Planfreigabe. Dabei wird unterstellt, daß die Konzeptualisierung von unsicherheitsbehafteten Problemausschnitten grundsätzlich komplexer ausfällt als die Konzeptualisierung der gleichen, jedoch von allen Unsicherheitsfacetten befreiten Problemausschnitte. Es handelt sich um eine *künstliche* Vereinfachung, weil sie nicht aus der Koordinierungsaufgabe selbst, sondern aus Gründen der "praktischen Beherrschbarkeit" abgeleitet ist. Es wird damit nicht verkannt, daß auch zugunsten des Einfrierens von Plänen Argumente vorgetragen werden können. Vgl. dazu vor allem den Hinweis auf die vermeidenswerte Planungsnervosität. Diese Nervosität stellt aber ihrerseits keine notwendige Eigenart der untersuchten Koordinierungsaufgaben, sondern der darauf angewandten Koordinierungskonzepte dar. Beispielsweise kann sie durch verfolgte Optimierungsziele oder zu hohe Anspruchsniveaus von Satisfizierungszielen verursacht sein.

38) Abweichender Ansicht ist REIB (1989), Sp. 1633. Er besteht darauf, daß "Komplexitätsreduktion nicht mit Absicherung gleichgesetzt werden" darf (kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen). Der Verf. kann dieses kategorische Urteil allerdings inhaltlich nicht nachvollziehen.

39) Daher wendet sich der Verf. keineswegs gegen den Vorausschaucharakter konventioneller Planung.

40) Näheres dazu in Kürze. Bemerkenswert ist allerdings die modale Abschwächung von einer *notwendigen* zu einer nur noch *zulässigen* Zukunftsorientierung.

41) Vgl. REIB (1989), Sp. 1634; FRESE (1989c), S. 169; FRESE (1991), S. 3.

42) Die Unvereinbarkeit klingt auch an bei ROSENHEAD (1980a), S. 214 ("conflict between ... commitment, and the need for flexibility ... The greater the uncertainty, the more need is there for flexibility and non-commitment.").

43) Gleicher Ansicht ist BENZING (1983), S. 71.

44) Vgl. zur Forderung, die Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen in ein Koordinierungs- oder Planungskonzept zu integrieren, die Quellen und Zitate, die bereits in einer früheren Anmerkung hinsichtlich des Aspekts zeitlicher Inkonsistenz angeführt wurden.

45) Vgl. MALIK (1986), S. 34, 37, 41, 170, 177, 191ff., 210ff. u. 248ff.; HINTZ (1987), S. 94, 100 u. 116; FISCHER, E. (1988), S. 3ff.

- 46) Die weite Verbreitung des komplexitätsreduzierenden Denkansatzes wurde schon im modellierungstheoretischen Kontext hervorgehoben.
- 47) Abweichender Ansicht scheint dagegen z.B. FRESE (1989c), S. 173 u. 175, zu sein. Er betrachtet "Flexibilität ... im Produktionsbereich" (S. 173) weiterhin ausschließlich aus dem Blickwinkel der Komplexitätsreduzierung.
- 48) Vgl. ASHBY (1968), S. 133ff., insbesondere S. 135f.; KRIEG, W. (1971), S. 55ff., insbesondere S. 61; BEER, S. (1972), S. 53ff.; ASHBY (1974), S. 293ff., insbesondere S. 298f.; GOMEZ, P. (1975), S. 167ff., insbesondere S. 167 u. 173; KIRSCH (1978), S. 163ff., insbesondere S. 165 u. 168f.; PROBST (1981), S. 75 u. 161ff., insbesondere S. 163f.; MALIK (1986), S. (170 u.) 191ff.; SCHWANINGER (1989), S. 156ff. u. 265f., insbesondere S. 156f. u. 160f.; vgl. am Rande auch LUHMANN (1988), S. 47 (in kritischer Distanz).
Das Varietätsgesetz verdankt seine Bezeichnung den Formulierungen: "Nur Varietät kann Varietät absorbieren." (MALIK (1986), S. 192.) oder: "... nur Vielfalt kann Vielfalt zerstören." (ASHBY (1974), S. 299.).
Die Verknüpfung des Varietätsgesetzes mit Störungen in einem koordinierten System wird besonderes deutlich bei PROBST (1981), S. 163ff., vor allem S. 166ff.
- 49) Vgl. zur Gegenüberstellung von Strategien, welche im Rahmen eines "Varietätsengineering" die Komplexität (Varietät) eines Koordinierungskonzepts entweder zu verringern oder aber zu erhöhen trachten, PROBST (1981), S. 170 u. 179; FISCHER, E. (1988), S. 5ff.; SCHWANINGER (1989), S. 157ff.
- 50) Vgl. zur präzisen Definition des spiel- und systemtheoretischen Begriffs der Varietät die Quellen, die in einer früheren Anmerkung zum Varietätsgesetz angeführt wurden, z.B. ASHBY (1968), S. 130 u. 134f.; ASHBY (1974), S. 297f.; PROBST (1981), S. 159.
- 51) Es wird hier nicht verkannt, daß gegen ASHBY's Varietätsgesetz durchaus Bedenken erhoben werden können. Sie erstrecken sich einerseits auf dessen Gesetzesanspruch; vgl. KIRSCH (1978), S. 170ff. Andererseits ergeben sich Schwierigkeiten, wenn dieses "Gesetz" aus seinem eng gefaßten systemtheoretischen Herleitungszusammenhang auf allgemeine Koordinierungsprobleme übertragen wird. Vgl. zu diesen Transferproblemen KIRSCH (1978), S. 165ff. Darüber hinaus wird eingeräumt, daß in jeder Problemkonzeptualisierung eine Vereinfachung erfolgen muß, um eine fruchtlose Weltverdopplung zu vermeiden. Vgl. dazu die Hinweise im modellierungstheoretischen Kontext sowie z.B. im Zusammenhang mit dem Varietätsgesetz KRIEG, W. (1971), S. 65; PROBST (1981), S. 179ff. Daher könnte die Ansicht vertreten werden, beim Ausblenden von Unsicherheitsaspekten erfolge nicht mehr als eine solche selbstverständliche Konzeptualisierungsvereinfachung. Es geht hier jedoch nicht um eine vereinfachende Abstraktion von "unwesentlichen" Problemaspekten. Vielmehr wird durch die Bezugnahme auf Flexible Fertigungssysteme, die speziell für die Bewältigung von unvorhergesehenen Veränderungen der Produktionssituation ausgelegt sind, die Unsicherheit bezüglich zukünftiger Entwicklungen der Produktionssituation als eine besonders wichtige Determinante der hier betrachteten Koordinierungsprobleme herausgestellt. Daher betrifft die Frage, ob ab dem Zeitpunkt der Planfreigabe die Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen der Produktionssituation entweder absorbiert oder aber in die Planung einbezogen wird, hier einen zentralen Aspekt der Problemkonzeptualisierung.
- 52) Genau diese varietätsabsorbierende Komplexitätsreduzierung kritisiert auch GAINES (1991), S. 210: "... we reduce the complexity ... to a comprehensible simplicity ... We reduce the system to one which is amenable to our modelling techniques. That simpler is not necessarily better and ... destroys variety which is itself valuable" (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). GAINES betrachtet diese Komplexitätsreduzierung als ein Grundübel aller Modellierungen, die auf dem "procrustean design" (S. 210) beruhen.
- 53) Es wird also nicht unterstellt, daß die Situationsveränderungen grundsätzlich unvorhersehbar seien. Statt dessen wird nur vorausgesetzt, daß sie tatsächlich nicht erwartet wurden.
Vgl. zu ähnlichen Positionen, welche die Möglichkeit unvorhergesehener Situationsentwicklungen in das Zentrum ihrer Argumentation rücken, BECKER, J. (1978), S. 502 ("Bei Beginn und während der Fertigung ergeben sich ... so viele nicht vorausplanbare Situationen ..."; kursive Hervorhebung durch den Verf.); STAUDT (1979a), S. 86f., der das "Unvermögen, die Zukunft kognitiv zu durchdringen" (S.86), hervorhebt; DYCKE (1988), S. 26 u. 162.
- 54) In diese Richtung zielen z.B. hochgradig automatisierte Produktionssysteme, in denen die vollständige Beherrschung von Produktionssystemen angestrebt wird. Ob solche Produktionssysteme tatsächlich frei von unerwarteten Produktionssituationen sind, mag angezweifelt werden. So ließe sich z.B. auf Produktionsstörungen verweisen, die nicht antizipiert wurden. Doch interessiert diese Fragestellung hier nicht weiter, weil gerade solche Produktionssysteme betrachtet werden, die für das Eintreten unvorhergesehener Produktionssituationen ausgelegt sind.
- 55) Aspekte der ökonomischen Rechtfertigung Flexibler Fertigungssysteme werden in dieser Arbeit nicht näher betrachtet.
- 56) Dies schließt auch die Möglichkeit ein, auf häufig wechselnde Kundenwünsche durch kundenindividuell gebildete Produktionsaufträge zu reagieren. Denn die Produktionssituation wurde so weit ausgelegt, daß sie auch das Sachzielsystem - also das jeweils abzuwickelnde Auftragspaket - umfaßt.

57) Vgl. die Ausführungen zur organisatorisch bedingten Instabilität. Sie entspricht der hier thematisierten Reaktion auf veränderte Produktionssituationen.

58) Vgl. BECKER, J. (1978), S. 502 u. 513; KAZMAIER (1984), S. 164.

59) Vgl. MERTINS (1985a), S. 101 u. 148, der in bezug auf die Werkstattsteuerung feststellt: "Abweichungen und Veränderungen gegenüber der Planung ... dürfen ... nicht als störende Ausnahme sondern müssen als die Regel angesehen werden." (S. 101; die fehlerhafte Interpunktion wurde aus dem Original übernommen).

60) Diese Konzeptualisierungsprämisse läßt sich als "Vorausschaufekt" der hier untersuchten Koordinierungsprobleme bezeichnen. Sie lehnt sich an die früher thematisierten Lösungsdefekte von Optimalplanungen an.

Die Unvorhersehbarkeit von Störungen wird im Zusammenhang mit PPS-Systemen in der Literatur vielfach bestätigt. Vgl. STUTE (1978a), S. 11; BECKER, J. (1978), S. 502 ("nicht vorausplanbare Situationen"); MAIER, U. (1980), S. 49; SELIGER (1983), S. 59; KAZMAIER (1984), S. 164, der sich auf "nicht planbare Ereignisse als Störung" bezieht; ALDINGER (1985a), S. 28; WIEBACH (1986), S. 745, mit der Tendenzaussage, daß mit der Länge des Vorausschauzeitraums die "Wahrscheinlichkeit" von Störungen zunähme, die a priori nicht berücksichtigt (vorhergesehen) werden könnten; SCHNEEWEIS, C. (1988), S. 290 u. 296, der darauf verweist, daß "Störungswahrscheinlichkeiten ... häufig nur sehr ungenügend bekannt" seien (S. 290). Besonders schwer zu prognostizieren sind dispositionsbedingte Störungen, die aus dem Zusammenwirken von unternehmungsexternen Absatzschwankungen und unternehmensinterner absatzsynchroner Produktionsplanung resultieren; vgl. HELBERG (1987), S. 152. Auf mittelbare Weise wird die Unvorhersehbarkeit von Störungen auch von FRESE (1989c), S. 169, bestätigt: Aufgrund von "Ungewißheit" sei es "nicht möglich, frühzeitig eine vollständige Lösung für den Produktionsplan zu entwickeln; es bleibt die Notwendigkeit von Ad-Hoc-Entscheidungen im Realisationszeitpunkt."

Die grundsätzliche Vorausschaufektprämisse wird auch von einigen Vertretern der Systemtheorie geteilt. Exponenten dieser systemtheoretischen Kritik an der zukunftsbezogenen Konzeption konventioneller Planung sind z.B. BEER und MALIK mit den Formulierungen: "Der systemische Ansatz geht ... davon aus, dass Planung im Grunde nicht eine gedankliche Antizipation zukünftiger Zustände ist, sondern ... die laufende Anpassung ... an die sich ständig ändernden Umstände ..." (MALIK (1986), S. 65) und: "... planning is a *continuos process* ... The continuity arises from the constant readjustment of rational expectations against shifting scenarios ... planning ... must be done (that is to say adjusted) continuously - because rational expectations and probable scenarios are both constantly changing, so that the decision taken yesterday is very probably ... wrong today ... plans must continually abort." (BEER, S. (1979), S. 336f.). Hinzu kommen die prinzipiellen Zweifel von MALIK (1986), S. 485, Störungen in komplexen Systemen zuverlässig prognostizieren zu können.

Der Vorausschaufekt bildet auch eine Schnittstelle, an der sich das hier thematisierte revidierte Planungsverständnis mit dem Konzept "unvollständiger Verträge" von WILLIAMSON berührt. Unvollständige Verträge werden zwischen Wirtschaftssubjekten in dem Bewußtsein eingegangen, daß es *praktisch* unmöglich ist, alle theoretisch vorstellbaren Zukunftsentwicklungen tatsächlich vorherzusehen und in entsprechenden vertraglichen Regelungen zu berücksichtigen. Deshalb geben sich Wirtschaftssubjekte oftmals mit lückenhaften Vertragsformulierungen zufrieden. Statt dessen konzentrieren sie sich darauf, "Beherrschungs- und Überwachungssysteme" (governance structures) zu entwerfen, die ein nachträgliches Anpassen an unerwartete Situationsveränderungen unterstützen. Diese "Anpassungsphilosophie" entspricht weitgehend dem hier vertretenen Planungsverständnis. Vgl. zum Konzept unvollständiger Verträge die kompakte Darlegung bei WILLIAMSON, O. (1990), S. 203; vgl. darüber hinaus seine inhaltliche Vorbereitung in WILLIAMSON, O. (1990), S. 36f. (Planungsunvollständigkeit und Optimierungsverzicht), 65ff. (Vorausschaufekt; Beherrschungs- und Überwachungssysteme zur Störungsbewältigung), 89f. (Vorausschaufekt).

61) Vgl. zur - unkonventionellen - Betonung des *reinen Gegenwartsbezugs* von planenden Koordinierungsentscheidungen auch HANSSMANN (1990), S. 259. In ähnlicher Weise empfiehlt DYCKE (1988), S. 161f., ein Koordinierungskonzept, das situationsbezogene Managementregeln an die Stelle von vorausschauenden Optimalplanungen rückt. (Allerdings argumentiert DYCKE in einem speziellen kontrolltheoretischen Kontext, der trotz Vorausschaufekts immer noch auf optimale Koordinierungsentscheidungen ausgerichtet ist.)

Zur Verdeutlichung wird nochmals auf das Beispiel des Einfrierens von Produktionsplänen zurückgegriffen. Bei diesem konventionellen Planungskonzept werden für einen planungsspezifischen Zeitraum alle darin auszuführenden Produktionsprozesse festgelegt. Im Zeitpunkt der Planfreigabe sind also alle Koordinierungsentscheidungen für diesen Zeitraum *ex ante* fixiert. Daher muß der Planungsprozeß abgeschlossen sein, bevor der Zeitraum beginnt, in dem die Produktionsprozesse zur Verwirklichung des Produktionsplans ausgeführt werden sollen. Folglich besteht eine sequentielle Anordnung zwischen Planungs- und Realisationsphase: Zunächst erfolgt der Planungsprozeß im Informationssystem, und erst danach werden die geplanten Produktionsprozesse im zugrundeliegenden Produktionssystem ausgeführt (Realsystem). Aus der Perspektive des hier verfolgten, revidierten Planungsverständnisses sind jedoch Planungs- und Realisationsphase ineinander verschachtelt: Die Prozeßplanung im Informationssystem geschieht nur in dem Ausmaß, wie es im aktuellen Zustand des Produktionssystems zur Fortsetzung der dort ausgeführten Produktionsprozesse notwendig ist. Alle weiterreichenden Entscheidungsbindungen für zukünftige Systemzustände unterbleiben jedoch. Daher wird die Ausführung realer Produktionsprozesse im Produktionssystem durch

einen Planungsprozeß im Informationssystem begleitet, welcher der Prozeßausführung im Produktionssystem jeweils nur um einen Systemzustand vorausleitet: Im aktuellen Zustand des Produktionssystems wird nur jene Fortsetzung der dort ausgeführten Produktionsprozesse festgelegt ("geplant"), die den unmittelbar darauf folgenden Zustand des Produktionssystems durch die Geschehnisse aus der ausgewählten Ereignismenge determiniert.

Am Rande wird auf die Kohärenz hingewiesen, die zwischen dieser revidierten Planungsweise und der Charakteristik des Petrinetz-Konzepts besteht, nebenläufige Prozeßausführungen zu unterstützen. Es wäre durchaus möglich, nicht nur - wie in dieser Arbeit - die realen Produktionsprozesse mit Hilfe des Petrinetz-Konzepts zu modellieren. Vielmehr ließe sich ebenso die Planung im Informationssystem selbst durch ein Netzmodell erfassen. Denn dieses Informationssystem könnte als ein "büroartiges Arbeitssystem" konzeptualisiert werden, in dem die Planung von realen Produktionsprozessen als Dienstleistung erbracht wird. Auch für die Modellierung solcher Informationsverarbeitungsprozesse eignet sich das Petrinetz-Konzept. Bei einer derart erweiterten Konzeptualisierung der Prozeßkoordinierung würden die Teilprozesse, die entweder im Teilmodell des Produktions- oder im Teilmodell des Informationssystems ablaufen, keine Sequenz mehr bilden, sondern ineinander verschachtelt sein.

62) Vgl. STAUDT (1979a), S. 69. Es wird also keineswegs ausgeschlossen, daß in die Auswahl einer lokalen Entscheidungsalternative die Fernwirkungen einbezogen werden, die von der Alternativenauswahl wegen vertikaler Ereignisabhängigkeiten auf nachfolgende Systemzustände und die dort zulässigen Entscheidungsalternativen ausstrahlen. So kann z.B. eine Entscheidungsalternative aus einem lokalen, zustandsspezifischen Spielraum dadurch bewertet werden, daß ein Entscheidungspfad betrachtet wird, der mit der zu bewertenden Entscheidungsalternative beginnt. Anhand eines Modells des zugrundeliegenden Produktionssystems wird zunächst der Folgezustand ermittelt, den das Produktionssystem annähme, falls die zu bewertende Entscheidungsalternative tatsächlich ausgewählt (und verwirklicht) würde. In diesem hypothetischen Folgezustand wird eine zweite Entscheidungsalternative aus dem dort vorhandenen Spielraum - wiederum hypothetisch - ausgewählt und simuliert, welcher Systemzustand daraus hervorginge. Diese hypothetische Auswahl von lokalen Entscheidungsalternativen und die Simulation der daraus mutmaßlich folgenden Veränderungen des Produktionssystems können im Prinzip beliebig weit in die Zukunft fortgesetzt werden. Die Simulationsreichweite bestimmt ein - letztlich willkürlich - festgelegter Vorausschauhorizont. Dadurch wird im Modell des Produktionssystems ein hypothetischer Entscheidungspfad konstruiert. Die Formalzielbeiträge aller Entscheidungsalternativen, die zu diesem hypothetischen Entscheidungspfad gehören, lassen sich auf die eine zu bewertende, den Entscheidungspfad einleitende Entscheidungsalternative projizieren. Auf diese Weise wird eine lokale Entscheidungsalternative, die im aktuellen Zustand des Produktionssystems zur Auswahl steht, nicht nur anhand ihrer eigenen Formalzielbeiträge bewertet, sondern auch aufgrund der Formalzielbeiträge von *hypothetisch angenommenen* Folgeentscheidungen. Aus der Bewertungsperspektive kann daher durchaus eine Vorausschau ("look-ahead") erfolgen, die denkmögliche Entwicklungen eines Produktionssystems in Erwägung zieht. Dabei geschieht ein simulatives Erforschen - ein "experimentelles Explorieren" - derjenigen Entscheidungsoptionen und -konsequenzen, die sich im Modell des Produktionssystems aufgrund vertikaler Ereignisabhängigkeiten zukünftig einstellen würden, falls im aktuellen Zustand des Produktionssystems eine bestimmte, jeweils zu bewertende Entscheidungsalternative ergriffen und durch einen hypothetischen Entscheidungspfad fortgesetzt wird. Um Mißverständnisse zu vermeiden, wird jedoch herausgestellt, daß der Entscheidungspfad *keine* bereits festgelegten zukünftigen Entscheidungsalternativen enthält. Denn er besitzt rein *hypothetischen* Charakter. Er wird an keiner Stelle für verbindlich erklärt. Statt dessen wird grundsätzlich die Rücknahme der hypothetisch simulierten Entscheidungsfortsetzungen für den Fall von Produktionsstörungen konzidiert. Daher erfolgen *keine Entscheidungsbindungen*, die über die Auswahl einer lokalen Entscheidungsalternative im aktuellen Systemzustand hinausreichen. Die simulative Beurteilung einer lokalen Entscheidungsalternative steht daher immer unter dem Vorbehalt, daß sie nur für die jeweils aktuelle Produktionssituation gilt. Spätere Veränderungen der Produktionssituation könnten jederzeit zu einer anderen Alternativenbeurteilung führen.

Das zuvor skizzierte vorausschauende Bewertungskonzept kann z.B. der später vorgestellten projektiven Analyse von Netzmodellen zugrundeliegen. Im Rahmen der Robusten Planung sind sogar solche Projektionen der Formalzielbeiträge hypothetischer Entscheidungsfortsetzungen *notwendig*, um die Robustheit der Entscheidungsalternativen im jeweils untersuchten Ausgangszustand eines Entscheidungsmodells beurteilen zu können. Vgl. dazu ROSENHEAD (1980b), S. 338; DIRUF (1980a), S. 10; BEST, G. (1986), S. 469f. u. 476; HANSSMANN (1990), S. 259. Darüber hinaus wird ein vorausschauendes Bewertungskonzept sogar in weit entfernt liegenden Planungsansätzen vertreten; vgl. beispielsweise das "Adaptive Look-Ahead-Planning" im Kontext Neuronaler Netzwerke bei THRUN (1989), S. 239ff.

Auch im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung, auf die noch näher eingegangen wird, findet mitunter eine Vorausschau auf Koordinierungskonsequenzen statt. Sie bleibt allerdings eng begrenzt, da das Risiko von Produktionsstörungen mit der Länge des Vorausschauhorizonts tendenziell ansteigt. Vgl. dazu FOX, B. (1985a), S. 489 ("limited degree of look-ahead"). Eine besonders kurze Vorausschau von Entscheidungskonsequenzen erfolgt bei einer maschinenbezogenen Einlastungsregel, die von SPUR (1980), S. 314 u. 327ff.; SPUR (1981a), S. 116, und MERTENS (1988a), S. 178, beschrieben wird: Sie wählt an einer Bearbeitungsstation von den dort wartenden Aufträgen denjenigen aus, an dessen nachfolgender Bearbeitungsstation im Zeitpunkt der Auswahlentscheidung die wenigsten Aufträge auf Bearbeitung warten. Das entgegengesetzte Extrem einer sehr weit reichenden Vorausschau von Entscheidungskonsequenzen liegt einer systembezogenen Einlastungsregel zugrunde, die von SPUR (1980), S. 309ff.

u. 348, erörtert wird. Ihr zufolge wird derjenige Auftrag in ein Produktionssystem eingelastet, der sich hinsichtlich seiner Einlastungskonsequenzen als "optimal" erweist. Zu diesem Zweck werden in einem Modell des Produktionssystems die Konsequenzen der hypothetischen Einlastung eines jeden neu einzuschleusenden Auftrags simuliert, um aufgrund dieser Konsequenzenprojektion zu entscheiden, welcher von ihnen tatsächlich eingelastet wird. Ebenso läßt sich die vorausschauende Beurteilung lokaler Entscheidungsalternativen einsetzen, um bei lokalen Entscheidungen über die Fortsetzung des Transportwegs in einem flexiblen Fertigungssystem festzustellen, ob sie eine vorgegebene Zielstation zu erreichen gestatten (falls keine späteren Produktionsstörungen dies nachträglich vereiteln). Ebenso ist es möglich, durch Simulation der zukünftig erwarteten Entwicklung des Produktionssystems zu entscheiden, ob ein Auftrag entweder einer aktuell freien Bearbeitungsstation unmittelbar zugeordnet wird oder ob mit der Auftragseinlastung abgewartet wird. Das Verzögern der Auftragseinlastung kann vorteilhaft erscheinen, falls durch vorausschauende Simulation des Produktionssystems die Erwartung begründet wird, daß wenig später eine wesentlich leistungsfähigere Bearbeitungsstation zur Verfügung stehen wird; vgl. WICHARZ (1983), S. 368. Vgl. zu weiteren Vorausschau-Simulationen der Konsequenzen von Entscheidungsalternativen, von lokalen Entscheidungsregeln u.ä. SPUR (1980), S. 344, 348ff. u. 383ff.; EVERSHEIM (1981), S. 172f.; KNOOP (1986), S. 165ff. i.V.m. S. 65; vgl. auch die Ausführungen zur Simulationsanalyse von Netzmodellen.

Allerdings bewirkt die vorausschauende Simulation von Entscheidungssequenzen beträchtlichen zusätzlichen Ressourcenverzehr; vgl. SPUR (1980), S. 348; EVERSHEIM (1981), S. 173. Dabei kann sie so viel Simulationszeit erfordern, daß sie sich unter Realzeitbedingungen kaum noch ausführen läßt. Vgl. SPUR (1980), S. 348 u. 485f.; KNOOP (1986), S. 42f.; BEIER (1988a), S. 240. Er hält zur Zeit die Simulation von Entscheidungskonsequenzen in PPS-Systemen, die Produktionsprozesse in flexiblen Fertigungssystemen unter Realzeitbedingungen koordinieren sollen, für ausgeschlossen. Auf Prozeßkoordinierungen unter Realzeitbedingungen wird an späterer Stelle ausführlicher zurückgekommen. Vgl. aber auch NIEDERHAUSEN (1988), S. 400ff., insbesondere S. 402f. Dort wird die zukunftsweisende Entwicklung eines Expertensystems skizziert, das auf der Basis der Simulation von Entscheidungskonsequenzen eine Steuerung flexibler Fertigungssysteme unter Realzeitbedingungen ermöglichen soll. Um auch diese Option offenzuhalten, wird die simulativ-vorausschauende Beurteilung von Entscheidungsalternativen in dieser Arbeit grundsätzlich nicht ausgeschlossen.

63) Die revidierte Planungsauffassung entspricht inhaltlich weitgehend dem Denkmuster der Robusten Planung, die bereits in den voranstehenden Anmerkungen mehrfach angesprochen wurde. Besonders deutlich wird ihre Übereinstimmung mit dem o.a. Planungsverständnis bei HANSSMANN (1990), S. 259: "Planung kann als *vorausdenkende* Nutzung *gegenwärtiger* Entscheidungsmöglichkeiten definiert werden. ... Planung ist die *Festlegung eines langfristig sinnvollen ersten Schritts*. Im Planungsprozeß werden daher *gegenwärtige* Handlungsalternativen auf ihre zukünftigen Konsequenzen untersucht." (kursive Hervorhebungen entsprechen einem Teil des Fettdrucks im Original). Einen reinen Gegenwartsbezug von Planungshandlungen postuliert auch ZÄPFEL (1989b), S. 1: "Produktionsplanung hat ... die Aufgabe, die *gegenwärtigen* Handlungsmöglichkeiten ... so festzulegen, daß die Ziele möglichst günstig erfüllt werden." (kursive Hervorhebung durch den Verf.).

Allerdings erfolgt hier gegenüber dem allgemeinen Planungskonzept, robuste erste Schritte auszuwählen, eine inhaltlich weiter gefaßte Bewältigung dynamischer Koordinierungsprobleme. Dies äußert sich vor allem in drei Aspekten: Erstens wird das Postulat des wirkungsminimalen Spielraumschließens nicht nur - wie im Rahmen der Robusten Planung - auf einen *ersten* Planungsschritt beschränkt. Vielmehr wird später ein Robustheitsmaß für Netzmodelle entwickelt, das auf *alle* Planungsschritte bezogen werden kann, die jeweils Auswahlakte in lokalen Entscheidungsspielräumen darstellen. Diese Ausweitung auf beliebige Planungsschritte klingt auch an bei BEST, G. (1986), S. 476 (Bezugnahme auf den "next step in decision-making"). Zweitens berücksichtigt der betriebswirtschaftliche Robustheitsbegriff nur die *Chancen*, intendierte Problemlösungen angesichts alternativer Umweltentwicklungen zu verwirklichen. Netzmodelle werden es später erlauben, ebenso nicht-triviale *Risiken* des Verfehlens solcher Problemlösungen zu erfassen. Drittens betont die Robuste Planung nur die *spielraumschließenden* Planungshandlungen. Hier wird dagegen als gleichgewichtige Komponente von Koordinierungshandlungen beleuchtet, wie sich anpassungsmaximale Spielräume *identifizieren* lassen. Dies wurde oben anhand nonlinearer Arbeitspläne exemplarisch verdeutlicht.

64) Zur Verdeutlichung läßt sich der konventionelle Planungsbegriff, dessen Denkmuster bereits erläutert wurde, so reformulieren, daß die Formulierungsstruktur an die Definition des revidierten Planungsbegriffs angepaßt ist. Dann ist Planen im konventionellen Verständnis:

- das Festlegen gegenwärtiger und zukünftiger Handlungsweisen
- angesichts gegenwärtiger und zukünftiger Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen,
- das *alle* zukünftigen Handlungsweisen innerhalb des Planungshorizonts *fixiert* und dabei
- *alle* zukünftigen Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen berücksichtigen *muß*.

Die vierte Definitionsconstituente gilt allerdings nur dann, wenn der konventionelle Planungsbegriff mit Optimierungszielen verknüpft wird. Falls nur Satisfizierungs- oder Meliorisierungsziele betrachtet werden, müssen nicht "alle" zukünftigen Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen berücksichtigt werden. Statt dessen reicht es dann aus, diejenigen zukünftigen Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen einzubeziehen, die zu der jeweils untersuchten globalen - satisfizierenden bzw. meliorisierenden - Entscheidungsalternative gehören.

65) Dieses situative Planungsverständnis stimmt insofern mit dem betriebswirtschaftlichen Improvisationsbegriff überein, als kurzfristige Reaktionen zur Anpassung an unerwartete Situationsveränderungen beabsichtigt sind. Es unterscheidet sich allerdings von jenem Improvisationsverständnis dadurch grundlegend, daß eine rationale *Planung* von Anpassungsmaßnahmen erfolgt. Vgl. dazu die frühere Anmerkung, das hier vorgetragene Planungsverständnis vertrage sich durchaus mit der Berücksichtigung zukünftiger Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen, so daß es keineswegs mit ad hoc-Entscheidungen zusammenfallen müsse. Vgl. darüber hinaus die späteren Ausführungen zu Plananpassungen mit Hilfe der Robustheitsanalyse von Netzmodellen. Der betriebswirtschaftliche Improvisationsbegriff unterstellt dagegen, es erfolge keine Planung. Statt dessen werde auf Situationsveränderungen in emotionaler Weise reagiert. Vgl. zum hier skizzierten Improvisationsverständnis KOCH, H. (1977b), S. 14; KERN, W. (1988), S. 152.

66) Im Zusammenhang mit allgemeinen Planungskonzepten stellt STAUDT (1979a), S. 69, fest, "daß *alle* über die zukünftige Entwicklung gewonnenen Informationen hypothetischen Charakter haben und Planung *nicht* verstanden werden kann als eine die Zukunft *fixierende* Tätigkeit, *sondern* als *offene* Planung" (Unterstreichung im Original hier kursiv sowie zusätzliche kursive Hervorhebungen).

67) Dies klingt auch bei DÖTTLING (1981), S. 75, an.

68) Es wird abermals auf die Verwandtschaft mit dem Konzept unvollständiger Verträge hingewiesen, die bereits in einer früheren Anmerkung erwähnt wurde. Auch diesem Vertragskonzept liegt der Gedanke einer "adaptiven, sequentiellen Entscheidungsfindung" zugrunde; vgl. WILLIAMSON, O. (1990), S. 64(ff.) u. 89. Auch von RIEBEL hebt hervor, daß reale betriebliche Entscheidungskomplexe einen sequentiellen Charakter besitzen, der sich von theoretischen Simultanplanungskonzepten deutlich unterscheidet; vgl. RIEBEL (1987), S. 1158; RIEBEL (1988), S. 257, 259ff. u. 281; RIEBEL (1989a), S. 253f.; RIEBEL (1990), S. 629, 635, 651, 653ff., 675 u. 698f.

69) Der prozessuale Charakter des Planens bei der Lösung dynamischer Koordinierungsprobleme klingt schon bei WITTMANN (1959), S. 158, im Kontext Flexibler Planung an. Vgl. darüber hinaus zur Betonung der Prozeßhaftigkeit von Planungsaufgaben unter Flexibilitätsaspekten ROSENHEAD (1972), S. 419; ROSENHEAD (1980a), S. 213; ROSENHEAD (1980b), S. 331 u. 337; BEST, G. (1986), S. 463.

70) HINTZ (1987), S. 82, spricht von einer fertigungsbegleitenden Maschinenbelegung. Er fügt hinzu: "Damit können ... kurzfristige Störungen rechtzeitig und ohne großen Aufwand in den Maschinenbelegungsplan einbezogen werden. Eine *Vorabplanung* für einen längeren Zeitraum ist deshalb *weder nötig noch sinnvoll*" (S. 82; kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Auf S. 84f. fordert er, Konzepte für die Koordinierung von Maschinenbelegungen bei flexiblen Fertigungssystemen sollten grundsätzlich zu einer fertigungsbegleitenden Maschinenbelegung in der Lage sein.

71) Vgl. DÖTTLING (1981), S. 61 (schritt haltende Planung) u. 65f. (prozeßbegleitende Planung); HINTZ (1987), S. 152 (fertigungsbegleitenden Entscheidungsfallung).

72) Die Lösung eines Koordinierungsproblems steht also erst dann fest, wenn die Ausführung des zu koordinierenden Produktionsprozesses abgeschlossen ist. (Strenggenommen liegt die Problemlösung einen Zustandsübergang früher vor, als die Prozeßausführung beendet ist; vgl. die nachfolgende Anmerkung.)

73) Die Planung eines Produktionsprozesses durch das Ausführen eines Entscheidungsprozesses im Informationssystem einerseits und Verwirklichung dieser Planung durch Ausführen des Produktionsprozesses im Produktionssystem andererseits erfolgen daher zeitlich überlappt. Dabei besitzt der Entscheidungsprozeß im Informationssystem jeweils den Vorsprung von genau einem bereits geplanten, aber noch nicht realisierten Zustandsübergang.

74) Vgl. BEER, S. (1979), S. 336f. Strenggenommen werden Prozesse in dieser Arbeit auf der Basis von Systemzuständen und zustandstransformierenden Ereignismengen in zeitdiskreter Weise konzeptualisiert. Von dieser Diskretisierung wird hier jedoch abstrahiert. Dies entspricht der betriebswirtschaftlich vorherrschenden Diktion, bei Planungsverständnissen der o.a. Art ebenfalls von einer kontinuierlichen Planung zu sprechen.

75) Tatsächlich liegt eine zeitliche Überlappung zwischen Planungs- und Produktionsprozeß mit einem Vorlauf von einem Zustandsübergang zugunsten des Planungsprozesses vor. Zwecks sprachlicher Vereinfachung wird dieser komplizierte Sachverhalt durch den simplifizierenden Ausdruck "zeitgleich" vertreten.

76) Speziell für Flexible Fertigungssysteme konstatiert HELBERG (1987), S. 194: "Auf eine offline-Belegungsplanung mit der Festlegung der ... Abarbeitungsreihenfolgen sollte verzichtet werden können. Die Wahl des jeweils nächsten ... zu bearbeitenden Werkstückes sollte online erfolgen." Vgl. daneben auch STUTE (1978a), S. 11f. (online Beeinflussung des Fertigungsprozesses); SPUR (1980), S. 28 (online Planung); DÖTTLING (1981), S. 61, 64ff. u. 75 (online Planung); SPUR (1981a), S. 114 (Online-Steuerung); FOX, B. (1985a), S. 489f. (online scheduling); KOCHAN, D. (1986), S. 35 (on-line ... scheduling); KNOOP (1986), S. 42f.; BÜHNER (1986c), S. 22 (online Steuerung); NIEDERHAUSEN (1988), S. 400 (online-Echtzeitdisposition); KRAUSE, F. (1989b), S. 548 (on-line planning); SCHEER (1990c), S. 63 (Online-...Verarbeitung); WINTER, R. O. (1991), S. 155 (Online-Fähigkeiten).

Vgl. des weiteren die "online (Fertigungs-)Optimierung" bei SPUR (1980), S. 304f., 309ff., 315, 319, 321ff., 374, 388, 399ff. u. 441, und SPUR (1981a), S. 114. Dem Optimierungsanspruch wird hier allerdings nicht gefolgt. Vgl. schließlich auch die späteren Erläuterungen zur Produktionsplanung und -steuerung unter Realzeitbedingungen.

77) Vgl. MALIK (1986), S. 65 (Planung ist "... die *laufende Anpassung* ... an die sich ständig ändernden Umstände ..." (kursive Hervorhebung durch den Verf.).

78) Es wurde oben dargelegt, daß es keinen prinzipiellen Unterschied bereitet, ob die Auswahl lokaler Entscheidungsalternativen aus zustandsspezifischen Entscheidungsspielräumen entweder als störungsinduzierte Selektion einer Anpassungsmaßnahme oder aber als störungsfreies Fortsetzen der Prozeßkoordinierung aufgefaßt wird.

79) Vgl. BEST, G. (1986), S. 463 ("Problems ... are to be solved *in toto* at one point in time."; kursive Hervorhebung im Original).

80) Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß konventionelle Planungsansätze zwar keineswegs auf Optimierungsmodellen beruhen müssen, tatsächlich aber zumeist die Verfolgung von Optimierungszielen präsupponieren. Daher wird auf optimale Produktionspläne Bezug genommen. Die hier vorgetragene Argumentation gilt jedoch für jede Planfixierung. Daher trifft sie ebenso auf satisfizierende oder meliorisierende Produktionspläne zu, sofern auch sie für verbindlich erklärt werden. Deshalb gilt es hervorzuheben, daß sich die Kritik am konventionellen Planungsverständnis nicht gegen dessen vorherrschenden Optimierungsansatz schlechthin wendet, sondern vielmehr gegen dessen Fixieren von Planungsergebnissen.

81) Der Entscheidungsakt kann zwar bei verfeinerter Betrachtung ebenso als ein Planungsprozeß wahrgenommen werden. Dies spielt hier jedoch keine Rolle. Ausschlaggebend ist statt dessen, daß dieser Planungsprozeß bis zum Zeitpunkt der Planfreigabe abgeschlossen sein muß, bevor mit der Planrealisierung durch Ausführung eines entsprechenden Produktionsprozesses im zugrundeliegenden Produktionssystem begonnen wird. Daher ist der prozessuale Charakter des konventionellen Planens einer globalen Entscheidungsalternative hinsichtlich des Verhältnisses zwischen Planaufstellung und -verwirklichung irrelevant.

82) HERRMANN, T. (1976), S. 49; vgl. dazu auch die nähere Darstellung und Würdigung dieses Typs der Problembewältigung bei HERRMANN, T. (1976), S. 49 u. 59ff.

83) Daher könnte auch - bei Zugrundelegung des bescheidenen Paradigmenbegriffs - von einem "Paradigmenwechsel" bei der Koordinierung von Produktionsprozessen gesprochen werden.

84) Diese Neuorientierung des Planungsverständnisses wird besonders deutlich bei FOX, B. (1985a), S. 488: "... efforts to find optimal schedules and develop better heuristics may be misdirected ... greater benefits could be obtained by focusing on the criteria and frequency for rescheduling". Ähnlicher Ansicht ist auch MALIK (1986), S. 64 u. 485f. Er hebt die "revisionistische Haltung" (S. 64; kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen) hervor, die notwendig sei, um einmal getroffene Entscheidungen angesichts nachträglich eingetretener Situationsänderungen möglichst weitgehend an die neuen Entscheidungssituationen anpassen zu können. "Wenn also Störungen unvermeidlich auftreten, ... so muss die Projektsteuerung statt auf einem im voraus festgelegten, auch noch so sorgfältig aufgestellten, optimalen Plan vielmehr darauf aufgebaut sein, ständig neu einen möglichen, zielführenden Weg zu bestimmen." (S. 485f.; kursive Hervorhebung im Original abermals unterlassen).

85) Vgl. KERN, W. (1967), S. 117ff.; KERN, W. (1969b), S. 55; MUSCATI (1970), S. 22ff.; KERN, W. (1990a), S. 308. Im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung, insbesondere bei der Koordinierung von Maschinenbelegungen, nimmt das Ordinieren von Arbeitsgängen gewöhnlich eine zentrale Stellung ein. Z.B. rechnet KERN, W. (1967), S. 117, das Ordinieren zu den "wesentlichsten Anliegen der Ablauforganisation". Laut JUNGHANNS (1976), S. 122, gehört zur "Fertigungssteuerung ... insbesondere die Reihenfolgeoptimierung der Werkstückbearbeitung ...". Als Ordinieren wird hier jede Reihenfolgeplanung für die Ausführung von Arbeitsgängen verstanden, die zu vollständig geordneten Arbeitsgangmengen führt. Vgl. zu solchen vollständig geordneten Arbeitsgangmengen z.B. MUSCATI (1970), S. 23f. u. 57. (MUSCATI spricht zwar nur von der Ordnung einer Arbeitsstellenmenge. Doch läßt ein näheres Studium seiner Argumentationsführung sofort erkennen, daß er inhaltlich die vollständige Ordnung einer Arbeitsgangmenge meint.)

86) Vgl. FOX, B. (1985a), S. 489 ("To utilize ... flexibility it is necessary that plans for jobs are not limited to a single sequence of operations ... the plan for a job should not impose any unnecessary or artificial constraints."). Ein Ordinierungsverzicht liegt auch jenen seltenen Beiträgen zur Maschinenbelegungsplanung zugrunde, die darauf verzichten, auftragsspezifische Maschinen- oder Arbeitsgangfolgen zu planen; vgl. MUSCATI (1970), S. 25; DÖTLING (1981), S. 62 i.V.m. S. 49ff.

87) Besonders deutlich wird dies bei KERN, W. (1967), S. 117f.: "Zukünftige Ereignisse ... hinsichtlich eines zeitlichen *Nacheinander* zu *fixieren*, d. h. die Bestimmung zeitabhängiger *Aufeinanderfolgen*, ist ein Komplex, der zu den wesentlichsten Anliegen der Ablauforganisation gehört." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Vgl. ebenso die Festschreibung von Arbeitsgangfolgen bei KAZMAIER (1984), S. 163.

88) Aufgrund ihres sequenzialisierenden Charakters verhalten sich Reihenfolgeplanungen analog zu den früher kritisierten linearen Arbeitsplänen. Dort ging es jedoch um artifizielle Sequenzialisierungen beim *Identifizieren* von Koordinierungsspielräumen. Hier erstrecken sich die geplanten Ausführungsreihenfolgen von Arbeitsgängen jedoch auf das *Schließen* von bereits identifizierten Spielräumen.

89) In der Regel wird das Erschaffen solcher Vollordnungen überhaupt nicht gerechtfertigt. Statt dessen werden sie durch sequenzialisierende Entscheidungen in nur unvollständig geordnete (halbgeordnete) Arbeitsgangmengen projiziert, ohne diese Planungsweise selbst zu hinterfragen. Eine Ausnahme stellen die Ausführungen von SCHWEITZER, M. (1966), S. 44f., zur optimalen Produktionsplanung dar. Er deklariert hierbei das Etablieren von Vollordnungen als Inbegriff ökonomischer Gestaltungsentscheidungen: "Sind die Folgebeziehungen in Stückprozessen in einem gewissen Umfange offen ..., könnte dieser Ordnungstatbestand ... als Teilordnung bezeichnet werden ... Die Offenheit dieser schwachen Ordnungsform ist relativ groß ... Einem Gestalter des Aktionsgefüges bietet sich hier ein weites Betätigungsfeld zur Herstellung von Strukturverhältnissen, die eine gegebene Teilordnung *verbessern* und einer Vollordnung annähern. Dies geschieht auf dem Wege, daß ... Strukturregeln abgeleitet werden, deren Anwendung zu einer *ökonomisch orientierten Vollordnung* in Gangfolgen führt. ... Ein Aktionsgefüge ist ... *ökonomisch optimal strukturiert*, wenn sowohl in den Stückprozessen als auch in den Gangfolgen ... *Vollordnung* herrscht." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Die von SCHWEITZER benutzten Begriffe der Stückprozesse, Gangfolgen und Strukturregeln entsprechen in dieser Arbeit den auftragsspezifischen Arbeitsgangfolgen (Maschinenfolgen), den maschinenspezifischen Arbeitsgangfolgen (Auftragsfolgen) bzw. den lokalen Entscheidungsregeln (z.B. Prioritätsregeln). Ein stringentes Argument, warum die Vollordnungen zu einer optimalen Strukturierung führen sollten, findet sich in der o.a. Quelle jedoch nicht. Zumindest vor dem Hintergrund von Produktionsstörungen widerspricht das Etablieren von Vollordnungen diametral dem hier entfalteten Koordinierungskonzept.

90) Vgl. dazu die Ausführungen zu nichtlinearen Arbeitsplänen. Vgl. auch die Einschränkung, daß keine künstliche Sequenzialisierungen geschehen, falls ein Produktionsauftrag schon aufgrund der produktionstechnischen Abhängigkeiten zwischen den Start- und Schlußereignissen seiner Arbeitsgänge zufällig eine lineare Ablaufstruktur besitzt.

91) Terminplanungen werden hier im Sinne der Terminfeinplanung und der Feinterminierung mit Reihenfolgeplanung verstanden, wie sie bei KERN, W. (1990a), S. 306ff., 317 u. 322, beschrieben ist.

92) Ein Terminierungsverzicht klingt auch bei KNOOP (1986), S. 22, an: "Aufgabe der Ablaufplanung flexibler Fertigungssysteme ist es nicht, die über den Tag verteilten Fertigstellungstermine einzelner Aufträge zu ermitteln, sondern dafür zu sorgen, dass das eingeplante Fertigungsprogramm bis zur nächsten Bedienschicht fertiggestellt ist." Ähnlich äußert sich DÖTLING (1981), S. 28.

Der Verzicht auf Terminplanungen kann auch als ein partieller Metrisierungsverzicht aufgefaßt werden. Dies beruht auf der früheren kausalen Fundierung von Produktionsprozessen. Die horizontalen und vertikalen Ereignisabhängigkeiten, die der Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen zugrundegelegt wurden, konstituieren zunächst nur eine rein kausal halbgeordnete Ereignismenge. Diese Halbordnung besitzt eine *metrikfreie* Natur. Denn die Kausalrelationen, aus denen die identifizierten kausalen Ereignisabhängigkeiten stammen, stellen eine schwache Strukturierung des Ereigniszusammenhangs dar. Sie reicht nicht aus, um über den Ereignisgeschehnissen eine metrische Relation zu definieren. Die Starttermine von Arbeitsgangausführungen liegen dagegen auf einer absoluten Zeitskala, die von vornherein metrische Qualität besitzt. Daher konstituiert jede Terminplanung eine metrische Anordnungsrelation über der Menge der Startereignisse aller Arbeitsgänge. Diese metrische Relation kann zwar weiterhin eine Halbordnung darstellen. Aber sie geht über die kausale Halbordnung der Ereignismenge dadurch hinaus, daß sie die Zeitpunkte aller Ereignisgeschehnisse fixiert. Auf diese Weise überlagern Terminplanungen die kausale Konzeptualisierung von Ereigniszusammenhängen durch zusätzliche metrische Zeitinformationen. Diese metrisierende Informationszugabe durch Terminplanungen wird z.B. bei MUSCATI (1970), S. 25, und KERN, W. (1990a), S. 308, besonders deutlich. Sie wird durch den Verzicht auf Terminplanungen ausgeschlossen. Allerdings gilt der Metrisierungsverzicht nur partiell. Denn die temporal angereicherten Kausalrelationen und die dispositiven Restriktionen, die an früherer Stelle eingeführt wurden, ergänzen die ursprünglich rein kausale Halbordnung der Ereignismenge durch zeitliche Abstandsmaße. Auf diese Weise fließt bereits eine teilweise Metrisierung in die Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen ein. Jene Teilmetrisierung gehört aber nicht zum hier kritisierten vorzeitigen Schließen zukünftiger Koordinierungsspielräume. Vielmehr betrifft sie die Formulierung derjenigen Restriktionen, mit deren Hilfe die Spielräume ursprünglich definiert wurden.

93) Terminplanungen bedeuten jedoch nicht unbedingt die gleiche Sequenzialisierung von Arbeitsgangausführungen wie ordnierende Reihenfolgeplanungen. Denn eine Terminplanung kann durchaus auch so erfolgen, daß einzelne Arbeitsgangausführungen nicht sequentiell aufeinander folgen müssen, sondern sich z.B. überlappen oder zeitgleich geschehen dürfen. Aber diese Nuance bleibt hier unbeachtlich. Denn durch die Festlegung der Termine, an denen die Startereignisse der Arbeitsgänge geschehen sollen, werden alle Anpassungsspielräume vernichtet, die andernfalls durch das zeitliche Verschieben von Arbeitsgangausführungen bestanden hätten. Darüber hinaus wird die

Terminplanung zumeist mit einer Reihenfolgeplanung gekoppelt; vgl. z.B. KERN, W. (1990a), S. 308. Dann treffen auch alle Vorbehalte gegenüber der Sequentialisierung von Arbeitsgangausführungen auf die Terminplanung zu.

94) Ein ähnlicher Optimierungsverzicht bei der Lösung dynamischer Koordinierungsprobleme wurde bereits in einer früheren Anmerkung hinsichtlich der Robusten Planung hervorgehoben. Vgl. zu ähnlichen Einstellungen, den Optimierungsanspruch von Planungskonzepten zugunsten ihrer Robustheit, Flexibilität oder Anpassungsfähigkeit aufzugeben, ROSENHEAD (1980a), S. 213; ROSENHEAD (1980b), S. 338; DÖTTING (1981), S. 63; WICHARZ (1983), S. 371ff.; KAZMAIER (1984), S. 164; BEST, G. (1986), S. 463.

Das Verblässen des Optimierungsdenkens im Interesse rascher Anpassungsplanungen klingt ebenso bei SCHEER (1987a), S. 53, an: "Gemeinsam ist den ... interaktiven Entscheidungsunterstützungssystemen, daß sie ihr Gewicht weniger auf die Optimierungsphase legen ... Vielmehr liegt der Schwerpunkt in der *schnellen* Generierung und Bewertung von Alternativen" (Fettdruck im Original hier kursiv). Vgl. auch die Inkaufnahme suboptimaler Planungen zugunsten der Aktualität von Planungsergebnissen bei SCHEER (1990c), S. 60, und WINTER, RO. (1991), S. 238. Vgl. des weiteren DORN (1989), S. 154. Er befaßt sich speziell mit der Planung unter Realzeitbedingungen. Dort spielen Flexibilitätsaspekte eine besondere Rolle (Näheres dazu im Rahmen des regelungstheoretischen Paradigmas). Für diesen Planungsbereich legt DORN den Verzicht auf Optimalplanungen nahe.

Ein explizites Abrücken von Optimierungsansprüchen im Kontext von PPS-Systemen, von Maschinenbelegungen bei Werkstattfertigung oder von Prozeßkoordinierungen bei Flexiblen Fertigungssystemen findet sich z.B. bei MÜLLER, A. (1987), S. 276 ("Optimierungsverfahren zur Reihenfolgeplanung sind praktisch irrelevant"); HINTZ (1987), S. 117f.; SCHEER (1990c), S. 207f. (i.V.m. S. 60); WINTER, RO. (1991), S. 164f., 188, 211, 237f. u. 332. Vgl. zu ähnlichen Empfehlungen, von Optimierungen abzurücken, jedoch im Zusammenhang mit Terminplanungsproblemen, SACERDOTI (1979), S. 1083f.; ZELEWSKI (1986a), S. 831f.

Besonders deutlich wird der Optimierungsverzicht für PPS-Systeme von WINTER, RO. (1991), S. 165, artikuliert: "Da ... Produktionsplanungsprobleme realitätsnaher Dimensionen oft nicht vollständig strukturiert sind und/oder sich bestimmte Problemstrukturen (Präferenzen, Kapazitäten, Aufträge) im Verlauf der Problemlösung ändern, erscheinen Optimierungsansätze konventionellen Zuschnitts hier ungeeignet. Außerdem werden entsprechende Algorithmen oft schon aufgrund des Problemvolumens völlig überfordert und führen deshalb in vernünftigen Zeiträumen zu keinen Ergebnissen ..." und weiter auf S. 211: "Entscheidend ist, daß auf die Optimierung ... vollständig verzichtet wird. ... Die Abkehr vom Optimierungsziel ist ... in letzter Zeit zunehmend propagiert worden und muß inzwischen als allgemein akzeptiert betrachtet werden." Dabei gibt WINTER als ein ausschlaggebendes Motiv für seinen konsequenten Optimierungsverzicht die "Zukunftsunsicherheit" im Bereich der kurzfristigen Produktionsplanung an. Dem kann sich der Verf. nur anschließen. Allerdings beruft sich WINTER als Beleg seiner These, der Optimierungsverzicht genieße allgemeine Akzeptanz, auf MERTENS (1988a), S. 7f. (Anmk. des Verf.: die relevante Passage wurde gegenüber der 6. Aufl. von 1986, auf die sich WINTER bezieht, nicht verändert). MERTENS führt zwar Gründe an, die zugunsten einer Preisgabe von Optimierungszielen sprechen können. Ob ein solcher Optimierungsverzicht tatsächlich erfolgen soll, läßt MERTENS aber mit dem Hinweis auf die Gefahren von Suboptima noch offen.

FRESE (1991), S. 25f., stellt generell für arbeitsteilig organisierte Systeme fest, daß eine optimale Koordinierung aller systeminternen Aktivitäten grundsätzlich nicht möglich ist. Denn Arbeitsteilung involviert partielle Autonomie der Akteure (S. 2, 25 u. 37). Diese Teilautonomie schließt jede Garantie, daß alle Akteure ihre Aktivitäten vollkommen am Koordinierungsoptimum des Gesamtsystems ausrichten, kategorisch aus. Folglich impliziert jede arbeitsteilige Systemorganisation Autonomiekosten (S. 26). Sie verhindern, das Optimum des Gesamtsystems trotz Arbeitsteilung jemals zu erreichen. Daher bedeutet eine "arbeitsteilige Lösung ... zwangsläufig den Verzicht auf die Gewährleistung einer optimalen Lösung." (S. 25; kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Bereits zu Beginn dieser Arbeit wurde ihre Thematik - die Koordinierung in komplexen Produktionsprozessen - auf die arbeitsteilige Organisation der zugrundeliegenden Produktionssysteme zurückgeführt. Daher trifft die FRESE's Argumentation auf die hier interessierenden Prozeßkoordinierungen zu. Seiner prägnanten und ebenso stringenten Rechtfertigung eines generellen Optimierungsverzichts kann sich der Verf. nur anschließen. Am Rande wird auf eine enge inhaltliche Verwandtschaft hingewiesen. Sie besteht zwischen FRESE's Argumentation zugunsten eines Optimierungsverzichts einerseits und den Beiträgen zu Prinzipal/Agenten-Problemen andererseits, die in einer früheren Anmerkung skizziert wurden. Dort wurde aufgezeigt, daß sich die Optimierungsinteressen eines Prinzipals aufgrund opportunistischer Verhaltensweisen von Agenten im allgemeinen nicht durchsetzen lassen. Es überrascht nicht, daß FRESE (1991), S. 31, die Agentenkosten aus Prinzipal/Agenten-Problemen ausdrücklich unter sein Konzept der Autonomiekosten subsumiert. In ähnlicher, aber weniger konziser Weise wendet sich auch MALIK (1986), S. 61ff., 332f. u. 485f., gegen den Glauben, komplexe Systeme in optimaler Weise koordinieren zu können. Dies wird besonders deutlich in seinen Worten: "... können wir nie davon ausgehen, dass ... eine Entscheidung, die heute richtig sein mag, dies auch morgen noch sein wird. Die beste Entscheidung wird von den Umständen überholt und obsolet gemacht." (S. 64); "Der Problemlöser ist sich darüber im klaren, dass er angesichts hoher Komplexität eine endgültige Lösung nicht finden kann und schon gar nicht eine endgültige optimale Lösung ..." (S. 332) und "Es hat gar keinen Sinn und ist auch nicht notwendig, im voraus einen perfekten, optimalen Ablauf festlegen zu wollen" (S. 485).

Vgl. dagegen zum inkonsistenten Festhalten an Optimierungsansprüchen, obwohl die Bedeutung von Störungen für Produktionspläne explizit eingeräumt wird, NIEB (1980), S. 40f. u. 114 i.V.m. S. 34f. u. 37; SPUR (1980), S. 27f., 309f., 313ff., 232ff., 347f., 357, 365, 375, 378, 383, 396, 399ff. u. 441 i.V.m. S. 364; SPUR (1981a), S. 114;

EVERSHEIM (1981), S. 166f. i.V.m. S. 176ff.; KAZMAIER (1984), S. 165 u. 167 i.V.m. S. 164; KREIMEIER (1988), S. 395.

95) Das wurde schon in einer früheren Anmerkung angesprochen. Es lassen sich jedoch durchaus Optimierungsansätze mit dem hier entfalteten revidierten Planungsverständnis vereinbaren. Dann dürfen die optimalen Problemlösungen allerdings nicht für verbindlich erklärt werden. Statt dessen müssen sie stets unter dem Blickwinkel künftiger Revisionsmöglichkeiten betrachtet werden. Wie dies konkret geschehen kann, wird später anhand der Robustheitsanalyse von Netzmodellen demonstriert.

96) Gleiches gilt für die Güte von Regelungskonzepten.

97) Auf diesem Einwand beruht der Optimierungsansatz der Flexiblen Planung, der bereits in einer früheren Anmerkung erörtert wurde. Die nachfolgenden Bedenken gegenüber der Verwendung von Eintrittswahrscheinlichkeiten für Produktionssituationen bekräftigen nochmals die bereits dort angedeutete Kritik gegenüber denjenigen Lösungstechniken der Flexiblen Planung, die Eventualpläne mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung kombinieren.

98) Die Ansicht, Produktionsstörungen ließen sich durch Störung(eintritts)wahrscheinlichkeiten prognostizieren, findet sich bei BORMANN (1978), S. 47ff., insbesondere S. 51ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 44.

99) Vgl. zum Konzept subjektiver Wahrscheinlichkeiten (Glaubwürdigkeiten) WITTMANN (1959), S. 48ff. u. 116ff.; CARNAP (1959a), S. 100ff., insbesondere S. 102 u. 104 (ohne explizite Verwendung des Attributs "subjektiv"); RAMSEY, F. (1965), S. 156ff.; KRELLE (1968), S. 198ff.; WILD (1969), S. 75 u. 84ff.; MELLWIG (1972), S. 25f., 32ff. u. 43ff.; RAIFFA (1973), S. 128ff. u. 308ff.; HAX, H. (1974), S. 43ff.; STREBEL (1975), S. 23ff.; EISENFÜHR (1978), S. 438f.; MÜLLER-MERBACH (1978), S. 414f. u. 423; STAUDT (1979a), S. 57f.; PFOHL (1981), S. 338ff.; HANSSMANN (1987), S. 106ff.; SCHNEEWEIß, C. (1988), S. 290 u. 296; BAMBERG (1989), S. 69f.; DILLMANN (1990b), S. 1ff.; SIEBEN (1990), S. 58f.; LAUX (1990a), S. 29; LAUX (1990b), S. 44f. Vgl. insbesondere auch zur Bezugnahme der Flexiblen Planung auf subjektive Wahrscheinlichkeiten LAUX (1971), S. 18; JACOB, H. (1974), S. 303 u. 404; LAUX (1991), S. 253.

100) Vgl. zu ähnlichen Zweifeln gegenüber dem Anspruch, subjektive Wahrscheinlichkeiten quantitativ-konkret ermitteln zu können, GUPTA, S. (1968), S. B-20 ("the invidious and often controversial allocation of subjective probabilities to uncertain events") u. B-21 ("the quagmire of subjective probabilities"); WILD (1969), S. 87; STREBEL (1975), S. 40f. (S. 40: "Die Schwierigkeit, begründete Aussagen über subjektive Wahrscheinlichkeiten ... zu machen, sind offenkundig"); EISENFÜHR (1978), S. 439; LANGLOTZ (1986), S. 217.

Die zuvor angesprochene Skepsis bezieht sich zunächst nur auf die umfassende Schätzung von *subjektiven* Eintrittswahrscheinlichkeiten. Die Ermittlung "objektiver" Wahrscheinlichkeiten fällt im allgemeinen jedoch noch schwieriger aus als die ihrer subjektiven Pendanten. Daher gelten die vorgetragenen Bedenken a fortiori auch dann, falls eine Objektivierung der Wahrscheinlichkeitsschätzung auf frequentistischer oder axiomatischer Basis angestrebt werden sollte. Vgl. zu solchen objektiven Wahrscheinlichkeitskonzepten WITTMANN (1959), S. 40ff. u. 93ff.; CARNAP (1959a), S. 33ff. u. 39ff.; KRELLE (1968), S. 196ff.; WILD (1969), S. 75ff., insbesondere S. 81ff.; MELLWIG (1972), S. 26, 29ff. u. 36ff.; HAX, H. (1974), S. 39ff.; DILLMANN (1990b), S. 67ff.

Grundsätzliche Vorbehalte gegenüber dem Glauben, präzise Wahrscheinlichkeiten für die Formulierung stochastischer Modelle bestimmen zu können, ohne sich dabei auf subjektive Wahrscheinlichkeiten zu beschränken, finden sich auch bei HART, A. (1951), S. 82, mittelbar auch 51(ff.); SIMON, H. (1957a), S. 246; WITTMANN (1959), S. 135, 144f. u. 149; KASPER (1975), S. 63; RIVETT (1980), S. 84f.; ROY, B. (1986), S. 201 u. 212; SCHNEEWEIß, C. (1988), S. 290 u. 296; FULDA (1989), Sp. 1639ff.; MARCH (1990a), S. 102; LEE, Y. (1990), S. 1108 u. 1117; PAGNONI (1990), S. 88; RABL (1990), S. 155; HOGARTH (1990), S. 782; RABETGE (1991), S. 128f.; HENNICKE (1991), S. 48 u. 63 (jeweils speziell auf Störungsfälle bezogen) sowie S. 57, 61 u. 67f.

Ein indirekter Hinweis auf die Schwierigkeiten, Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignissen konkret zu ermitteln, liegt in der vielfach üblichen Prämisse stochastischer Modellierungen, die Werte dieser Wahrscheinlichkeiten schlicht als bekannt vorauszusetzen. Dadurch wird vor den Schwierigkeiten, Wahrscheinlichkeiten zu bestimmen, von vornherein kapituliert. Vgl. zu dieser prämissensetzenden Ausflucht aus der Ermittlungsproblematik z.B. die stochastische Modellierung Flexibler Fertigungssysteme bei MIRIYALA (1989), S. 161. Vgl. ebenso - jedoch ohne Bezug auf Flexible Fertigungssysteme - ELMAGHRABY (1964), S. 495; ELMAGHRABY (1977), S. 327; HASTINGS (1978), S. 102; WOLF, J. (1989), S. 68 (mit weiterführenden Quellenhinweisen in Fn. 59); LAUX (1990a), S. 29 ("Wir gehen im folgenden davon aus, daß der Entscheider den möglichen Datenkonstellationen ... subjektive Eintrittswahrscheinlichkeiten zuordnen kann ..."); FANDEL (1991b), S. 250 (er setzt die Kenntnis von Wahrscheinlichkeitsverteilungen als ein produktionstheoretisches Axiom voraus). Dagegen weist SIEBEN (1990), S. 77, ausdrücklich auf die Problematik hin, in stochastischen Entscheidungsmodellen die Wahrscheinlichkeiten als "gegeben" vorauszusetzen ("Diese zentralen Informationsprobleme überläßt die Entscheidungstheorie weiterhin der Findigkeit und Kreativität der Entscheidungsträger"). Darüber hinaus zeigt WOLF, J. (1989), S. 78f. u. 81ff., daß die Wahrscheinlichkeiten, die in stochastischen (Entscheidungs-)Modellen als bekannt vorausgesetzt werden, in der Regel nur einen Teilaspekt der Informationsunvollkommenheit abdecken. Denn sie berücksichtigen nur die Mehrwertigkeit von *wohlbestimm-*

ten Zukunftserwartungen in einem *gegebenen* Entscheidungsfeld. Unvollkommene Informationen über die Gestalt des relevanten Zustands-, Alternativen- und Ergebnisraums werden dagegen überhaupt noch nicht erfaßt (S. 79).

Besonders pointiert haben schon CYERT und MARCH in CYERT (1963), S. 119f., auf eine fundamentale Diskrepanz hingewiesen. Sie bestehe zwischen stochastischen Problemformulierungen der betriebswirtschaftlichen Theorie einerseits und den wahrscheinlichkeitsfreien Problemhandhabungen der betrieblichen Praxis andererseits: "... much of modern decision theory has been concerned with the problems of decision making under risk and uncertainty. The solutions involved have been largely procedures for finding certainty equivalents ... Our studies indicate quite a different strategy on the part of organizations. *Organizations avoid uncertainty ... they achieve a reasonably manageable decision situation by avoiding planning where plans depend on predictions of uncertain future events ...*" (S. 119; kursive Hervorhebungen durch den Verf.). CLARKSON und SIMON legen nahe, daß ein typischer Fehler 3. Art begangen wird, wenn mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen und darauf aufbauenden stochastischen Modellen gearbeitet wird: "With great ingenuity, ... we represent risks by probability distributions. Having done this, we are left with the question of whether we have constructed a theory of how economic man makes his decisions, or instead a theory of how he *would* make his decisions if he could reason only in terms of numbers and had no qualitative or verbal concepts" (CLARKSON (1960), S. 924).

Die Praxisferne von stochastischen Modellierungen bestätigen auch MERTENS und GRIESE: "Viele Führungskräfte sind nicht genügend ausgebildet, um die verfeinerten computerunterstützten Systeme zu nutzen, insbesondere fehlt es an Kenntnissen ... im elementaren Umgang mit stochastischen Daten. Beispielsweise hat Conrath in Experimenten gefunden, daß die Entscheidungsträger Schwierigkeiten mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen haben und daher einwertige Schätzungen klar bevorzugen." (MERTENS (1988b), S. 270). Die Bezugnahme auf Führungskräfte ist hier unbeachtlich. Denn es ist kaum zu erwarten, daß Mitarbeiter, denen die Koordinierung von Produktionsprozessen obliegt, in statistischer Hinsicht höher qualifiziert sind als Führungskräfte. Die experimentellen Studien, die im voranstehenden Zitat erwähnt wurden, finden sich bei CONRATH (1973), S. 873ff., insbesondere S. 873, 875 u. 882. Damit stimmen auch empirische Erhebungen überein, die gezeigt haben, daß stochastische Konzepte der betriebswirtschaftlichen Theorie in der betrieblichen Praxis nur geringe Resonanz erfahren; vgl. MÜLLER-MERBACH (1978), S. 424ff., insbesondere S. 428f. u. 430. Ebenso bestätigt SIEBEN (1990), S. 77, daß theoretische stochastische Konzepte der praktischen Scheu vor dem Umgang mit Wahrscheinlichkeiten nicht gerecht werden. Statt dessen herrschen bei der Bewältigung praktischer Koordinierungsprobleme Strategien der Unsicherheitsvermeidung vor; vgl. CYERT (1963), S. 102 u. 113; MARCH (1990a), S. 99, und SIEBEN (1990), S. 191. Vgl. des weiteren zur geringen praktischen Relevanz von stochastischen Modellierungen MARCH (1990a), S. 90ff., insbesondere S. 90, 96, 101f. u. 106f.; RABL (1990), S. 155f.

Eine *realitätsnahe* Modellierung von Entscheidungen bei dynamischen Koordinierungsproblemen kann diese deutliche Distanz der betrieblichen Praxis gegenüber wahrscheinlichkeitsbasierten Koordinierungsmodellen nicht unbeachtet lassen. Daher erscheint es dem Verf. angemessen, sich dem Aufruf von BEST, G. (1986), S. 464, anzuschließen, bei Koordinierungsproblemen unter Unsicherheit *geringere* Anforderungen an die jeweils vorausgesetzten Informationen zu stellen, als es sonst oftmals üblich ist. Dies bedeutet im hier erörterten Kontext konkret, auf die Präsupposition subjektiver Wahrscheinlichkeiten zu verzichten. Vgl. dazu auch die Kritik von GUPTA, J. (1977), S. 88, an überzogenen Informationsvoraussetzungen von OR-Modellen: "The nonavailability of data required in the mathematical models is a serious problem. Yet, the OR/MS analyst constructs these models and hopes that the manager will, somehow or other, provide him with the data required. The usual belief is ... that the data exists in some places ... but the model does not provide data." (kursive Hervorhebung des Originals hier unterlassen).

Eine unentschiedene und in sich widersprüchliche Haltung nimmt dagegen MÜLLER, A. (1987), S. 44, ein: Sie glaubt daran, daß sich "Störungen ... in gewissem Maße prognostizieren" lassen, ohne jedoch das "gewisse" Ausmaß zu präzisieren. Die interessante Frage, wie mit jenen Störungen umgegangen werden solle, die jenseits des "gewissen" Ausmaßes liegen, beantwortet MÜLLER nicht explizit. Darüber hinaus räumt sie später Mängel bei der Prognose von Störungen ein (S. 112f.). Doch leitet sie daraus keine grundsätzlichen Zweifel an der Prognosemöglichkeit ab. Ebenso merkt BORMANN (1978), S. 53, die "Unmöglichkeit der Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten" an, unternimmt aber dennoch stochastisch ausgerichtete Störungsuntersuchungen. Auch MELLWIG (1972), S. 44f. u. 47, und BAMBERG (1989), S. 68f. u. 96f., räumen zunächst ein, daß es erhebliche Schwierigkeiten bereiten kann, die Werte subjektiver Wahrscheinlichkeiten quantitativ zu bestimmen. Sie gelangen danach aber dennoch zu einer insgesamt optimistischen Einschätzung ihrer Bestimmungsmöglichkeit; vgl. MELLWIG (1972), S. 47ff.; BAMBERG (1989), S. 69f. u. 97f. Auf derart widersprüchliche Einstellungen zur Schätzproblematik von Wahrscheinlichkeiten wird fortan nicht mehr eingegangen.

101) Eine Wahrscheinlichkeitsschätzung gilt hier als seriös, wenn der Entscheidungsträger rechtfertigende Gründe anzugeben vermag, die als "plausibel" anerkannt werden. Vgl. zur Fundiertheitsforderung subjektiver Wahrscheinlichkeiten MELLWIG (1972), S. 32f. u. 36, und STREBEL (1975), S. 40 ("*begründete* Aussagen über subjektive Wahrscheinlichkeiten"; kursive Hervorhebung durch den Verf.). Auf die Problematik, entsprechende Plausibilitätskriterien festzulegen, wird hier nicht weiter eingegangen. Vgl. statt dessen ZELEWSKI (1989b), S. 11ff.

102) Andernfalls ermöglicht die willkürliche Schätzung subjektiver Wahrscheinlichkeiten zwar präzise quantitative Koordinierungsmodelle. Doch besitzen diese stochastischen Modellierungen nur eine Scheingenauigkeit. Denn für

ihre Wahrscheinlichkeiten liegt - qua Voraussetzung - keine "plausible" Rechtfertigung mit Bezug auf das vorgegebene reale Koordinierungsproblem vor. Statt dessen wurde ihre scheinbare Präzision im Schätzvorgang künstlich erschaffen. Damit liegt aber wieder ein Fehler 3. Art vor: Ein falsch formuliertes Problem - hier ein stochastisch formuliertes Koordinierungsproblem - wird richtig gelöst.

103) Hinweise darauf, daß subjektiv geschätzte Wahrscheinlichkeiten diese Anforderungen durchaus verletzen können, finden sich bei BAMBERG (1989), S. 70, und DILLMANN (1990b), S. 2f. Ein besonders anschauliches Beispiel für die Inkonsistenz subjektiver Wahrscheinlichkeitsschätzungen erörtert ALLMAN (1990), S. 49ff. Vgl. auch MÜLLER-MERBACH (1978), S. 419ff. u. 430, zu einer empirischen Untersuchung, in der die Verbreitung von Kenntnissen über elementare Prinzipien der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der betrieblichen Praxis erhoben wurde. Dabei offenbarten sich zum Teil erhebliche Wissensdefizite. Sie waren besonders ausgeprägt bei Befragten ohne Hochschulabschluß (S. 420). Oftmals wird das Personal, das im Produktionsbereich mit der Schätzung von Ereigniswahrscheinlichkeiten befaßt ist, aus diesem geringer qualifizierten Personenkreis stammen. Daher ist kaum damit zu rechnen, daß die hier interessierenden Schätzungen subjektiver Wahrscheinlichkeiten den o.a. Anforderungen überwiegend gerecht werden.

104) DILLMANN (1990a), S. 50ff., setzt sich ausführlich mit solchen (Mindest-)Anforderungen an Wahrscheinlichkeiten auseinander.

105) Dazu gehören z.B. die Eintrittswahrscheinlichkeiten für Ereignisse, in denen die Betriebsbereitschaft von Bearbeitungsstationen nachhaltig gestört wird (Störfallereignisse), oder Eintrittswahrscheinlichkeiten für Ereignisse, durch deren Eintreten ein bereits begonnener Arbeitsgang beendet wird. Oftmals werden auch nicht die Wahrscheinlichkeiten für Ereigniseintritte geschätzt, sondern die Wahrscheinlichkeitsverteilungen (Dichtefunktionen) für diejenigen Zeitspannen, die zwischen einem Referenzzeitpunkt und dem Eintritt eines interessierenden Ereignisses verstreichen können. Da stochastische Modellierungen in dieser Arbeit nicht näher untersucht werden, kann von solchen Details abgesehen werden. Daher spielt es keine Rolle, wenn weiterhin vereinfachend nur die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignissen angesprochen werden.

106) Vgl. zu den Schwierigkeiten, diese Teilwahrscheinlichkeiten für Flexible Fertigungssysteme im einzelnen zu schätzen, z.B. MIRIYALA (1989), S. 161.

107) Darauf wird in bezug auf stochastische Petrinetze später zurückgekommen.

108) Vgl. MIRIYALA (1989), S. 149, speziell in bezug auf die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Störfallereignissen in Flexiblen Fertigungssystemen; HENNICKE (1991), S. 44f. u. 67f. (im Hinblick auf Auswertungskonzepte für stochastische Netzpläne).

109) FRIEND (1973), S. 224, läßt erkennen, daß gerade bei der Verwendung subjektiver Wahrscheinlichkeiten mit dem Problem stochastischer Abhängigkeit gerechnet werden muß. RABETGE (1991), S. 128f., geht explizit auf die Schwierigkeiten ein, stochastische Abhängigkeiten zwischen Teilwahrscheinlichkeiten zu erfassen. Ebenso weist er auf die Verzerrungen hin, die immer dann drohen, wenn (wie zumeist üblich) von diesen Interdependenzen abgesehen wird. Ebenso hebt HENNICKE (1991), S. 45 u. 68, mit Blick auf Netzpläne hervor, daß zwischen Teilwahrscheinlichkeiten oftmals stochastische Abhängigkeiten bestehen (vgl. auch - jedoch weniger deutlich - S. 61 u. 67).

110) Vgl. FULDA (1989), Sp. 1640 ("systeminterne Konstanz" und "Metahypothese der Systemstabilität"; kursive Hervorhebungen des Originals hier unterlassen).

111) Vgl. SCHEER (1990c), S. 61. Der Einwand, immerhin ließen sich die Wahrscheinlichkeiten von möglichen Veränderungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten schätzen, hilft hier nicht weiter, Denn er verschiebt das Problem variabler Kausalgerüste nur auf eine höhere Ebene, ohne es dort wirklich zu lösen. Denn auch jene Meta-Wahrscheinlichkeiten beruhen ihrerseits auf der Prämisse eines konstanten Verursachungszusammenhangs, die wiederum in Frage gestellt werden könnte usw. ad infinitum.

112) Dies geschah unter vorausschauender Berücksichtigung aller zukünftigen Handlungsmöglichkeiten und ihrer Handlungswirkungen. Lediglich wurden die Handlungswirkungen nunmehr in stochastischer Weise konzeptualisiert.

113) Der Verzicht auf stochastische Konzeptualisierungen von dynamischen Koordinierungsproblemen bedeutet, daß Prognosen denkmöglicher Produktionssituationen durch die Angabe situationspezifischer Eintrittswahrscheinlichkeiten grundsätzlich unterbleiben. Daher wird auch kurz von einem radikalen Prognoseverzicht gesprochen. Dabei werden Prognosen ausschließlich im Sinne von wahrscheinlichkeitsbasierten Prognosen thematisiert. "Deterministische" oder "Punkt-" Prognosen, wie sie etwa HANSSMANN (1990), S. 82ff., 334f. u. 450 erörtert, bleiben hier unberücksichtigt.

Der Prognoseverzicht liegt auch dem Konzept Robuster Planung zugrunde. Es wurde bereits in früheren Anmerkungen (Präzisierung des Robustheitsbegriffs und Offenhalten von Spielräumen durch robuste "erste Schritte") angesprochen; vgl. auch die dort genannte weiterführende Literatur. Die Auswahl einer robusten Entscheidungsalternative nimmt an keiner Stelle auf Eintrittswahrscheinlichkeiten für die zukünftig möglichen Produktionssituationen

(Modellumwelten) Bezug. Dies wird z.B. von GUPTA, S. (1968), S. B-21; ROSENHEAD (1972), S. 419; ELTON (1973a), S. 314; ROSENHEAD (1980b), S. 334; unterstrichen. Vgl. auch DELFMANN (1989a), S. 222 ("Eine Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten dürfte ... kaum möglich sein") u. S. 226 ("Entscheidend ist, daß die Robustheitsanalyse keine Aggregation der Ergebnisse verschiedener Umweltsituationen erlaubt, wie sie beispielsweise bei der Erwartungswertermittlung vorgenommen wird"). Eine solche Ergebnisaggregation nach Maßgabe des Erwartungswertkonzepts wäre nur möglich, falls Eintrittswahrscheinlichkeiten für die alternativen Umweltsituationen zur Verfügung stünden. DELFMANN selbst argumentiert in dieser Hinsicht anders. Davon wird hier jedoch abgesehen, weil das Paradigma Robuster Planung nicht im Vordergrund des Interesses steht.). Darüber hinaus lehnt DELFMANN (1989a), S. 227, stochastische Modellierungen (Prognosemodelle) als Grundlage Robuster Planung sogar explizit ab. Hinsichtlich dieses Prognoseverzichts steht die Robuste Planung der hier vorgenommenen Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen in Flexiblen Fertigungssystemen wesentlich näher als die Flexible Planung, die in einer früheren Anmerkung behandelt wurde. Denn die letztgenannte Planungsvariante präsупponiert - wie bereits dargelegt - in ihren Lösungstechniken gewöhnlich, daß für alle Produktionssituationen deren Eintrittswahrscheinlichkeiten bekannt sind. Daher wird nur die Robuste Planung in das später entfaltete Modellierungskonzept für Prozeßkoordinierungen aufgenommen. Dabei wird ihr Kerngedanke, die Robustheit lokaler Entscheidungsalternativen zu beurteilen, in die Analyse von Netzmodellen integriert. Abweichender Ansicht ist dagegen DIRUF (1980a), S. 14, der die Robuste Planung um die Einbeziehung subjektiver Wahrscheinlichkeiten erweitern möchte.

Vgl. des weiteren zur Ablehnung stochastischer Modellierungen von Koordinierungsproblemen und zum entsprechenden radikalen Prognoseverzicht HENNICKE (1991), S. 63 u. 68f. (für industrielle Fertigungsprojekte). Vgl. auch am Rande HANSSMANN (1976), S. 5 u. 10; BEST, G. (1986), S. 466; PROBST (1988), S. 1154f. In den vorgenannten Beiträgen wird die Abneigung gegenüber Prognosemodellen derart allgemein formuliert, daß sie anscheinend auch die oben ausgegrenzten deterministischen Prognosen umfaßt.

Schließlich läßt sich auf Positionen verweisen, die stochastische Modelle für Koordinierungsprobleme zwar nicht grundsätzlich in Abrede stellen, jedoch erheblichen Zweifeln aussetzen. Vgl. dazu vor allem HANSSMANN (1990), S. 335: "Das Bemühen um immer perfektere Prognosemodelle geht methodisch in die falsche Richtung. Vielmehr gilt es, die Unsicherheit der Umwelt anzuerkennen ... Im Extremfall eröffnet dieses wichtige Prinzip die zunächst fraprierende Möglichkeit einer 'Planung ohne Prognose'." HANSSMANN bezieht sich zwar auf den Bereich der strategischen Planung, doch trifft seine Argumentation inhaltlich ebenso auf die hier interessierende Prozeßkoordinierung Flexibler Fertigungssysteme zu. Vgl. zur "Planung ohne Prognose" ebenso HANSSMANN (1976), S. 5; STAUDT (1979a), S. 39. Das Motiv, die Unsicherheit der Umwelt anzuerkennen, findet sich auch bei BEST, G. (1986), S. 463 ("accept uncertainty") u. 472. Vgl. darüber hinaus zu grundsätzlichen Zweifeln an stochastischen Modellierungen STAUDT (1979a), S. 55.

Der Verzicht auf jede stochastische Modellierung von Koordinierungsproblemen bedeutet jedoch auch, daß auf die Erkenntnismöglichkeit solcher Problemaspekte von vornherein verzichtet wird, die in originär stochastischer Weise definiert sind. Dazu gehört vor allem die Zuverlässigkeit (Reliabilität) von Produktionssystemen, sofern sie in Abhängigkeit von den Eintrittswahrscheinlichkeiten für Störungen einzelner Systemkomponenten gemessen wird. Vgl. zu einer solchen - hier ausgegrenzten - Zuverlässigkeitsanalyse Flexibler Fertigungssysteme MIRIYALA (1989), S. 149ff.

114) Der hier fundierte Indeterminismus wird auch später für die Entfaltung des Petrinetz-Konzepts eine beachtenswerte Rolle spielen.

115) In ähnlicher Weise äußert sich MALIK (1986), S. 62f., zu einer "Optimierung" von Koordinierungsentscheidungen in zeitlich instabilen Entscheidungskontexten. Zwar bezieht er sich dabei nicht auf die hier interessierende Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen, sondern argumentiert im allgemeinen Kontext von Managementproblemen. Auch entspricht MALIK's Optimierungsbegriff hinsichtlich seines Extremierungsanspruchs nicht den Intentionen des Verf. Anstelle der "Optimierung der Steuerungsfähigkeit" (S. 63) verwendet MALIK aber auch den weniger ambitionierten und inhaltlich eher vertretbaren Begriff der "Manageability" (S. 63). Von diesen marginalen Vorbehalten kann jedoch abgesehen werden. Wesentlich ist vielmehr, daß MALIK zu Recht die Aufmerksamkeit auf die Metaebene lenkt. Auf ihr nicht mehr isolierte Entscheidungen über einzelne Produktionspläne optimiert. Statt dessen wird die Fähigkeit zur Anpassung von Koordinierungsentscheidungen an variable Entscheidungssituationen (Produktionssituationen) in den Vordergrund gerückt.

116) Infolge dieser grundsätzlichen Unsicherheit wird weder auf das einengende Korsett eingefrorener Produktionspläne noch auf die fragwürdige Schätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige Ereignisgeschehnisse vertraut. Vgl. auch SCHEER (1990c), S. 80, der "von vornherein Planänderungen für möglich" hält.

117) Diese Einstellung scheint auch WITTE, E. (1989), S. 351f., zu verfolgen, wenn er zur betriebswirtschaftlichen Planung allgemein anmerkt: "Wenn man sich der stets wachzuhaltenden Zweifel bewußt bleibt, ob es wirklich prinzipiell möglich ist, mit Daten der Gegenwart und der Vergangenheit die Zukunft ... gestalten zu wollen, wird man Planungsfehlern mit größerem Verständnis begegnen. Die modernen Ansätze, bei fortlaufend neu eintreffenden In-

formationen die (flexiblen) Planansätze ständig zu korrigieren, schaffen die Voraussetzung, die Planungsfehler ihrerseits zum Gegenstand der Planung zu machen."

118) In diesem speziellen, auf unerwartete Situationsveränderungen bezogenen Sinn erfolgt eine indeterministische "Planung" von Koordinierungsentscheidungen. Die akzeptable Reaktionsalternative, die als das Ergebnis einer Anpassungsplanung ausgewiesen wird, läßt sich als akzeptable Lösung des jeweils bearbeiteten Anpassungsproblems ansprechen.

119) Die hier betrachteten akzeptablen Reaktionsalternativen werden fortan auch als akzeptable (lokale) Entscheidungsalternativen, als akzeptable Anpassungsmaßnahmen oder als akzeptable Ergebnisse der Anpassungsplanung angesprochen.

120) Auf eine Ausnahme wird an anderer Stelle hingewiesen.

121) Für eine solche Koinzidenz müßten sich die geplanten Reaktionsalternativen zu *globalen* Entscheidungsalternativen vervollständigen lassen, die sowohl sachlich zulässig sind als auch das jeweils vorgegebene Formalziele system optimal erfüllen. Dies wird in der Regel nicht der Fall sein. Denn eine akzeptable Reaktionsalternative gehört zunächst nur zum *lokalen* Spielraum, der im aktuellen Zustand des Produktionssystems für Anpassungen offensteht. Daher müßte zunächst geprüft werden, ob eine Reaktionsalternative in den Spielräumen, die sie zukünftig noch offenläßt, so fortgesetzt werden kann, daß letztlich einer der erwünschten Endzustände des Produktionssystems erreicht wird. Darüber hinaus wäre es erforderlich zu zeigen, daß sich die vervollständigte globale Entscheidungsalternative vor dem Hintergrund aller anderen zulässigen Vervollständigungen von allen anderen möglichen Reaktionsalternativen als optimal erweist. Zwar ist eine vorausschauende Beurteilung der zukünftig noch offenstehenden lokalen Entscheidungsspielräume grundsätzlich möglich. Da durch eine solche Vorausschau alleine noch keine Entscheidungsbindungen erfolgen, ließe sich dies durchaus mit dem revidierten Planungsverständnis vereinbaren. Doch wird der Nachweis, daß die beiden vorgenannten Bedingungen erfüllt sind, nur selten gelingen. Darüber hinaus kann aufgrund der voranstehenden Problemkonzeptualisierung niemals ausgeschlossen werden, daß spätere unvorhergesehene Veränderungen der Produktionssituation die hypothetisch angenommenen Zukunftsentwicklungen des Produktionssystems nachträglich widerlegen.

122) Damit wird hervorgehoben, daß - im Gegensatz zum konventionellen Planungsverständnis - die betrachteten zukünftig möglichen lokalen Entscheidungsalternativen nicht verbindlich festgelegt, sondern nur zur Beurteilung der *vorstellbaren* Folgewirkungen einer gegenwärtig auswählbaren lokalen Entscheidungsalternative betrachtet werden.

123) Entscheidungskriterien, die auf die hier skizzierte erste Weise konkretisiert werden, lassen sich auch als mittelbar globale Kriterien ansprechen. Damit wird auf die Vervollständigung zu einer globalen Entscheidungsalternative Bezug genommen.

124) Dabei werden die schon früher getroffenen lokalen Entscheidungen als Restriktionen behandelt, die zum ursprünglich vorgegebenen Koordinierungsproblem hinzutreten.

125) Im Normalfall existieren für dieselbe lokale Entscheidungsalternative zahlreiche verschiedene global vervollständigte Entscheidungsalternativen, da die zukünftig noch offenstehenden Spielräume jeweils auf unterschiedliche Weise geschlossen werden können.

126) Diese Ersatzziele können zum originären Zielsystem des Koordinierungsproblems in einem - wünschenswerten - Mittel/Zweck-Zusammenhang stehen, müssen es aber nicht. Vgl. dazu die Anmerkungen zum Mittel/Zweck-Verhältnis zwischen heuristischen Entscheidungsregeln und Formalzielen.

127) Deshalb werden die Entscheidungskriterien, die auf diese zweite Weise inhaltlich ausgestaltet werden, als rein lokale Kriterien bezeichnet.

128) Sie allein erscheint schon diskussionswürdig.

129) Das Konzept der Robustheitsanalyse wird sich sogar als so fruchtbar erweisen, daß es erlaubt, Optimierungsansätze als Grenzfälle zu berücksichtigen, sofern dabei auf das vorzeitige Fixieren optimaler Planungsergebnisse verzichtet wird. Dies unterstreicht die bereits getroffene Feststellung, daß das konventionelle Planungsverständnis nicht hinsichtlich seines vorherrschenden Optimierungsdenkens schlechthin kritisiert wird, sondern in bezug auf seine Intention, Planungsergebnisse für verbindlich zu erklären.

130) Diese Auszeichnung braucht nicht eindeutig zu sein. Falls derselbe Spielraum mehrere akzeptable Entscheidungsalternativen umfaßt, wird unterstellt, daß sich der Entscheidungsträger ihnen gegenüber indifferent verhält. Die Auswahl von genau einer akzeptablen Alternative aus der mehrelementigen Menge aller Entscheidungsalternativen, die im selben Spielraum akzeptabel sind, erfolgt dann willkürlich. Oftmals werden die Entscheidungskriterien aber von vornherein so formuliert, daß sie für jeden Spielraum, der mindestens eine lokale Entscheidungsalternative enthält, *genau eine* Alternative als akzeptabel auszeichnen. Dies trifft z.B. häufig für Prioritätsregeln zu.

Ebenso kann der Fall eintreten, daß die spielraumspezifische Menge akzeptabler Entscheidungsalternativen leer ist. Dann existiert überhaupt keine Möglichkeit, auf eine eingetretene Veränderung der Produktionssituation in akzeptabler Weise zu reagieren. Statt dessen muß die Anpassungsplanung erfolglos abgebrochen werden. Es kann jedoch erwogen werden, die Identifizierung der Entscheidungsspielräume mit dem Ziel zu überdenken, bisher noch nicht konzeptualisierte Anpassungen aufzudecken. Ebenso ist es möglich, Zielsystem oder Entscheidungskriterien so weit abzuschwächen, daß danach wieder akzeptable Entscheidungsalternativen aufgefunden werden.

131) Da die Lösung des Koordinierungsproblems durch die Auswahl von *akzeptablen* lokalen Entscheidungsalternativen für alle involvierten Spielräume konstituiert wird, läßt sich auch von einer akzeptablen (globalen) Problemlösung sprechen. Die Entscheidungskriterien, aus deren sukzessiver Anwendung schließlich eine akzeptable Problemlösung hervorgeht, formieren in ihrer Gesamtheit eine Lösungsstrategie. Solche Lösungsstrategien werden sich im Rahmen des Petrinetz-Konzepts als Konflikt- und Schaltstrategien wiederfinden.

132) Die lokal angewendeten Entscheidungskriterien brauchen die globalen Problemlösungen allerdings nicht eindeutig zu determinieren. Denn sobald mindestens ein lokaler Spielraum mehrere akzeptable Entscheidungsalternativen enthält, wirkt sich auch die willkürliche Auswahl genau einer dieser Alternativen auf die Gestalt der globalen Problemlösung aus. Diese Auswahlwillkür wird jedoch durch die Entscheidungskriterien selbst nicht mehr abgedeckt.

133) Es wird fortan auch kurz als Lösungswissen bezeichnet. Dieses Lösungswissen wird selten explizit thematisiert. In den wenigen Ausnahmen wird es unter verschiedenen Formulierungsvarianten angesprochen, so z.B. unter dem Aspekt von methodischen (Entscheidungs-)Prämissen, von prozeduralem Entscheidungswissen oder von präsupponierten Lösungsmethoden. Vgl. dazu BRAUN, G. (1977), S. 16 ("Planungsnormen" und "Problemlösungsverfahren"), 37ff. u. 205ff.; KUPSCH (1979), S. 39 ("Rechenmethoden"); HOLTHOFF (1988), S. 21; MATTHES, W. (1988b), S. 2ff.

Besonders deutlich wird in PFOHL (1981), S. 25, 65(ff.), 68 u. 124, auf die Rolle eingegangen, die "methodische Entscheidungsprämissen" (S. 25) für die Ermittlung von Problemlösungen spielen. So stellen sie fest: "Aber erst wenn eine geeignete Lösungsmethode vorliegt, kann eine optimale Aktion aus faktischen und wertenden Entscheidungsprämissen abgeleitet werden." (S. 25, kursive Hervorhebung im Original hier unterlassen). Dem kann sich der Verf. unter zwei einschränkenden Bedingungen nur anschließen. Erstens ist von der üblichen Präsupposition optimaler Entscheidungen abzusehen. Zweitens gilt die Relevanz von Lösungsmethoden nur für nicht-triviale Probleme; vgl. dazu die Anmerkungen im problemtheoretischen Kontext. Vgl. auch am Rande ALBERT, H. (1987), S. 70ff., insbesondere S. 73f., der sich - allerdings in einem anderen, epistemologischen Argumentationszusammenhang - mit Versuchen auseinandersetzt, methodologische Prämissen als "Normierung der Erkenntnispraxis" (S. 70, im Original kursiv) zu rechtfertigen.

134) Die Bedeutung des Lösungswissens, das Entscheidungskriterien für das Schließen lokaler Spielräume besitzen, läßt sich anhand des früher erläuterten Phänomens der Lösungsdefekte von Optimierungsproblemen verdeutlichen. Um der "Komplexität Falle" von lösungsdefekten Problemen zu entgehen, kann von vornherein auf deren optimale Lösung verzichtet werden. Dieser Optimierungsverzicht allein führt jedoch noch nicht zu einer - nunmehr suboptimalen - Problemlösung. Vielmehr muß zusätzliches Lösungswissen bereitgestellt werden. Dies geschieht hier durch die lokal definierten Entscheidungskriterien (Prioritätsregeln). Ihre Zugabe zur Beschreibung eines Koordinierungsproblems wirkt wie zusätzliches heuristisches Wissen, das den Lösungsdefekt des Koordinierungsproblems nachträglich, allerdings suboptimal heilt. Die Gesamtheit aller Entscheidungskriterien, die zur Heilung eines lösungsdefekten Koordinierungsproblems eingesetzt werden, stellt eine heuristische Lösungsstrategie - oder kurz: eine Heuristik - dar.

Besonders deutlich hat WITTE die Heilung der Lösungsdefektheit von Optimierungsproblemen durch heuristisches Wissen herausgestellt. Dabei betont er den Aspekt, daß lösungsdefekte Probleme zunächst zu den schlechtstrukturierten Problemen gehören. Aber die Hinzunahme von Heuristiken bereichere die Problemstrukturierung derart, daß die heuristisch erweiterten Entscheidungsprobleme nunmehr wohlstrukturierte Probleme darstellten, weil sich ihre suboptimalen Lösungen ohne Schwierigkeiten ermitteln lassen. Heuristiken beseitigen auf diese Weise die ursprüngliche Lösungsdefektheit, allerdings auf Kosten eines damit verbundenen Optimierungsverzichts. Daher wird die fehlende ex ante-Strukturierung von lösungsdefekten Problemen durch zusätzliches heuristisches Wissen ex post "geheilt". Vgl. zum voranstehend skizzierten strukturbereichenden und lösungsstimulierenden Charakter von Heuristiken WITTE, T. (1979a), S. 38ff., 142(ff.) u. 167; WITTE, T. (1979b), S. 438 (bezüglich des Optimierungsverzichts S. 440); WITTE, T. (1979c), S. 490ff., insbesondere S. 491; ADAM, D. (1979), S. 385f.

Vor dem Hintergrund der früher erfolgten entscheidungstheoretischen Problemkonzeptualisierung kann untersucht werden, ob eine heuristische Lösungsstrategie den Postulaten anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierung und wirkungsminimaler Spielraumschließungen gerecht wird. Beispielsweise erfolgt später eine Grundsatzentscheidung zugunsten der "universellen Schaltschritt-Strategie", weil nur sie die lokalen Entscheidungsspielräume, die in einem Netzmodell aufgrund seiner aktivierten Schaltschritte latent enthalten sind, auch tatsächlich als Entscheidungsoptionen vollständig identifiziert. Daher entspricht nur sie dem Postulat anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierungen.

135) Dies folgt unmittelbar daraus, daß sich konventionelle Entscheidungsmodelle auf die Abbildung von Entscheidungsfeld und Zielsystem konzentrieren. Darin sind die hier erörterten Entscheidungskriterien für lokale Spielräume nicht enthalten.

136) Dies belegen Prioritätsregeln. Sie gehören einerseits zu denjenigen Entscheidungskriterien des Lösungswissens, die auf rein lokale Weise definiert sind (s.o.). Andererseits erfreuen sie sich in der betrieblichen Praxis großer Beliebtheit.

Die Bedeutung von Lösungswissen klang auch an früherer Stelle bei der Erörterung von multidimensionalen Formalzielsystemen an. Dort mußten Lösungskonzepte hinzugezogen werden, um aus umfangreichen Mengen nicht-dominierter Problemlösungen die jeweils "akzeptablen" herauszufiltern. Diese Lösungskonzepte enthalten zusätzliches, lösungsrelevantes Wissen über die jeweils zugrundeliegenden Akzeptabilitätsvorstellungen.

Darüber hinaus läßt sich die Relevanz des Lösungswissens auch aus (handlungs)theoretischer Perspektive unterstreichen. Ausgangspunkt ist dabei die Streitfrage, ob sich Handlungsempfehlungen entweder auf tautologische oder aber auf technologische Weise gewinnen lassen. Anhänger der tautologischen Generierung von Handlungsempfehlungen vertreten die Ansicht, es sei grundsätzlich möglich, aus einer korrekten Theorie des jeweils betroffenen Handlungsbereichs, aus dem Wissen über die tatsächlich vorliegende Handlungssituation und aus der Kenntnis der jeweils verfolgten Sach- und Formalziele durch rein deduktive Schlußfolgerungen diejenigen Handlungen abzuleiten, welche die Handlungsziele in der gewünschten Weise erfüllen (Tautologithese). Da Deduktionen keine zusätzlichen Informationen enthalten, sondern lediglich tautologische Umformungen von Formelsystemen darstellen, wird von einer tautologischen Herleitung der empfohlenen Handlungen gesprochen. Vertreter der technologischen Position verneinen dagegen diese Herleitungsmöglichkeit. Statt dessen behaupten sie, die derzeit verfügbaren Theorien über betriebswirtschaftlich relevante Handlungsbereiche seien so inhaltsarm, daß daraus durch reine Deduktion keine Handlungsempfehlungen für praktisch interessante Problemstellungen abgeleitet werden könnten. Vielmehr ließen sich solche Handlungsempfehlungen erst dann gewinnen, wenn zusätzliches handlungsorientiertes Wissen eingebracht werde (Technologithese). Dieses Zusatzwissen erfülle grundsätzlich nicht die epistemologischen Anforderungen, die gemeinhin an Theorien eines Handlungsbereichs herangetragen würden. Daher besitze dieses Wissen einen eigenständigen - zumeist als "technologisch" bezeichneten - Charakter.

Es ist nicht Anliegen dieser Arbeit, auf die zuvor skizzierte handlungstheoretische Kontroverse generell einzugehen. Statt dessen wird auf die reichhaltige Literatur zu dieser Diskussion verwiesen, die vornehmlich von Anhängern der Technologithese bestimmt wird. Vgl. dazu etwa die Erörterungen bei AGASSI (1974a), S. 40ff.; BUNGE (1974), S. 19ff.; RAFFEE (1974), S. 68f.; LINDBLOM (1976), S. 385f.; ALBERT, H. (1978a), S. 20f.; BUNGE (1985a), S. 219ff.; AGASSI (1985), S. 11ff. u. 79ff.; SIKORA, K. (1986), S. 23 (mittelbar); ALBERT, H. (1987), S. 70, 72ff. u. 87ff.; POPPER (1987), S. 47ff.; WENKEL (1988), S. 102 i.V.m. S. 107, S. 108f. u. 111ff., insbesondere S. 115ff.; NIENHÜSER (1989), S. 68ff. u. 144ff.

Statt dessen interessiert hier nur der spezielle Aspekt, Handlungsempfehlungen für die Koordinierung von Produktionsprozessen zu unterbreiten. Dabei werden die Handlungsempfehlungen mit den akzeptablen Entscheidungsalternativen identifiziert, die in den lokalen Spielräumen dynamischer Koordinierungsprobleme als Anpassungsmaßnahmen vorgeschlagen werden. Welche der spielraumspezifischen Entscheidungsalternativen als akzeptabel ausgezeichnet werden, hängt wesentlich von den jeweils zugrundegelegten Entscheidungskriterien ab. Diese Entscheidungskriterien repräsentieren zusätzliches Lösungswissen, das in der konventionellen entscheidungstheoretischen Modellierung von Koordinierungsproblemen noch nicht enthalten ist. Daher können die akzeptablen lokalen Entscheidungsalternativen - also die Handlungsempfehlungen zum Schließen lokaler Spielräume - nicht auf rein deduktive Weise aus einem konventionellen Koordinierungsmodell abgeleitet werden. Dies unterstützt die Technologie- zu Lasten der Tautologithese, falls zwei Voraussetzungen akzeptiert werden. Erstens muß das zusätzliche Lösungswissen der Entscheidungskriterien als eine spezielle Ausprägung des oben erwähnten technologischen Wissens behandelt werden. Zweitens ist es erforderlich, das konventionell formulierte Koordinierungsmodell so auszulagen, daß gilt: Sein Entscheidungsfeld stellt die kompakte Repräsentation einer Theorie, die den handlungsrelevanten Bereich der Prozeßkoordinierung überdeckt, und der tatsächlichen Handlungssituation dar. Sein Zielsystem bildet die verfolgten Sach- und Formalziele ab.

137) Die Bezeichnung "praktische" Rationalität zielt auf den Beitrag zur Bewältigung von Koordinierungsproblemen in der betrieblichen *Praxis* hin. Es existiert mittlerweile eine Fülle von Ansätzen, die sich speziellen Ausformungen einer praxisorientierten Rationalität widmen. Die praktische Rationalität wird dabei unter vielfach variierenden Etiketten thematisiert. So wird etwa von evidenter, aposteriorischer, effektiver, lebensweltlicher, pragmatischer, substantieller oder mundaner Rationalität gesprochen. Es würde hier zu weit führen, diese Konzepte praktischer Rationalität im Detail zu diskutieren; vgl. statt dessen BUNGE (1975), S. 309ff.; TOULMIN (1975), S. 204; APEL (1976a), S. 64ff.; HEGSELMANN (1979b), S. 12ff. u. 173ff. (Betonung des Begründungszusammenhangs); RESCHER (1980a), S. 30, 35ff. u. 124, insbesondere S. 37ff., 43ff., 49 u. 77; MASON, R. (1981), S. 221ff.; HABERMAS (1981b), S. 589f.; BACKMAN (1983), S. 269ff.; SCHMIDT, R.H. (1983), S. 520f. (dort als erweitertes Rationalitätsverständnis thematisiert); ULRICH, W. (1983), S. 138; SIKORA, K. (1984c), S. 7ff., insbesondere S. 14ff.; HABERMAS (1984a), S. 162 u. 164 i.V.m. S. 161; RESCHER (1985b), S. 61f.; SIKORA, K. (1986), S. 10ff., insbesondere S. 13ff. u. 21ff.; SCHWEMMER (1987), S. 241f.; ZACHARIAS (1988), S. 50f.; BICCHIERI (1988), S. 135f.; WILLI (1988), S.

172ff.; ULRICH,P. (1988), S. 191ff.; SIKORA,K. (1989), Sp. 1954ff.; KLEIN,S. (1989), insbesondere S. 7 u. 65 i.V.m. S. 64, 126f., 164f. u. 200f.; VOLLRATH (1989a), S. 11ff., insbesondere S. 13f.; ZELEWSKI (1989b), S. 1, 4f., 11ff. u. 17ff. (distanziert); LUFT (1989), S. 270 u. 272.

138) Von "prozeduraler" Rationalität wird gesprochen, um einen besonderen Aspekt praktischer Rationalität hervorzuheben. Es geht dabei um die speziellen Vorgehensweisen (*Prozeduren*, Methoden, Verfahren u.ä.), die in der betrieblichen Praxis angewendet werden, um Koordinierungsprobleme zu lösen. Entscheidungskriterien stellen eine besonders häufig anzutreffende Ausprägung solcher Vorgehensweisen dar. Vgl. zur Hervorhebung des prozeduralen, methodischen oder verfahrensartigen Moments praktischer Rationalität CYERT (1963), S. 11 ("procedural planning") sowie - zu den "standard operating procedures" z.B. S. 33, 100ff., 119 u. 266; RESCHER (1973), S. 23f.; KRAFT,V. (1973a), S. 11; TOULMIN (1975), S. 14f., 43 u. 155f.; MAYNTZ (1975), S. 114 u. 121ff.; SIMON,H. (1976a), S. 131ff.; RESCHER (1977b), S. 29f. u. 106ff.; SIMON,H. (1978a), S. 1ff.; SIMON,H. (1978b), S. 494ff.; TOULMIN (1978), S. 105ff., 161ff. u. 419ff. (als Verfahrensvernünftigkeit); PUNTEL (1978), S. 197ff.; ALBERT,H. (1978a), S. 28ff., insbesondere S. 30 (in kritischer Distanz); WESTMEYER (1979), S. 154ff., insbesondere S. 158f.; RESCHER (1979), S. 77f., 80, 92f. u. 96f.; RAFFEE (1979b), S. 3 ("methodische Rationalität") u. 7; STEINMANN,H. (1979), S. 202; SIMON,H. (1980a), S. 2ff., insbesondere S. 4ff.; RESCHER (1980a), S. 137, 149f. u. 171ff.; HABERMAS (1981a), S. 48f. u. 110ff.; RESCHER (1982a), S. 99ff., 232ff., 260 u. 323f.; VON KUTSCHERA (1982), S. 22ff. i.V.m. S. 17 u. 20ff. (kritisch distanziert); SCHNÄDELBACH (1982), S. 352ff.; SCHAFFITZEL (1982), S. 353f.; COOMANN (1983), S. 117ff.; GERUM (1983), S. 373ff.; SCHMIDT,R.H. (1983), S. 511; SMOKLER (1983), S. 129ff.; SIKORA,K. (1984b), S. 6ff.; SIKORA,K. (1984c), S. 17f. u. 26; MITTELSTRAB (1984a), S. 135 ("Methodenrationalität"); PUNTEL (1985), S. 25f.; SIKORA,K. (1986), S. 4; GENESERETH (1986), S. 51(ff.); GETHMANN (1987), S. 280f. u. 295ff.; TAYLOR,C. (1986), S. 44ff. (distanziert); HABERMAS (1986), S. 333 u. 337ff.; WELLMER (1986), S. 52; RESCHER (1987a), S. 193 u. 199, bezüglich seiner induktiven Argumentationsmethode; KÖHLER,W. (1987b), S. 322f.; HABERMAS (1988), S. 14 u. 41ff. ("Verfahrensrationalität"); ZACHARIAS (1988), S. 19f., 30, 35f. u. 96; WENKEL (1988), S. 105 u. 119; ULRICH,P. (1988), S. 198, 200, 204 u. 208; STICH (1988), S. 391ff.; SOSA (1988), S. 415ff.; SIKORA,K. (1989), Sp. 1955; KLEIN,S. (1989), S. 63, 193 u. 195ff. (am Rande auch S. 98, 200 u. 204); NIENHÜSER (1989), S. 210; LUFT (1989), S. 270; ZELEWSKI (1989b), S. 8f.; WILLIAMSON,O. (1990), S. 53; MARCH (1990b), S. 305.

Vgl. auch die besondere Begründung prozeduraler Rationalitätsfacetten im spieltheoretischen Kontext bei BINMORE (1987), S. 180f. u. 204(ff.); BICCHIERI (1988), S. 135ff. ("process of belief formation", S. 135); BINMORE (1988), S. 10ff.

Vgl. aber auch zu kritischen Vorbehalten gegenüber prozeduraler Rationalität SCHAFFITZEL (1982), S. 354; KLEIN,S. (1989), S. 63 u. 196.

139) Das zusätzlich eingebrachte Lösungswissen weist über die formale oder substantielle Rationalität, die konventionellen Entscheidungsmodellen zugrundeliegt, hinaus. Bei beiden Rationalitätsvarianten gilt ein Entscheidungsträger als rational, wenn er sich innerhalb der Grenzen von Entscheidungsfeld und Sachzielsystem so entscheidet, daß sein Formalzielsystem in der jeweils intendierten Weise erfüllt wird. Im hier vorliegenden Argumentationszusammenhang ist es unbeachtlich, ob dabei für das Formalzielsystem nur die Anforderung innerer Widerspruchsfreiheit aufgestellt wird (formale Rationalität) oder ob darüber hinaus noch weitere inhaltliche Postulate an das Formalzielsystem herangetragen werden (substantielle Rationalität).

Vgl. zu näheren Erläuterungen formaler Rationalität GÄFGEN (1974), S. 26 u. 28ff.; PFOHL (1981), S. 129f.; HOLTHOFF (1988), S. 22ff.; BAMBERG (1989), S. 3.

Vgl. ebenso zu substantieller Rationalität GÄFGEN (1974), S. 26ff.; PFOHL (1981), S. 129; HOLTHOFF (1988), S. 26ff.; BAMBERG (1989), S. 3.

In dieser Arbeit wird das Konzept formaler Rationalität gegenüber der substantiellen Rationalitätsvariante bevorzugt, weil nur die Konsistenz des Formalzielsystems gefordert ist. Dies entspricht den Ausführungen von PFOHL (1981), S. 129f., und BAMBERG (1989), S. 3. Auch dort wird im Kontext des entscheidungstheoretischen Ansatzes der formalen Rationalität Vorrang eingeräumt. Dennoch findet hier auch die Variante substantieller Rationalität Berücksichtigung, da sie mitunter als Antipode prozeduraler Rationalität herausgestellt wird; vgl. etwa SIMON,H. (1980a), S. 4.

2.4.2.3.2.4 Ein Ausblick auf das opportunistische Koordinierungskonzept

Die voranstehenden Ausführungen skizzierten die Fundamente eines Koordinierungskonzepts für Produktionsprozesse in Flexiblen Fertigungssystemen. Es wurde hier nur in dem Ausmaß entfaltet, wie es erforderlich erschien, um für die spätere Erörterung des Petrinetz-Konzepts einen kohärenten Bezugsrahmen bereitzustellen. Da in dieser Arbeit keine Lösungen konkreter Koordinierungsprobleme angestrebt werden, konnte auf eine detaillierte Ausarbeitung des Koordinierungskonzepts verzichtet werden¹⁾.

Allerdings ließe sich der hier vorgetragenen Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen jedoch vorhalten, wegen ihres mehrfachen Abweichens von konventionellen Konzepten läge sie fern jeder "realistischen" Behandlung von Problemen der kurzfristigen Prozeßplanung und -steuerung. Insbesondere könnte eingewandt werden, die Devianz von praktisch bewährten Arbeitsplänen²⁾ und konventionellem Planungsverständnis führe zu einer "abstrusen" Konzeptualisierungsweise. Der Verf. verzichtet darauf, die bereits vorgetragenen Argumente zur Verteidigung seiner Position zu wiederholen³⁾. Statt dessen möchte er sich der Programmatik RIEBEL's anschließen, die zwar im Hinblick auf Unternehmungsrechnungen formuliert wurde, aber ebenso auf Konzepte für Prozeßkoordinierungen zutrifft:

"Die Fülle der offenen Probleme, die eine *Dynamisierung* aufwirft, und die möglichen Lösungsansätze sind noch kaum zu überblicken. Aber es ist zu hoffen, daß die schnelle Entwicklung der Informatik und ihre Verknüpfung mit der Betriebswirtschaftslehre in absehbarer Weise dazu beitragen werden, heute noch *utopisch* erscheinende Vorstellungen ... mehr und mehr realisierbar zu machen."⁴⁾

Der Einbeziehung von neueren Erkenntnissen der theoretischen und der angewandten Informatik wird auch in dieser Arbeit größere Beachtung geschenkt⁵⁾. Um diese Einstellung zu unterstreichen, wird abschließend auf das Konzept der "opportunistischen"⁶⁾ Koordinierung von Produktionsprozessen kurz eingegangen.

Die opportunistische Prozeßkoordinierung⁷⁾ wurde im Bereich der Erforschung Künstlicher Intelligenz als ein allgemeines Konzept für die Ablaufplanung komplexer Prozesse entwickelt. Von besonderem Interesse ist hier, daß der opportunistische Koordinierungsansatz mit den beiden Postulaten vorzüglich harmoniert⁸⁾, die für die Koordinierung von Produktionsprozessen in komplexen Produktionssystemen - insbesondere Flexiblen Fertigungssystemen - aufgestellt wurden. Denn auch das opportunistische Koordinierungskonzept beruft sich auf zwei Grundsätze⁹⁾:

- die größtmögliche Auswahlfreiheit (principle of opportunism)¹⁰⁾ und
- die kleinstmögliche Entscheidungsbindung (principle of least commitment)¹¹⁾.

Das Prinzip der größtmöglichen Auswahlfreiheit postuliert, in jeder Produktionssituation bei den Entscheidungen über die Ausführung eines Produktionsprozesses alle Freiheitsgrade zu berücksichtigen, die im aktuellen Zustand des Produktionssystems offenstehen¹²⁾. Daher fällt das Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit mit dem Postulat anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierung zusammen¹³⁾. Das Prinzip der kleinstmöglichen Entscheidungsbindung entspricht unmittelbar dem Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließungen¹⁴⁾. Wegen dieser Übereinstimmungen wird die opportunistische Prozeßkoordinierung der früher entfalteten Konzeptualisierung dynamischer Koordinierungsprobleme gerecht¹⁵⁾.

Das opportunistische Koordinierungskonzept basiert auf der Überzeugung, daß die Ausführung von Produktionsprozessen so, wie sie ursprünglich geplant wurde, in praxi kaum jemals realisiert werden kann¹⁶⁾. Statt dessen drohen jederzeit unvorhergesehene Produktionsstörungen. Sie führen dazu, daß nach kurzer Zeit jeder starre Produktionsplan seine Gültigkeit einbüßt. Dies

betrifft optimierende und suboptimale heuristische Planungskonzepte in gleicher Weise, solange sie an der konventionellen Vorausschauplanung festhalten. Vielmehr kommt es auf die Art und die Häufigkeit der störungsinduzierten Anpassungsplanungen an¹⁷⁾.

Diese Kritik bezieht sich auf die konventionelle Maschinenbelegungsplanung. Dort wird für ein vorgegebenes Auftragspaket festgelegt, in welcher Reihenfolge die hierzu erforderlichen Arbeitsgänge an den Maschinen des Produktionssystems und bei der Abwicklung eines Produktionsauftrags ausgeführt werden. Es resultieren maschinenspezifische Auftrags- und auftragspezifische Maschinenfolgen, die vor Beginn der Verwirklichung eines Maschinenbelegungsplans fixiert sind. Die opportunistische Prozeßkoordinierung weicht von diesem reihenfolgebildenden Planungsschema grundsätzlich ab. Denn sie verzichtet - in einem ersten, groben Ansatz¹⁸⁾ - auf jede vorzeitige Festlegung zukünftiger Arbeitsgangausführungen.

Statt dessen wird in jeder Produktionssituation nur bestimmt, welche Arbeitsgänge im aktuellen Zustand des Produktionssystems ausgeführt werden können¹⁹⁾. Die Menge aller aktuell ausführbaren Arbeitsgänge bildet die situationsspezifische Entscheidungsgrundlage²⁰⁾. Bezüglich aller anderen Arbeitsgänge, mit deren Ausführungen erst in späteren Zuständen des Produktionssystems begonnen werden kann, erfolgt überhaupt keine anordnende Entscheidung²¹⁾. Daher unterbleiben alle unnötigen und vorzeitigen Entscheidungsbindungen, die andernfalls durch die ordnende oder terminierende Fixierung der Reihenfolge von Arbeitsgangausführungen eintreten würden. Auf diese Weise wird das Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließungen erfüllt. Daraus folgt z.B. für die drei Objektarten der Produktionsaufträge, Bearbeitungsstationen und Transportmittel, daß auf alle Maschinen-, Auftrags- und Transportfolgen ebenso verzichtet wird wie auf die Festlegung von Transportrouten.

Die Menge aller Arbeitsgänge, mit deren Ausführung sich in der aktuellen Produktionssituation beginnen läßt, hängt von den Produktionsmöglichkeiten²²⁾ ab, die in dieser Produktionssituation offenstehen. Daher besteht eine unmittelbare Verknüpfung zwischen den situationsbezogen getroffenen Koordinierungsentscheidungen einerseits und den aktuell vorhandenen Produktionsmöglichkeiten andererseits: Die opportunistische Prozeßkoordinierung rückt die Möglichkeiten, die für die Ausführung von Produktionsprozessen aktuell zur Verfügung stehen, in den Vordergrund²³⁾.

Dieser Bezug auf aktuelle Produktionsmöglichkeiten läßt sich in zwei Richtungen ausdeuten. Einerseits führt er zu dem bereits dargelegten Verzicht auf Ordinerungs- oder Terminierungsentscheidungen, die unnötige und vorzeitige Entscheidungsbindungen darstellen. Dadurch werden im aktuellen Zustand des Produktionssystems die Produktionsmöglichkeiten zukünftiger Systemzustände offengehalten. Andererseits wird versucht, im aktuellen Systemzustand die dort vorhandenen Produktionsmöglichkeiten möglichst umfassend wahrzunehmen. Dies drückt das Prinzip der größtmöglichen Auswahlfreiheit aus.

Das Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit wird von Vertretern der opportunistischen Prozeßkoordinierung nicht explizit formuliert. Es liegt aber ihren Konzeptualisierungen der Ablaufstruktur von Produktionsaufträgen implizit zugrunde. Denn es wird gefordert, daß im Arbeitsplan eines Produktionsauftrags alle Ablaufalternativen enthalten sein sollen, die aufgrund produktionstechnischer Sachzusammenhänge überhaupt möglich sind. Dies führt zu nichtlinearen Arbeitsplänen, deren Arbeitsgangmengen ausschließlich durch die produktionstechnisch unvermeidlichen Folgebeziehungen zwischen den Start- und Endereignissen von Arbeitsgängen geordnet sind. Es liegen dann Arbeitspläne mit minimal geordneten oder maximal halbgeordneten Arbeitsgangmengen vor. Die Voraussetzung solcher Arbeitspläne ist für die opportunistische Prozeßkoordinierung typisch²⁴⁾. Sie spielen für die anpassungsmaximale Spielraumidentifizierung eine herausragende Bedeutung, die schon an früherer Stelle dargelegt wurde. Das Postulat anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierung fällt wiederum mit dem Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit zusammen. Daher wird durch die opportunistische Vorgabe, Arbeitspläne mit

minimal geordneten oder maximal halbgeordneten Arbeitsgangmengen zu verwenden, zugleich auch das Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit unterstrichen²⁵⁾.

Das Konzept der opportunistischen Prozeßkoordinierung befindet sich zwar noch in einem frühen, wenig konkretisierten Stadium. Daher ist es schwierig, seine Leistungsfähigkeit für praktische Koordinierungsaufgaben kritisch zu beurteilen. Doch wurde die opportunistische Koordinierung immerhin schon mit einer konventionellen Vorausschauplanung experimentell verglichen²⁶⁾. Die Untersuchungen blieben auf einen besonders einfachen Fall beschränkt, in dem es lediglich darum ging, die Ausführung von Arbeitsgängen an nur einer Maschine²⁷⁾ zu koordinieren. Die Simulation stochastisch veränderlicher Produktionssituationen führte zu dem Ergebnis, daß die Durchlaufzeiten für Auftragspakete - je nach Simulationsdesign - zwischen 25% und 95% höher lagen, wenn die Arbeitsgangausführungen mittels einer konventionell ordnenden Planung ex ante fixiert wurden, anstatt sie in opportunistischer Weise situationsabhängig auszuwählen.

Das Simulationsergebnis besitzt nur explorativen, aber keinen repräsentativen Charakter. Denn die vorausgesetzte Einschränkung auf nur eine Maschine liegt weit entfernt von jenen komplexen Produktionssystemen, die in dieser Arbeit interessieren. Jedoch läßt sich der günstige Simulationsausgang zugunsten der opportunistischen Prozeßkoordinierung als ein Stimulus begreifen, der anregt, dieses Koordinierungskonzept in späteren Ausarbeitungen auf komplexere Produktionssysteme - etwa Flexible Fertigungssysteme - anzuwenden. Es wäre dann zu untersuchen, ob die Überlegenheit des opportunistischen Ansatzes, die für ein radikal vereinfachtes Produktionssystem belegt wurde, trotz der Komplizierung fortbesteht.

Zwar wird im Rahmen dieser Arbeit die detaillierte Ausarbeitung einer solchen Konzeptumsetzung nicht angestrebt²⁸⁾. Doch erfolgen einige grobe Hinweise darauf, wie sich das opportunistische Koordinierungskonzept für den Fall komplexer Produktionssysteme realisieren läßt²⁹⁾. Anknüpfungspunkt der Konzeptverwirklichung sind Beiträge aus der Erforschung Künstlicher Intelligenz, die sich mit der Implementierung von Multi-Agenten-Systemen befassen. Im Hintergrund steht die Entwicklung von Informationsverarbeitungskonzepten für verteiltes Problemlösen³⁰⁾.

Ein Multi-Agenten-System ist eine Ansammlung von mehreren Informationsverarbeitungseinheiten, die als "Agenten" an der Erfüllung einer gemeinsamen Aufgabe in teilautonomer Weise zusammenwirken. Einerseits verhalten sich die Agenten insofern autonom, als sie ihre informationsverarbeitenden Operationen selbständig ausführen, ohne hierbei von einer übergeordneten Kontrollinstanz gesteuert zu werden³¹⁾. Andererseits wird diese Operationsautonomie dadurch eingeschränkt, daß die Agentenaktivitäten wechselseitig aufeinander abgestimmt werden, um ihre Beiträge zur Aufgabenerfüllung zu koordinieren. In welcher Weise die Agentenabstimmung konkret erfolgt, bestimmt das Koordinierungskonzept eines Multi-Agenten-Systems. Hier werden nur zwei Konzeptvarianten angeführt³²⁾: Blackboard-Architekturen und Kontraktnetze. Sie werden an dieser Stelle nur in einer ersten, überaus groben Annäherung skizziert, da sie im Verlaufe dieser Arbeit noch eingehender gewürdigt werden.

Bei einer Blackboard-Architektur³³⁾ dient das Modell des Produktionssystems als eine dynamische Informationsbasis ("blackboard"). Sie repräsentiert die jeweils aktuelle Produktionssituation. Auf dieser gemeinsamen Informationsbasis operieren alle Agenten³⁴⁾. Dabei hängt ihre Operationsausführung sowohl von den agenteninternen Operationsvorschriften als auch vom aktuellen Zustand der Informationsbasis - der modellierten aktuellen Produktionssituation - ab. Die Ergebnisse ihrer informationsverarbeitenden Operationsausführungen schreiben die Agenten in die Informationsbasis zurück. Dadurch verändern sie das informatorische Abbild der aktuellen Produktionssituation. Da alle Agenten auf die gleichen Informationen über die jeweils aktuelle Produktionssituation zugreifen, werden ihre Operationen über die gemeinsame dynamische Informationsbasis untereinander gekoppelt. Daher erfolgt eine indirekte Koordinierung der Agen-

tenoperationen. Sie beruht auf den direkten Wechselwirkungen zwischen den Agenten auf der einen und dem zentralen Blackboard auf der anderen Seite.

Kontraktnetze³⁵⁾ konstituieren ein konträres Koordinierungskonzept. Die Agenten bilden hier die Knoten eines gerichteten Graphen (Netzes³⁶⁾). Über seine Kanten können die Agenten Informationen austauschen, um ihre Operationen durch Inter-Agenten-Kommunikation aufeinander abzustimmen³⁷⁾. Ein gemeinsames Produktionsmodell wird zwar weiterhin benötigt, damit sich die Agenten auf dieselbe aktuelle Produktionssituation beziehen. Die Agentenkoordinierung geschieht nun aber in dezentraler Weise durch direkten Informationsaustausch zwischen den Agenten. Die Informationen, die im Kontraktnetz fließen, besitzen die semantische Qualität von Nachrichten³⁸⁾. Mit ihrer Hilfe fragen die Agenten die Bearbeitung von Teilaufgaben durch andere Agenten nach. Oder sie bieten ihre eigene Bearbeitung von Teilaufgaben für andere Agenten an. Die wechselseitige Agentenkoordinierung wird durch ein Verhandlungsprotokoll³⁹⁾ reglementiert. Es bestimmt, auf welche Weise die Agenten über ihre Nachfragen und Angebote von Teilaufgaben-Bearbeitungen verhandeln können. Zumeist nimmt das Verhandlungsprotokoll die Gestalt eines Auktionsmechanismus⁴⁰⁾ an. Mit seiner Hilfe werden die Bearbeitungen von Teilaufgaben an die jeweils bestbietenden Agenten "versteigert". Die Beurteilung der Bearbeitungsangebote geschieht jeweils aus der Perspektive desjenigen Agenten, der die Bearbeitung einer Teilaufgabe durch einen anderen Agenten nachfragt.

Für die Verwirklichung der opportunistischen Prozeßkoordinierung spielt es im folgenden keine wesentliche Rolle, ob eine Blackboard-Architektur oder ein Kontraktnetz zugrundegelegt wird. Entscheidend ist nur das Konzept der Multi-Agenten-Systeme⁴¹⁾. Denn es eignet sich hervorragend, um lokale Koordinierungsspielräume zu definieren. Dabei kann auf Multi-Agenten-Systeme zurückgegriffen werden, die speziell für das verteilte Problemlösen im Produktionsbereich entwickelt worden sind⁴²⁾.

Die Agenten operieren auf einem gemeinsamen Modell des zugrundeliegenden Produktionssystems⁴³⁾. Jeder dieser Agenten kann einen Produktionsauftrag⁴⁴⁾ vertreten, den er durch das Produktionssystem hindurchsteuert⁴⁵⁾. Dies entspricht dem Konzept der Materialflußsteuerung⁴⁶⁾. Es verzichtet auf eine präzise Produktionsplanung. Statt dessen wird den ausführenden Arbeitskräften aufgegeben, die Aufträge in Abhängigkeit von der jeweils aktuellen Produktionssituation termingerecht durch das Produktionssystem zu schleusen⁴⁷⁾. In einem Multi-Agenten-System übernehmen nunmehr die Auftragsagenten diese Aufgabe. Ebenso ist es möglich, daß die Agenten einzelnen Bearbeitungsstationen (Maschinen) oder Gruppen von gleichartigen Bearbeitungsstationen zugeordnet sind⁴⁸⁾.

Jeder Agent vertritt seine "eigenen"⁴⁹⁾ Interessen; er verhält sich in diesem Sinne "opportunistisch"⁵⁰⁾. Beispielsweise kann ein Auftragsagent darauf abzielen, seinen Auftrag so schnell wie möglich abzuwickeln. Ein Maschinenagent mag dagegen bemüht sein, die reihenfolgeabhängigen Rüstkosten an seiner Bearbeitungsstation möglichst gering zu halten.

Auftragsagenten verhalten sich tendenziell defektiv, d.h. sie kooperieren im allgemeinen nicht miteinander⁵¹⁾. Denn jeder von ihnen muß mit allen anderen Auftragsagenten um die knappen Ressourcen des modellierten Produktionssystems konkurrieren, um "seinen" Auftrag so abzuwickeln, daß die agentenspezifischen Eigeninteressen bestmöglich erfüllt werden. Ein anschauliches Beispiel für die Agentenkonkurrenz liegt vor, wenn einem Agenten die Aufgabe übertragen wird, einen Eilauftrag mit besonderem Nachdruck - und damit zu Lasten anderer Agenten - durch das Produktionssystem zu schleusen⁵²⁾. Bei Maschinenagenten überwiegt dagegen eine kooperative Verhaltensweise. Denn sie müssen bei der Erfüllung ihrer Bearbeitungsaufgaben so zusammenzuwirken, daß ein gemeinsam vorgegebenes Auftragspaket erfolgreich abgewickelt wird.

Der lokale Koordinierungsspielraum eines Auftragsagenten besteht aus allen Arbeitsgängen, mit deren Ausführung in der aktuellen Produktionssituation begonnen werden könnte. Dieser Spielraum wird einerseits von dem auftragspezifischen Arbeitsplan determiniert, der vom Auf-

tragsagenten verwaltet wird. In diesem Arbeitsplan vermerkt der Auftragsagent die bereits ausgeführten Arbeitsgänge. Daraus folgt in jeder Produktionssituation unmittelbar, welche Arbeitsgangausführungen als nächste begonnen werden können⁵³). Wenn der Arbeitsplan in der früher erläuterten Weise als ein nicht-linearer Arbeitsplan mit maximaler Nebenläufigkeit gestaltet wurde, kennt der Auftragsagent in jeder Produktionssituation alle Fortsetzungen der Arbeitsgangausführung, die aufgrund der Ablaufstruktur seines Auftrags überhaupt zulässig sind⁵⁴). Andererseits kann der lokale Spielraum des Auftragsagenten in einer Produktionssituation dadurch eingeschränkt werden, daß Bearbeitungsstationen, die für den Ausführungsbeginn eines nächsten Arbeitsgangs erforderlich wären, in der aktuellen Produktionssituation nicht betriebsbereit sind. Gleiches gilt für alle anderen Ressourcen, die - wie z.B. Werkzeuge - für die Arbeitsgangausführung benötigt werden.

Wenn alle vorgenannten Einflußgrößen berücksichtigt werden, verfügt ein Auftragsagent in jeder Produktionssituation über einen Spielraum, der die technisch möglichen Fortsetzungen der Auftragsabwicklung vollständig wiedergibt. Dadurch werden alle Optionen erfaßt, die dem Auftragsagenten zur Anpassung an die aktuelle Produktionssituation offenstehen. Es erfolgt also eine anpassungsmaximale Identifizierung lokaler Koordinierungsspielräume. Darüber hinaus läßt sich die agenteninterne Informationsverarbeitung so ausgestalten, daß der Auftragsagent in jeder Produktionssituation nur genau eine Fortsetzungsalternative aus seinem lokalen Spielraum auswählt, ohne hierdurch Entscheidungsbindungen für zukünftige Koordinierungsentscheidungen einzugehen⁵⁵). Dann werden die lokalen Spielräume in wirkungsminimaler Weise geschlossen. Daher ist es möglich, Auftragsagenten in Multi-Agenten-Systemen so zu implementieren, daß die früher aufgestellten Postulate der anpassungsmaximalen Spielraumidentifizierung und der wirkungsminimalen Spielraumschließung erfüllt werden⁵⁶).

Statt dessen wird abschließend auf eine Verfeinerungsmöglichkeit für Multi-Agenten-Systeme hingewiesen, die sich in besonderer Weise auf das Management von Produktionsstörungen bezieht. Es handelt sich um die störungsinduzierte Aktualisierung von "dynamischen" Auftragsprioritäten. Die oben vorgetragene Konzeptualisierung der lokalen Koordinierungsspielräume von Auftragsagenten umfaßt bereits alle Optionen, die einem *einzelnen* Auftragsagenten zur Reaktion auf Produktionsstörungen offenstehen⁵⁷). Sie erstrecken sich darauf auszuwählen, welche Arbeitsgangausführung auf welcher Bearbeitungsstation (mit welchen zusätzlichen Ressourcen) als nächste begonnen werden soll. Diese Reaktionsoptionen schöpfen jedoch das Spektrum von Anpassungsmaßnahmen noch nicht aus, die im Falle einer Produktionsstörung ergriffen werden können. Denn auch die Konkurrenz *mehrerer* Agenten um knappe Ressourcen des Produktionssystems kann so ausgestaltet werden, daß die Zugriffskonflikte auf gemeinsam benötigte Ressourcen in störungsabhängiger Weise aufgelöst werden⁵⁸). Dabei läßt sich auf die weit verbreitete Koordinierungspraxis zurückgreifen, den Produktionsaufträgen Prioritäten zuzuordnen, welche die Dringlichkeit der Auftragsabwicklung widerspiegeln. Beispielsweise erhalten Eilaufträge eine besonders hohe Abwicklungspriorität. Entsprechend zu den Prioritäten ihrer Aufträge werden die Auftragsagenten beim Zugriff auf knappe Ressourcen - insbesondere bei der Einlastung an Bearbeitungsstationen - bevorzugt oder aber hinten an gestellt⁵⁹).

Die auftragsspezifischen Prioritäten werden in der Regel statisch festgelegt: Sie nehmen für einen Auftrag in situationsunabhängiger Weise stets denselben konstanten Wert an. Diese Einschränkung vereinfacht zwar die Prozeßkoordinierung. Doch sie läßt die Möglichkeit außer acht, auf Produktionsstörungen durch Variation der Prioritätsvergabe zu reagieren. Denn die Abwicklungsprioritäten von Aufträgen lassen sich nachträglich erhöhen, wenn ihre Abarbeitung aufgrund von Produktionsstörungen verzögert worden ist und das Überschreiten ihrer spätest zulässigen Fertigstellungstermine droht⁶⁰). Durch ihre Prioritätserhöhung werden die betroffenen Produktionsaufträge gegenüber anderen - nicht ähnlich verzögerten - Aufträgen bei der Ressourcenzuordnung eher berücksichtigt, als es bei ex ante fixierten Abwicklungsprioritäten der Fall gewesen wäre. Auf diese Weise wird ein Mechanismus zur Beschleunigung der Auftragsabwicklung bei störungsbedingten Abwicklungsverzögerungen realisiert⁶¹). Es kann zwar nicht

garantiert werden, daß sich auf diese Weise alle spätest zulässigen Fertigstellungstermine tatsächlich einhalten lassen. Aber der Mechanismus wirkt durch seine kompensatorische Beschleunigung von verzögerten Aufträgen *tendenziell* so, daß die Auftragsagenten ihre Aufträge fristgerecht durch das Produktionssystem hindurchzusteuern vermögen.

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Dies käme statt dessen als Anliegen einer späteren, eigenständigen Studie in Betracht.

2) Gemeint sind konventionelle Arbeitspläne mit linearer Ablaufstruktur.

3) Ebenso unterläßt er es nachzuhaken, ob angesichts des Ausblendens tatsächlich vorhandener Anpassungspotentiale lineare Arbeitspläne "realistische" Konzeptualisierungen ermöglichen, ob sich diese Arbeitspläne "bewährt" haben können, solange sie überhaupt noch nicht mit alternativen nonlinearen Arbeitsplänen intensiv verglichen worden sind, oder ob eine Konzeptualisierung schon deswegen als "abstrus" gelten kann, weil sie von konventionellen Sichtweisen dezidiert abweicht.

4) RIEBEL (1989a), S. 256 (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Wiedergegeben auch in RIEBEL (1990), S. 701.

5) Dies gilt insbesondere hinsichtlich eines Ansatzes zur Implementierung von Netzmodellen mit Hilfe der Programmiersprache PROLOG, bezüglich der operationalen Dimension der Prädikatenlogik und im Hinblick auf die mehrfach eingebundenen Erkenntnisse aus dem Bereich der KI-Forschung.

6) Das Attribut "opportunistisch" ist eine wörtliche Übersetzung des Terminus technicus "opportunistic", der in den nachfolgend angeführten Quellen zum opportunistischen Koordinierungskonzept vorherrscht. Seine Bedeutung wird durch die beiden Koordinierungsprinzipien erhellt, die in Kürze vorgestellt werden. Dagegen besitzt er zunächst keinen inhaltlichen Bezug auf die Charakterisierung "opportunistischen" Verhaltens, wie er in der Neueren Institutionenökonomik vertreten wird. Vgl. zu jenem abweichenden, mikroökonomisch orientierten Begriffsverständnis die Anmerkung zum Prinzipal/Agenten-Konzept. Allerdings läßt sich später eine inhaltliche Verknüpfung zwischen beiden Opportunismusauffassungen herstellen, wenn die opportunistische Prozeßkoordinierung mit dem Konzept der Multi-Agenten-Systeme kombiniert wird.

7) Vgl. zum Konzept opportunistischer Prozeßkoordinierung (opportunistic scheduling) FOX, B. (1985a), S. 488ff.; NEWMAN, P. (1985), S. 168ff.; FOX, B. (1987a), S. 231ff.; VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 304; ZELEWSKI (1988c), S. 56ff.; ZELEWSKI (1990a), S. 62f.

Das opportunistische Koordinierungskonzept klingt in rudimentärer Ausprägung auch in mehreren produktionswirtschaftlichen Konzepten für die kurzfristige Prozeßplanung und -steuerung an, ohne daß eine explizite Bezugnahme auf die vorgenannte Konzeptbezeichnung erfolgt. Vgl. dazu die "opportunistischen" Ansätze bei BORMANN (1978), S. 105ff., und DÖTTLING (1981), S. 65f. Besonders deutlich klingen die beiden opportunistischen Koordinierungsprinzipien größtmöglicher Auswahlfreiheit und kleinstmöglicher Entscheidungsbindung bei SCHMIDT, HU. (1989), S. 16, an: "Bei Fertigungssystemen mit wahlfreier Verkettung von Bearbeitungsstationen und einer leistungsfähigen Transportsteuerung wird erst kurz vor der Bearbeitung aufgrund des aktuellen Systemzustands (Kapazitätssituation, verfügbare Werkzeuge und Vorrichtungen) festgelegt, welche Bearbeitungseinrichtungen die Werkstücke in welcher Reihenfolge fertigen." Ähnlich äußert sich KLEINER, F. (1991), S. 15: "Durch die strukturelle Flexibilität gibt es jeweils mehrere unterschiedliche ... Möglichkeiten, ein Produkt herzustellen ... Eine endgültige Festlegung über den Produktionsvollzug erfolgt erst bei der Kapazitätseinlastung." Bemerkenswert erscheint, daß sich DÖTTLING, SCHMIDT und KLEINER auf Flexible Fertigungssysteme beziehen. Dies mag als ein Indiz dafür gewertet werden, daß sich opportunistische Koordinierungsprinzipien vor allem für die Prozeßsteuerung in Flexiblen Fertigungssystemen eignen.

Schließlich wird auf "opportunistische" Strategien der Prozeßkoordinierung vereinzelt Bezug genommen, ohne daß aus den knappen Andeutungen klar wird, ob sie die hier betrachtete opportunistische Koordinierungsweise betreffen. Denn die Andeutungen lassen es offen, ob ihnen die beiden opportunistischen Prinzipien größtmöglicher Auswahlfreiheit und kleinstmöglicher Entscheidungsbindung tatsächlich zugrundeliegen. Solche kurzen Hinweise auf opportunistische Koordinierungsstrategien finden sich bei ROSE, HA. (1989), S. 83; RILLING (1991), S. 17, Fn. 35 (dort immerhin mit klarem Bezug auf das Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit).

Bei der opportunistischen Prozeßkoordinierung handelt es sich strenggenommen um kein Koordinierungskonzept, solange nur ihre beiden - nachfolgend erläuterten - Prinzipien größtmöglicher Auswahlfreiheit und kleinstmöglicher Entscheidungsbindung betrachtet werden. Vielmehr stellt sie dann ein Metakzept dar, das alle Koordinierungskonzepte umfaßt, die den beiden Prinzipien gerecht werden. In exemplarischer Weise wird auf die Erläuterungen zum opportunistischen Koordinierungskonzept hingewiesen. Dort wird gezeigt, daß sich das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindungen mit (mindestens) zwei verschiedenen Strategien für die Festlegung jener Zeitpunkte vereinbaren läßt, in denen Arbeitsgänge und Bearbeitungsstationen einander zugeordnet werden. Daher stellt die opportunistische Prozeßkoordinierung auf der prinzipiellen Ebene, die hier im Vordergrund steht, kein inhaltlich wohlbestimmtes Koordinierungskonzept dar. Daraus können zwei Konsequenzen gezogen werden: Einerseits bedarf diese Koordinierungsweise einer konzeptionellen Konkretisierung, wenn sie auf reale Koordinierungsprobleme angewendet werden soll. Andererseits läßt "die" opportunistische Prozeßkoordinierung einen breiten konzeptionellen Spielraum offen, um unter dem Dach ihrer beiden Grundprinzipien eine Vielzahl unterschiedlicher Koordinierungsansätze miteinander zu kombinieren. Deshalb kann das Metakzept der opportunistischen Prozeßkoordinierung

durch verschiedene Bündel konkreter Koordinierungskonzepte inhaltlich ausgefüllt werden. Eine ähnliche Konzeptpluralität verfolgt auch DÖTTLING (1981), S. 75 u. 93, für die Koordinierung von Maschinenbelegungen bei Flexiblen Fertigungssystemen.

Zwar werden am Ende dieses Kapitels einige Ausarbeitungsperspektiven für die opportunistische Prozeßkoordinierung skizziert. Doch wird darauf verzichtet, die Konkretisierungs- und Kombinationsmöglichkeiten, die sich im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung eröffnen, detailliert zu erörtern. Dies bleibt späteren Untersuchungen vorbehalten. Daher wird der Metakonzeptcharakter der opportunistischen Prozeßkoordinierung im folgenden nicht weiter herausgestellt. Statt dessen wird sie der Einfachheit halber kurz als Koordinierungskonzept thematisiert.

8) Es wurde in voranstehenden Anmerkungen schon mehrfach darauf hingewiesen, daß dem Postulat wirkungsminimaler Spielraumschließungen die betriebswirtschaftlich vertrauteren Konzepte der Flexiblen und der Robusten Planung entgegenkommen. Dennoch wird hier dem opportunistischen Koordinierungsansatz aus mehreren Gründen der Vorzug gewährt. Erstens hebt nur er das erste Postulat anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierung in ähnlich deutlicher Weise hervor. Zweitens spricht gegen die Flexible Planung ihr Zurückgreifen auf eine stochastische Problemkonzeptualisierung. Drittens hält der Verf. das Entscheidungskriterium der Robusten Planung, einen "ersten Schritt" größtmöglicher Robustheit auszuwählen, für zwar interessant, aber zu eng, um darauf ein allgemeines Koordinierungskonzept errichten zu wollen.

9) Die beiden Grundsätze werden in der Literatur zur opportunistischen Prozeßkoordinierung zwar mehrfach angeführt, aber nirgends präzise definiert. Allenfalls werden sie sporadisch inhaltlich umschrieben. Daher nimmt sich der Verf. die definitiverische Freiheit, die beiden Prinzipien des "opportunism" und des "least commitment" so auszulegen, daß sie sich auf die früher definierten Postulate anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierung und wirkungsminimaler Spielraumschließung zurückführen lassen.

10) Vgl. FOX,B. (1985a), S. 489; FOX,B. (1987a), S. 232. Dieses Koordinierungsprinzip klingt auch bei SPUR (1980), S. 305, an: Dort wird festgestellt, es seien tendenziell um so bessere Entscheidungen bei der Planung von Maschinenbelegungen möglich, "je größer die Auswahlmöglichkeiten sind" (kursive Hervorhebung durch den Verf.).

Es mag auf den ersten Blick überraschen, das "principle of opportunism" mit dem "Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit" zu übersetzen. Die späteren Ausführungen werden jedoch zeigen, daß diese beiden Prinzipien trotz ihrer terminologischen Diskrepanz zusammenfallen.

11) Vgl. FOX,B. (1985a), S. 489; FOX,B. (1987a), S. 232 u. 234.

Am klarsten wird das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung von FOX,B. (1987a), S. 234, umschrieben: "... the principle of least commitment dictates ... [to] ... pursue a course of action which preserves and guarantees future flexibility. This can be accomplished, in part, by selecting the action which guarantees the greatest number of ways of completing the ... task." (Ergänzung [...] durch den Verf.).

Das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung wird des öfteren auch außerhalb des hier interessierenden Kontextes opportunistischer Prozeßkoordinierungen thematisiert. Es wird mitunter explizit als "least commitment" angesprochen, des öfteren aber auch als "postponement" von Entscheidungen erwähnt. Vgl. z.B. HART,A. (1951), S. 55 ("many decisions can be postponed"); GUPTA,S. (1968), S. B-20f. u. B-28 ("the main advantage will be in delaying the need for firmly committed decisions ... , so that later decisions ... can be postponed until more up-to-date information is available"); BELL,C.E. (1988), S. 144 ("Postponing actions until they can be proven essential"); KRALLMANN (1990c), S. 61 ("Least-Commitment-Strategie" für die Strukturierung von Produktionssystemmodellen); HEIN,M. (1991), S. 712 u. 714 (S. 712: "Least-commitment-Strategie"; mit einem interessanten Brückenschlag zum Konzept Verteilten Problemlösens auf S. 714).

12) Der Bezug auf die aktuelle Produktionssituation und das Ausschöpfen aller offenstehenden Freiheitsgrade gehen deutlich aus dem Zitat von SCHMIDT,HU. (1989), S. 16, hervor, das schon in einer früheren Anmerkung vorgestellt wurde. In seinen wesentlichen Ausschnitten wird es hier noch einmal in Erinnerung gerufen: : "Bei Fertigungssystemen mit wahlfreier Verkettung von Bearbeitungsstationen ... wird ... aufgrund des *aktuellen Systemzustands* (Kapazitätssituation, *verfügbare* Werkzeuge und Vorrichtungen) festgelegt, welche Bearbeitungseinrichtungen die Werkstücke in welcher Reihenfolge fertigen." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.).

13) Es werden hier nur Koordinierungskonzepte für das aktive Störungsmanagement von Produktionsstörungen untersucht. Daher lassen sich alle Entscheidungen, deren Auswahlfreiheit betrachtet wird, als Entscheidungen über Anpassungsmaßnahmen verstehen, mit denen auf Produktionsstörungen reagiert werden soll. Auf dieser Grundlage ist es trivial, daß die Auswahlfreiheit für Anpassungsmaßnahmen genau dann am größten ist, wenn der Spielraum für die Startereignisse solcher Maßnahmen in maximaler Weise konzeptualisiert wurde.

14) Es wurde schon früher dargelegt, daß dieses Postulat mit dem Verzicht auf alle unnötigen und vorzeitigen Entscheidungsbindungen übereinstimmt. Entscheidungsbindungen in "kleinstmöglicher" Weise einzugehen, stellt lediglich eine positive Reformulierung des negativ formulierten Bindungsverzichts dar. Denn die kleinstmögliche Entscheidungsbindung geschieht genau dann, wenn überhaupt keine Entscheidungsbindung eingegangen wird. In die-

sem Fall werden nur diejenigen Entscheidungsausstrahlungen in Kauf genommen, die sich aufgrund vertikaler Ereignisabhängigkeiten ohnehin nicht vermeiden lassen.

15) Daher lassen sich die beiden opportunistischen Koordinierungsgrundsätze heranziehen, um eine Koordinierungstechnik für Produktionsprozesse in Flexiblen Fertigungssystemen detailliert auszuarbeiten. Dennoch unterbleibt eine solche Ausarbeitung im Rahmen dieser Arbeit. Denn schon eingangs wurde darauf verzichtet, nach konkreten Lösungen für Koordinierungsprobleme zu suchen. Daher wird auf die opportunistische Koordinierungsweise im folgenden nur so weit eingegangen, wie es hilfreich erscheint, den Übergang von vorausschauenden, wiederholten Neuplanungen zu situationsbezogenen Anpassungsplanungen zu verdeutlichen. Lediglich anhand zweier Beispiele wird ein Eindruck davon vermittelt, welchen Aufwand eine umfassende Konzeptdetaillierung bereiten würde.

16) Dies stimmt mit dem raschen Veralten von Produktionsplänen überein, das bereits an früherer Stelle konstatiert wurde.

17) Vgl. FOX,B. (1985a), S. 488, mit der pointierten Äußerung "... efforts to find optimal schedules and develop better heuristics may be misdirected ... greater benefits could be obtained by focusing on the criteria and frequency for rescheduling".

18) Tatsächlich wird zumeist eine verfeinerte, zweistufige Koordinierungsweise verfolgt; vgl. FOX,B. (1985a), S. 489f. Auf der ersten Stufe eines "off-line scheduler" (S. 489) sollen für einige Arbeitsgänge der abzuwickelnden Produktionsaufträge in konventioneller Weise Maschinenteilfolgen geplant werden. Dabei erfolgt jedoch keine vollständige Planung aller Arbeitsgangausführungen. Diese Partialplanung dient als mittelfristige Rahmenvorgabe für eine zweite Stufe, die als "on-line scheduler" (S. 490) thematisiert wird. Erst auf dieser zweiten Koordinierungsstufe findet das opportunistische Koordinierungskonzept so, wie es hier skizziert wird, als kurzfristige Prozeßplanung und -steuerung Anwendung. Diese zweistufige Verfeinerungsperspektive ist jedoch bislang nicht konkretisiert worden. Insbesondere bleibt das Ausmaß, in dem die Partialplanung der ersten Stufe betrieben werden soll, vollkommen im Dunkeln.

Allerdings läßt sich an die zweistufige Verfeinerung der opportunistischen Prozeßkoordinierung anknüpfen, um sie in ein konventionelles Konzept der Produktionsplanung und -steuerung zu integrieren. Denn der "on-line scheduler" der opportunistischen Koordinierung entspricht der tiefsten Ebene der Planungs- und Steuerungshierarchie von PPS-Systemen. Insbesondere läßt er sich der Ebene der Realzeitsteuerung zuordnen, die an späterer Stelle eingeführt wird. Der "off-line scheduler" ist dagegen der mittel- oder langfristigen Produktionsplanung zuzuordnen. Seine Art der Prozeßkoordinierung unterscheidet sich vom konventionellen Planungsverständnis dieser Produktionsplanung nicht wesentlich. Vgl. dazu auch die ähnliche Differenzierung zwischen einer Online- und einer Offline-Steuerung bei BÜHNER (1986c), S. 21f. Eine ähnliche Aufteilung in eine "off-line" und in eine "on-line"-Planungskomponente findet sich bei KRAUSE,F. (1989b), S. 547f., für die Arbeitsplanung und Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen.

19) Strenggenommen handelt es sich aus der Perspektive der früher erfolgten Spielraumkonzeptualisierung um alle Startereignisse von Arbeitsgängen, mit deren Ausführung im Spielraum des aktuellen Systemzustands begonnen werden kann. Der Einfachheit halber wird aber nur kurz von ausführbaren Arbeitsgängen gesprochen. Dazu gehören per definitionem keine Arbeitsgänge, die sich im aktuellen Systemzustand schon in Ausführung befinden. Denn ihre Startereignisse sind bereits in früheren Systemzuständen geschehen (ohne daß ihre Endereignisse bisher eingetreten sind). Daher können die Startereignisse jener Arbeitsgänge grundsätzlich nicht zum Spielraum des aktuellen Systemzustands gehören.

20) Auch hier liegt die Menge aller Startereignisse von Arbeitsgängen zugrunde, deren Ausführungen im aktuellen Systemzustand beginnen können. Es wird jedoch vereinbart, nur kurz von ausführbaren Arbeitsgängen zu sprechen (vgl. dazu die voranstehende Anmerkung).

21) Daher wird die Menge aller Arbeitsgänge, die zur Abwicklung des vorgegebenen Auftragspakets erforderlich sind, in jeder Produktionssituation durch eine situationsspezifische, maximale Halbordnung überlagert. Die Halbordnung der Arbeitsgänge ist maximal, weil sie auf einer minimalen Anzahl von kausalen Folgebeziehungen zwischen der Startereignissen von Arbeitsgängen beruht: Bei einer Koordinierungsentscheidung werden nur zwei Arten von Folgebeziehungen berücksichtigt, die aufgrund produktionstechnischer und sachlogischer Zusammenhänge fest vorgegeben sind. Es handelt sich einerseits um prospektive Folgebeziehungen, denen zufolge die Startereignisse aller aktuell ausführbaren Arbeitsgänge den Startereignissen aller Arbeitsgänge vorausgehen müssen, die aufgrund produktionstechnischer Vorgaben erst in späteren Systemzuständen begonnen werden können. Zweitens sind alle retrospektiven Folgebeziehungen betroffen, die den sachlogischen Zusammenhang ausdrücken, daß die Startereignisse aller Arbeitsgänge, mit deren Ausführung schon in früheren Systemzuständen begonnen wurde, den Startereignissen aller aktuell ausführbaren Arbeitsgänge vorangehen müssen. Andere Folgebeziehungen als die vorgenannten werden in den maximal halbgeordneten Arbeitsgangmengen bei opportunistischer Prozeßkoordinierung nicht erfaßt. Dies gilt allerdings nur für die Strukturierung der Arbeitsgangmenge aller Produktionsaufträge, wie sie für das Treffen einer Koordinierungsentscheidung in der jeweils aktuellen Produktionssituation geschieht. Andere Strukturierungen der Arbeitsgangmenge aus anderen Konzeptualisierungsperspektiven sind durchaus zulässig. So

werden z.B. unter dem Blickwinkel, die Ablaufstruktur eines Produktionsauftrags zu bestimmen, die produktions-technischen Folgebeziehungen zwischen den Start- und Endereignissen der auftragszugehörigen Arbeitsgänge betrachtet. Sie liegen den o.a. produktionstechnischen Vorgaben für prospektive Folgebeziehungen zugrunde. An späterer Stelle wird auf die Strukturierung der Arbeitsgangmenge eines Produktionsauftrags für die Konzeptualisierung seiner Ablaufstruktur näher eingegangen. Dort wird auch gezeigt, daß diese Ablaufstruktur ebenso auf dem Konzept maximal halbgeordneter Arbeitsgangmengen beruht.

22) Die aktuellen Produktionsmöglichkeiten stellen einen Sammelbegriff für die Gesamtheit aller Determinanten dar, die festlegen, welche Startereignisse von Arbeitsgängen im aktuellen Zustand eines Produktionssystems geschehen können. Die Produktionsmöglichkeiten werden einerseits von den Arbeitsplänen für die vorgegebenen Produktionsaufträge und von deren aktuellen Ausführungszuständen beeinflusst. Andererseits werden sie von den Ressourcen determiniert, die in der aktuellen Produktionssituation zur Verfügung stehen. Insbesondere kommen nur solche Maschinen in Betracht, die weder durch die Bearbeitung anderer Arbeitsgänge belegt noch in ihrer Betriebsbereitschaft gestört sind.

23) Dieser Bezug auf aktuelle Produktionsmöglichkeiten, die jeweils *Optionen* für die Fortsetzung der Prozeßausführung darstellen, läßt sich als eine inhaltliche Ausdeutung der Bezeichnung "opportunistische Koordinierung" begreifen.

Auf welche Weise zwischen mehreren Optionen ausgewählt werden soll, die in derselben Produktionssituation offenstehen, läßt die opportunistische Prozeßkoordinierung dagegen weithin unbestimmt. So bleibt es beispielsweise offen, welche Auswahlstrategie verfolgt wird, wenn in einer Produktionssituation auf derselben Bearbeitungsstation mehrere Arbeitsgänge ausgeführt werden können, die sich gegenseitig ausschließen. Zwar finden sich bei FOX,B. (1987a), S. 234, drei Vorschläge für diese Auswahl. Doch die Selektionskriterien bleiben inoperational. So wird beispielsweise vorgeschlagen, denjenigen Arbeitsgang auszuwählen, der die größten Auswahlmöglichkeiten für die zukünftige Auftragsfertigstellung garantiert. Wie sich diese Einschränkung messen läßt, wird in der o.a. Quelle nur unzureichend erörtert, weil sie kein befriedigendes Meßkonzept angibt. Insbesondere wird nicht erläutert, wie angesichts einer indeterminierten, von unvorhergesehenen Störungen abhängigen Zukunft die "Garantie" größter Auswahlmöglichkeiten geleistet werden sollte. Immerhin läßt sich die opportunistische Prozeßkoordinierung konsistent mit den Prioritätsregeln vereinbaren, die früher für das Einlasten von Aufträgen an Maschinen eingeführt wurden. Hierfür spricht, daß von FOX,B. (1985a), S. 489, ein geringer "look ahead" für die Auswahl auszuführender Arbeitsgänge postuliert wird. Denn die maschinenbezogene Auftragseinlastung besteht aus der Auswahl eines auftragszugehörigen Arbeitsgangs, in die überhaupt keine Vorausschau (look ahead) zukünftiger Einlastungskonsequenzen einfließt. Insofern erfolgt eine Arbeitsgangauswahl mit minimalem - nämlich keinem - "look ahead".

24) Vgl. zu maximal halbgeordneten Mengen von Arbeitsgangausführungen FOX,B. (1985a), S. 491f., insbesondere Fig. 2 auf S. 492.

Vgl. zur minimalen Ordnung der Mengen auszuführender Arbeitsgänge FOX,B. (1987a), S. 232.

25) Dies rechtfertigt die Behauptung, die zu Beginn dieses Abschnitts aufgestellt wurde.

26) Vgl. FOX,B. (1985a), S. 490f.; FOX,B. (1987a), S. 234ff.

27) Es handelte sich um einen Montageroboter.

28) Zur Verdeutlichung des erheblichen Aufwands, den eine konkrete Konzeptausarbeitung bereiten würde, werden hier nur zwei exemplarische Detaillierungsaspekte skizziert. Sie betreffen einerseits die Zeitpunkte, in denen Arbeitsgänge und Bearbeitungsstationen einander zugeordnet werden. Andererseits erstrecken sie sich auf die Faktorbereitstellungsplanung.

Zunächst wird auf die Zuordnungszeitpunkte eingegangen. Gemeint sind damit jeweils Zustände eines Produktionssystems, in denen Koordinierungsentscheidungen über die Zuordnungen zwischen Arbeitsgängen und Bearbeitungsstationen getroffen werden können. Der Einfachheit halber wird aber nur kurz von Zeitpunkten für die entsprechenden Zuordnungsentscheidungen gesprochen. In exemplarischer Weise wird das Werkstück eines Produktionsauftrags betrachtet, das im Ausgangspuffer einer Bearbeitungsstation auf seine weitere Bearbeitung wartet. (Ebenso könnte ein Werkstück untersucht werden, das erstmals in ein Produktionssystem eingeschleust worden ist und nun in dessen Eingangslager wartet.) Das Werkstück wird fortan auch als Referenzwerkstück bezeichnet. Die Bearbeitungsstation, in deren Ausgangspuffer er wartet, heißt die alte Bearbeitungsstation. Es wird vorausgesetzt, daß der Arbeitsgang, der an dem Werkstück als nächster ausgeführt werden soll, bereits feststeht. Entweder kommt ohnehin nur genau ein nächster Arbeitsgang in Betracht. Oder von mehreren Alternativarbeitsgängen wurde bereits einer ausgewählt. Darüber hinaus wird unterstellt, daß für die Fortsetzung der Werkstückbearbeitung ein zweifacher Spielraum besteht. Erstens läßt sich der nächste Arbeitsgang auf mehreren Bearbeitungsstationen ausführen. Sie werden hier kurz als Folgestationen bezeichnet. Zweitens existieren für die Verknüpfungen zwischen dem Ausgangspuffer der Bearbeitungsstation, in dem das Werkstück wartet, und den Eingangspuffern aller Bearbeitungsstationen, die als Folgestationen in Frage kommen, unterschiedliche Transportwege und -mittel.

Der Spielraum, den nächsten Arbeitsgang des Referenzwerkstücks einer Folgestation zuzuordnen, wird als Zuordnungsspielraum angesprochen. Er öffnet sich unter den zuvor vereinbarten Voraussetzungen erstmals, wenn zwei

Bedingungen erfüllt sind. Erstens muß der Eingangspuffer von mindestens einer der Folgestationen Platz für die Aufnahme des betrachteten Werkstücks bieten. Der Eingangspuffer wird dann kurz als frei bezeichnet (Pufferprämisse). Zweitens muß mindestens ein Transportmittel zur Verfügung stehen, das in der Lage ist, das wartende Werkstück über mindestens einen ungestörten Transportweg vom Ausgangspuffer der alten Bearbeitungsstation zum Eingangspuffer der jeweils betrachteten freien Folgestation zu transportieren (Transportprämisse). Die Erfüllung der Transportprämisse wird im folgenden vorausgesetzt. Die Pufferprämisse kann durchaus erfüllt sein, obwohl sich im Eingangspuffer der betrachteten Folgestation im aktuellen Zustand des Produktionssystems bereits andere Werkstücke befinden, die dort auf Bearbeitung warten. Sie werden hier Alternativwerkstücke genannt. Für die Erfüllung der Pufferprämisse kommen zwei Fälle in Betracht. Entweder ist der Eingangspuffer von mindestens einer Folgestation von vornherein frei. Oder er wird an der jeweils betrachteten Folgestation in dem Zeitpunkt frei, in dem an der Station mit der Ausführung eines anderen, früheren Arbeitsgangs begonnen wird. Denn zur Ausführung dieses Vorläuferarbeitsgangs muß ein zugehöriges Alternativwerkstück aus dem Eingangspuffer entnommen werden. Spätestens in diesem Moment bietet der Eingangspuffer für die Aufnahme des Referenzwerkstücks Platz. Der Spielraum für die Zuordnung des nächsten Arbeitsgangs des Referenzwerkstücks bleibt so lange offen, wie der Eingangspuffer mindestens einer Folgestation frei ist. Solange er besteht, kann er genutzt werden, um eine Zuordnung vorzunehmen. Aber auch die Unterlassungsalternative stellt eine zulässige Spielraumausschöpfung dar. Falls ein Zuordnungsspielraum im aktuellen Zustand des Produktionssystems offensteht, aber auf die Zuordnung des Arbeitsgangs zu einer Folgestation verzichtet wird, wartet das Referenzwerkstück im Ausgangspuffer seiner alten Bearbeitungsstation weiter. Der Zuordnungsspielraum existiert in den folgenden Systemzuständen so lange, wie er nicht durch die Zuordnung der Arbeitsgänge von anderen Werkstücken geschlossen wird. In dem Ausmaß, in dem der Spielraum weiterhin besteht, wird die Zuordnung des nächsten Arbeitsgangs des Referenzwerkstücks in späteren Zuständen des Produktionssystems erneut erwogen, bis er entweder tatsächlich zugeordnet ist oder aber kein Zuordnungsspielraum mehr existiert.

Es werden der Übersichtlichkeit halber nur zwei denkmögliche Zuordnungszeitpunkte betrachtet. Einerseits kann die Zuordnung im frühest möglichen Zeitpunkt erfolgen. Dieser Fall liegt genau dann vor, wenn sich der zuvor definierte Zuordnungsspielraum erstmals öffnet. Es wird von einer minimal verzögerten Zuordnung gesprochen. Dabei entstehen Zuordnungsverzögerungen nur durch einen Informationsverarbeitungsprozeß. Er ist erforderlich, um zunächst die Öffnung des Zuordnungsspielraums festzustellen und dessen Extension zu ermitteln. Darüber hinaus muß entschieden werden, welcher der darin enthaltenen Folgestationen mit freien Eingangspuffern der nächste Arbeitsgang des Referenzwerkstücks zugeordnet wird. Andererseits ist eine Zuordnung im spätest sinnvollen Zeitpunkt möglich. Dieser entgegengesetzte Fall tritt ein, wenn der geöffnete Zuordnungsspielraum so lange zugunsten der Unterlassungsalternative nicht ausgeschöpft wird, bis an mindestens einer der Folgestationen kein anderer Arbeitsgang mehr ausgeführt werden kann, obwohl sie betriebsbereit ist. Die betroffene Folgestation heißt dann leer. Eine Bearbeitungsstation ist entweder von vornherein leer. Oder der zuletzt auf ihr ausgeführte Arbeitsgang ist abgeschlossen, und im Eingangspuffer wartet kein weiteres Werkstück mehr auf Bearbeitung. Wenn die Zuordnung des nächsten Arbeitsgangs des Referenzwerkstücks erst in diesem spätest sinnvollen Zeitpunkt geschieht, wird von einer maximal verzögerten Zuordnung gesprochen. Es könnte zwar mit einer Zuordnung noch länger gewartet werden, da der Zuordnungsspielraum auch bei einer leeren Folgestation bestehen bleibt. Aber dann würde die verfügbare Bearbeitungskapazität nicht genutzt. Es wird hier als "Sinnkriterium" unterstellt, das bewußte Nichtausnutzen leerer Bearbeitungsstationen sei nicht "sinnvoll". Dabei handelt es sich jedoch um eine Simplifizierung im Interesse der Übersichtlichkeit des hier erläuterten Beispiels. Denn es kann durchaus wirtschaftlich vorteilhaft sein, Werkstückbearbeitungen so lange hinauszuzögern, daß auch die Nichtausnutzung leerer Bearbeitungsstationen in Kauf genommen wird. Vgl. dazu die Erläuterungen zur Kapitalbindung bei fixen Lieferterminen.

Sowohl minimal als auch maximal verzögerte Zuordnungen erfüllen das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung. Denn in beiden Fällen wird ausschließlich entschieden, ob entweder eine Zuordnungsalternative oder aber die Unterlassungsalternative ausgewählt wird. Es handelt sich dabei nur um lokale Entscheidungsalternativen aus dem Zuordnungsspielraum im jeweils aktuellen Zustand des Produktionssystems. Entscheidungsbindungen hinsichtlich der Spielräume in späteren Systemzuständen, die über die Entscheidungsausstrahlungen aufgrund vertikaler Ereignisabhängigkeiten hinausgehen, geschehen dadurch nicht. Dies unterstreicht die früher getroffene Feststellung, daß die Verzögerung von Entscheidungen keineswegs mit dem Vermeiden von Entscheidungsbindungen zusammenfällt. Vielmehr zeigt sich hier, daß das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung verzögerungsneutral gültig ist. Darüber hinaus könnte zwischen den beiden Antipoden minimaler und maximaler Verzögerung ein breites Spektrum mittlerer Verzögerungen erwogen werden. Vgl. zu anderen Vorschlägen, die Zuordnungszeitpunkte für Arbeitsgänge und Bearbeitungsstationen festzulegen, z.B. STUTE (1978a), S. 81. Die Auswahl der Zuordnungszeitpunkte müßte bei praktischen Anwendungen der opportunistischen Prozeßkoordinierung in jedem Einzelfall geschehen. Davon wird hier abgesehen. (Gleiches gilt für die bereits ausgegrenzte Option, Bearbeitungsstationen bewußt leer stehen zu lassen.) Statt dessen werden nur die beiden Antipoden, entweder minimal oder aber maximal verzögerte Zuordnungen vorzunehmen, näher beleuchtet.

Die Strategie maximal verzögerter Zuordnungen findet sich z.B. bei STUTE (1978a), S. 81. Sie garantiert, daß mit der Ausführung von zugeordneten Arbeitsgängen unmittelbar begonnen werden kann, sobald das zugehörige Werkstück an der betroffenen Bearbeitungsstation eintrifft. Denn ein Abwarten, bis eine vorangehende Arbeitsgangaus-

führung auf derselben Bearbeitungsstation beendet ist, entfällt bei dieser Zuordnungsweise zwangsläufig. (Allerdings kann die Bearbeitungsstation ihre Betriebsbereitschaft unerwartet einbüßen. Darauf wird noch zurückgekommen.) Darüber hinaus kommen maximal verzögerte Zuordnungen dann in Betracht, wenn Bearbeitungsstationen entweder überhaupt keine Eingangspuffer besitzen oder wenn solche Puffer nur im Störfall beansprucht werden sollen. Sobald der nächste Arbeitsgang des Referenzwerkstücks einer Folgestation in einem spätest sinnvollen Zeitpunkt tatsächlich zugeordnet worden ist, erfolgt eine Reservierung der ausgewählten Station für diesen Arbeitsgang. Diese Folgestation ist dann zwar zunächst noch leer, steht aber für keine anderen Zuordnungsentscheidungen mehr zur Verfügung.

Für die Durchsetzung der Zuordnungsentscheidung muß ein Zeitverzug berücksichtigt werden. Er resultiert daraus, daß sich das Referenzwerkstück im Zuordnungszeitpunkt noch im Ausgangspuffer der alten Bearbeitungsstation befindet. Von dort aus muß es zunächst zu der ausgewählten Folgestation transportiert werden. Um die transportbedingten Durchsetzungsverzögerungen möglichst klein zu halten, ist ein außerordentlich leistungsfähiges Transportsystem erforderlich; vgl. STUTE (1978a), S. 81; DÖTLING (1981), S. 76. Dies läßt sich zwar mit der Transportflexibilität flexibler Fertigungssysteme noch vereinbaren. Doch es wird sich eine - wenn auch geringe - Zeitspanne für den Werkstücktransport niemals vermeiden lassen. In diesem Zeitraum wird die ausgewählte leere Folgestation nicht ausgelastet, da sie für den Arbeitsgang des betrachteten Werkstücks reserviert ist, aber das Werkstück noch nicht in ihrem Eingangspuffer angelangt ist. Darüber hinaus können während des Werkstücktransports zur Folgestation Störungen eintreten. Sie drohen damit, daß das Werkstück seine Folgestation überhaupt nicht erreicht. Der leeren Folgestation wird aber auch kein anderer Arbeitsgang zugeordnet. Sie kann daher im Fall der Transportstörung nicht auf ein anderes, in ihrem Eingangspuffer bereits wartendes Alternativwerkstück zugreifen. Statt dessen muß im Falle einer solchen Transportstörung erst die Reservierung der Folgestation für den ursprünglich zugeordneten Arbeitsgang aufgehoben werden, damit diese Bearbeitungsstation für eine neue Zuordnungsentscheidung frei wird.

Sowohl der ungestörte als auch der gestörte Werkstücktransport führen notwendig zu einer endlichen Zeitspanne, innerhalb der die Folgestation keine Bearbeitung ausführt, obwohl sie hierzu in der Lage wäre. Diese *koordinierungsbedingte*, temporäre Nichtbeschäftigung von Bearbeitungsstationen wird in der betrieblichen Praxis nur selten hingenommen werden. Das läßt sich auch durch Wirtschaftlichkeitsüberlegungen rechtfertigen. Sie werden tendenziell erkennen lassen, daß der koordinierungsbedingte Deckungsbeitragsentgang infolge Nichtbeschäftigung von Bearbeitungsstationen schwerer wiegt als diejenigen Formalzielbeeinträchtigungen, die bei einem Abrücken von Zuordnungsentscheidungen in spätest sinnvollen Zuordnungszeitpunkten zu erwarten sind. Daher bietet es sich an, weniger stark verzögerte Zuordnungsentscheidungen zu treffen. Im Extremfall erfolgen sie im jeweils frühest möglichen Zuordnungszeitpunkt.

Die Strategie minimal verzögerter Zuordnungen liegt z.B. den Ausführungen von SPUR (1980), S. 305 (als Option), und DÖTLING (1981), S. 76, zugrunde. Bei ihr wird der nächste Arbeitsgang des Referenzwerkstücks, das bislang im Ausgangspuffer einer Bearbeitungsstation gewartet hat, einer Folgestation mit freiem Eingangspuffer im frühest möglichen Zeitpunkt zugeordnet. Sobald dies geschehen ist, wird der Pufferplatz der ausgewählten Folgestation für das Referenzwerkstück reserviert. Dadurch wird der nächste Arbeitsgang des Werkstücks der Folgestation schon fest zugeordnet, obwohl diese Bearbeitungsstation für die Ausführung des Arbeitsgangs überhaupt noch nicht zur Verfügung stehen muß. Denn nur ihr Eingangspuffer erweist sich im Zuordnungszeitpunkt als frei. Die Frühzeitigkeit dieser Zuordnungsentscheidung kann sich z.B. dann nachteilhaft auswirken, wenn das Werkstück im Eingangspuffer der Folgestation angelangt ist, dort auf Bearbeitung wartet und plötzlich eine Störung der Folgestation eintritt. Da die Folgestation nicht mehr betriebsbereit ist, wäre sie bei maximaler Verzögerung der Zuordnungsentscheidung - wie oben erläutert - überhaupt nicht in Betracht gezogen worden, um ihr den Arbeitsgang des Referenzwerkstücks eventuell zuzuordnen. Nunmehr muß für den Fall, daß die frühzeitig ausgewählte Folgestation gestört ist, entweder auf die Wiederherstellung ihrer Betriebsbereitschaft gewartet werden. SPUR (1981a), S. 116, empfiehlt z.B., aus der Warteschlange des Eingangspuffers einer Bearbeitungsstation nachträglich keine Werkstücke mehr herauszunehmen. Oder es wird eine Anpassungsentscheidung getroffen, den nächsten Arbeitsgang des Werkstücks einer anderen Bearbeitungsstation zuzuordnen. Diese Option findet sich bei STUTE (1978a), S. 96, und WECK (1991d), S. 15. Dann wird das Werkstück entweder im Eingangspuffer der gestörten Folgestation genau so behandelt, wie es zuvor im Ausgangspuffer der alten Bearbeitungsstation der Fall war. Oder das unbearbeitete Werkstück wird in den Ausgangspuffer der Folgestation eingestellt. In beiden Fällen wartet das Werkstück weiterhin darauf, daß sein nächster Arbeitsgang einer betriebsbereiten Bearbeitungsstation zugeordnet wird. Dafür wiederholt sich der bereits skizzierte Zuordnungsprozeß. Das voranstehend skizzierte Aufbrechen der Warteschlange des Eingangspuffers einer Bearbeitungsstation könnte ebenso erwogen werden, wenn sich der nächste Arbeitsgang von mindestens einem dort wartenden Werkstück auf einer anderen Bearbeitungsstation ausführen ließe, die im Betrachtungszeitpunkt leer und für keinen anderen Arbeitsgang reserviert ist. Es wird im folgenden unterstellt, daß die ausgewählte Folgestation ihre Betriebsbereitschaft nicht einbüßt.

Bei der Strategie minimaler Zuordnungsverzögerung wird im Eingangspuffer der ausgewählten Folgestation für das Werkstück des zugeordneten Arbeitsgangs sofort Pufferplatz reserviert, sobald die Zuordnungsentscheidung getroffen ist (s.o.). Darüber hinaus kann auch die Folgestation selbst für die Ausführung des Arbeitsgangs reserviert werden. Dies ist allerdings - im Gegensatz zur Strategie maximaler Zuordnungsverzögerung - keineswegs erforderlich.

Denn die obligatorische Reservierung des Eingangspuffers sorgt bereits für eine Begrenzung der Arbeitsgangzuordnungen. Am Rande wird darauf hingewiesen, daß die zusätzliche Reservierung der Folgestation strenggenommen auch eine unnötige Entscheidungsbindung darstellt. Da sie jedoch in der betrieblichen Praxis durchaus anzutreffen ist, wird kurz darauf eingegangen. Falls eine solche zusätzliche Reservierung der Folgestation geschieht, wird sie nicht sofort im Zuordnungszeitpunkt wirksam. Statt dessen beginnt sie erst nach derjenigen Zeitspanne, die für den Werkstücktransport zwischen der alten Bearbeitungsstation und der ausgewählten Folgestation veranschlagt wird. Dafür können z.B. maximale oder durchschnittliche Transportdauern von Werkstücken in einem Produktionssystem näher betrachtet werden; vgl. SPUR (1980), S. 305ff., 316 u. 388. Während dieser Zeitspanne wird auf der Folgestation zunächst dasjenige Vorläuferwerkstück bearbeitet, dessen Entnahme aus dem Eingangspuffer den Platz für das Referenzwerkstück mit dem zugeordneten nächsten Arbeitsgang geschaffen hat. Die Bearbeitung des Vorläuferwerkstücks an der Folgestation schafft einen zeitlichen Puffer, der so groß ist, wie die Bearbeitung des Vorläuferwerkstücks dort andauert; vgl. DÖTLING (1981), S. 87. Dieser Zeitpuffer wird zunächst genutzt, um das Werkstück, dessen nächster Arbeitsgang der Folgestation zugeordnet wurde, dorthin zu transportieren. Ebenso können Werkzeuge (und andere Fertigungshilfsmittel) zu der Folgestation transportiert werden, deren Bedarf aufgrund der Zuordnung des nächsten Arbeitsgangs bereits bekannt ist, die sich aber im Zuordnungszeitpunkt noch nicht an der Folgestation befinden. Falls der Zeitpuffer, der durch die Bearbeitung des Vorläuferwerkstücks entsteht, kleiner ist als die Zeitspanne, die für den Werkstücktransport und die Werkzeugbereitstellung benötigt wird, verbleibt eine Restzeitspanne. Während dieser Restzeitspanne steht die Folgestation für die Ausführung anderer Arbeitsgänge zur Verfügung. Wenn sich in diesem Zeitraum im Eingangspuffer der Folgestation mindestens ein Alternativwerkstück befindet, dessen Bearbeitung auf der Folgestation bis zum Wirksamwerden der Reservierung für das Referenzwerkstück ausgeführt werden kann, dann besteht erstens der Freiheitsgrad, dieses Werkstück vorab einzulasten. Vgl. dazu das "kapazitätsorientierte" Auffüllen von "Belegungslücken" bei ALDINGER (1985a), S. 71. Zweitens ist es ebenso möglich, ein Alternativwerkstück aus dem Eingangspuffer der Folgestation einzulasten, falls der Transport des Werkstücks mit dem zuvor zugeordneten Arbeitsgang gestört wird oder wenn die ebenso erforderlichen Werkzeuge an der Folgestation nicht rechtzeitig bereitstehen. Drittens kann die Reihenfolge, in der die Folgestation für Arbeitsgänge an Werkstücken reserviert wurde, die sich bereits in ihrem Eingangspuffer befinden, nachträglich geändert werden. Dadurch läßt sich z.B. auf eine unerwartete Veränderung der Bearbeitungsprioritäten jener Werkstücke reagieren. Zugleich wird auf diese Weise die oben erwähnte unnötige Entscheidungsbindung, die durch die Reservierung der Folgestation zunächst eingegangen wurde, nachträglich aufgehoben. Die drei vorgenannten Freiheitsgrade vergrößern die Auswahlfreiheit des Koordinierungsträgers. Dies gilt jedoch nur, sofern sich im Eingangspuffer der jeweils betroffenen Folgestation geeignete Alternativwerkstücke befinden.

Anschließend wird auf den zweiten der beiden eingangs angekündigten Aspekte, die Faktorbereitstellungsplanung, eingegangen. Sie wurde aus der inhaltlichen Spannweite der Werkstattsteuerung im Rahmen dieser Arbeit ausgegrenzt. Dabei handelte es sich jedoch nur um eine thematische Vereinfachung. Bei der Anwendung der opportunistischen Prozeßkoordinierung auf Realprobleme der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung kann jedoch von der Bereitstellung der Produktionsfaktoren nicht mehr abstrahiert werden. Die damit verbundenen Schwierigkeiten werden wiederum nur exemplarisch beleuchtet. Zu diesem Zweck wird die Bereitstellung von Werkzeugen an einer Bearbeitungsstation betrachtet, die für den nächsten Arbeitsgang bei der Abwicklung eines Produktionsauftrags ausgewählt worden ist. Dabei interessieren nur solche Werkzeuge, die sich nicht im permanenten, unmittelbaren Zugriff der Bearbeitungsstation befinden, sondern erst aus einem stationsnahen Werkzeugmagazin, aus einem zentralen Werkzeuglager oder von einer anderen Bearbeitungsstation herangeschafft werden müssen. Dies trifft insbesondere auf flexible Fertigungssysteme zu, die über ein Transportsystem Werkzeuge an die Bearbeitungsstation ihres aktuellen Bedarfs zu liefern vermögen; vgl. z.B. DÖTLING (1981), S. 99ff.

Der Werkzeugbedarf an einer Bearbeitungsstation hängt von den Arbeitsgängen ab, die dort ausgeführt werden sollen. Diese Arbeitsgänge sind aber erst in ihren Zuordnungszeitpunkten bekannt. Hinsichtlich der Zuordnung zwischen Arbeitsgängen und Bearbeitungsstationen wird auf die zuvor erläuterten Zusammenhänge hingewiesen. Wenn das Prinzip der kleinstmöglichen Entscheidungsbindung streng angewendet wird, ist der Werkzeugbedarf für die Ausführung eines Arbeitsgangs an einer Bearbeitungsstation erst kurz vor Beginn der Arbeitsgangausführung bekannt (s.o.). Diese knappe Zeitspanne reicht oftmals für die Bereitstellung der erforderlichen Werkzeuge nicht aus. Dabei spielt nicht nur der Werkzeugtransport eine Rolle. Ebenso muß die arbeitsgangspezifische Voreinstellung der Werkzeuge berücksichtigt werden, die durchaus erhebliche Zeit in Anspruch nehmen kann. Darüber hinaus ist es unter Umständen notwendig, Teilwerkzeuge zu Werkzeugkomplexen zusammenzufassen oder die Werkzeuggüte vor Bearbeitungsbeginn zu prüfen. Aus den vorgenannten Gründen wird in der betrieblichen Praxis oftmals nicht genügend Zeit bleiben, um bei kleinstmöglicher Entscheidungsbindung alle erforderlichen Werkzeuge rechtzeitig bereitzustellen.

Aus dieser unbefriedigenden Situation bestehen mehrere Auswege. Erstens ist es möglich, die Bearbeitungsstationen von vornherein so umfassend mit Werkzeugen auszustatten, daß sie im Zuordnungszeitpunkt über jedes erforderliche Werkzeug verfügen. Es handelt sich um eine Sanierungsstrategie. Dies bedeutet aber eine sehr hohe Kapitalbindung im vorgehaltenen Anlagevermögen, die sich im allgemeinen wirtschaftlich nicht rechtfertigen läßt. (Darüber hinaus widerspricht sie der eingangs erfolgten Beispielspezifizierung.) Zweitens können alle Arbeitsgänge, die zur Abwicklung eines Auftragspakets ausgeführt werden müssen, von vornherein den Bearbeitungsstationen des

Produktionssystem fest zugeordnet werden. Dann brauchen seitens der Werkstattsteuerung nur noch die Arbeitsgangfolgen an den einzelnen Bearbeitungsstationen bestimmt und eventuell an Produktionsstörungen angepaßt zu werden. Vgl. dazu DÖTTLING (1981), S. 63f. Diese Vorgehensweise läuft aber wegen ihrer frühzeitigen Entscheidungsbindungen dem opportunistischen Koordinierungskonzept diametral entgegen. Drittens ist es möglich, den Transport von Werkzeugen an die Bearbeitungsstationen ihres aktuellen Bedarfs weiterhin vorzusehen. Dabei kann auf die Variante minimal verzögerter Zuordnungsentscheidungen zurückgegriffen werden, die schon oben erläutert wurde. Diese Zuordnungsvariante braucht lediglich hinsichtlich des Zeitpunkts der Reservierung einer Bearbeitungsstation erweitert zu werden: Wenn ein Arbeitsgang einer Bearbeitungsstation zugeordnet worden ist, dann fließt in die Berechnung des Reservierungszeitpunkts der Bearbeitungsstation für den Arbeitsgang nicht nur die Transportzeit für das jeweils betroffenen Werkstück ein. Statt dessen wird ebenso diejenige Zeitdauer berücksichtigt, die für die Bereitstellung aller erforderlichen Werkzeuge an der Bearbeitungsstation - durchschnittlich oder maximal - für erforderlich gehalten wird. Das Maximum von Werkstücktransport- und Werkzeugbereitstellungsdauer determiniert den Reservierungszeitpunkt.

Der Aspekt der Werkzeugbereitstellung läßt sich noch weiter verfeinern. Dabei wird auf den Gedanken von HINTZ (1987), S. 143f. u. 146, zurückgegriffen, Werkzeugpuffer einzurichten. Sie werden nicht - wie beim passiven Störungsmanagement - in der Funktion genutzt, im Falle eines unerwarteten Werkzeugschadens rasch auf ein Ersatzwerkzeug zugreifen zu können. Statt dessen dienen sie dazu, zusätzliche Spielräume für Anpassungsmaßnahmen eines aktiven Störungsmanagements zu schaffen. Sie vergrößern dadurch die Auswahlfreiheit bei der Prozeßkoordinierung. Voraussetzung dieser Variante ist, daß die Bearbeitungsstationen über lokale Werkzeugmagazine verfügen. Darüber hinaus müssen in diesen Werkzeugmagazinen noch Speicherplätze frei sein, nachdem alle Werkzeuge, die zur Ausführung der aktuell zugeordneten Arbeitsgänge an den Bearbeitungsstationen erforderlich sind, in die Werkzeugmagazine eingeordnet worden sind (ursprüngliche Werkzeugzuordnung). Falls beide Prämissen erfüllt sind, werden die freien Speicherplätze mit zusätzlichen, aktuell nicht benötigten Werkzeugen aufgefüllt. Wenn Produktionsstörungen eintreten, besteht der zusätzliche Spielraum, mit diesen abundant vorgehaltenen Werkzeugen Arbeitsgänge auszuführen, die aufgrund der ursprünglichen Werkzeugzuordnung störungsbedingt nicht hätten ausgeführt werden können. Die Strategien, nach der die freien Speicherplätze mit Werkzeugen aufgefüllt werden, wurden bislang noch kaum untersucht. Eine der seltenen Ausnahmen präsentiert HINTZ (1987), S. 146. Er schlägt vor, an den Bearbeitungsstationen solche Werkzeuge zusätzlich bereitzustellen, die aufgrund der ursprünglichen Werkzeugzuordnung an der geringsten Stationenanzahl bereitgehalten worden wären. Dadurch wird die Auswahlfreiheit für Anpassungsmaßnahmen, die sich auf die störungsbedingte Modifizierung der Zuordnung von Arbeitsgängen zu Bearbeitungsstationen erstrecken, tendenziell vergrößert. Denn es wird die Chance erhöht, daß eine Bearbeitungsstation, auf der ein bestimmter Arbeitsgang angesichts der ursprünglichen Werkzeugzuordnung nicht hätte ausgeführt werden können, infolge der dort zusätzlich vorgehaltenen Werkzeuge im Störfall für diesen Arbeitsgang doch noch als Ausweichstation in Betracht kommt.

Weitere Anregungen zur detaillierten Ausarbeitung der opportunistischen Prozeßkoordinierung finden sich z.B. bei FOX,B. (1987a), S. 234. Dort werden Entscheidungsalternativen betrachtet, die im selben Zustand eines Produktionssystems zur Fortsetzung der Prozeßausführung in Betracht kommen (also zum selben Spielraum gehören). Es werden Kriterien vorgeschlagen, anhand derer sich diese Alternativen in eine Rangordnung einstellen oder auswählen lassen.

29) Dadurch wird aufgezeigt, daß RIEBEL's programmatische Hoffnung hinsichtlich einer Verknüpfung von Betriebswirtschaftslehre und Informatik grundsätzlich eingelöst werden kann. Darüber hinaus wird auf bereits vorliegende Implementierungen von opportunistischen Prozeßkoordinierungen verwiesen; vgl. z.B. die Simulationsstudien bei FOX,B. (1985a), S. 490f.; FOX,B. (1985b), S. 884f.; FOX,B. (1987a), S. 234ff. Sie stellen schon heute unter Beweis, daß sich das opportunistische Koordinierungskonzept mittels der Automatischen Informationsverarbeitung realisieren läßt.

30) Vgl. zum Konzept des verteilten Problemlösens (distributed artificial intelligence, distributed problem solving, cooperative distributed processing u.ä.) HEWITT (1978b), S. 367f.; LESSER (1979a), S. 537ff.; CORKILL (1979), S. 168ff.; SMITH,R. (1979b), S. 836ff.; KONOLIGE (1980), S. 138ff.; SACERDOTI (1980), S. 9ff.; LESSER (1981), S. 81ff., insbesondere S. 84ff.; SMITH,R. (1981a), S. 61ff.; DAVIS,R. (1981), S. 5ff.; WESSON (1981), S. 5ff., insbesondere S. 18f.; STEEB (1981); THORNDYKE (1981), S. 171ff.; MCARTHUR (1982), S. 181ff.; RAULEFS (1982a), S. 90 u. 94; RAULEFS (1982b), S. 183; CORKILL (1983), S. 748ff.; RAJARAM (1983), S. 135ff.; DAVIS,L. (1983), S. 218ff.; CAMMARATA (1983), S. 768ff.; FUTO (1984), S. 121ff.; POLLACK (1984), S. 686ff.; HEWITT (1984), S. 147f., 152. u. 156f.; DE (1985b), S. 1ff. u. 103ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 1222ff.

Vgl. zu Beiträgen der KI-Forschung für das verteilte (distributed) Problemlösen im Kontext von Produktionsplanungs- und -steuerungsproblemen SHAW,M. (1985a), S. 184ff.; SMITH,S. (1985), S. 1013ff.; VAN DYKE PARUNAK (1985), S. 653ff.; DE (1985b), S. 103ff.; SHAW,M. (1986a), S. 238; VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 285ff.; KRALLMANN (1987b), S. 131; VILLA (1988c), S. 357ff.; SHAW,M. (1988d), S. 137ff.; MERTENS (1989c), S. 839ff.; COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1989), S. III-8f.; ZELEWSKI (1990a), S. 60f.; vgl. darüber hinaus die Quellen, die zum Konzept der Kontraktnetze und zum Blackboard-Konzept aufgeführt werden. Beide stellen spezielle Ansätze zur Realisierung der Idee verteilten Problemlösens dar.

Es existieren auch schon Ansätze, die sich aus betriebswirtschaftlicher Perspektive damit befassen, Konzepte verteilter Künstlicher Intelligenz in die Gestaltung dezentraler PPS-Systeme einzubringen. Vgl. MERTENS (1988d), S. 15ff.; MERTENS (1988g), S. 24ff.

31) Lediglich die Initialisierung der Agenten geschieht durch eine übergeordnete Kontrollinstanz. Von Verfeinerungen, bei denen solche Kontrollinstanzen einzelne Agenten suspendieren und wieder reaktivieren, mit zeitlich variierenden Prioritäten versehen oder zwischen konkurrierenden Agenten eine Auswahl treffen können, wird hier zunächst abgesehen. Auf ein Beispiel dafür wird aber später anhand der störungsinduzierten Aktualisierung von Auftragsprioritäten zurückgekommen. Vgl. auch die späteren Anmerkungen zur Auflösung von Konflikten zwischen mehreren Agenten, die auf eine gemeinsame Agenda zugreifen. Vgl. zu vertiefenden Erläuterungen der Funktionsweise von übergeordneten Kontrollinstanzen, die vor allem bei Blackboard-Architekturen eine größere Rolle spielen, HAYES-ROTH, B. (1985), S. 268ff.; CUNIS (1987b), S. 24f. u. 27; ZELEWSKI (1988c), S. 24f.

32) Für diese Auswahl spricht einerseits, daß die beiden Konzeptvarianten derzeit die Diskussion über Multi-Agenten-Systeme prägen. Darüber hinaus liegen für beide Koordinierungskonzepte bereits Implementierungen auf Automatischen Informationsverarbeitungssystemen vor, so daß sie sich konkret anwenden und studieren lassen.

33) Vgl. zum Konzept der Blackboard-Architekturen ERMAN (1975), S. 483ff.; STALLMAN (1977), S. 139 u. 157ff.; LESSER (1977), S. 791ff.; HAYES-ROTH, F. (1977), S. 27ff.; HAYES-ROTH, B. (1978); HAYES-ROTH, B. (1979a), S. 285ff.; HAYES-ROTH, B. (1979b), S. 376ff.; NAGAO (1979), S. 612ff.; ENGELMORE (1979), S. 250f.; UHR (1979), S. 913; NII (1979), S. 646ff.; HEWITT (1979), S. 433ff.; ERMAN (1980), S. 218ff. u. 243ff.; CULLINGFORD (1981), S. 52ff.; FAUSER (1981), S. 28f.; STEFIK (1982), S. 164ff.; COHEN, P. (1982), S. 25ff.; NEWELL (1982a), S. 116f. i. V.m. S. 98ff.; STEFIK (1983b), S. 116ff.; NAU, D. (1983), S. 77f.; DILLMANN (1984), S. 2f. u. 6f.; LENAT (1984), S. 183 u. 187f.; HATON (1984), S. 85f.; HAYES-ROTH, B. (1985), S. 260ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 214, 328ff., 445, 526, 567ff., 729f., 796f. u. 1224f.; ZELEWSKI (1986c), S. 19ff.; CUNIS (1987a), S. 417f.; CUNIS (1987b), S. 22ff.; ZELEWSKI (1988b), S. 357ff.; ZELEWSKI (1988c), S. 24f. u. 51ff.

Expertensysteme mit Blackboard-Architekturen für den Bereich der Produktionsplanung und -steuerung werden z.B. diskutiert bei SUBRAMANYAM (1986), S. 246 (in bezug auf Flexible Fertigungssysteme), und MEYER, W. O. (1987), S. 410; ZELEWSKI (1988c), S. 51ff.; MERTENS (1989c), S. 841f.; ZELEWSKI (1990a), S. 60f.

34) Die Agenten werden oftmals auch als Aktoren oder Dämonen bezeichnet. Aus der Perspektive von Expertensystemen stellen sie multiple, nebenläufig agierende Problemlösungskomponenten dar.

35) Vgl. zu Kontraktnetzen SMITH, R. (1980), S. 1104ff.; DAVIS, R. (1981), S. 1, 5, 10f. u. 14ff.; DAVIS, R. (1983), S. 63f., 71 u. 76ff.; BAKER, A. (1988), S. 101ff.; SHAW, M. (1988e), S. 87ff.

Neuerdings werden Kontraktnetze auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht thematisiert. Dabei steht die Gestaltung von Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen im Vordergrund. Vgl. SHAW, M. (1988d), S. 138ff.; MERTENS (1989c), S. 840f.; KRALLMANN (1987b), S. 131; ZELEWSKI (1990a), S. 61.

Darüber hinaus wurden bereits Petrinetze herangezogen, um den Verhandlungsablauf zwischen den Agenten eines Kontraktnetzes zu modellieren; vgl. SHAW, M. (1988e), S. 94ff. Dies ist insofern besonders interessant, weil dadurch das KI-Konzept der Kontraktnetze mit der hier interessierenden Modellierung von Prozeßkoordinierungen auf der Basis des Petrinetz-Konzepts unmittelbar verknüpft wird.

36) Der Verf. folgt hier der etablierten Terminologie, die zwischen Graphen und Netzen nicht unterscheidet. Er wird jedoch später zeigen, daß sich Netze - zumindest im Kontext des Petrinetz-Konzepts - von Graphen präzise abgrenzen lassen.

37) Kontraktnetze stellen daher besondere, auf die Koordinierung teilautonomer Agenten spezialisierte Kommunikationsnetze dar.

38) Der Nachrichtenfluß zwischen den Agenten wird durch ein Kommunikationsprotokoll geregelt. Die informationstechnischen Feinheiten der Ausgestaltung solcher Protokolle interessiert hier nicht weiter. Vgl. dazu die Quellen, die einer früheren Anmerkung zum Konzept der Kontraktnetze angeführt wurden. Darüber hinaus findet sich bei LONCHAMP (1984), S. 421ff., eine anschauliche und zugleich detailliert ausgearbeitete Darstellung, wie der Nachrichtenfluß durch ein Kommunikationsprotokoll (auf der Anwendungsebene) geregelt werden kann. Besonders hervorzuheben ist, daß sich dieser Beitrag speziell mit Flexiblen Fertigungssystemen beschäftigt. Allerdings behandelt er nicht Koordinierung von Agenten, sondern die von Prozessen. Auch erfolgt keine Koordinierung auf Kontraktnetzbasis. Doch können die dort präsentierten Konstrukte für den Nachrichtenaustausch zwischen Prozessen ohne Schwierigkeiten auf einen analogen Nachrichtenaustausch zwischen Agenten übertragen werden. Dazu brauchen die Agenten lediglich als Instanzen eingeführt zu werden, die sich jeweils um die Ausführung eines Prozesses kümmern.

39) Das Verhandlungsprotokoll ist von dem Kommunikationsprotokoll, das in einer früheren Anmerkung angesprochen wurde, deutlich zu unterscheiden. Denn ein Kommunikationsprotokoll regelt nur den Austausch von Nachrichten. Es bestimmt jedoch weder den Inhalt der Nachrichten noch die Art der Nachrichtenbearbeitung bei ihren Sendern und Empfängern. Genau diese Spezifizierung von Nachrichteninhalt und -bearbeitung leistet dagegen das

Verhandlungsprotokoll. Vgl. zu solchen Verhandlungsprotokollen, die oftmals auch als Problemlösungsprotokolle bezeichnet werden, DAVIS,R. (1981), S. 10 u. 15ff.; DAVIS,R. (1983), S. 70f. u. 77ff.; BAKER,A. (1988), S. 104f. (mit einer besonders gehaltvollen Protokolldarstellung).

40) Ähnliche Auktionsmechanismen finden auch außerhalb der Kontraktnetzwerke zunehmend Beachtung; vgl. z.B. BARR,R. (1989), S. 27ff. (mit einer bemerkenswerten Implementierung auf S. 28ff., die sowohl den objektorientierten Gestaltungsansatz befolgt als auch eine nebenläufige Mechanismusausführung ermöglicht).

41) Die speziellen Koordinierungskonzepte von Blackboards und Kontraktnetzen werden dagegen hier nicht weiter beachtet. Sie werden aber später wiederaufgenommen. Darauf wurde bereits hingewiesen.

42) Beispielsweise wurde das YAMS-Konzept (Yet Another Manufacturing System) zur Modellierung von Produktionssystemen auf der Basis von Multi-Agenten-Systemen vorgestellt. Es soll u.a. ermöglichen, die Operationen von Bearbeitungsstationen in Flexiblen Fertigungssystemen aufeinander abzustimmen. Vgl. VAN DYKE PARUNAK (1985), S. 653ff.; VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 288ff., insbesondere S. 290f.; DECKER,K. (1987), S. 737f.; MERTENS (1988d), S. 17f.; MERTENS (1988g), S. 25ff.

43) Vgl. zu einem anschaulichen Beispiel hierfür VAN DYKE PARUNAK (1985), S. 655f.

44) Ein Agent kann sich auch auf mehrere Produktionsaufträge erstrecken. Davon wird hier der Übersichtlichkeit halber abgesehen.

45) Solche Agenten werden fortan als Auftragsagenten bezeichnet. Wenn ein Auftragsagent mit seinem Produktionsauftrag identifiziert wird, läßt sich auch davon reden, daß der Auftrag sich selbst durch das Produktionssystem hindurchsteuere.

46) Vgl. KERN,W. (1990a), S. 302.

47) Vgl. zu dieser - in der betrieblichen Praxis weit verbreiteten - Vorgehensweise FORSCHBACH (1978), S. 279ff.; LICHTER (1978), S. 300; NÜHRICH (1978), S. 460f.; KERN,W. (1990a), S. 302. Vgl. auch den Hinweis zu der Verschiebungsstrategie, bei der es den Arbeitskräften im Produktionsbereich überlassen bleibt, auf Produktionsstörungen zu reagieren.

48) Vgl. VAN DYKE PARUNAK (1985), S. 656ff. in Verbindung mit S. 655; SHAW,M. (1986b), S. 546; VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 290f. Agenten dieser Art werden fortan als Maschinenagenten angesprochen.

49) Es handelt sich um die Interessen, die der Koordinierungsträger durch seine Gestaltung eines Multi-Agenten-Systems dessen Agenten zugeordnet hat.

50) Hier liegt der Berührungspunkt mit dem Opportunismusbegriff der Neuen Institutionenökonomik, der bereits an früherer Stelle angekündigt wurde.

51) Vgl. FOX,M. (1986a), S. 410; KRALLMANN (1987b), S. 131.

52) Vgl. KRALLMANN (1987b), S. 131.

53) Falls in einer Produktionssituation die Ausführung eines Arbeitsgangs andauert und kein anderer Arbeitsgang zur Auswahl steht, der sich nebenläufig zum erstgenannten Arbeitsgang ausführen läßt, so ist die Menge aller Arbeitsgänge, die in der aktuellen Produktionssituation begonnen werden können, leer.

54) Die Arbeitsgangausführungen, die in der aktuellen Produktionssituation begonnen werden können, werden fortan auch als Fortsetzungsalternativen bei der Abwicklung des agentenspezifischen Auftrags bezeichnet.

55) Das Vermeiden solcher Entscheidungsbindungen läßt sich in Multi-Agenten-Systemen wesentlich einfacher implementieren als das Eingehen solcher Bindungen. Denn zukünftige Entscheidungsbindungen unterbleiben einfach dadurch, daß der Auftragsagent in seinem Arbeitsplan keine verbindlichen Vorentscheidungen darüber einträgt, wie er auf Fortsetzungsalternativen, die bei der zukünftigen Auftragsabwicklung offenstehen werden, reagieren wird. Solche zukünftigen Fortsetzungsalternativen lassen sich zwar erwägen, um in der aktuellen Produktionssituation die Konsequenzen derjenigen Arbeitsgangausführungen zu beurteilen, die in der aktuellen Produktionssituation begonnen werden können. Das wurde schon an früherer Stelle herausgestellt. Aber eine solche projektive Konsequenzenbeurteilung bedeutet noch keine verbindliche Festlegung zukünftiger Koordinierungsentscheidungen. Sie erfolgte erst dann, wenn der Auftragsagent in seinem Arbeitsplan aufgrund der Konsequenzenbeurteilung zukünftige Fortsetzungsalternativen vorzeitig fixieren würde. Dadurch gingen jedoch Spielräume für Anpassungsmaßnahmen unter, mit denen auf spätere unerwartete Veränderungen der Produktionssituation reagiert werden könnte. Daher wird auf solche unnötigen Spielraumschließungen im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung verzichtet. Folglich braucht bei der Implementierung von Auftragsagenten auch kein Mechanismus vorgesehen werden, der das vorzeitige Fixieren zukünftiger Fortsetzungsalternativen im Arbeitsplan leistet.

56) Eine analoge Argumentation läßt sich für die Koordinierungsspielräume von Maschinenagenten führen. Dies würde jedoch keine grundsätzlich neuen Perspektiven erschließen. Deshalb wird darauf verzichtet. Der Koordinie-

zungsspielraum eines Maschinenagenten kann Anpassungsmaßnahmen enthalten, um auf eine Betriebsstörung seiner Bearbeitungsstation zu reagieren. Dazu gehört beispielsweise das Ausschleusen aller dort befindlichen Werkstücke auf den Ausgangspuffer der Bearbeitungsstation, um sie an andere - betriebsbereite - Bearbeitungsstationen transportieren zu lassen. Ebenso können Instandsetzungsoperationen zur Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft vorgesehen werden. Sie gehören allerdings nicht mehr zum thematischen Rahmen dieser Arbeit.

57) Die Reaktionsoptionen eines Maschinenagenten wurden in einer früheren Anmerkung exemplarisch verdeutlicht.

58) Hier wird nur der störungsbezogene Spezialfall eines allgemeineren Koordinierungskonzepts betrachtet, das im Kontext von Blackboard-Architekturen größere Beachtung findet. Es handelt sich um das Konzept der "opportunistischen" Planung. Es besitzt - trotz der Äquivokation - keinen unmittelbaren Bezug auf die oben diskutierte opportunistische Prozeßkoordinierung. Vielmehr betrifft die opportunistische Planung das Koordinierungsproblem, von mehreren konfliktionären Agenten genau einen auszuwählen. Agenten stehen zueinander in Konflikt, wenn sie ihre Operationen im gleichen Zustand der zugrundeliegenden gemeinsamen Informationsbasis so ausführen könnten, daß sich ihre Operationsausführungen wechselseitig ausschließen. Ein typischer Konfliktfall tritt ein, wenn mehrere Agenten um die gleichen Ressourcen für die Ausführung ihrer Operationen konkurrieren. Die opportunistische Planung beruht auf heuristischen Auswahlregeln, die es gestatten, aus konfliktionären Agenten diejenigen auszuwählen, dessen Operationen in der aktuellen Planungssituation hinsichtlich der verfolgten Planungsziele am erfolgversprechendsten erscheinen. Vgl. dazu HAYES-ROTH, B. (1979a), S. 276f. u. 284ff.; HAYES-ROTH, B. (1979b), S. 375ff.; HENNINGS (1985), S. 113ff.; CUNIS (1987a), S. 414; CUNIS (1987b), S. 25 u. 29; ZELEWSKI (1988c), S. 25. Hier wird nur der Sonderfall erfaßt, in dem u.a. das Ziel verfolgt wird, möglichst alle Produktionsaufträge zu ihren spätest zulässigen Fertigstellungsterminen tatsächlich vollendet zu haben. Dann liegt der Heurismus nahe, einen Auftrag um so stärker zu beschleunigen, je länger seine Abwicklung im Produktionssystem störungsbedingt verzögert wurde. Wie sich diese heuristische Regel in die Auswahl zwischen konfliktionären Agenten einbinden läßt, wird anschließend skizziert.

59) Zugriffskonflikte zwischen mehreren Agenten, die um dieselbe Ressource konkurrieren, werden dabei nach Maßgabe der Prioritäten derjenigen Aufträge aufgelöst, deren Abwicklung die Auftragsagenten jeweils betreiben: Die Ressource wird dem Agenten mit der höchsten Auftragspriorität zugeordnet. Eine ähnliche Konfliktauflösung läßt sich auch mit der Hilfe von Prioritätsregeln verwirklichen, die an den Schlupfzeiten von auftragszugehörigen Arbeitsgängen anknüpfen. Diese Schlupfzeiten sind aber für alle Produktionsaufträge in derselben Weise definiert. Sie gestatten daher nicht, die Dringlichkeiten von Aufträgen nach anderen Kriterien als nach ihren Schlupfzeiten einzustufen. Dabei bleibt z.B. außer Acht, daß ein Auftrag für einen besonders wichtigen Kunden dringlicher als andere Aufträge sein kann, obwohl ihre jeweils nächsten Arbeitsgänge dieselben Schlupfzeiten besitzen. Daher wird hier die dynamische Auftragspriorität als ein Konstrukt sui generis eingeführt, das sich anstelle von oder zusätzlich zu Schlupfzeiten verwenden läßt.

60) Auch MERTENS (1988d), S. 12, schlägt für die Entwicklung von Expertensystemen, die Anpassungsplanungen im Produktionsbereich unterstützen sollen, ein störungsinduziertes Aktualisieren von Auftragsprioritäten vor. Es ist beabsichtigt, daß ein solches Expertensystem zunächst Verzögerungen bei der Auftragsfertigstellung aufdeckt. Die Folgewirkungen, die von den erkannten Störungen bei der Auftragsabwicklung auf ein Produktionssystem ausstrahlen können, werden anschließend hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Erfüllung der Koordinierungsziele beurteilt. Aufgrund der dabei erlangten Einsichten soll das Expertensystem in der Lage sein, die Abwicklungsprioritäten für alle Aufträge, die noch nicht fertiggestellt sind, neu festzulegen.

61) Die Prioritätserhöhung stellt eine Leistung dar, die nicht agentenintern, sondern agentenübergreifend reglementiert ist. Daher erfordert die Implementierung eines Mechanismus, der die dynamischen Abwicklungsprioritäten aller Produktionsaufträge störungsabhängig zu korrigieren vermag, eine zentrale Kontrollinstanz. Insofern kann auch für Multi-Agenten-Systeme eine solche Kontrollinstanz eine Rolle spielen, die eingangs noch ausgeklammert wurde.

2.5 Der kybernetische Rahmen

Das kybernetische oder regelungstheoretische Strukturierungsparadigma¹⁾ weist eine hohe inhaltliche Affinität zur Koordinierung von Produktionsprozessen auf²⁾. Denn es erstreckt sich allgemein auf die Lenkung der Prozeßausführung in Systemen³⁾. Vor allem lassen sich mit seiner Hilfe die Vorbehalte gegenüber Optimierungsdenken und Planfixierung vertiefen, die bereits im Kontext des entscheidungstheoretischen Strukturierungsparadigmas ausführlich behandelt wurden. Daher führt die regelungstheoretische Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen zu keinen grundsätzlich neuartigen Einblicken. Statt dessen wird sie die Forderung unterstreichen, daß bei der Ausarbeitung von Koordinierungskonzepten die Ermittlung optimaler Produktionspläne zurücktreten sollte zugunsten einer Konzentration auf Anpassungsplanungen. Die regelungstheoretische Perspektive wird jedoch erlauben, die Reagibilität dieser Anpassungsplanungen im Hinblick auf Realzeitanforderungen zu präzisieren.

Die regelungstheoretische Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen weicht in begrifflicher Hinsicht⁴⁾ von den Prozeßplanungs- und -steuerungsaufgaben ab, die seitens der produktionswirtschaftlich üblichen PPS-Systeme erfüllt werden sollen. Die gleiche begriffliche Diskrepanz besteht auch gegenüber den hier besonders interessierenden Anpassungsplanungen. Daher werden die drei vorgenannten Ansätze der Problemstrukturierung zunächst terminologisch aufeinander bezogen⁵⁾. Dabei ist zu beachten, daß Planungs- und Steuerungsbegriff im Kontext von PPS-Systemen in zwei unterschiedlichen Weisen voneinander abgegrenzt werden können. In der ersten Hinsicht wird die Produktionsplanung der -steuerung hierarchisch übergeordnet. Aus dem zweiten Blickwinkel werden die Planung und Steuerung von Produktionsprozessen dagegen in einer besonderen Art nebengeordnet. Beide Perspektiven stimmen jedoch bei ihrer regelungstheoretischen Ausdeutung in zwei Grundannahmen überein: Das Produktionssystem⁶⁾ bildet die Regelstrecke, auf der die zu lenkenden Prozeßausführungen geschehen. Das komplementäre Informationssystem konstituiert den Regler, in dem die Lenkung der Prozeßausführung erfolgt⁷⁾.

Zuerst wird auf die hierarchische Konzeptualisierung⁸⁾ von Produktionsplanung und -steuerung⁹⁾ eingegangen. Aus ihrer Sicht werden durch die Produktionsplanung grobe Rahmenbedingungen festgelegt, die nur selten einer Korrektur bedürfen (Grobplanung). Aus diesen Rahmenbedingungen werden die Führungsgrößen des Reglers abgeleitet¹⁰⁾. Sie bestimmen die Ausführung der Produktionsprozesse im Produktionssystem¹¹⁾. Den Regler bildet hier nur die Produktionssteuerung. Von ihr werden diejenigen Gestaltungsfreiräume ausgefüllt, die innerhalb des geplanten Prozeßrahmens verbleiben. Dieses Freiraumausschöpfen erstreckt sich auf sechs Phasen:

- Zunächst erfolgt eine detaillierte¹²⁾ originäre¹³⁾ Planung¹⁴⁾ der auszuführenden Produktionsprozesse (Feinplanung). Das Planungsergebnis stellt einen Produktionsplan dar, der die Führungsgrößen aus der Produktionsplanung verwirklicht¹⁵⁾.
- Der Produktionsplan wird in operationale Größen für die Prozeßausführung im Produktionssystem umgesetzt (Arbeitsverteilung, Plandurchsetzung). Hierzu gehören einerseits Stellgrößen, die an das Produktionssystem zu dessen Beeinflussung als Steuerungsanweisungen übermittelt werden¹⁶⁾. Andererseits kommen die Sollwerte von Kontrollgrößen¹⁷⁾ hinzu, die für die spätere Kontrolle des geregelten Produktionsprozesses aus dem Produktionsplan abgeleitet werden¹⁸⁾.
- Die tatsächliche Ausführung der Produktionsprozesse im Produktionssystem wird beobachtet (Betriebsdatenerfassung).

- Die Beobachtungsergebnisse (Regelgrößen) gelangen als Systemmeldungen an den Regler zurück¹⁹). Dabei handelt es sich im allgemeinen um "nackte" Meßwerte²⁰). Sie bedürfen einer weiteren Aufbereitung, um sie auf die vorgegebenen Kontrollgrößen-Sollwerte abzustimmen. Aus der Meßwerteverarbeitung resultieren schließlich Kontrollgrößen-Istwerte²¹).
- Durch Vergleich der Soll- und Istwerte von Kontrollgrößen lassen sich Abweichungen feststellen²²). Falls solche Soll/Ist-Abweichungen auftreten, werden sie hinsichtlich ihrer Eingriffsrelevanz beurteilt (Diagnose)²³). Ein Stabilitätsbereich legt fest, in welchem Ausmaß Soll/Ist-Abweichungen toleriert werden²⁴). Jede darüber hinaus gehende Abweichung stellt eine Störung des Produktionssystems dar²⁵).
- Falls eine Produktionsstörung vorliegt, werden veränderte Stellgrößenwerte als kurzfristig wirksame Anpassungsmaßnahmen geplant²⁶) und durchgesetzt (Plananpassung, Feinsteuerung, Korrektur)²⁷). Hierdurch erfolgt eine störungsinduzierte Anpassungsplanung²⁸).

Die dritte, vierte und fünfte Steuerungsphase werden oftmals als Planüberwachung oder Produktionskontrolle i.e.S. zusammengefaßt²⁹). Die Produktionskontrolle i.w.S. schließt neben der Planüberwachung auch noch die Plananpassung ein³⁰). Mit der Durchsetzung der Anpassungsmaßnahmen im gestörten Produktionssystem schließt sich der Regelkreis der Produktionssteuerung³¹). Daher entspricht dieser produktionswirtschaftliche Steuerungs- dem kybernetischen Regelungs-begriff³²). Abb. 4 auf der nächsten Seite faßt die wesentlichen Komponenten der voranstehenden Erläuterung zusammen³³).

Die skizzierte Anpassungsmöglichkeit an Störungen des Produktionssystems besteht nur in dem Ausmaß, wie die steuernden Eingriffe in die Prozeßausführung innerhalb des Rahmens verbleiben, der seitens der Produktionsplanung vorab gesteckt wurde. Andernfalls wirkt die Produktionssteuerung auf die Prozeßplanung derart zurück, daß eine Neuplanung des groben Prozeßrahmens erfolgt³⁴). Aus kybernetischer Sicht liegt dann ein adaptives, ultrastabiles Regelkreissystem mit Anpassung oder Folgeregelung seiner Führungsgrößen vor³⁵). Die Prozeßplanung bildet dabei einen eigenständigen Regler, der dem Regler der Prozeßsteuerung übergeordnet ist³⁶). Auf diese Weise lassen sich hierarchisch vermaschte Regelkreissysteme bilden, die hier jedoch nicht weiter verfolgt werden³⁷).

Charakteristisch für die voranstehend erläuterte Differenzierung³⁸) zwischen Produktionsplanung und -steuerung ist, daß die Produktionsplanung als die übergeordnete, grobe Festsetzung eines Produktionsrahmens aufgefaßt wird. Die Produktionssteuerung erscheint dagegen als die untergeordnete, feine Ausführungs- und Anpassungsplanung von Produktionsprozessen. Angesichts *dieser* Unterscheidung beschränkt sich die hier vorgelegte Ausarbeitung zur Prozeßkoordination in komplexen Produktionssystemen auf den Bereich der *Produktionssteuerung*. Dies findet auch in den bereits eingeführten Begriffen der Werkstatt- und Leitstandsteuerung seinen Ausdruck. Die derart ausgedeutete Produktionssteuerung umfaßt - entgegen dem Anschein ihres Wortlauts - eine Fülle von planenden Koordinierungsaktivitäten³⁹).

Aus einer anderen Perspektive⁴⁰) läßt sich die Produktionssteuerung auf störungsinduzierte Anpassungsplanungen begrenzen⁴¹). Dann wird die Produktionsplanung als eine *originäre Planung* betrachtet, die unabhängig von Rückmeldungen über die Planrealisierung im Produktionssystem erfolgt. Im Gegensatz dazu werden im Rahmen der Produktionssteuerung *Anpassungsplanungen* vorgenommen, mit deren Hilfe auf Störungen bei der Ausführung früher originär geplanter - oder bereits angepaßter - Produktionspläne reagiert wird. Bei dieser Sichtweise ist die Produktionsplanung nicht mehr der Produktionssteuerung hierarchisch übergeordnet, sondern beide werden einander nebengeordnet. Produktionsplanung und -steuerung stellen in diesem Fall nur noch unterschiedliche Aspekte desselben Reglers in einem einfachen Regelkreis dar⁴²). Seitens der originären Produktionsplanung werden die Stellgrößen⁴³) für die geregelten Produktionsprozesse festgelegt. Die Produktionssteuerung leistet die Stellgrößenanpassung, sobald eingriffsrelevante Produktionsstörungen eintreten⁴⁴). Die Führungsgrößen werden weder durch die

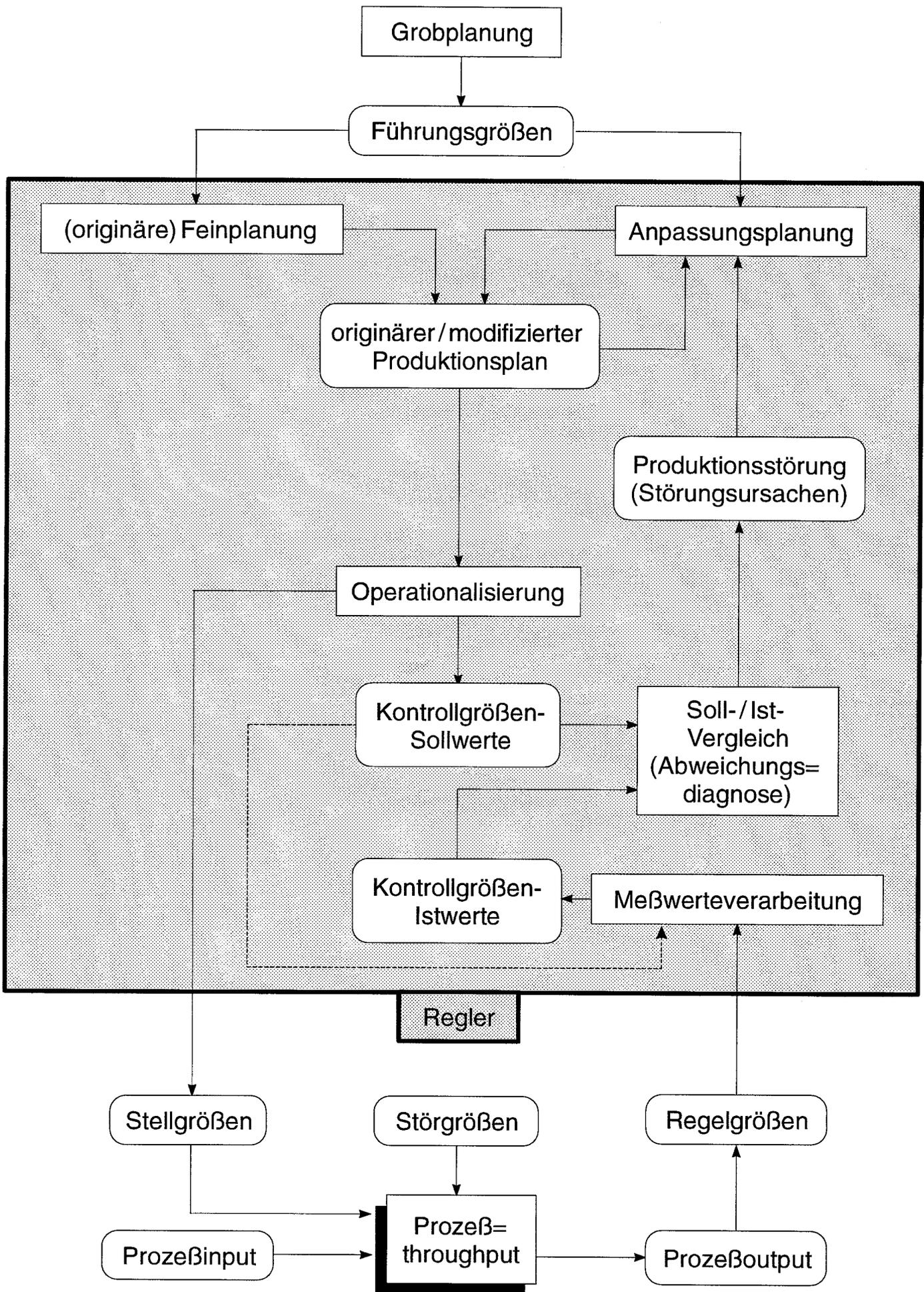


Abb. 4: Regelkreis der Produktionssteuerung

Produktionsplanung noch durch die Produktionssteuerung bestimmt, sondern als exogen vorgegebene Konstanten betrachtet. Aus *dieser* Sicht deckt die Koordinierung von Produktionsprozessen, die hier behandelt wird, *sowohl die Produktionsplanung als auch die Produktionssteuerung* ab.

Die regelungstheoretische Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen läßt sich heranziehen, um die früher erhobenen Bedenken gegenüber Optimierungsplanungen zu vertiefen. Im Rahmen der entscheidungstheoretischen Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen wurde nur betrachtet, wie sich die gesuchten Problemlösungen aus lokalen Entscheidungsalternativen zusammensetzen lassen. Dieser Ansatz wurde von den Aspekten der Alternativenauswahl und der Alternativenaggregation dominiert. Die Realisierung der Entscheidungsergebnisse im jeweils zugrundeliegenden Produktionssystem blieb jedoch unbeachtet. Diese verkürzte Perspektive wird seitens des regelungstheoretischen Ansatzes dadurch überwunden, daß die Entscheidungsergebnisse zunächst in Steuerungsanweisungen (Stellgrößen) an das Produktionssystem umgesetzt werden. Hinzu kommt, daß die tatsächliche Prozeßausführung im Produktionssystem beobachtet und durch entsprechende Systemmeldungen (Regelgrößen) protokolliert wird. Diese Rückkopplung gestattet, auf Störungen des Produktionssystems durch neue Koordinierungsentscheidungen zu reagieren. Die Möglichkeiten, durch Anpassungsplanungen auf solche Produktionsstörungen zu antworten, und die damit verbundenen Konsequenzen für das konventionelle Planungsverständnis wurden bereits dargelegt.

Hier interessiert nur, in welcher Weise sich die Existenz von Rückkopplungen zwischen Produktions- und Informationssystem auf die Relevanz von Optimierungsmodellen für Koordinierungsentscheidungen auszuwirken vermag. Die Fragwürdigkeit von Optimierungsansätzen für die regelungstheoretische Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen wird zwar kaum explizit thematisiert⁴⁵⁾. Aber eine inhaltliche Auseinandersetzung mit regelungstheoretischen Arbeiten läßt schnell erkennen, daß dort an der Stelle von Optimierungszielen stets Stabilisierungsziele⁴⁶⁾ verfolgt werden⁴⁷⁾.

Es ließe sich zwar daran denken, im Rahmen des entscheidungstheoretischen Ansatzes zunächst ein Optimierungsmodell aufzustellen. Die Ermittlung einer optimalen Modellösung entspräche dann der o.a. Feinplanung. Ihr Ergebnis - der optimale Produktionsplan - könnte benutzt werden, um entsprechende Kontrollgrößen-Sollwerte für die Prozeßregelung zu gewinnen. Als pars pro toto wird hier der Zielfunktionswert⁴⁸⁾, den der optimale Produktionsplan aufweist, als einziger Kontrollgrößen-Sollwert⁴⁹⁾ betrachtet⁵⁰⁾. Im regelungstheoretischen Rahmen wäre anzustreben, die Prozeßausführung im Produktionssystem so zu "stabilisieren", daß der zielloptimale Sollwert der Kontrollgröße durch Prozeßausführungen im Produktionssystem trotz unerwarteter Störungen exakt realisiert wird. Daher schrumpfen die Abweichungen der Kontrollgrößen-Istwerte, die für Prozeßausführungen hinsichtlich der Zielfunktionserfüllung toleriert werden, auf das theoretische Minimum der Nullabweichung zusammen.

Entscheidungstheoretisches Optimierungs- und regelungstheoretisches Stabilisierungsdenken schließen sich also im logischen Sinne nicht streng aus. Dennoch läßt sich die voranstehend skizzierte Denkmöglichkeit im allgemeinen nicht verwirklichen. Denn die Störungen werden sich im Produktionssystem oftmals so auswirken, daß der Zielfunktionswert der optimalen Lösung(en) des zugrundegelegten Optimierungsmodells unter der veränderten Produktionssituation nicht mehr erreicht werden kann⁵¹⁾. Erschwerend kommt hinzu, daß regelnde Eingriffe in das Produktionssystem tendenziell um so öfter notwendig werden, je höher der Zielerfüllungsgrad des Sollwerts der vorausgesetzten Kontrollgröße ist. Bei einem Sollwert der Kontrollgröße, der aus einem optimalen Produktionsplan abgeleitet wurde, ist dieser Zielerfüllungsgrad notwendig maximal. Daher verlangt ein solcher Kontrollgrößen-Sollwert besonders häufige Eingriffe in das geregelte Produktionssystem⁵²⁾. Die hohe Eingriffsfrequenz droht zu zwei unerwünschten Phänomenen zu führen.

Entweder läßt die Prozeßausführung im Produktionssystem den Istwert der Kontrollgröße so um den optimalen Sollwert der Kontrollgröße oszillieren⁵³), daß die Soll/Ist-Abweichungen einerseits ständig über das tolerierte Abweichungsausmaß des Stabilitätsbereichs hinauschießen, sich aber andererseits immer wieder durch entsprechende Anpassungsplanungen kompensieren lassen⁵⁴). Dieser Oszillationsfall liegt dem Phänomen "nervöser" Prozeßkoordinierungen zugrunde, das bereits angesprochen wurde. Da bei der Zugrundelegung von Optimierungsmodellen nur Nullabweichungen vom optimalen Kontrollgrößen-Sollwert toleriert werden, ist mit einem "nervösen" Koordinierungsverhalten stets zu rechnen.

Oder es tritt der Extremfall einer "explodierenden" Prozeßkoordinierung⁵⁵) ein. Dabei schaukeln sich Produktionsstörungen und regelnde Steuerungsanweisungen wechselseitig derart auf, daß sich die Istwerte der Kontrollgröße bei der Prozeßausführung im Produktionssystem von ihrem Sollwert immer weiter entfernen⁵⁶). Denn schon kleine Produktionsstörungen können zu erheblichen Abweichungen zwischen dem ursprünglich ermittelten optimalen Produktionsplan und den störungsinduziert angepaßten Produktionsplänen führen⁵⁷). Durch die Überlagerung mehrerer solcher Abweichungen kann die Diskrepanz zwischen dem optimalen Sollwert der Kontrollgröße und ihren Istwerten, die durch Prozeßausführungen im Produktionssystem realisiert werden, über alle Grenzen anwachsen. Dann wird es unmöglich, die exogen vorgegebenen Führungsgrößen des Regelkreises überhaupt noch zu verwirklichen⁵⁸). Die Prozeßregelung bricht in sich zusammen⁵⁹).

Oszillations- und Aufschaukelungsphänomene bleiben keineswegs auf die Vorgabe optimaler Sollwerte von Kontrollgrößen beschränkt. Sie sind aber bei Prozeßregelungen, die auf der Grundlage von Optimierungsmodellen geschehen, wegen der o.a. hohen Eingriffsfrequenz sehr wahrscheinlich. Daher droht solchen Prozeßregelungen stets eine "Optimalitätsfalle": Da nur noch Nullabweichungen der Kontrollgrößen toleriert werden, muß immer wieder durch Anpassungsmaßnahmen in die Prozeßausführung eingegriffen werden. Wenn es dabei zum oben geschilderten Oszillieren oder Aufschaukeln der Prozeßregelung kommt, werden die optimalen Produktionspläne überhaupt nicht mehr realisiert, sondern nur noch unablässig angepaßt. Der Zweck der Prozeßregelung, die Ausführung von Produktionsprozessen auf der Regelstrecke zu stabilisieren, pervertiert dann zur Beschäftigung des Reglers mit sich selbst. Daher laufen optimierende Sollwertfestlegungen dem Anliegen des regelungstheoretischen Ansatzes tendenziell zuwider⁶⁰).

Darüber hinaus erweisen sich Oszillations- und Aufschaukelungsgefahren bei Flexiblen Fertigungssystemen als besonders groß. Denn diese Produktionssysteme sind durch ein hohes Ausmaß an Instabilität gekennzeichnet. Es läßt sich grundsätzlich nicht mit den stabilen Produktionsbedingungen vereinbaren, die bei der Anwendung von Optimierungszielen zumindest implizit vorausgesetzt werden⁶¹). Die beträchtliche Instabilität Flexibler Fertigungssysteme kann auf zwei unterschiedliche Quellen zurückgeführt werden⁶²): eine technisch bedingte und eine organisatorisch hervorgerufenen Instabilität⁶³).

Die technische Instabilität resultiert aus unvorhergesehenen Betriebsstörungen von Betriebsmitteln⁶⁴). Flexible Fertigungssysteme stellen in der Regel komplex automatisierte Produktionssysteme dar⁶⁵). Ihre Störanfälligkeit fällt tendenziell höher aus als die von weniger komplex automatisierten Produktionssystemen⁶⁶). Daher leiden Flexible Fertigungssysteme im allgemeinen⁶⁷) unter einer größeren technischen Instabilität als konventionelle Produktionssysteme bei Werkstattfertigung.

Die organisatorische Instabilität wird dispositiv verursacht. Sie entsteht dadurch, daß die immanente technische Systemflexibilität ausgeschöpft wird, um die Produktion in Flexiblen Fertigungssystemen rasch an stark schwankende Absatzbedingungen⁶⁸) anzupassen⁶⁹). Dies wird besonders deutlich, wenn Produktionsprozesse auf der Grundlage des Just in time-Prinzips⁷⁰) koordiniert werden⁷¹). An die Stelle von Produktionsplänen, die auf den Rahmenvorgaben einer

stabilen mittelfristigen Programmplanung beruhen, treten Koordinierungsentscheidungen, die erst durch das Eintreffen neuer Kundenaufträge kurzfristig angestoßen werden⁷²⁾.

Die voranstehenden regelungstheoretischen Erörterungen verdeutlichen, daß Koordinierungsentscheidungen auf der Basis von Optimierungszielen dem Denkmuster der kybernetischen Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen nicht gerecht werden. Es geht daher nicht um die Planung optimaler Produktionsprozesse. Statt dessen sind Koordinierungsentscheidungen so zu treffen, daß sie das Ziel einer stabilen Prozeßausführung im Produktionssystem erfüllen⁷³⁾. Deshalb liegt es der regelungstheoretischen Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen in Produktionssystemen fern, die Sollwerte ihrer Kontrollgrößen mit den optimalen Lösungen von Koordinierungsmodellen gleichzusetzen. Vielmehr werden suboptimale Sollwerte bevorzugt, die es zulassen, innerhalb eines größeren Stabilitätsbereichs tolerierter Soll/Ist-Abweichungen⁷⁴⁾ nicht auf Produktionsstörungen reagieren zu müssen⁷⁵⁾. Dann kann die Prozeßausführung im Produktionssystem oftmals so stabilisiert werden, daß die weniger anspruchsvoll festgelegten Sollwerte der Kontrollgrößen - trotz unvorhergesehener Produktionsstörungen⁷⁶⁾ - durch die tatsächlich beobachteten Istwerte der Kontrollgrößen weiterhin erreicht werden. Dabei besteht die tendenziell gegenläufige Beziehung, daß der Bereich stabiler Prozeß(aus)führung um so größer ausfällt, je niedriger die Anspruchsniveaus der Sollwerte von Kontrollgrößen angesetzt werden⁷⁷⁾. Aus dieser Perspektive empfiehlt es sich, auf die einseitige Betrachtung von Optimierungszielen zugunsten der intensiven Auseinandersetzung mit Satisfizierungszielen zu verzichten⁷⁸⁾.

Bei der regelungstheoretischen Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen interessieren vollkommen anders gelagerte Fragestellungen als die Suche nach optimalen Modellösungen. Beispielsweise kann in einem Modell des Produktionssystems untersucht werden, ob sich das Einhalten der Sollwerte von Kontrollgrößen in einem vorgegebenen Stabilitätsbereich trotz verschiedenster Störungen des Produktionssystems garantieren läßt⁷⁹⁾. Ebenso ist von Interesse zu beurteilen, ob die Reagibilität eines Informationssystems ausreicht, um auf Meldungen über Störungen im Produktionssystem durch entsprechende Steuerungsanweisungen innerhalb einer vorgegebenen Reaktionsspanne zu antworten⁸⁰⁾. Beide Aspekte finden in entscheidungstheoretischen Optimierungsmodellen keine Berücksichtigung⁸¹⁾. Dennoch können sie für die Bewältigung realer Koordinierungsprobleme durchaus eine beachtenswerte Rolle spielen⁸²⁾.

Die Fähigkeit, auf Systemmeldungen über Produktionsstörungen durch entsprechende Koordinierungsentscheidungen zu reagieren, wird abschließend vertieft⁸³⁾. Sie wird anhand der Realzeitadäquanz von Koordinierungskonzepten thematisiert⁸⁴⁾. Dabei steht die Fähigkeit von PPS-Systemen im Vordergrund, im Rahmen der Prozeßsteuerung Anpassungsplanungen⁸⁵⁾ auszuführen.

Gegenstand der Realzeitadäquanz sind Produktionsprozesse, die Realzeitbedingungen⁸⁶⁾ unterliegen. Eine Realzeitbedingung liegt vor, wenn die Koordinierung eines Prozesses eine technisch⁸⁷⁾ bedingte maximale Verzögerungsfrist⁸⁸⁾ nicht überschreiten darf. Die Verzögerungsfrist besitzt den Charakter einer höchstzulässigen Reaktionsspanne für prozeßsteuernde Koordinierungsentscheidungen. Sie kann je nach den Ereignissen⁸⁹⁾, auf die sie bezogen wird, in unterschiedlicher Weise bemessen werden⁹⁰⁾. Für die Belange dieser Arbeit reicht es aus, nur eine dieser Fristvarianten zu betrachten⁹¹⁾: Die maximale Verzögerungsfrist mißt den zeitlichen Abstand⁹²⁾, der zwischen einem Melde- und einem korrespondierenden Anweisungseignis höchstens⁹³⁾ verstreichen darf⁹⁴⁾, wenn gewährleistet sein soll, daß die geplante störungskorrigierende Wirkung einer Koordinierungsentscheidung tatsächlich noch eintreten kann⁹⁵⁾. Dabei stellt das Meldeereignis das Eintreffen einer Systemmeldung im Informationssystem dar, das über eine Störung im Produktionssystem informiert⁹⁶⁾. Das zugehörige Anweisungseignis findet in dem Zeitpunkt statt, in dem eine Steuerungsanweisung zur Maßnahmendurchsetzung an das Produktionssystem abgesendet wird, nachdem im Informationssystem eine Koordinierungsentscheidung zugunsten einer störungskorrigierenden Anpassungsnahe⁹⁷⁾ getroffen worden ist⁹⁸⁾.

Nicht jede Verzögerungsfrist braucht von einer Prozeßkoordinierung beachtet zu werden. Die Koordinierungsrelevanz hängt vielmehr von zwei Geschwindigkeiten ab. Einerseits spielt die Geschwindigkeit eine Rolle, mit der unerwartete Veränderungen der Produktionssituation zu Produktionsstörungen führen können (Veränderungsgeschwindigkeit)⁹⁹). Andererseits gilt es, die Geschwindigkeit zu beachten, mit der sich im Informationssystem Koordinierungsentscheidungen zur Planung von störungskorrigierenden Anpassungsmaßnahmen treffen lassen (Entscheidungsgeschwindigkeit). Eine koordinierungsrelevante Verzögerungsfrist liegt nur dann vor, wenn die Veränderungsgeschwindigkeit der Produktionssituation relativ zur Entscheidungsgeschwindigkeit des Informationssystems nicht vernachlässigt werden kann¹⁰⁰). Dann ist es möglich, daß eine Anpassungsmaßnahme einen geplanten Korrektoreffekt nicht mehr zu bewirken vermag. Denn die veränderte Produktionssituation kann sich seit dem Eintritt einer Störung, welche die geplante Anpassungsmaßnahme korrigieren sollte, aufgrund ihrer hohen Veränderungsgeschwindigkeit so stark fortentwickelt haben, daß im Zeitpunkt des Beginns der Maßnahmenausführung die Grundlagen der Maßnahmenplanung schon wieder ungültig geworden sind. Entsprechende Systemmeldungen informieren dann zwar über die veränderte Produktionssituation und stoßen neue Anpassungsplanungen an. Doch treffen die Systemmeldungen unter den voranstehenden Voraussetzungen so rasch ein, daß neue Anpassungsmaßnahmen geplant werden müssen, noch bevor die alten Anpassungsmaßnahmen im gestörten Produktionssystem ihre intendierte störungskorrigierende Wirkung zu entfalten vermögen. In "günstigen" Fällen wird dadurch nur die ursprüngliche Anpassungsplanung hinfällig¹⁰¹). Es läßt sich aber nach einer endlichen Anzahl von Anpassungsschritten in den Stabilitätsbereich der Prozeßregelung zurückkehren. In ungünstigen Fällen kommt es jedoch zu den bereits oben erwähnten, unerwünschten Oszillations- oder Aufschaukelungsphänomenen.

Wenn sich eine maximale Verzögerungsfrist als koordinierungsrelevant erweist, liegt eine "harte" Realzeitbedingung vor. Produktionsprozesse, deren Ausführung mindestens einer harten Realzeitbedingung unterworfen ist, werden als zeitkritisch bezeichnet¹⁰²). Von der Realzeitsteuerung eines Produktionssystems wird gesprochen, wenn die Koordinierung seiner Produktionsprozesse mindestens eine harte Realzeitbedingung beachten muß¹⁰³). Eine solche Prozeßkoordinierung heißt realzeitadäquat¹⁰⁴), sofern sie in der Lage ist, alle zeitkritischen Produktionsprozesse unter Einhaltung aller harten Realzeitbedingungen des Produktionssystems zu steuern¹⁰⁵). Falls eine solche Prozeßkoordinierung mit Hilfe der Automatischen Informationsverarbeitung durchgeführt wird, so wird von einem Realzeitbetrieb der Automatischen Informationsverarbeitungssysteme gesprochen¹⁰⁶).

Die Realzeitbetrachtung ist für PPS-Systeme - zumal im Bereich industrieller Stückgüterproduktionen - im allgemeinen unüblich¹⁰⁷). Sie herrscht vielmehr für technische Prozeßsteuerungen¹⁰⁸) bei Fließgüterproduktionen vor. Denn unter Realzeitbedingungen werden zumeist maximale Verzögerungsfristen im Sekundenbereich (oder weniger) verstanden¹⁰⁹). Diese Einschränkung ist jedoch keineswegs notwendig. Denn es wurde oben dargelegt, daß es für die Koordinierungsrelevanz von Realzeitbedingungen nur auf das *Verhältnis* zwischen der Veränderungsgeschwindigkeit der Produktionssituation und der Entscheidungsgeschwindigkeit des Informationssystems ankommt¹¹⁰). Die absolute *Dauer* der maximalen Verzögerungsfristen ist dagegen unerheblich¹¹¹). Sie braucht keineswegs Sekunden zu betragen, sondern kann ebenso - beispielsweise - in der Größenordnung von Stunden oder Tagen¹¹²) liegen.

Aus dieser Perspektive müssen oftmals auch PPS-Systeme bei der industriellen Stückgüterproduktion "harte" Realzeitbedingungen einhalten¹¹³). Dies trifft zwar noch kaum zu, solange die Prozeßkoordinierung als rahmensetzende originäre Produktionsplanung¹¹⁴) erfolgt. Sobald die Prozeßkoordinierung jedoch die Gestalt einer rahmenausfüllenden Produktionssteuerung annimmt, müssen ihre Anpassungsplanungen häufig Realzeitbedingungen im oben festgelegten Sinne erfüllen. Die Koordinierungsrelevanz dieser Realzeitbedingungen läßt sich durch einfache Abschätzung belegen: Einerseits liegt die Veränderungsgeschwindigkeit in Produktionssystemen, die der industriellen Stückgüterproduktion dienen, in einer Größenordnung, die störungs-

korrigierende Anpassungsmaßnahmen im Rahmen von einigen Stunden bis hin zu wenigen Tagen erfordert¹¹⁵⁾. Andererseits fällt die Entscheidungsgeschwindigkeit im Informationssystem beim Einsatz konventioneller PPS-Systeme zumeist so gering aus, daß die Ermittlung eines Produktionsplans¹¹⁶⁾ im Rahmen der Feinplanung zumindest mehrere Stunden erfordert¹¹⁷⁾. Hinzu kommt, daß die Aufstellung von Produktionsplänen oftmals noch im Rahmen der Stapelverarbeitung¹¹⁸⁾ erfolgt¹¹⁹⁾. Sie wird dann meist nur in größeren Zeiträumen wiederholt¹²⁰⁾. Es ist durchaus möglich, daß zwischen dem Eintreten einer Produktionsstörung und dem Vorliegen eines neuen Produktionsplans eine Woche oder noch mehr Zeit verstreicht¹²¹⁾. Folglich kann die Veränderungsgeschwindigkeit der Produktionssituation relativ zur Entscheidungsgeschwindigkeit des Informationssystems keineswegs vernachlässigt werden. Deshalb bestehen für die Produktionssteuerung tatsächlich koordinierungsrelevante Realzeitbedingungen.

Angesichts der voranstehenden Geschwindigkeitsabschätzungen muß immer damit gerechnet werden, daß unerwartete Veränderungen der Produktionssituation rascher eintreten, als mit konventionellen PPS-Systemen darauf reagiert werden kann. Denn PPS-Systeme beruhen im allgemeinen auf dem Koordinierungskonzept wiederholter Neuplanungen. Deshalb antworten sie auf Produktionsstörungen so langsam¹²²⁾, daß ihre neu aufgeworfenen Produktionspläne im Zeitpunkt ihrer Freigabe oftmals schon wieder veraltet sind. Das wurde schon in anderem Zusammenhang dargelegt. PPS-Systeme verhalten sich daher in der Regel nicht realzeitadäquat. Dies führt in der betrieblichen Praxis entweder zu der bereits angesprochenen "Nervosität" von PPS-Systemen. Oder die Produktionspläne werden von vornherein "eingefroren". Dann wird in den Zeiträumen der Planfixierung von vornherein darauf verzichtet, durch Anpassungsplanungen des PPS-Systems auf Produktionsstörungen zu reagieren. Statt dessen wird es den Mitarbeitern im Produktionsbereich überlassen, störungskorrigierende Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen. Auf diese Weise unterstreicht die Perspektive der Realzeitsteuerung von Produktionssystemen nochmals die schon früher getroffene¹²³⁾ Feststellung, daß PPS-Systeme zumeist nicht in der Lage sind, störungsinduzierte Anpassungsplanungen vorzunehmen¹²⁴⁾. Eine echte¹²⁵⁾ Produktionssteuerung leisten sie daher nicht¹²⁶⁾. Folglich scheiden sie für die hier interessierende Prozeßkoordinierung in störanfälligen Produktionssystemen aus¹²⁷⁾.

Die mangelhafte Realzeitadäquanz von PPS-Systemen wirkt sich noch gravierender aus, wenn von konventionellen Produktionssystemen der industriellen Stückgüterfertigung zu Flexiblen Fertigungssystemen übergegangen wird. Dies liegt zunächst an der schon früher angesprochenen hohen technischen und organisatorischen Instabilität von Flexiblen Fertigungssystemen. Sie führt dazu, daß die Veränderungsgeschwindigkeit der Produktionssituation in Flexiblen Fertigungssystemen tendenziell größer ausfällt als bei konventionellen Produktionssystemen. Grobe Abschätzungen legen nahe, daß sich die Produktionssituation in Flexiblen Fertigungssystemen bereits in der Größenordnung von wenigen Minuten bis hin zu knapp einer Stunde zu verändern vermag¹²⁸⁾. Diese Zeitspanne bleibt deutlich unter derjenigen von mehreren Stunden oder wenigen Tagen, die oben für die Veränderungsgeschwindigkeit konventioneller Produktionssysteme angeführt wurde.

Erschwerend kommt hinzu, daß die Nutzungskonzepte Flexibler Fertigungssysteme zumeist eine Verengung der Stabilitätsbereiche von Prozeßregelungen bewirken. Unerwartete Veränderungen der Produktionssituation, die in konventionellen Produktionssystemen noch durch Puffermechanismen absorbiert worden wären, äußern sich dann in Flexiblen Fertigungssystemen vermehrt als Produktionsstörungen, die gegensteuernde Eingriffe in die Prozeßausführung verlangen¹²⁹⁾. Auch dies läßt die Veränderungsgeschwindigkeit von Produktionssituationen ansteigen¹³⁰⁾. Wesentliche Ursache dieses Phänomens ist die Absicht, Flexible Fertigungssysteme so zu nutzen, daß sich zwei produktionswirtschaftliche Ziele verwirklichen lassen:

- die Verringerung der Durchlaufzeiten von Produktionsaufträgen¹³¹⁾ und
- die Reduzierung der Losgrößen - bis hin zur Losgröße "Eins"¹³²⁾.

Beide Zielsetzungen¹³³⁾ führen beim Betrieb Flexibler Fertigungssysteme dazu, daß die Liegezeiten von Produktionsaufträgen zusehends verkleinert werden¹³⁴⁾. Diese Liegezeiten wirken aber wie Puffer. Sie neutralisieren oftmals Veränderungen der Produktionssituation hinsichtlich der Notwendigkeit, Korrekturen der ursprünglichen Produktionsplanung vorzunehmen¹³⁵⁾. Die "Entpufferung" der Produktionssteuerung durch Abbau der Liegezeiten vermindert daher die Chancen, unerwartete Veränderungen der Produktionssituation im Stabilitätsbereich der Prozeßregelung so abzufangen, daß sie nicht eingriffsrelevant werden. Daher führen die Ziele, mit dem Einsatz Flexibler Fertigungssysteme Durchlaufzeiten und Losgrößen zu verringern, tendenziell zu einer Verschärfung der Koordinierungsanforderungen¹³⁶⁾: Die Prozeßkoordination muß häufiger - und somit auch schneller - durch Anpassungsplanungen auf unerwartete Situationsveränderungen reagieren¹³⁷⁾.

Aufgrund der voranstehenden Erwägungen erlangt die Realzeitadäquanz von Koordinierungskonzepten für Flexible Fertigungssysteme große Bedeutung¹³⁸⁾. Die schon oben festgestellten Mängel konventioneller PPS-Systeme bei der Prozeßkoordination in störanfälligen Produktionssystemen wiegen daher im Falle von Flexiblen Fertigungssystemen besonders schwer. Folglich verlangt die Realzeitsteuerung¹³⁹⁾ dieser Fertigungssysteme erst recht nach einem verbesserten¹⁴⁰⁾ Störungsmanagement. Es sollte in der Lage sein, auf unerwartete Veränderungen der Produktionssituation mit Anpassungsplanungen so zu reagieren, daß sich zeitaufwendige Neuplanungen vermeiden und zugleich alle Realzeitbedingungen einhalten lassen¹⁴¹⁾.

Anmerkungen zum Kapitel:

- 1) Vgl. zu Überblicken über das kybernetische (regelungstheoretische) Paradigma WIENER, N. (1948), S. 113ff.; ULRICH, H. (1970), S. 121ff.; HEIN, E. (1971), S. 15ff.; SCHIEMENZ (1972a), S. 39ff.; SCHIEMENZ (1972b), S. 434ff.; BEER, S. (1972), S. 35ff.; ASHBY (1974), S. 317ff., insbesondere S. 322ff.; BAETGE (1974), S. 27ff. u. 39ff.; THOME, R. (1976), S. 53ff.; KIRSCH (1977b), S. 76ff., insbesondere S. 83ff.; GOMEZ, P. (1978), insbesondere S. 116ff.; KUPSCH (1979), S. 64ff.; SCHIEMENZ (1982), S. 35ff.; MALIK (1986), insbesondere S. 361ff.; PROBST (1987a), S. 26ff., insbesondere S. 46ff.; KERN, W. (1990a), S. 79ff.; KLOOCK (1990a), S. 209f.; KLOOCK (1990b), S. 2ff.; HEINEN (1991b), S. 58ff.
- 2) Vgl. zur expliziten Einordnung der Koordinierung von Produktionsprozessen, insbesondere der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung, in Regelkreiskonzepte HOCH (1973), S. 36ff. (in bezug auf den Teilaspekt der Reihenfolgeplanung); GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 104f.; KAMP (1978), S. 49ff.; STUTE (1978a), S. 7, Abb. 1.2, S. 12 u. 70; SPUR (1980), S. 299ff.; MAIER, U. (1980), S. 23; SAINIS (1982), S. 53, 56ff. u. 61f.; NISSING (1982b), S. 76; MERTENS (1988e), S. 5; WILDEMANN (1989a), S. 41ff.; ZÄPFEL (1989b), S. 1ff.; KOHEN (1989), S. 40 (Titel); KERN, W. (1990a), S. 355f.; MERTINS (1991), S. 59f.; WINTER, RO. (1991), S. 183ff., 188, 235f. u. 332.
- 3) Vgl. zur Hervorhebung des Aspekts der Prozeßlenkung GOMEZ, P. (1975), S. 121; MALIK (1986), S. 77.
- 4) Vgl. zur kybernetischen, auf Regelkreise bezogenen Terminologie, die den nachfolgenden Ausführungen zugrundeliegt, KERN, W. (1990a), S. 79ff.; vgl. auch ähnlich GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 258ff.
- 5) Sofern diese begriffliche Kohärenzstiftung für unbeachtlich gehalten wird, können die nachstehenden Ausführungen übergangen werden.
- 6) Auf die Differenzierung zwischen Real-, Basis- oder Produktionssystem auf der einen und Entscheidungs- oder Informationssystem auf der anderen Seite wird an anderer Stelle näher eingegangen.
- 7) Aus regelungstheoretischer Perspektive läßt sich das Informationssystem um zwei weitere Subsysteme erweitern. Es umfaßt dann auch noch das Anweisungssystem, in dem Stellgrößen an das gelenkte Produktionssystem übermittelt werden, und das Erfassungssystem, in dem Erkenntnisse über beobachtete Prozeßausführungen an den Regler als Regelgrößen zurückgemeldet werden. Davon wird jedoch im folgenden abgesehen, um nicht zwischen einem entscheidungstheoretisch konzeptualisierten Informationssystem i.e.S. auf der einen und einem regelungstheoretisch entfalteten Informationssystem i.w.S. auf der anderen Seite differenzieren zu müssen.
- 8) Der hierarchischen Konzeptualisierung der Produktionsplanung und -steuerung zugrunde liegt das Konzept der hierarchischen Planung. Vgl. zur expliziten Einbettung von PPS-Systemen in das Konzept der hierarchischen Planung RIEPER (1981), S. 1183 u. 1185ff.; RIEPER (1982), S. 440f. Allerdings wird seitens der hierarchischen Konzeptualisierung von PPS-Systemen das vollständige, theoretisch wohlfundierte Koordinierungskonzept der hierarchischen Planung nur unvollständig übernommen. Gemeinsamkeit besteht noch hinsichtlich der Voraussetzung, daß die Koordinierungskomplexität einer global-simultanen Produktionsplanung und -steuerung (derzeit) nicht beherrscht wird; vgl. SCHEER (1976), S. 51f.; ZÄPFEL (1984), S. 235; WITTEMANN (1985), S. 23; MÜLLER, A. (1987), S. 29f.; MISSBAUER (1987), S. 27f.; HELBERG (1987), S. 26; ADAM, D. (1990a), S. 805; KLEINER, F. (1991), S. 121f. (mit Schwergewicht auf der Produktionsprogrammplanung). Statt dessen hat sich ein hierarchisch-sukzessives PPS-Konzept durchgesetzt, bei dem in lokaler Weise partielle Planungs- und Steuerungsentscheidungen auf wohlunterschiedenen Entscheidungsebenen getroffen werden. Die Entscheidungsergebnisse einer hierarchisch höheren Ebene bilden hierbei die Randbedingungen der Entscheidungen hierarchisch nachfolgender Ebenen. Vgl. zu dieser Eigenart des hierarchisch-sukzessivem Koordinierungskonzepts - zum Teil ohne speziellen Bezug auf PPS-Systeme - SCHEER (1976), S. 2 u. 24ff.; MAIER, U. (1980), S. 23; SCHEER (1983b), S. 141 u. 143; ZÄPFEL (1984), S. 235ff.; WITTEMANN (1985), S. 23; MISSBAUER (1987), S. 35ff., 42 u. 156; FRESE (1989c), S. 170; SCHNEEWEIF, C. (1989b), S. 13f. ("approximative Hierarchisierung"); SCHÜLER (1989), Sp. 1340; KERN, W. (1990a), S. 73 u. 303; ADAM, D. (1990a), S. 805ff.; FRESE (1990a), S. 90; FRESE (1991), S. 32; WINTER, RO. (1991), S. 80f., 99f. (im Sinne der einseitigen primalen Koordination) u. 171; KLEINER, F. (1991), S. 122f. Mitunter werden auch hierarchieüberwindende Rückkopplungen von tieferen zu höheren Ebenen zugelassen, um Revisionen von früheren Entscheidungsfestlegungen zu ermöglichen; vgl. NIEB (1980), S. 37; MISSBAUER (1987), S. 69f. u. 156; ADAM, D. (1990a), S. 809; WINTER, RO. (1991), S. 171 (als Postulat), S. 103ff. u. 184. Doch erfolgen solche Rückkopplungen allenfalls ad hoc. Im Regelfall werden solche Rückkopplungen jedoch ausgeschlossen; vgl. ADAM, D. (1990a), S. 805 u. 807; WINTER, RO. (1991), S. 174 (dort generell als Entkopplung zwischen den hierarchischen Planungsebenen thematisiert) u. S. 175 ("Backtracking ist ... nahezu ausgeschlossen.") u. S. 184.
- Die voranstehend skizzierte Koordinierungsweise konventioneller PPS-Systeme wird dem Konzept der hierarchischen Planung, das eine systematische wechselseitige Abstimmung der Hierarchieebenen aufeinander vorsieht, nicht gerecht. Dies im einzelnen auszuführen, liegt jedoch nicht mehr im Interesse dieser Arbeit. Vgl. statt dessen zu näheren Darstellungen des hierarchischen Planungskonzepts HAX, A. (1973); HAX, A. (1978a), S. 400ff.; HAX, A. (1978b), S. 429ff.; RIEPER (1979), S. 120ff.; TRAUTMANN (1981), S. 9ff.; DEMPSTER (1981), S. 707ff., insbesondere

S. 713ff.; BITRAN (1981), S. 718ff.; RIEPER (1981), S. 1188ff.; MERTINS (1985a), S. 92f. u. 98f.; STADTLER (1986), S. 205ff.; GÜNTHER, H. (1986), S. 227ff., insbesondere S. 234ff.; MISSBAUER (1987), S. 33ff. u. 122ff. (global) sowie S. 135ff. (detailliert); KISTNER (1990c), S. 302ff.; WINTER, R.O. (1991), S. 103ff., insbesondere S. 106f. u. 123ff.

9) Vgl. zu Übersichten über hierarchisch-sequentiell konzipierte PPS-Systeme KERN, W. (1966), S. 237f.; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 104f.; SCHEER (1976), S. 20ff.; STUTE (1978a), S. 5ff.; LICHTER (1978), S. 290ff.; BECKER, J. (1978), S. 502f. (ansatzweise); MERTENS (1979), Sp. 249f.; MAIER, U. (1980), S. 22f.; DÖTTLING (1981), S. 60 u. 61ff. (in leicht abweichender Terminologie); NISSING (1982b), S. 74ff.; RIEPER (1982), S. 440f.; MERTINS (1985a), S. 87ff.; WITTEMAN (1985), S. 23ff.; SCHEER (1987a), S. 78 u. 83ff.; MISSBAUER (1987), S. 28ff. u. 35ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 19f. u. 33f.; HELBERG (1987), S. 26ff. u. 85; HINTZ (1987), S. 119ff., der sich speziell auf Flexible Fertigungssysteme bezieht; WILDEMANN (1988c), S. 57f.; VILLA (1988c), S. 358ff.; SCHRÖDER, H. (1989), S. 2ff.; KERN, W. (1990a), S. 318ff.; WINTER, R.O. (1991), S. 3ff. u. 168ff.

10) Diese Führungsgrößen können z.B. das Auftragspaket, das im Produktionssystem durch die Ausführung von Produktionsprozessen abgewickelt werden soll, spezifizieren. Hinzu kommen unter Umständen auftragspezifische spätestens zulässige Fertigstellungstermine, die im Rahmen der Grobplanung mittels einer Durchlaufterminierung ermittelt oder seitens des Absatzbereichs als gewünschte Liefertermine vorgegeben wurden. Beispielsweise betrachtet KAMP (1978), S. 50, das Produktionsprogramm (aus der Grobplanung) als Führungsgröße. PAETZ (1990), S. 87, Abb. 4, setzt dagegen (spätest zulässige) Fertigstellungstermine und erwünschte Produktionsmengen als Führungsgrößen für PPS-Systeme an. Alle vorgenannten Führungsgrößen sind auf das Sachzielsystem eines Entscheidungsträgers bezogen. Sie können sich aber auch an dessen Formalzielsystem ausrichten; vgl. z.B. KUPSCH (1979), S. 65, Abb. 12. Darauf wird später im Zusammenhang mit Stabilisierungs- und Optimierungszielen zurückgekommen.

11) Vgl. WILD (1974), S. 34, Abb. 3; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 104f.

12) Das Detaillierungsniveau wird hier im Sinne der Terminfeinplanung oder Maschinenbelegungsplanung festgelegt. Beide Planungskonzepte wurden bereits früher als thematische Rahmensetzung eingeführt.

13) Die Bezeichnung "originär" dient hier nur zur Abgrenzung von - nachfolgend erläuterten - induzierten Planungsleistungen. Sie bezieht sich nicht auf die Unterscheidung originärer und derivativer Dispositionsleistungen bei GUTENBERG (1983), S. 7f.

14) Vgl. zur Hervorhebung der Planungsfunktion der Produktionssteuerung MAIER, U. (1980), S. 22; MÜLLER, A. (1987), S. 20; KERN, W. (1990a), S. 318.

15) Falls kein Produktionsplan gefunden wird, der die Führungsgrößen realisiert, muß die Produktionssteuerung bereits bei ihrer Feinplanung erfolglos abgebrochen werden. Die Prozeßregelung schreitet dann an die rahmensetzende Produktionsplanung zwecks Revision ihrer Führungsgrößen zurück. Diese Rückbindung der Produktionssteuerung an die übergeordnete Produktionsplanung wird hier nicht weiter berücksichtigt.

16) Nur die progressive Übermittlung von Stellgrößen an das Produktionssystem entspricht der Systemsteuerung im enger definierten kybernetischen Sinne (Vorwärtskopplung). Vgl. zu diesem eng gefaßten Steuerungsbegriff der Kybernetik GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 259; KERN, W. (1990a), S. 80; KLOCK (1990b), S. 3f.; HEINEN (1991b), S. 60.

Bei den Stellgrößen kann es sich um Anweisungen an die ausführenden Arbeitskräfte im Produktionssystem handeln. Vor allem lassen sich die Termine, die in der Feinplanung für Startereignisse von Arbeitsgangausführungen festgelegt wurden, als Stellgrößen in das Produktionssystem übermitteln; vgl. KAMP (1978), S. 50. Ebenso kommen Steuerungsinformationen für die dort vorhandenen, automatisch ("numerisch") gesteuerten Einrichtungen in Betracht, wie z.B. Steuerungsinformationen für CNC-Maschinen im Rahmen des DNC-Konzepts oder für Transportroboter. Vgl. zu dieser Übermittlung von Steuerungsinformationen im Rahmen der Regelkreisinterpretation von PPS-Systemen STUTE (1978a), S. 7.

17) Die hier behandelten Kontrollgrößen-Sollwerte können auch verkürzt als Sollgrößen angesprochen werden.

18) Im einfachsten Fall stimmen die Sollwerte der Kontrollgrößen mit den Führungsgrößen aus der Produktionsplanung überein. Bei anspruchsvolleren kybernetischen Ansätzen werden die Kontrollgrößen-Sollwerte aber als eigenständige Größen ermittelt. Dies klingt z.B. bei GOMEZ, P. (1978), S. 117f., 123, 128ff., 136f., 175ff. u. 236ff., an. Dort werden Kontrollgrößen als "Prüfgrößen" (S. 118) oder "Prüfvariablen" (S. 123) sui generis behandelt (insbesondere S. 129). In Einzelfällen können die Sollwerte der Kontrollgrößen auch mit Stellgrößen zusammenfallen. Im Regelfall trifft dies jedoch nicht zu. Beispielsweise wäre es abwegig, die Steuerungsinformationen für CNC-Maschinen, die als Stellgrößen an das Produktionssystem übermitteln werden, als Kontrollgrößen aufzufassen. Denn solche Steuerungsinformationen werden nicht nachträglich kontrolliert, da die Lenkung von CNC-Maschinen aus kybernetischer Sicht eine rein vorwärtsgekoppelte Steuerung i.e.S. darstellt. Als Kontrollgrößen kommen jedoch nur solche Größen in Betracht, für die eine spätere Rückkopplung zwecks Vergleichs ihrer Sollwerte mit den tatsächlich realisierten Istwerten beabsichtigt ist. Bei solchen Kontrollgrößen kann es sich z.B. handeln um:

- den Abarbeitungsgrad, der bei der Abwicklung eines Auftrags in einem bestimmten Zeitpunkt (mindestens) realisiert sein soll;
- den Zeitpunkt, in dem die Ausführung eines Arbeitsgangs spätestens abgeschlossen sein soll, wenn die Arbeitsgänge aller Produktionsaufträge nach Maßgabe einer retrograden Terminierung eingeplant wurden (vgl. MERTENS (1988e), S. 15);
- die Betriebsbereitschaft von Bearbeitungsstationen oder die Verfügbarkeit von Werkzeugen.

Die Kontrollgrößen und ihre Sollwerte werden im allgemeinen aus den Produktionsplänen abgeleitet, die während der Feinplanung aufgestellt wurden. Auf die Gestaltungsmöglichkeiten und -schwierigkeiten dieser Aufgabe wird hier nicht weiter eingegangen. Vgl. statt dessen KLOOCK (1990a), S. 211ff.; CORSTEN (1988b), S. 597ff. Sie setzen sich im Detail mit der Festlegung von Kontrollfeldern und zugehörigen Kontrollgrößen im Kontext von Kontrollrechnungssystemen auseinander.

19) Spätestens durch diese regressiven Systemmeldungen wird der eng gefaßte Steuerungsbegriff der Kybernetik verlassen. Sie konstituieren die typische Rück(wärts)kopplung des kybernetischen Regelungsbegriffs; vgl. KERN, W. (1990a), S. 80; KLOOCK (1990b), S. 2f.

20) Die Regelgrößen sind jeweils so festzulegen, daß die daraus abgeleiteten Istwerte der Kontrollgrößen mit den früher bestimmten Sollwerten der jeweils selben Kontrollgrößen verglichen werden können; vgl. auch STUTE (1978a), S. 80; MERTENS (1988e), S. 12, 15 u. 17. Bezüglich der Kontrollgrößen, die in einer früheren Anmerkung exemplarisch angeführt wurden, kommen als korrespondierende Regelgrößen Informationen aus dem Produktionssystem über die aktuellen Abarbeitungsgrade der Aufträge, die aktuell beendeten Arbeitsgangausführungen, die aktuellen Betriebszustände der Bearbeitungsstationen und die aktuellen Verfügbarkeitsstadien der Werkzeuge in Frage. Aus diesen Systemmeldungen lassen sich ohne Schwierigkeiten die Istwerte der Kontrollgrößen ableiten, die darüber Auskunft geben, welche Abarbeitungsgrade der Aufträge im Beobachtungszeitpunkt realisiert sind, welche Arbeitsgangausführungen bis dahin beendet werden konnten, welche Bearbeitungsstationen aktuell betriebsbereit sind und welche Werkzeuge im Beobachtungszeitpunkt zur Verfügung stehen.

21) Die Istwerte von Kontrollgrößen können kurz als Istgrößen abgesprochen werden.

22) Vgl. MERTENS (1988e), S. 6 u. 13.

23) Vgl. GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 259; MERTENS (1988e), S. 6ff., 13 u. 15ff.

24) Ein solches Tolerieren von "kleinen" Abweichungen klingt bereits - ohne expliziten Bezug auf Regelkreissysteme - bei DICKHUT (1966), S. 60 u. 93f., an.

25) Die schon an früherer Stelle eingeführten Produktionsstörungen werden hier aus regelungstheoretischer Perspektive präzisiert. Es wird nicht mehr jede unerwartete Veränderung der Produktionssituation als Störung des Produktionssystems erfaßt. Vielmehr gelten nur noch jene Situationsveränderungen als Störungen, die zu *eingriffsrelevanten* Abweichungen der Soll- und Istwerte von Kontrollgrößen führen. Die Eingriffe, die zur Rückkehr in den Stabilitätsbereich erforderlich sind, stellen Anpassungsmaßnahmen zur Störungsbewältigung dar. Ähnlich faßt BORMANN (1978), S. 13, Störungen auf als "Tatbestände ..., die der betrieblichen Zielerreichung wegen Maßnahmen der Sicherung des Ablaufes des Fertigungsprozesses erforderlich machen." Wie die Eingriffsrelevanz von Produktionsstörungen konkret bestimmt wird, hängt vom jeweils betrachteten PPS-System ab. Eine Konkretisierungsmöglichkeit wird später anhand der Festlegung von Toleranzschwellen demonstriert.

Situationsveränderungen, die so gering bleiben, daß sie keine Eingriffe in die Prozeßausführung erfordern, werden dagegen nicht weiter als Störungen behandelt. Dies schließt auch alle Veränderungen der Produktionssituation ein, die zwar gemeinhin als Produktionsstörungen betrachtet werden, aber so geringfügig ausfallen, daß eine unmittelbare Reaktion darauf überflüssig erscheint. Solche geringfügigen Störungen klingen z.B. bei SPUR (1980), S. 319f., als "Störungen ... von untergeordneter Bedeutung" (S. 319) an, die zunächst nur angezeigt, aber erst in Produktionspausen behoben werden. Aus dem Aufschub der Störungsbeseitigung folgt, daß keine unmittelbare Eingriffsrelevanz vorliegt. Das gleiche Prinzip, nur "wesentliche" Veränderungen der Produktionssituation durch "unbedingt notwendige Änderungen" der Prozeßplanung zu beantworten, vertritt SCHEER (1990c), S. 60. Eine Prozeßkoordinierung erweist sich um so stabiler, je weniger Veränderungen der Produktionssituation im Produktionssystem zur Klasse der eingriffsrelevanten Störungen gehören.

26) Die Planung von Anpassungsmaßnahmen kann auch die Diagnose mutmaßlicher Störungsursachen (Störgrößen) umfassen. Damit wird das weite Feld von Diagnosesystemen in das Leistungsspektrum von PPS-Systemen einbezogen. Vgl. zu solchen Bereicherungen der Planung und Steuerung von Produktionsprozessen um die Diagnose von Produktionsstörungen WIENDAHL (1987e), S. 302ff.; ZELEWSKI (1988c), S. 91; ZELEWSKI (1988d), S. 90ff., insbesondere S. 97ff.; ZELEWSKI (1991h), S. 266ff.

27) Vgl. KERN, W. (1966), S. 238; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 104f. u. 259; BECKER, J. (1978), S. 502; MÜLLER, A. (1987), S. 20; BEIER (1988a), S. 225f. u. 241; KREIMEIER (1988), S. 393; MERTENS (1988e), S. 5; KERN, W. (1990a), S. 318.

28) Mitunter wird der Begriff der Produktionssteuerung verwendet, obwohl das zugrundeliegende Koordinierungskonzept nicht in der Lage ist, störungsinduzierte Anpassungsplanungen vorzunehmen. Dies gilt zumindest dann, wenn für die Planaufstellung jeweils eine maximal verfügbare Planungsdauer vorgegeben ist. Darauf wird unten im Zusammenhang mit PPS-Systemen zurückgekommen. Daher wird der Deutlichkeit halber auch von einer "echten" oder "vollständigen" Produktionssteuerung gesprochen, falls sichergestellt ist, daß störungsinduzierte Anpassungsplanungen jeweils rechtzeitig vorgelegt werden können.

29) Vgl. z.B. GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 259.

30) Die Kontroll- und Korrekturfunktionen von Planüberwachungen bzw. Plananpassungen werden in dieser Arbeit stets als integraler Bestandteil der Produktionssteuerung angesehen. Vgl. zur selben Auffassung GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 104f.; STUTE (1978a), S. 6f. u. 11ff., insbesondere S. 13ff., u. 69ff.; MAIER, U. (1980), S. 22f.; NISSING (1982b), S. 75; MÜLLER, A. (1987), S. 20; KREIMEIER (1988), S. 394; MERTENS (1988e), S. 5 u. 19 (einschließlich der nachfolgenden Abb. 12).

Abweichender Ansicht sind dagegen SCHÄFER, E. (1978), S. 234f. u. 240ff., und MERTINS (1985b), S. 250 u. 252. Sie stellen die Steuerung und Kontrolle (Überwachung) von Produktionsprozessen gleichberechtigt nebeneinander.

31) Der Anpassungserfolg der Maßnahmen, die während der fünften Steuerungsphase ergriffen werden, läßt sich wiederum mit Hilfe der Produktionskontrolle i.e.S. überwachen. Werden dabei eingriffsrelevante Abweichungen erkannt, werden weitere Korrekturen ausgelöst usw. Die Produktionssteuerung wird somit in rekursiver Weise auf ihre eigenen Ergebnisse angewandt; sie verhält sich selbstbezüglich.

32) Vgl. zur Identifizierung von Steuerungs- und Regelungsbegriff im Kontext der produktionswirtschaftlich ausgerichteten Produktions"steuerung" ROPHOL (1971), S. 148; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 104 (einschließlich der Fn. 65), und die dort angeführten (Fn. 66 auf S. 195) Quellen; WICHARZ (1983), S. 28; vgl. auch zur analogen Subsumierung der Regelungsfunktion unter technisch ausgerichteten Begriff der Maschinensteuerung STUTE (1967), S. 942.

Es erfolgten zwar Versuche, den produktionswirtschaftlichen Steuerungs begriff durch den Begriff der Produktions- oder Fertigungsregelung zu ersetzen; vgl. BRANKAMP (1971a), S. 47; THOME, R. (1976), S. 50; KAMP (1978), S. 49 u. 51ff.; NÜHRICH (1978), S. 447 (nur in der Überschrift); THOME, R. (1979), Sp. 775f.; SPUR (1980), S. 27, 299ff., 341, 345ff. u. 361; ARNING (1987), S. 6, 102 u. 227; FRESE (1990a), S. 84 u. 86 (mit angedeuteter Distanzierung vom üblichen Steuerungs begriff durch die Formulierung "Produktions-«Steuerung»" auf S. 87f., 90 u. 93). Doch vermochten sich diese Ansätze zur terminologischen Vereinheitlichung von Produktionswirtschaft und Regelungstheorie nicht durchzusetzen.

33) Ein Vergleich der Abb. 4 mit jenen Abbildungen, die in den bereits genannten Quellen für "entsprechende" Produktionssteuerungs-Regelkreise angeführt sind, verdeutlicht die Nichttrivialität der o.a. Erläuterungen. Beispielsweise werden in jenen Abbildungen Kontrollgrößen überhaupt nicht gewürdigt. Ebenso wenig wird zwischen den unterschiedlichen Planungskonzepten für originäre Planungen einerseits und Anpassungsplanungen andererseits differenziert. Schließlich wird oftmals der Eindruck erweckt, daß die Führungsgrößen aus der Grobplanung unmittelbar mit den Regelgrößen aus der Betriebsdatenerfassung verglichen würden. Dies widerspricht aber der Realität der betrieblichen Informationsverarbeitung.

34) Vgl. KERN, W. (1966), S. 248 u. 250f.; WILD (1974), S. 34, Abb. 3; KERN, W. (1990a), S. 355f.

Dies ist z.B. der Fall, wenn die aktuelle Zusammensetzung des Auftragspakets so stark verändert wird, daß sich die ursprüngliche grobe Rahmenplanung nicht mehr einhalten läßt (Eilaufträge) oder obsolet wird (Auftragsstornierungen). Diese Veränderung des Auftragspakets bedeutet aus kybernetischer Perspektive, daß die Führungsgröße des Reglers auf einer hierarchisch übergeordneten Planungsebene modifiziert wird.

35) Vgl. zu solchen komplexen, ultrastabilen Regelkreissystemen ASHBY (1940), S. 478ff.; ULRICH, H. (1970), S. 125ff. u. 218ff.; BEER, S. (1972), S. 38f., 50, 185ff.) u. 307; BAETGE (1974), S. 34f. u. 40ff.; GROBE-OETRINGHAUS (1974), S. 259f.; KAMP (1978), S. 51f. u. 57ff. (als adaptive Folgeregelung); GOMEZ, P. (1975), S. 448ff. u. 558ff.; SCHIEMENZ (1982), S. 72ff.; TREULING (1990), S. 46f.

36) Vgl. STUTE (1978a), S. 7.

37) Vgl. statt dessen die Ausführungen zu vermaschten (verketteten) Regelkreissystemen oder zu Regelkreishierarchien bei ULRICH, H. (1970), S. 221f.; BEER, S. (1972), S. 83ff.; BAETGE (1974), S. 32ff.; GROCHLA (1978a), S. 143ff.; KUPSCH (1979), S. 65ff.; NISSING (1982b), S. 76; ZÄPFEL (1989b), S. 3f.; KERN, W. (1990a), S. 80 u. 355f.; WINTER, RO. (1991), S. 175, 183ff. u. 188 (mit speziellem Bezug auf PPS-Systeme); HEINEN (1991b), S. 61f.

Eine bemerkenswerte Variante findet sich bei HELBERG (1987), S. 201. Er behandelt teilautonome Arbeitskräfte, denen bei der Prozeßkoordinierung im Produktionssystem eigene Dispositionsfreiräume eingeräumt werden, als Regelkreise sui generis. Diese partiell selbststeuernden Regelkreise fügen der Hierarchie vermaschter PPS-Regelkreissysteme eine neuartige, "unterste" Hierarchieebene hinzu.

38) Vgl. allerdings zu Problemen, diese begrifflich klare Grenzziehung zwischen Planungs- und Steuerungsfunktion in bezug auf die praktische Ausgestaltung betrieblicher Prozeßkoordinierungen immer aufrechtzuerhalten, KERN, W. (1966), S. 236; MÜLLER, A. (1987), S. 19f.; KERN, W. (1990a), S. 318.

39) Sie wurden in den o.a. sechs Steuerungsphasen aufgelistet. Falls keine ausdrücklich abweichenden Festlegungen - wie im nachfolgenden Abschnitt - erfolgen, wird dieser Arbeit die zuvor definierte Variante der Produktionssteuerung zugrundegelegt. Der Planungsbegriff wird nicht im eingangs erläuterten Sinne der übergeordneten Produktionsplanung verwendet. Vielmehr wird er als Oberbegriff zu den planenden Koordinierungsaktivitäten verstanden, die soeben als Bestandteile der Produktionssteuerung angesprochen wurden. Daher fallen Steuerungs- und Planungsbegriff zusammen, sofern von den Anweisungs-, Beobachtungs-, Rückmelde- und Diagnoseaspekten der Produktionssteuerung abstrahiert wird.

40) Diese Sichtweise findet sich z.B. bei ZÄPFEL (1989b), S. 1. Allerdings geht er noch einen Schritt weiter als die nachstehende Erläuterung. Denn ZÄPFEL rechnet auch die reine Umsetzung eines Produktionsplans in Handlungsanweisungen zum Bereich der Produktionssteuerung. Dieser weiten Auffassung folgt der Verf. hier jedoch nicht, da es dann eine Planung ohne Steuerung grundsätzlich nicht geben kann, sofern die Planverwirklichung überhaupt beabsichtigt ist.

41) In diesem Fall umfaßt die Produktionssteuerung nur noch die letzte Phase der Plananpassung oder Feinsteuerung von denjenigen sechs Steuerungsphasen, die oben für die erste Auffassungsvariante der Produktionssteuerung vorgestellt wurden.

42) Dieser Regelkreis wurde oben im Kontext der ersten Differenzierungsweise *nur* der Produktionssteuerung zugeordnet.

43) Hinzu kommen kann die Planung der Sollwerte von Kontrollgrößen. Hierauf wird nicht mehr eingegangen, weil keine Unterschiede hinsichtlich der oben vorgetragenen ersten Differenzierung zwischen Produktionsplanung und -steuerung bestehen. Die gleiche Übereinstimmung gilt auch für die Ermittlung der Kontrollgrößen-Istwerte sowie für die Feststellung und Beurteilung von Soll/Ist-Abweichungen.

44) Ob die Ermittlung und Auswertung von Regelgrößen, die durch Beobachtung der Planausführung im Produktionssystem gewonnen werden, zur Produktionssteuerung hinzugerechnet oder aber einer selbständigen Betriebsdatenerfassung zugeschlagen werden, ist hier unerheblich. Wenn sie als ein Bestandteil der Produktionssteuerung angesehen werden, so umfaßt diese nicht nur die sechste, sondern die letzten vier der oben vorgestellten Phasen. Dann handelt es sich aber bei der Produktionssteuerung nicht mehr um eine reine Anpassungsplanung, sondern um ein kombiniertes Ermittlungs-, Auswertungs- und Anpassungskonzept. Diese weite Auffassung der Produktionssteuerung findet sich z.B. bei ZÄPFEL (1989b), S. 1.

45) Zu den seltenen Ausnahmen zählt die knappe, aber das Wesentliche exakt treffende Feststellung von CARLSON, JUCKER und KROPP: "Many managers would rather live with nonoptimal but stable plans." (CARLSON, R. (1979), S. 755). Die Autoren beziehen sich allerdings auf einen besonderen Koordinierungsaspekt, die dynamische Losgrößenplanung. Vgl. ebenso ZELEWSKI (1986a), S. 831f.

46) Die Stabilisierungsziele können aus der Sicht des entscheidungstheoretischen Paradigmas jeweils als ein Satisfizierungsziel *sui generis* begriffen werden. Es ist von dem Formalzielsystem des Entscheidungsträgers wohlunterschieden und diesem übergeordnet. Das übergeordnete Satisfizierungsziel stellt die Führungsgröße eines Regelkreises dar, das die Zielerfüllungsgrade aller Formalziele aus dem Formalzielsystem des Entscheidungsträgers in skalar verdichteter oder aber vektorieller Weise mißt. Es kann daher auch als ein "Super"- oder Metaziel begriffen werden. Für das übergeordnete Satisfizierungsziel werden ein oberes und ein unteres Anspruchsniveau vorgegeben. Alle Zielerfüllungsgrade des Satisfizierungsziels, die sich zwischen diesen beiden Satisfizierungsniveaus befinden oder mit ihnen zusammenfallen, sind die Sollwerte der Führungsgröße. Die Menge aller Führungsgrößen-Sollwerte bildet den originär definierten Stabilitätsbereich der Prozeßregelung. Die Anspruchsniveaus des übergeordneten Satisfizierungsziels stellen dabei obere und untere Grenzen desjenigen Stabilitätsbereichs dar, den die Prozeßregelung nicht verlassen soll. Es wird dann versucht, die Ausführung von Produktionsprozessen in einem Produktionssystem so zu regeln, daß die Auswirkungen der Prozeßausführung auf das übergeordnete Satisfizierungsziel die ziel-spezifischen Anspruchsniveaus weder über- noch unterschreiten. Die Sollwerte der Führungsgröße geben daher an, welche Zielauswirkungen von der Prozeßausführung seitens des Entscheidungsträgers (Sollwertgebers) als zufriedenstellend akzeptiert werden. Vgl. dazu GOMEZ, P. (1978), S. 134 (im Hinblick auf die dort angesprochenen "essentiellen Größen").

Alle Festlegungen von Kontrollgrößen-Sollwerten, die sich mit den Sollwerten der Führungsgröße konsistent vereinbaren lassen, geben der Prozeßausführung im zugrundeliegenden Produktionssystem derivativ definierte Stabilitätsbereiche vor. Es ist durchaus möglich, daß mehrere verschiedene Festlegungen von Kontrollgrößen-Sollwerten existieren, die *jeweils* mit den Führungsgrößen-Sollwerten widerspruchsfrei übereinstimmen. Beispielsweise können mehrere Produktionspläne die Formalziele des Entscheidungsträgers derart erfüllen, daß alle Produktionspläne das übergeordnete Satisfizierungsziel in den Grenzen seiner beiden Anspruchsniveaus und somit jeweils einen der Füh-

ungsgrößen-Sollwerte verwirklichen. Aus jedem dieser Produktionspläne können durch eine Sensitivitätsanalyse produktionsplanspezifische Kontrollgrößen-Sollwerte abgeleitet werden. Sie geben den Spielraum an, in dem die Istwerte der Kontrollgrößen bei der Ausführung von Produktionsprozessen variieren können, ohne daß die Realisierung des jeweils vorausgesetzten Produktionsplans gefährdet wird. Vgl. dazu abermals GOMEZ,P. (1978), S. 134, allerdings nun für seinen Fall der "Prüfgrößen".

Wenn die voranstehende Differenzierung zwischen den Sollwerten der einen Führungsgröße und den Sollwerten der verschiedenen daraus abgeleiteten Kontrollgrößen unbeachtlich ist, wird vereinfacht nur von "dem" Stabilitätsbereich der Prozeßregelung oder -koordinierung gesprochen.

47) Vgl. zur allgemeinen Zielsetzung von kybernetischen Koordinierungskonzepten, das Verhalten eines Systems gegenüber Störungen qua Regelung (Lenkung) zu stabilisieren, MEFFERT (1969), S. 786f.; BEER,S. (1972), S. 37ff.; STACHOWIAK (1973), S. 341; ASHBY (1974), S. 114ff., 310ff. (als Konstanzannäherung) u. 330ff.; GOMEZ,P. (1975), S. 118f. u. 166; GOMEZ,P. (1978), S. 134 u. 136f.; PROBST (1981), S. 161, 165 u. 171; SCHIEMENZ (1982), S. 61; MARTENS (1986), S. 258ff.; MALIK (1986), S. 304f.; POPPLEWELL (1987), S. 49; KOTTKAMP (1989), S. 324 (störungsfreie Prozeßabwicklung) i.V.m. S. 326 (Prozeßketten als verknüpfte Regelkreise); WILDEMAN (1990a), S. 622; vgl. auch - allerdings ohne expliziten Bezug auf kybernetische Problemkonzeptualisierungen - das ausgeprägte Stabilisierungsdenken bei CYERT (1963), S. 119f.; SCHEER (1990c), S. 60.

Vgl. speziell zur Zielsetzung, Prozeßausführungen in Produktionssystemen zu stabilisieren, VOLLMANN (1984), S. 219f., 225 ("stability in short-range manufacturing plans is essential"), 227, 365 u. 367; MAIER-ROTHE (1985), S. 127; MILLER,J. (1985), S. 147 u. 150; MILLER,J. (1986), S. 87ff.; GOTTSCHALK,E. (1989c), S. 76ff., insbesondere S. 77.

Des öfteren wird eine hohe Koordinierungsstabilität auch als Robustheit der Prozeßkoordinierung angesprochen; vgl. z.B. HINTZ (1987), S. 85. Ebenso GUPTA,S. (1968), S. B-27ff., und KERN,W. (1987), S. 5, behandeln Stabilität und Robustheit in synonyme Weise. Dabei wird Robustheit als weitgehende Unempfindlichkeit der Koordinierung gegenüber Produktionsstörungen verstanden. Dies entspricht dem Robustheitsbegriff, der im entscheidungstheoretischen Kontext für die Beurteilung von Optimierungsmodellen eingeführt wurde. Die Koordinierungsrobustheit wird mitunter auch als (Störungs-)Sicherheit der Prozeßkoordinierung angesprochen. Das Streben nach Robustheit, Störungsunempfindlichkeit oder Sicherheit findet häufig in anderen Kontexten als der hier interessierenden Koordinierung von Produktionsprozessen Beachtung. Es werden dann zumeist entweder Informationsverarbeitungsprozesse thematisiert, die sich gegenüber Defekten ("Störungen") von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen unempfindlich erweisen sollen. Oder es werden problemlösende Algorithmen behandelt, deren Anwendung von Anomalien oder Mängeln ("Störungen") bei der Problemformulierung möglichst wenig beeinflusst werden soll. Vgl. zu solchen informationstechnischen oder algorithmischen Robustheitsauffassungen LITTLE,J. (1970), S. B-470; BUSCH,R. (1977), S. 9; AYACHE (1979b), S. 79; STEINKE (1980), S. 116; SCHITTKOWSKI (1980), S. 346f.; SCHNABEL (1982), S. 166; HOFFMANN,K. (1982), S. 179 u. 181; RARDIN (1982), S. 13; PRESSMAR (1982), S. 333 u. 343; SCHRÖDER,H. (1983), S. 82; HORVATH (1983), S. 95f.; MENGES (1983), S. 361; HERZOG,O. (1983); SYRBE (1984), S. 95. Zwar wird in den vorgenannten Quellen nicht immer der Robustheitsbegriff verwendet. So wird auch von "Sicherheit" (z.B. SYRBE) oder "Realibilität" (z.B. AYACHE) gesprochen. Aber inhaltlich ist jeweils das oben skizzierte Verständnis robuster Informationsverarbeitungsprozesse oder Algorithmen gemeint.

Vgl. auch am Rande das anders formulierte, aber inhaltlich eng verwandte Ziel, (über)lebensfähige Systeme ("viable systems") zu gestalten, bei BEER,S. (1972), S. 99ff., insbesondere S. 154ff., 198ff. u. 283ff., hinsichtlich des Stabilisierungsaspekts z.B. S. 187 u. 290; BEER,S. (1975), S. 423ff.; JACKSON,M.C. (1984), S. 478f.; MALIK (1986), S. 32, 68ff., 80ff., 111ff., 170, 280, 307 u. 461; WILLI (1988), S. 201, 205 u. 207; ROPELLA (1989), S. 29; HEINEN (1991b), S. 62. Vgl. ebenso zur Selbsterhaltung von Systemen durch Stabilisierung LUHMANN (1968), S. 163, 165, 170, 172ff. u. 181ff., sowie dessen Rezeption durch WILLI (1988), S. 202.

Es könnte zwar der Einwand erhoben werden, daß die Regelungstheorie auch das Konzept ultrastabiler Systeme umfasse. Es wurde bereits kurz angesprochen. Ein ultrastabiles System zeichnet sich erstens dadurch aus, daß seine Struktur mehrere verschiedene Konfigurationen mit konfigurationsspezifischen Führungsgrößen anzunehmen vermag. Innerhalb einer Systemkonfiguration ist es möglich, jeweils eine konfigurationsspezifische Klasse von Störungen durch Regelung des Systemverhaltens zu kompensieren. Zweitens läßt sich auf Störungen, welche die tolerierte Störungsklasse der jeweils aktuellen Systemkonfiguration verlassen, derart reagieren, daß das System eine entsprechend veränderte Konfiguration annimmt. Es bietet sich an, daraus zu folgern, das Konzept ultrastabiler Systeme zielt nicht auf eine Stabilisierung des Systemverhaltens ab, sondern verfolge eine flexible Anpassung von Systemverhalten und -konfigurationen. Eine nähere Auseinandersetzung mit der Literatur zu ultrastabilen Systemen läßt jedoch rasch erkennen, daß auch dort das Stabilisierungsdenken weiterhin dominiert. Die Möglichkeit zur Konfigurationsanpassung wird dort nur als eine *Ausdehnung* der Systemstabilität auf mehrere Stabilitätsmodi behandelt (vgl. dazu die Ausführungen zu ultrastabilen Systemen in den Quellen, die bereits in einer früheren Anmerkung angeführt wurden). Daher wird auf die Regelung ultrastabiler Systeme nicht weiter eingegangen. Gleiches gilt für die Variante der multistabilen Systeme. Auf sie ließen sich die voranstehenden Anmerkungen in analoger Weise beziehen. Darauf wird hier jedoch verzichtet, weil das systemtheoretische Paradigma nicht im Vordergrund dieser Arbeit steht.

Außerhalb des hier zugrundegelegten regelungstheoretischen Bezugsrahmens liegen neuere Entwicklungen der Systemtheorie, die sich mit selbstorganisierenden - "autopoietischen" - Systemen befassen. Dort wird die Auffas-

sung vertreten, daß Systeme keineswegs auf Selbststabilisierung, sondern nur auf Selbsterhaltung ausgelegt seien. Dabei bestehen Überschneidungen mit dem oben erwähnten Konzept lebensfähiger Systeme. Allerdings wird dort noch stärker am Stabilisierungsdenken festgehalten (s.o.). Auf autopoietische Systeme wird hier aus zwei Gründen nicht weiter eingegangen. Erstens hat die Beschäftigung mit ihnen bisher aus kybernetischer Perspektive keinen nennenswerten *konkreten* Beitrag zur Koordinierung (Lenkung) der Verhaltensweisen komplexer Systeme geleistet. Statt dessen blieb die Auseinandersetzung mit autopoietischen Systemen auf *abstrakte* Erörterungen begrifflicher Denkschablonen fokussiert. Zweitens konnte bis heute noch keine überzeugende Antwort auf die Frage gefunden werden, woran sich ein System als mit sich selbst identisch wiedererkennen lasse, wenn die Denkkategorie der Selbststabilisierung verleugnet wird. Vgl. zur Neuausrichtung der Systemtheorie auf autopoietische Systeme z.B. LUHMANN (1988), S. 24ff. (dort vornehmlich als selbstreferentielle Systeme thematisiert), insbesondere S. 79ff., 388 u. 472f. zum Abrücken vom konventionellen Stabilisierungsdenken.

48) Es wird hier der Übersichtlichkeit halber ein Optimierungsmodell betrachtet, dessen Formalzielsystem nur aus einem Extremierungsziel besteht. Bei Zugrundelegung multidimensionaler Formalzielsysteme müßten dagegen alle Komplikationen beachtet werden, die bereits an früherer Stelle angesprochen wurden. Insbesondere wäre dann ein nicht-dominierter Vektor von Zielfunktionswerten zu betrachten.

49) Der Zielerfüllungsgrad des optimalen Produktionsplans ließe sich auch als der Sollwert der Führungsgröße des Reglers auffassen. Dies entspräche der Perspektive, die in einer früheren Anmerkung zur Erläuterung des Satisfizierungscharakters von Stabilisierungszielen eingenommen wurde. Der Übersichtlichkeit halber wird hier jedoch zu der Vereinfachung gegriffen, nur genau eine Kontrollgröße zu betrachten und diese darüber hinaus mit der Führungsgröße des Reglers gleichzusetzen. Daher kann in den anschließenden Ausführungen davon abgesehen werden, zwischen originär definierten, auf die Führungsgröße bezogenen Stabilitätsbereichen einerseits und derivativ definierten, an Kontrollgrößen orientierten Stabilitätsbereichen zu differenzieren. Statt dessen läßt sich wegen des Zusammenfallens von Führungs- und Kontrollgröße kurz von "dem" Stabilitätsbereich der Prozeßregelung sprechen.

50) Unterschiedliche Kontrollgrößen, die sich aus einem Produktionsplan ableiten lassen, wurden bereits in einer früheren Anmerkung dargestellt. Sie lassen sich ebenso aus einem *optimalen* Produktionsplan gewinnen. Um die Vielfalt dieser Kontrollgrößen in der nachfolgenden Argumentation vernachlässigen zu können, wird der Einfachheit halber nur der Zielfunktionswert des optimalen Produktionsplans beachtet.

51) Dann ist es unmöglich, die Prozeßausführung im oben festgelegten "Stabilitätsbereich" zu halten.

52) Vgl. ZELEWSKI (1986a), S. 831f. Die analoge Konsequenz, daß Optimalplanungen infolge unsicherer zukünftiger Situationsveränderungen zu häufigen Revisionen der Optimalpläne führen, stellt DYCKE (1988), S. 26, im eng verwandten Kontext der Kontrolltheorie heraus.

53) Vgl. zu solchen Oszillationen in Regelkreissystemen GOMEZ,P. (1978), S. 130f. u. 178f.

Vgl. darüber hinaus zur formalen Präzisierung von oszillierenden Systemverhaltensweisen, allerdings ohne Bezug auf den hier thematisierten kybernetischen Kontext, SCHUSTER,H. (1984), S. 37ff.; HAKEN (1987), S. 24f. (als Grenzyklen von dynamischen Systemen) u. 51f.; SAMUELSON (1987), S. 625f. (als volkswirtschaftliches "Spinnweb-Theorem"); CHIARELLA (1990), S. 86ff., insbesondere S. 92ff. (ebenfalls zum "Spinnweb-Theorem"); SIMON,H. (1990), S. 9.

54) Entweder ist es möglich, die Anpassungsplanungen so vorzunehmen, daß ihre Zielfunktionserfüllungen jeweils denselben optimalen Sollwert der Kontrollgröße wie im ursprünglich ermittelten optimalen Produktionsplan liefern. Oder es wird zumindest erreicht, daß das Ausmaß, in dem die Zielfunktionserfüllungen der Anpassungsplanungen vom optimalen Kontrollgrößen-Sollwert des ursprünglich ermittelten optimalen Produktionsplans abweichen, nach oben beschränkt ist.

55) Vgl. zur formalen Präzisierung explodierenden Systemverhaltens, allerdings nicht in bezug auf den hier interessierenden kybernetischen Kontext, SAMUELSON (1987), S. 625f. (als volkswirtschaftliches "Spinnweb-Theorem"); LUX (1991), S. 248, Fall 4a (ebenso zum "Spinnweb-Theorem"); vgl. ebenso die informellen Andeutungen bei SIMON,H. (1990), S. 9 (im Kontext nichtlinearer dynamischer Systeme).

56) Vgl. dazu die Beschreibung sich selbst "aufschaukelnder" Regelkreissysteme bei MARUYAMA (1968), S. 304ff.; vgl. ansatzweise auch SAINIS (1982), S. 55f.

57) Vgl. CARLSON,R. (1979), S. 754; VOLLMANN (1984), S. 365ff.

Hier liegt ein typischer Fall der "schwachen Kausalität" komplexer dynamischer Systeme vor. Sie widerspricht der Suggestion des Alltagsverständs, daß *ähnliche* Ursachen auch *ähnliche* Wirkungen hervorbringen. Diese konventionelle Vorstellung über Kausalzusammenhänge wird als starkes Kausalprinzip bezeichnet. Vgl. zur Vorstellung starker Kausalität BRUTER (1978), S. 297; DEKER (1983), S. 64f.; ZAHN,E. (1984), S. 22; SEIFRITZ (1987), S. 90f. Statt dessen können bei der Koordinierung von Produktionsprozessen aber schon geringfügige Ursachenverschiebungen zu erheblichen Wirkungsaberrationen führen. Daher erfordert das Prinzip schwacher Kausalität nur noch, daß

gleiche Ursachen gleiche Wirkungen hervorrufen. Vgl. zu diesem schwachen Kausalprinzip SCHLICK (1930a), S. 147; DEKER (1983), S. 63ff.; ZAHN, E. (1984), S. 68; SEIFRITZ (1987), S. 85f. u. 89.

Das Konzept schwacher Kausalität und die Schwierigkeiten ihrer Beherrschung werden zumeist im Zusammenhang mit dem Verhalten von dynamischen Systemen thematisiert. Das dort betrachtete Systemverhalten wird zwar von Kausalgesetzen "determiniert", erweist sich aber dennoch unter bestimmten Umständen als "chaotisch", weil seine zukünftige Entwicklung schon bei marginalen Fluktuationen der Ausgangsbedingungen praktisch nicht mehr vorhergesagt werden kann. Vgl. zu derart chaotischem Systemverhalten aufgrund schwacher Kausalität DEKER (1983), S. 65ff.; SEIFRITZ (1987), S. 86ff., insbesondere S. 88f.; HAKEN (1987), S. 21; SERRA (1990), S. 39; SIMON, H. (1990), S. 8f. Vgl. ebenso ZAHN, E. (1982), S. 140: Er hebt im Kontext der Katastrophentheorie hervor, daß bereits geringfügige Störungen komplizierter technischer Systeme gravierende diskontinuierliche Sprünge des Systemverhaltens verursachen können.

58) Angesichts der Führungsgrößen, die in einer früheren Anmerkung angeführt wurden, würde das bedeuten: Das vorgegebene Auftragspaket läßt sich nicht in dem zeitlichen Rahmen abwickeln, der durch die spätest zulässigen Termine für die Auftragsfertigstellungen festliegt.

59) Dies gilt allerdings nur für eine einfache Prozeßregelung. Im Fall ultrastabiler Systeme könnte hingegen eine Führungsgrößenanpassung durch Übergang zu einer neuen Systemkonfiguration vorgenommen werden. Darauf wurde schon hingewiesen.

60) Vgl. zur Gegenläufigkeit von Stabilität und Optimalität sowie zur äquivalenten Korrespondenz zwischen Instabilität und optimierungsbedingter Nervosität CARLSON, R. (1979), S. 755 u. 760; VOLLMANN (1984), S. 365.

61) Dies folgt aus der Umkehrung der voranstehenden Argumentation: Kontrollgrößen-Sollwerte, die aus optimalen Produktionsplänen gewonnen wurden, führen bei der Ausführung von geplanten Produktionsprozessen besonders schnell zu eingriffsrelevanten Abweichungen. Denn es werden nur Nullabweichungen "toleriert". Da sehr oft regelnd in die Prozeßausführung eingegriffen werden muß, fällt auch die Gefahr von unerwünschten Aufschaukelungs- und Oszillierungsphänomenen besonders hoch aus. Dieses Risiko läßt sich nur dadurch eindämmen, daß für die Prozeßregelung von vornherein stabile Produktionsbedingungen unterstellt werden, in denen unerwartete Produktionssituationen nur äußerst selten eintreten. Solche prästabilisierten Produktionsbedingungen sind jedoch für die hier betrachteten flexiblen Fertigungssysteme irrelevant. Vgl. zur Voraussetzung stabiler Produktionsbedingungen (Entscheidungskontexte) für die Anwendung von Optimierungszielen auch MALIK (1986), S. 61.

62) Hinzu kommt eine personell bedingte Instabilität. Sie resultiert aus nicht vorhergesehenen Fluktuationen in der Verfügbarkeit von Arbeitskräften. Solche Fluktuationen können z.B. auf Erkrankungen oder Unfällen beruhen. Dieser Instabilität sind allerdings auch schon Koordinierungskonzepte für konventionelle Produktionssysteme ausgesetzt; vgl. KERN, W. (1990a), S. 355f. Darüber hinaus verliert sie für flexible Fertigungssysteme um so mehr an Bedeutung, je stärker diese in personalarmem Betrieb genutzt werden. Auf die Zielsetzung, flexible Fertigungssysteme mit möglichst wenigen Arbeitskräften - bis hin zur "Geisterschicht" - zu betreiben, wird an anderer Stelle näher eingegangen.

63) MERTINS (1985a), S. 52, vertritt die Ansicht, daß bei flexiblen Fertigungssystemen die organisatorisch bedingte die technisch verursachte Instabilität bei weitem übertrifft.

64) Vgl. zur Störanfälligkeit von flexiblen Fertigungssystemen MERTINS (1985a), S. 52f.; ENDELL (1987), S. 251. Vgl. am Rande auch HARTLEY (1984), S. 265, der die besondere Störanfälligkeit flexibler Fertigungssysteme auf deren hohe Auslastung durch vollautomatisierte Produktionsschichten zurückführt.

65) Vgl. WILDEMANN (1987a), S. 19f. u. 34.

66) Vgl. ENDELL (1987), S. 251.

Vgl. zum Tendenzzusammenhang zwischen Automatisierungskomplexität und Störanfälligkeit von Produktionssystemen KERN, W. (1990a), S. 203.

Vgl. aber auch FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 137. Dort wird die Ansicht vertreten, weniger als 3% der Ausfälle flexibler Fertigungssysteme seien technisch bedingt.

67) Es wird von Sonderfällen abgesehen, in denen auch bei Werkstattfertigung hoch automatisierte Produktionssysteme vorliegen. Statt dessen werden "typische" Produktionssysteme unterstellt. Sie verfügen im Falle der Werkstattfertigung z.B. über kein komplexes Transportsystem für die flexible Verknüpfung von Bearbeitungsstationen.

68) Die Absatzschwankungen können sich sowohl auf die Arten als auch die Mengen der absatzbestimmten Produkte beziehen. Diese Fluktuationen lassen sich im wesentlichen auf drei - nicht notwendig unabhängige - Ursachen zurückführen.

Erstens besteht eine Tendenz zu verkürzten Produktlebenszyklen aufgrund zunehmender Innovationsgeschwindigkeit (Konkurrenzeffekte) oder rascherer Veränderungen der Nachfragestruktur (Sättigungs- und Modeeffekte). Vgl. SCHAEFER, F. (1980), S. 1f.; DEY (1984), S. 457; GAUDERON (1984), S. 11; HARTLEY (1984), S. 6f.; MEFFERT (1985), S. 121f.; MERTINS (1985a), S. 23; BÜHNER (1986c), S. 1; HELBERG (1987), S. 111 u. 176; HINTZ (1987), S.

1 u. 28; WECK (1988c), S. 397; BÖTZOW (1988a), S. 11, 39 u. 113; PICOT (1988), S. 113; WILDEMANN (1988f), S. 15 u. 276; KREIMEIER (1988), S. 393; SCHMIDT,HU. (1989), S. 12, 20 u. 111; WILDEMANN (1990a), S. 616; GRUHLER (1990), S. 82, 98, 103f., 115 u. 125; EVERSHEIM (1990c), S. 75; WECK (1991d), S. 3; STORR (1991b), S. 77; KLEINER,F. (1991), S. 1; WILLENBACHER (1991), S. 4.

Zweitens werden am Absatzmarkt zunehmend Forderungen nach vielfältigeren Produktvarianten laut (Produkt-"individualisierung", "Typen-" oder Modellvielfalt", Anpassung an Kundenwünsche usw.). Vgl. WARNECKE,H. (1980a), S. 8; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 196; OSMAN (1982), S. 51; WECK (1982), S. 370; DEY (1984), S. 457; SCHÄFER,H. (1984), S. 57f., 65 u. 68; AWF (1984), S. 1; WOLLSCHLÄGER (1984), S. 184 u. 187; MERTINS (1985a), S. 17 u. 23; MERTINS (1985a), S. 6; ELLINGER (1985), S. 15; KNOOP (1986), S. 1; BÜHNER (1986c), S. 1; HELBERG (1987), S. 5, 39, 50, 111 u. 175; MISSBAUER (1987), S. 4; ARNING (1987), S. 12; WECK (1988c), S. 389 u. 397; BÖTZOW (1988a), S. 11, 39 u. 113; WILDEMANN (1988c), S. 41; WILDEMANN (1988f), S. 15 u. 276; o.V. (1988n), S. 25; FRESE (1989c), S. 164 u. 177; SCHMIDT,HU. (1989), S. 12; WILDEMANN (1990a), S. 617 u. 622; GRUHLER (1990), S. 82 u. 107ff., insbesondere S. 111ff.; EVERSHEIM (1990c), S. 75f.; WECK (1991d), S. 3; WECK (1991e), S. 128; MERTINS (1991), S. 53; STORR (1991b), S. 77; KLEINER,F. (1991), S. 1; WILLENBACHER (1991), S. 4.

Drittens können Produzenten mit großer Nachfragemacht ihre Lieferanten dazu veranlassen, die Vorprodukte weitgehend produktionssynchron anzuliefern. Diese Verhältnisse breiten sich zur Zeit insbesondere in der deutschen Zulieferindustrie für den Kraftfahrzeugbau aus; vgl. SCHÄFER,H. (1984), S. 69 (ansatzweise); SCHMIDT,K. (1986), S. S. B12; FANDEL (1988a), S. 50; DICHTL (1988), S. 26; HEROLD,R. (1988), S. 8; VON FREYEND (1988), S. 11ff., insbesondere S. 13; BOEHNKE (1988), S. 7f.; o.V. (1988k), S. 1; o.V. (1988p), S. 15; FANDEL (1989a), S. 56; KERN,W. (1990a), S. 230; WILDEMANN (1990a), S. 616 u. 626f.; SCHEER (1991f), S. 30ff., insbesondere S. 31. Unter der Voraussetzung diskontinuierlicher Transportprozesse zwischen Lieferanten und Produzenten erzwingt die produktionssynchrone Vorproduktbereitstellung, daß der Lieferant kleine Absatz- und Transportlose zusammenstellt; vgl. SPUR (1980), S. 29f.; SCHAEFER,F. (1980), S. 3; HARTLEY (1984), S. 6; ARNING (1987), S. 12 (ansatzweise); BÖTZOW (1988a), S. 11, 113 u. 200f.; WILDEMANN (1988c), S. 41; WILDEMANN (1988f), S. 272; CORNELSEN (1988), S. 288 u. 291; WECK (1991d), S. 3; SCHEER (1991f), S. 31 (als unwirtschaftliche Losgrößen).

69) Vgl. SELIGER (1983), S. 19 u. 140; MERTINS (1985a), S. 23; BÜHNER (1985a), S. 295; BÜHNER (1986c), S. 9; KREIMEIER (1988), S. 393; SCHMIDT,HU. (1989), S. 111 ("... flexible Fertigungssysteme werden installiert, um kurzfristig auf marktbedingte Veränderungen des Produktspektrums reagieren zu können."); WECK (1991e), S. 128.

Es wird hier unterstellt, daß mit aktiven Anpassungsmaßnahmen im Produktionsbereich auf schwankende Absatzbedingungen reagiert werden soll. Andernfalls wäre es ebenso möglich, solchen Schwankungen durch die passive Sanierungsstrategie zu begegnen, entsprechend große Absatzlager vorzuhalten. (Vgl. dazu die Ausführungen zu aktiven und passiven Varianten des Störungsmanagements.) Dann ließe sich für die Koordinierung Flexibler Fertigungssysteme auf das Konzept des statischen Auftragseingangs zurückgreifen. Dabei wird das abzuwickelnde Auftragspaket innerhalb einer Planungsperiode unabhängig von der aktuellen Auftragsentwicklung fixiert. Dieser Verzicht auf aktive Anpassungen an Absatzschwankungen findet sich z.B. bei KNOOP (1986), S. 27 u. 65, der für Flexible Fertigungssysteme eine statische Konzeptualisierung des Auftragseingangs unterstellt. Davon wird hier jedoch abgesehen, weil nur ein aktives Störungsmanagement Flexibler Fertigungssysteme interessiert. Dies wurde bereits dargelegt.

70) Vgl. zum Just in time-Prinzip SUGIMORI (1977), S. 554ff.; MONDEN (1981a), S. 36ff.; MONDEN (1981b), S. 29(ff.); MONDEN (1981c), S. 42(ff.); WILDEMANN (1983e), S. 6(ff.); VOLLMANN (1984), S. 613ff.; WILDEMANN (1984a), S. 24(ff.); SOOM (1986), S. 362ff.; DE TREVILLE (1987), S. 11ff. u. 85ff.; ZIMMERMANN,G. (1987), S. 144ff.; DANGELMAIER (1987d), S. 138ff.; SUZAKI (1987), S. 146ff.; WILDEMANN (1988a), S. 371ff.; WILDEMANN (1988c), S. 41ff.; WILDEMANN (1988d), S. 35ff. (dort als "Supermarkt-Prinzip" behandelt); FANDEL (1988b), S. 54; VON FREYEND (1988), S. 3ff.; MALEK (1988), S. 17ff.; WEISSENSEEL (1988), S. 48ff.; FANDEL (1989b), S. 531ff.; KARMARKAR,U. (1989a), S. 122ff.; FUCHS,R. (1989b), S. 60ff.; KERN,W. (1990a), S. 229f. u. 331(f.).

71) Vgl. zur Just in time-Koordinierung von Flexiblen Fertigungssystemen KOCHAN,D. (1986), S. 41; o.V. (1986e), S. 88ff.; HELBERG (1987), S. 193; o.V. (1988l), S. 23; o.V. (1988n), S. 25.

72) Vgl. beispielsweise zu den Störungen, die aus dem Zusammenwirken von unternehmungsexternen Absatzschwankungen und unternehmensinterner absatzsynchroner Produktionsplanung resultieren können, HELBERG (1987), S. 152.

73) MALIK (1986), S. 63, spricht in diesem Zusammenhang von einer "Optimierung der Steuerungsfähigkeit" (einer "Manageability"). Zwar ist der Optimierungsbegriff hinsichtlich seines Extremierungsanspruchs inhaltlich verfehlt, weil allenfalls die Verbesserung der Systemsteuerung gemeint sein kann (vgl. dazu aber die Anmerkung zum Fehlen eines exakten Belegs hierfür). Doch lenkt er zu Recht die Aufmerksamkeit auf die Metaebene, auf der nicht mehr isolierte Entscheidungen über optimale Koordinierungen in einzelnen Fertigungssituationen getroffen werden, sondern die Anpassungsfähigkeit von Koordinierungsentscheidungen an variable Entscheidungssituationen in den Vordergrund rückt. Vgl. zu dieser erweiterten Betrachtungsweise der "Optimierung" von Koordinierungsentscheidungen in zeitlich instabilen Entscheidungskontexten MALIK (1986), S. 62f.

74) Vgl. zur Festlegung solcher Toleranzschwellen, die von Soll/Ist-Abweichungen überschritten werden müssen, bevor korrigierende Eingriffe in das Produktionssystem ausgelöst werden, MERTENS (1988e), S. 13, 15f. u. 18 (einschließlich Abb. 10 nach S. 18).

Auch wenn optimale Sollwerte für Kontrollgrößen verwendet werden, existiert ein Stabilitätsbereich. Dort degeneriert er jedoch zu einer äußerst schmalen Zone, in der lediglich Nullabweichungen zwischen den Werten der Soll- und Istgrößen toleriert wurden.

75) Die suboptimalen Sollwerte von Kontrollgrößen lassen sich aber immer noch aus Optimierungsmodellen ableiten. Beispielsweise ist es möglich, zunächst die bestmögliche Formalzielerfüllung durch die optimalen Modellösungen zu bestimmen und danach durch einen - absoluten oder relativen - "Stabilisierungsabschlag" nach unten zu korrigieren. Die derart gewonnenen Ergebnisse können benutzt werden, um "realistische" Sollwerte der Kontrollgrößen festzulegen. Die Bemessung des Stabilisierungsabschlags stellt ein Problem sui generis dar, das hier nicht weiter vertieft wird. Ebenso bleibt unbeachtet, ob sich die aufwendige Bestimmung von Modelloptima wirtschaftlich rechtfertigen läßt, wenn von vornherein feststeht, daß diese nicht mehr im strengen Sinne angestrebt werden sollen. Aber zumindest zwei Hinweise auf denkmögliche Rechtfertigungen liegen nahe. Erstens läßt sich durch die Bestimmung der Modelloptima verhindern, die Sollwerte der Kontrollgrößen aufgrund willkürlicher Schätzung unbeabsichtigt so hoch anzusetzen, daß sie grundsätzlich nicht verwirklicht werden können. Denn ohne Kenntnis der Modelloptima kann nicht ausgeschlossen werden, daß zufällig "superoptimale" Kontrollgrößen-Sollwerte geschätzt werden, denen keine zulässigen Modellösungen entsprechen und die sich überhaupt nicht realisieren lassen (sofern die vorausgesetzte Problemmodellierung realitätsadäquat ist). Zweitens ist es möglich, die Güte eines regelungstheoretisch basierten Koordinierungskonzepts dadurch zu beurteilen, daß die durch Prozeßregelung tatsächlich erzielte Formalzielerfüllung mit derjenigen verglichen wird, die im zugrundegelegten Optimierungsmodell als bestmöglich ausgewiesen wird. Dies entspricht konzeptionell der bereits oben angesprochenen Beurteilung der absoluten Koordinierungsgüte von heuristischen Entscheidungsregeln.

76) Es liegen zwar "vorhergesehene" Störungen in dem Sinne vor, daß sie im System des Produktionssystems als denkmögliche Systemstörungen abgebildet werden. Dennoch handelt es sich beim Eintritt einer solchen Störung um eine unerwartete Veränderung der Produktionssituation. Denn die Störung entspricht nicht derjenigen Entwicklung der Produktionssituation, die - aus der Sicht des dort thematisierten konventionellen Planungsverständnisses - bei der Aufstellung eines Produktionsplans geistig vorweggenommen wurde.

77) Vgl. GUPTA, S. (1968), S. B-21. Er bezieht sich zwar explizit auf Robuste Planungen, seine Argumentation trifft jedoch implizit ebenso auf die Regelung von Prozeßausführungen zu. Dies wird besonders deutlich, wenn er später (S. B-27ff.) robuste mit stabilen Entscheidungen identifiziert. Vgl. dazu auch die Erläuterung zur Beziehung zwischen Koordinierungsstabilität und -robustheit.

Zusätzlich kann zugunsten größerer Abweichungstoleranzen angeführt werden, daß es bei Verzicht auf unmittelbare störungsinduzierte Eingriffe unter günstigen Umständen möglich ist, daß spätere Störungen die ursprüngliche Produktionsstörung wieder ausgleichen. Der doppelte Planungsaufwand für eine zweifache störungsinduzierte Anpassung von Optimalplanungen ließe sich in einem solchen Fall selbstkompensierender Störungsüberlagerung vollkommen vermeiden. Vgl. dazu den "Verzugsausgleich ohne Eingriff" bei MERTENS (1988e), S. 18f., sowie SCHNEEWEIB, C. (1988), S. 296.

78) Allerdings kann aus den voranstehenden Ausführungen nicht geschlossen werden, daß eine totale Stabilisierung der Prozeßregelung vorzuziehen wäre, wie sie etwa beim früher behandelten "Einfrieren" von Produktionsplänen erfolgen müßte. Statt dessen unterstreichen die Erläuterungen nur die wesentlich schwächere Erkenntnis, daß die "Optimierung" von Produktionsplänen, die jeweils unter der Prämisse einer konstanten Produktionssituation erfolgt, erhebliche Schwierigkeiten aufwirft, sobald die Möglichkeit von Produktionsstörungen in Betracht gezogen wird. Hieraus die Forderung nach einer totalen Stabilisierung zu ziehen, wäre jedoch aus zwei Gründen problematisch.

Erstens dürfte es große Mühen bereiten, die Erfüllung dieses Postulats ex ante nachzuweisen. Für den ex ante-Nachweis totaler Stabilisierung müßte aufgezeigt werden, daß die Verwirklichung des Produktionsplans, der als Ergebnis der Feinplanung vorliegt, von keiner denkmöglichen Produktionsstörung vereitelt werden kann. Ein solcher Nachweis ist strenggenommen unmöglich. Denn er beruht auf einer Allaussage über zukünftig mögliche Produktionsstörungen und deren Wirkungen. Die Gültigkeit einer solchen zukunftsbezogenen Allaussage mit empirischem Gehalt kann unter keinen Umständen streng verifiziert werden. Allenfalls ließe sich in einem Modell des Produktionssystems nachweisen, daß ein Produktionsplan von keinen Störungen vereitelt werden kann, die in diesem Modell vorgesehen sind. Wegen der Unvollständigkeit der Realitätsabbildung durch jedes Modell bleibt aber auch ein solcher modellgestützter "Nachweis" unvollständig. Es ist niemals auszuschließen, daß der Produktionsplan aufgrund einer Produktionsstörung nichtig wird, die im Modell des Produktionssystems nicht enthalten ist.

Zweitens kann die totale Stabilisierung ebensowenig aus der Perspektive wirtschaftlicher Prozeßkoordinierung abgeleitet werden. Um eine - unter Vorbehalt der voranstehend skizzierten Schwierigkeiten - begründete Hoffnung darauf hegen zu können, daß keine Produktionsstörungen die Verwirklichung eines Produktionsplans vereiteln, kommen zwei unterschiedliche Ansätze in Betracht. Entweder werden erhebliche Spielräume zum Kompensieren von Produktionsstörungen geschaffen. Dazu dienen vor allem beträchtliche Kapazitäts- oder Materialreserven sowie

Zeitpuffer. Oder die Anspruchsniveaus für die erwartete Erfüllung der Koordinierungsziele bei suboptimaler Feinplanung werden drastisch gesenkt. Beide Vorgehensweise schließen sich im allgemeinen nicht gegenseitig aus, sondern bedingen sich zumeist wechselseitig. Vgl. hierzu - exemplarisch - die Anmerkung zur Beeinträchtigung des Ziels, die Durchlaufzeiten von Aufträgen zu verringern, durch die Einrichtung von Zeitpuffern. Es kann nun leicht der Fall eintreten, daß die Plananpassungskosten, die sich infolge der Planstabilität vermeiden lassen, von den Kosten Spielraumschaffung oder von den Einbußen hinsichtlich der beanspruchten Koordinierungszielerfüllung überkompensiert werden.

Daher läßt sich im allgemeinen nur der Schluß ziehen, daß im Angesicht von Produktionsstörungen weder Optimalplanungen noch total stabilisierte Prozeßregelungen empfehlenswert sein werden. Statt dessen wird im Regelfall ein Kompromiß zwischen Optimierungs- und Stabilisierungsansatz anzustreben sein; vgl. CARLSON, R. (1979), S. 761; VOLLMANN (1984), S. 219 (allerdings nur in bezug auf die Stabilisierungskomponente explizit). Die Kompromißforderung bleibt jedoch insofern unbefriedigend, als dem Verf. bisher kein Metakzept bekannt geworden ist, mit dessen Hilfe sich die Lage des wirtschaftlich vorteilhaften Kompromisses zwischen Optimalplanung und Regelungsstabilisierung operational bestimmen ließe. Dies gilt zumindest dann, wenn Ausflüchte in wirklichkeitsfremde Problemreduktionen ausgeschlossen werden. Hiermit sind Konzeptualisierungen von Koordinierungsproblemen gemeint, die von derart restriktiven Prämissen ausgehen, daß sich das o.a. Metaproblem der Kompromißfindung zwar formal lösen läßt, aber eine "adäquate" Repräsentation der realen Koordinierungsprobleme nicht mehr vorliegt. Dies wäre eine Variante des Fehlers 3. Art, der an anderer Stelle angesprochen wird.

Allerdings könnte eingewendet werden, der Ansatz von CARLSON, R. (1979), S. 757ff., der bereits in einer voranstehenden Anmerkung erwähnt wurde, erlaube die vorgenannte Kompromißfindung. Denn es wird ein "Gesamtoptimum" aus Produktionskosten bei Planbeibehaltung und Anpassungskosten bei Plananpassung ermittelt. Trotzdem reichen die dort vorgelegten Konzepte aus zwei Gründen nicht aus. Erstens beschränken sie sich auf ein weitaus weniger komplexes Problem als die Prozeßkoordinierung bei Flexiblen Fertigungssystemen. Sie betreffen "nur" die dynamische Losgrößenplanung bei Werkstattfertigung. Daher unterliegt der Ansatz bereits den o.a. Bedenken gegenüber Ausflüchten in reduzierte Problemkonzeptualisierungen. Zweitens - und dies ist ausschlaggebend - erstreckt er sich überhaupt nicht auf den hier interessierenden Kompromiß zwischen Optimierungs- und Stabilisierungsdenken. Vielmehr wird dort zunächst immer eine Optimierungsrechnung ausgeführt. Es erfolgt also *kein* grundsätzliches Abrücken vom Ziel der Optimalplanung. Statt dessen wird nur bei jeder Situationsveränderung geprüft, ob es vorteilhafter ist, am alten, nun aber nicht mehr gültigen Optimum festzuhalten oder ein neues Optimum zu berechnen. Es wird also am Optimierungsstreben festgehalten.

79) Daher wird der Modellierung von Systemstörungen in der späteren Fallstudie größeres Gewicht zugemessen. Dies äußert sich vor allem in der Abbildung gestörter Betriebsbereitschaft von Bearbeitungsstationen, und in Erfassung von Werkstücken, die einer Überprüfung ihrer Bearbeitungsqualität nicht standhalten.

80) Dieser Aspekt wird bei der späteren Auswertung von Netzmodellen durch die Eigenschaft der Promptheit gewürdigt. Allerdings wird dabei vorausgesetzt, daß in die Modellierung des Produktionssystems um die - zumindest partielle - Modellierung des Informationssystems erweitert wird. Die Ausführungen dieser Arbeit erstrecken sich zwar in der Hauptsache nur auf die Abbildung des Produktionssystems. Doch wird die Ausweitung der Modellierung auf das Informationssystem grundsätzlich zugelassen.

81) Die tendenzielle Gegenläufigkeit zwischen Optimierungs- und Stabilisierungsdenken wurde bereits voranstehend erläutert. Bei der nachfolgend erörterten Realzeitadäquanz von Koordinierungskonzepten kommt noch hinzu, daß die zeitliche Trennung zwischen optimaler Aktionsplanung und Aktionsausführung aufgegeben wird.

82) Sie werden daher in den Bezugsrahmen des Modellierungskonzepts dieser Arbeit als regelungstheoretische Bereicherungen der entscheidungstheoretischen Problemkonzeptualisierung aufgenommen.

83) Auf die Beurteilung der Regelungsstabilität gegenüber Produktionsstörungen wird hier nicht weiter eingegangen, da sie schon zuvor ausführlicher behandelt wurde.

84) Vgl. zur Einbettung von Realzeitaspekten in einen regelungstheoretischen Kontext z.B. NEHMER (1984), S. 65.

85) Vgl. aber die Ausführungen, die zeigen, daß sich das Konzept der Realzeitadäquanz auch auf originäre Prozeßplanungen anwenden läßt.

86) Anstelle des Begriffs der Realzeit wird auch oftmals das Synonym "Echtzeit" verwendet; vgl. z.B. MERTENS (1968), S. 285; HOCH (1973), S. 37; KAMP (1978), S. 50; DORN (1989), *passim*, z.B. S. 3 u. 142.

Der Verf. folgt jedoch der Empfehlung von DIN 44300 (1985), Teil 9, S. 3: "Die Benennung Echtzeitverarbeitung ist zu vermeiden, weil dieser Begriff in der Analogrechentechnik und Simulationstechnik eine andere Bedeutung hat."

87) Realzeitbedingungen sind wegen der *technischen* Natur ihrer Verzögerungsfristen deutlich zu unterscheiden von allen *dispositiv* bedingten Fristen, wie etwa Lieferfristen.

- 88) Der Einfachheit halber werden technisch bedingte maximale Verzögerungsfristen fortan nur als Verzögerungsfristen angesprochen, wenn ihr Charakter durch den Argumentationskontext von Realzeitbedingungen eindeutig determiniert ist.
- 89) Hier wirkt sich positiv aus, daß die Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen in dynamischer Hinsicht von vornherein an *Ereignissen* anknüpfte. Vgl. zur Ereignisorientierung von Konzepten, die sich der Prozeßkoordinierung unter Realzeitbedingungen widmen, z.B. auch DORN (1989), S. 117 u. 144ff., insbesondere S. 145.
- 90) Eine übersichtliche Systematik der Definitionsvarianten von Verzögerungsfristen, die für die Formulierung von Realzeitbedingungen in Betracht kommen, bietet DORN (1989), S. 143f.
- 91) Die nachfolgende Definitionsvariante abstrahiert von den Zeitspannen, die verstreichen zwischen: a) dem Entstehen einer Produktionsstörung im Produktionssystem und ihrer Entdeckung, b) dem Entdecken einer Produktionsstörung im Produktionssystem und dem Eintreffen einer entsprechenden Systemmeldung im Informationssystem, c) dem Aussenden einer Steuerungsanweisung aus dem Informationssystem und dem Ausführungsbeginn der angewiesenen Anpassungsmaßnahme im Produktionssystem und d) dem Ausführungsbeginn der angewiesenen Anpassungsmaßnahme im Produktionssystem und dem Wirksamwerden der Störungskorrektur durch die ausgeführte Anpassungsmaßnahme.
- 92) Wenn nicht der *zeitliche* Abstand zwischen den jeweils zusammengehörigen Melde- und Anweisungsereignissen gemessen wird, sondern ein anderes, nicht-temporales Abstandsmaß Verwendung findet, werden die Verzögerungsfristen als Reaktionsspannen angesprochen. Vgl. dazu die späteren Ausführungen zur Promptheit von Netzmodellen.
- 93) Von einer tatsächlichen oder realisierten Verzögerungsfrist wird dagegen gesprochen, wenn nicht der maximale, sondern der tatsächliche Zeitabstand zwischen Melde- und Anweisungsereignis betrachtet wird.
- 94) Es wird stets unterstellt, daß maximale Verzögerungsfristen nur in endlicher Weise definiert sein können. Daher existiert keine maximale Verzögerungsfrist, falls die tatsächliche Verzögerung zwischen Melde- und Anweisungsereignis über jede endliche obere Schranke hinaus wachsen darf.
- 95) Dies entspricht genau der maximalen Antwortzeit, die DORN (1989), S. 143, für Planungsprozesse unter Realzeitbedingungen definiert.
- 96) Falls mehrere solcher Systemmeldungen über dieselbe Produktionsstörung eintreffen, wird das am frühesten vorliegende Meldeereignis betrachtet. Sofern mehrere früheste - und somit gleichzeitige - Meldeereignisse eintreffen, kann genau eines von ihnen willkürlich ausgewählt werden.
- 97) Es ist hier unerheblich, auf welche Weise die Störungskorrektur erfolgt. Es kann sich sowohl um eine Beseitigung als um eine Kompensierung der Produktionsstörung handeln.
- 98) Wenn mehrere solcher Steuerungsanweisungen zur Reaktion auf dieselbe Produktionsstörung abgesandt werden, dann wird das am spätesten stattfindende Anweisungsereignis betrachtet. Sofern mehrere späteste - und daher gleichzeitige - Anweisungsereignisse geschehen, läßt sich genau eines von ihnen willkürlich auswählen.
- 99) Es wird hier nochmals hervorgehoben, daß im regelungstheoretischen Kontext nur solche unerwarteten Situationsveränderungen als Produktionsstörungen erfaßt werden, die einen störungskorrigierenden Eingriff in die Ausführung der Produktionsprozesse verlangen. Alle anderen unvorhergesehenen Veränderungen der Produktionssituation, die nicht dazu führen, daß der Stabilitätsbereich der Prozeßregelung verlassen wird, stellen dagegen keine Produktionsstörungen dar. Sie bleiben daher im folgenden unberücksichtigt.
- 100) Es handelt sich um eine vereinfachte Betrachtung. Zunächst wird von allen Zeitspannen abgesehen, die bereits in einer früheren Anmerkung angesprochen wurden, hier jedoch in die Definition von Verzögerungsfristen nicht eingeflossen sind. Infolgedessen bleiben z.B. die Geschwindigkeiten unbeachtet, mit denen Produktionsstörungen im Produktionssystem erkannt oder Steuerungsanweisungen vom Informations- an das Produktionssystem übermittelt werden. Darüber hinaus werden Realzeitbedingungen nur im Kontext einfacher Regelkreissysteme berücksichtigt. Diese Beschränkung dient der Klarheit der Ausführungen, die dann nur auf störungsverursachende autonome Ereignisse im Produktionssystem bezogen zu werden brauchen. Tatsächlich bildet die betriebliche Koordinierung von Produktionsprozessen jedoch ein komplexes System hierarchisch vermaschter Regelkreise, das bereits angesprochen wurde. Daher kann die Produktionssituation nicht nur durch autonome Ereignisse im Produktionssystem verändert werden. Statt dessen kommen ebenso autonome Ereignisse in hierarchisch übergeordneten Regelkreisen eines erweiterten Informationssystems in Betracht. Diese Ereignisse können Modifizierungen der Führungsgrößen für die Prozeßsteuerung im Produktionssystem hervorrufen. Solche autonomen Ereignisse im erweiterten Informationssystem wurden bereits früher als organisatorisch bedingte Instabilitäten angesprochen. Sie betreffen beispielsweise Veränderungen im Auftragsbestand, die durch Mitarbeiter im Absatzbereich einer Unternehmung zur Anpassung an schwankende Kundenbedürfnisse getroffen werden. Das erweiterte Informationssystem umfaßt dann neben der Koordinierung von Produktionsprozessen im Produktionssystem auch jene Auftragskoordinierung im Absatz-

bereich. Daher können Veränderungen der Produktionssituation sowohl im Produktions- als auch im Informationssystem verursacht sein. Von solchen Komplikationen wird hier jedoch der Übersichtlichkeit halber abgesehen.

101) Dies begründet zugleich die Koordinierungsrelevanz der Realzeitbedingung: Wäre die Entscheidungsgeschwindigkeit im Informationssystem größer gewesen, so hätte eine höhere Wahrscheinlichkeit bestanden, die Anpassungsmaßnahmen so schnell planen und durchsetzen zu können, daß ihre intendierte störungskorrigierende Wirkung auch tatsächlich eingetreten wäre.

102) Ebenso heißen die Produktionssysteme, in denen zeitkritische Produktionsprozesse ausgeführt werden sollen, zeitkritische Produktionssysteme.

103) Es wird dann auch davon geredet, die Prozeßkoordinierung erfolge unter Realzeitbedingungen. Dabei wird implizit unterstellt, daß es sich stets um koordinierungsrelevante - also harte - Realzeitbedingungen handelt. Ebenso kann kurz von einer Realzeitkoordinierung der betroffenen Produktionssysteme und -prozesse gesprochen werden.

104) Die Eigenschaft der Realzeitadäquanz wird des öfteren unter anderen Bezeichnungen - aber mit gleichem Inhalt - thematisiert. Dazu gehört vor allem die Rede von Realzeitfähigkeit oder Echtzeitverhalten. Solche Bezeichnungen werden hier als Synonyma für die Realzeitadäquanz einer Prozeßkoordinierung behandelt. Beispielsweise entspricht der Begriff der Realzeitadäquanz der Vorstellung von Rechtzeitigkeit bei DORN (1989), S. 3f. u. 143f. Vgl. ebenso die Ausführungen bei NEHMER (1984), S. 66; STEUSLOFF (1984), S. 81. Die Realzeitadäquanz von Prozeßkoordinierungen scheint auch HOCH (1973), S. 37, Fn. 2, mit seiner Anmerkung zur Realzeitsteuerung zu meinen. Sie liege vor, "wenn die Zeit zwischen Dateneingabe und Antwort des Systems unbedeutend ist. Bei betriebswirtschaftlichen Anwendungen ist eine Wartezeit dann unbedeutend, wenn sie den normalen Gang der Entscheidungsfindung nicht unterbricht". Dabei bleibt allerdings begrifflich unbestimmt, was eine Unterbrechung des "normalen Ganges der Entscheidungsfindung" konkret bedeuten soll.

105) Das Einhalten der Realzeitbedingungen bedeutet, daß der Stabilitätsbereich der Prozeßregelung durch die Prozeßausführung im zugrundeliegenden Produktionssystem nicht verlassen wird. Aus regelungstheoretischer Perspektive kann für zeitkritische Produktionsprozesse gefordert werden, ein Koordinierungsproblem nur dann als gelöst zu betrachten, wenn eine realzeitadäquate Prozeßregelung gelingt. Dies entspricht dem o.a. Stabilitätsdenken des kybernetischen Paradigmas. Unter diesen Voraussetzungen muß damit gerechnet werden, daß es unmöglich ist, ein Koordinierungsproblem für zeitkritische Produktionsprozesse praktisch zu bewältigen, sich obwohl dieses Problem theoretisch - d.h. ohne Einschränkungen der zulässigen Lösungsdauer - lösen ließe; vgl. ZIMMERMANN, H. (1987a), S. 249. In diesem Fall bedeuten harte Realzeitbedingungen, daß ein theoretisch lösbares Koordinierungsproblem praktisch unlösbar ist. Die praktische Unlösbarkeit ist dann allerdings keine Eigenschaft mehr, die dem untersuchten Koordinierungsproblem "an sich" zukommt. Vielmehr handelt es sich um einen Aspekt, der erst durch die Kombination des Koordinierungsproblems mit der darauf angewandten Prozeßregelung zustandekommt.

106) Vgl. zum Realzeitbetrieb (Echtzeitbetrieb) von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen DIN 44300 (1972), S. 15; JUNGHANNS (1976), S. 69f.; WECK (1982), S. 109; SCHMITZ, P. (1985), S. 218; DIN 44300 (1985), Teil 9, S. 3; DORN (1989), S. 1. Automatische Informationsverarbeitungssysteme, deren Nutzung im Realzeitbetrieb genutzt erfolgt, werden in den vorgenannten Quellen oftmals auch als Prozeßrechner thematisiert. Vgl. zu ausführlicheren Behandlungen von Realzeitbetrieb und Prozeßrechnern aus informationstechnischer Perspektive NEHMER (1984), S. 65ff.; STEUSLOFF (1984), S. 81ff.; MÖLLER (1984), S. 26ff.

107) Die vorherrschende Vernachlässigung von Realzeitbedingungen bringt z.B. ALDINGER (1985a), S. 30, zum Ausdruck: "Die kurzfristige Belegungsplanung ... kann ... unabhängig von den Ereignissen im Fertigungsbereich angestoßen werden und terminlich unkritisch ablaufen."

108) Vgl. zur technischen Prozeßsteuerung unter Realzeitbedingungen BAUMANN, R. (1984), S. 62ff.; SYRBE (1984), S. 94ff.; DORN (1989), S. 142ff.

109) Vgl. ZIMMERMANN, H. (1987a), S. 249.

110) Die oben dargelegte relationale Qualität von Realzeitbedingungen klingt auch an bei DORN (1989), S. 147f.

111) Dies drückt DORN (1989), S. 143f., besonders deutlich aus: "Sprechen wir von Planung in Echtzeit, liegt unser Hauptaugenmerk nicht auf einer schnelleren, sondern auf einer rechtzeitigen Verarbeitung. Dafür ist zwar eine ... effiziente Verarbeitung nützlich, aber über die Dauer einer Planung treffen wir keine Aussagen. ... Rechtzeitigkeit bedeutet dann, daß die Dauer des Antwortintervalls beschränkt ist. Die Größe der maximalen Antwortzeit muß für jedes kritische Ereignis festgelegt werden und ergibt sich aus den Anforderungen des ... Prozesses." (kursive Hervorhebung des Originals hier unterlassen).

112) DORN (1989), S. 48, führt für Prozeßkoordinierungen unter Realzeitbedingungen in betriebswirtschaftlichen Kontexten eine "Granularität von Stunden oder Tagen" an. KAMP (1978), S. 50, faßt eine tägliche Ablaufplanung ins Auge.

113) Vgl. zur Heranführung von PPS-Systemen an Prozeßkoordinierungen unter Realzeitbedingungen MERTENS (1968), S. 285ff.; HORMANN, D. (1973), S. 108; HOCH (1973), S. 37ff.; KAMP (1978), S. 50 u. 54; BECKER, J. (1978), S. 513 u. 516; SPUR (1980), S. 365, 376 u. 380; DÖTTLING (1981), S. 29, 41f. u. 63; NISSING (1982b), S. 75ff.; WICHARZ (1983), S. 353; TSCHÖRTNER (1984), S. 327; ELLINGER (1985), S. 138; WIEBACH (1986), S. 744ff., insbesondere S. 748; ZIMMERMANN, G. (1988), S. 496 u. 500f.; BEIER (1988a), S. 222 u. 239ff.; NIEDERHAUSEN (1988), S. 400ff.; LIPP (1991), S. 104.

Auch bei HELBERG (1987), S. 176, klingt die Berücksichtigung von Realzeitbedingungen als Einhalten einer "zulässigen Reaktionszeit" an. Vgl. des weiteren die Forderungen, Produktionsprozesse "in Realzeit" zu koordinieren, bei STUTE (1978a), S. 73 (Umdisposition in Echtzeit) u. 74 (Echtzeit-Fertigungsführung); KOCHAN, D. (1986), S. 50f. (real time ... decision-making); BEIER (1988a), S. 239f. (Echtzeitplanung während des Steuerungsvorganges) u. 245 (echtzeit-ablaufende Entscheidungsfindung); NIEDERHAUSEN (1988), S. 400 (online-Echtzeitdisposition); SCHEER (1990c), S. 63 (Realtime-Verarbeitung).

114) Vgl. dazu die eingangs erläuterte Differenzierung zwischen rahmensetzender Produktionsplanung und rahmenausfüllender Produktionssteuerung.

115) Vgl. HORMANN, D. (1973), S. 108, der Realzeitbedingungen für die Steuerung von Produktionsprozessen bei Werkstattfertigung in der Größenordnung eines Tages ansetzt; HOCH (1973), S. 37, insbesondere Fn. 2; SPUR (1980), S. 365.

Als Produktionsstörungen dispositiver Art wurden schon früher Veränderungen desjenigen Auftragspakets identifiziert, dessen Abwicklung als Sachziel vorgegeben ist. Die Zeitabstände, in denen solche Modifizierungen von Auftragspaketen bei konventionellen PPS-Systemen üblich sind, liegen in der Größenordnung von wenigen Tagen; vgl. EVERSHEIM (1981), S. 171 (täglich); GAUDERON (1984), S. 57f. (wöchentlich); KNOOP (1986), S. 64f. u. 134 (tägliche Vorgabe eines aktualisierten Produktionsprogramms durch die übergeordnete Dispositionsebene); HINTZ (1987), S. 124f. (rollierende wöchentliche Neuplanung); HELBERG (1987), S. 189 (rollierende Auflösung des aktuellen Auftragsbestands in kurzfristige Produktionsprogramme, die täglich der Werkstattsteuerung neu vorgegeben werden); o.V. (1988n), S. 25 (tägliche Neuplanung).

116) Konventionelle PPS-Systeme enthalten in der Regel keine Koordinierungskonzepte, die speziell auf Anpassungsplanungen zugeschnitten sind. Dies wurde bereits als konzeptionelle Lücke der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung dargelegt. Daher sind sie im allgemeinen nicht in der Lage, die originären Produktionspläne durch störungskorrigierende Anpassungsmaßnahmen lediglich zu modifizieren. Statt dessen muß zumeist ein Neuaufwurf der Produktionsplanung erfolgen, der zu einem vollständig neu berechneten Produktionsplan führt. Die konzeptionelle Inadäquanz solcher wiederholter Neuplanungen wurde bereits thematisiert.

117) Vgl. HELBERG (1987), S. 163 (acht oder mehr Stunden für die Erstellung einer Maschinenbelegungsplanung).

118) Vgl. allgemein zum Verarbeitungsprinzip des Stapelbetriebs (batch processing) von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen HEIBEY (1977), S. 91; GÜNTHER, H. (1986), S. 242; SCHEER (1990c), S. 58ff.

119) Vgl. zur Dominanz der Stapelverarbeitung bei konventionellen PPS-Systemen GÜNTHER, H. (1986), S. 242.

120) Vgl. KOHEN (1989), S. 40f.

121) Vgl. KOHEN (1989), S. 40.

122) Vgl. KAMP (1978), S. 51 ("für Umdispositionen eine zu lange Laufzeit"); HELBERG (1987), S. 163 ("Da zentrale Terminierungssysteme nicht selten Rechnerlaufzeiten von acht und mehr Stunden beanspruchen, führt in der Praxis eine automatische Belegungsplanung durch den Zeitversatz zu unbefriedigenden Ergebnissen."); SCHEER (1987a), S. 43 ("Die vorhandenen ... Algorithmen zur Batch-orientierten Problemlösung haben bei großen Problemen weitgehend versagt oder zu unakzeptablen Rechenzeiten geführt."); KREIMEIER (1988), S. 393 (Hinweis auf Effizienzprobleme von PPS-Systemen); KOHEN (1989), S. 41 ("mangelnde Reaktionsfähigkeit heutiger PPS-Systeme") u. 46 (träge Produktionsplanung und -steuerung); SCHEER (1990c), S. 205 (er spricht von "unkontrolliert hohen Rechenzeiten"); vgl. des weiteren am Rande SPUR (1980), S. 380.

123) Vgl. die Ausführungen zur mangelhaften Anpassungsfähigkeit von PPS-Systemen gegenüber veränderten Produktionssituationen.

124) Vgl. HELBERG (1987), S. 163.

125) Eine Produktionssteuerung wird nur dann als "echt" qualifiziert, wenn sie zu Anpassungsplanungen in der Lage ist. Eine Produktionssteuerung, die ausschließlich planende Funktionen zu erfüllen vermag, wird dagegen als unechte Produktionssteuerung bezeichnet.

126) Vgl. KREIMEIER (1988), S. 393, der von einer mangelnden Effizienz konventioneller PPS-Systeme "im prozeßnahen Bereich der Fertigungssteuerung" spricht.

Entgegen ihrer Bezeichnung als Produktions-Planungs- und *Steuerungs*-Systeme erfüllen PPS-Systeme daher zu meist nur eine *Planungs*funktion, indem sie rahmensetzende Grob- und rahmenfüllende Feinplanungen ermöglichen. Zu einer vollständigen Produktionssteuerung, wie sie oben definiert wurde, fehlt ihnen dagegen die wesentliche Fähigkeit, durch Anpassungsplanungen auf Produktionsstörungen rechtzeitig zu reagieren. Das Akronym "PPS" erhält dann hinsichtlich seines dritten Buchstabens den Charakter eines Euphemismus.

127) Allerdings muß diese Kritik an PPS-Systemen relativiert werden. Denn sie trifft ebenso auf die regelungstheoretische Konzeptualisierung von Koordinierungsproblemen zu. Zwar sieht der regelungstheoretische Ansatz durchaus Anpassungsplanungen zur Reaktion auf Produktionsstörungen vor. Doch konzentriert er sich dabei auf die Fähigkeit, mittels der Rückwärtskopplung Produktionsstörungen als eingriffsrelevante Soll/Ist-Abweichungen zu erkennen. Die Störungserkenntnis *allein* ist jedoch nur notwendig, aber keineswegs hinreichend für die Störungsbewältigung. Letztes erforderte vielmehr, daß konkrete Konzepte bereitstehen, mit deren Hilfe sich im Rahmen der Vorwärtskopplung Anpassungsmaßnahmen als Stellgrößen so planen lassen, daß die erkannte Produktionsstörung in der gewünschten Weise korrigiert wird. Um solche Konzepte für die störungskorrigierende Anpassungsplanung kümmern sich die üblichen kybernetischen Abhandlungen jedoch nicht. Die Aufgabe der störungsinduzierten Stellgrößenfestlegung scheint dort überhaupt nicht als Koordinierungsaspekt wahrgenommen zu werden. Daher reicht der regelungstheoretische Ansatz so, wie er im allgemeinen thematisiert wird, für das hier intendierte Störungsmanagement störanfälliger Produktionssysteme auch noch nicht aus.

128) Eine solche Abschätzung der Größenordnung von Realzeitbedingungen, die speziell auf Flexible Fertigungssysteme bezogen ist, findet sich z.B. bei SPUR (1980), S. 315f. Sie betrifft nur die organisatorische Instabilität von Flexiblen Fertigungssystemen. Dabei werden die Realzeitbedingungen untersucht, denen Koordinierungsentscheidungen beim Einlasten von Aufträgen in ein Flexibles Fertigungssystem (systembezogene Einlastungsentscheidungen) oder beim Einlasten der Aufträge an einzelnen Bearbeitungsstationen (maschinenspezifische Einlastungsentscheidungen) unterliegen. Die von SPUR und Mitarbeitern benutzte Terminologie wird hier nicht im Detail erläutert, sondern als bekannt vorausgesetzt. Ebenso wenig werden die Ermittlungsprämissen diskutiert, die ihren Abschätzungen zugrundeliegen (S. 314). Sie stellen zwar "heroische" Annahmen hinsichtlich der Durchschnittseigenschaften einzulastender Aufträge dar. Doch läßt sich auf ihrer Grundlage immerhin die relevante Größenordnung von Realzeitbedingungen für Flexible Fertigungssysteme verdeutlichen. So beträgt für Entscheidungen, Aufträge in ein Flexibles Fertigungssystem als Ganzes einzulasten, der durchschnittliche Zeitabstand zwischen zwei unmittelbar folgenden Entscheidungen (durchschnittlicher Entscheidungsabstand):

$$DEA = (DBD \cdot DAA) : (AB \cdot PKA \cdot DKA)$$

Dabei bedeuten:

- DEA: durchschnittlicher Entscheidungsabstand
- DBD: durchschnittliche Bearbeitungsdauer eines Arbeitsgangs auf einer Bearbeitungsstation
- DAA: durchschnittliche Arbeitsganganzahl je Auftrag
- AB: Anzahl aller Bearbeitungsstationen im Flexiblen Fertigungssystem
- PKA: Punktkapazität einer jeden Bearbeitungsstation
- DKA: durchschnittliche Kapazitätsauslastung aller Bearbeitungsstationen (normiert auf das Intervall [0;1])

Bei SPUR (1980), S. 315, enthält die Formel zur Ermittlung des mittleren zeitlichen Entscheidungsabstands zwar nicht die oben angeführte Einflußgröße der Punktkapazität. Ihre Notwendigkeit wird jedoch aus der nachfolgenden konkreten Abstandsermittlung mit expliziter Angabe der Parameterdimensionen ersichtlich.

Die Realzeitbedingung für die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen erstreckt sich in der Problemkonzeptualisierung von SPUR und Mitarbeitern darauf, daß die durchschnittliche Größenordnung der Zeitdauer für systembezogene Einlastungsentscheidungen nicht über dem durchschnittlichen Zeitabstand zwischen zwei Entscheidungen liegen darf. Die Realzeitbedingung wird also mit dem durchschnittlichen Entscheidungsabstand DEA identifiziert. Die tatsächliche Größenordnung der Realzeitbedingung läßt sich mit typischen realen Werten für die Parameter der o.a. Ermittlungsformel in einer ersten Annäherung abschätzen durch:

$$DEA = (DBD \cdot DAA) : (AB \cdot PKB \cdot DKA) = (10 \cdot 30) : (10 \cdot 1 \cdot 0,8) \text{ [min]} = 37,5 \text{ [min]}$$

bei folgenden exemplarischen Parameterausprägungen:

DBD= 10	min/Arbeitsgang
DAA= 30	Arbeitsgänge/Auftrag
AB = 10	Bearbeitungsstationen
PKB = 1	Auftrag/Bearbeitungsstation
DKA= 0,8	(entsprechend: 80%)

Folglich liegen die Realzeitbedingungen für systembezogene Einlastungsentscheidungen bei Flexiblen Fertigungssystemen in der Größenordnung von ca. einer halben bis einer Stunde. Angesichts der großen Komplexität von Koordinierungsproblemen bei Flexiblen Fertigungssystemen und der entsprechend hohen Ausführungsdauer koordinierender Informationsverarbeitungsprozesse können sich selbst solche Realzeitbedingungen als koordinierungsrelevant erweisen. Dies wird später besonders deutlich, wenn die Problemkomplexität der Erreichbarkeitsanalyse von Netzmodellen thematisiert wird. Die dort behandelte NP-Vollständigkeit von Erreichbarkeitsproblemen kann oftmals dazu führen, daß sich ihre Lösungen nicht innerhalb des oben genannten zeitlichen Rahmens mit Sicherheit bestimmen lassen.

Vgl. darüber hinaus die Angaben über konkrete Ausführungsdauern von Simulationsprogrammen, mit deren Hilfe simulative Koordinierungen von Produktionsprozessen in Flexiblen Fertigungssystemen vorgenommen worden, bei SPUR (1980), S. 441. Dort werden zwischen knapp 2,5 min und 18 min reine Rechenzeit (CPU-Zeit) für die Programmausführungen genannt. Es bleibt allerdings unklar, ob es sich um Rechenzeiten für die Konsequenzsimulation einer einzelnen Entscheidungsalternative, aller untersuchten Entscheidungsalternativen im selben Entscheidungspunkt oder sogar aller untersuchten Entscheidungsalternativen im Koordinierungszeitraum handelt. Darüber hinaus müßte die Komplexität der vorausgesetzten Simulationsmodelle näher untersucht werden. Ebenso wäre die Erhöhung der Rechengeschwindigkeiten zu berücksichtigen, welche die Hardwaretechnologie seit nunmehr einem Jahrzehnt zugelassen hat. Dieser Leistungszuwachs der Automatischen Informationsverarbeitung ließe sich allerdings mit der besonders hohen Modellierungskomplexität der Netzmodule konfrontieren, die an späterer Stelle für die Abbildung von Flexiblen Fertigungssystemen vorgestellt werden. Es bleibt fraglich, ob der Effekt der höheren Verarbeitungsgeschwindigkeit durch den Effekt vergrößerter Abbildungskomplexität (über)kompensiert wird. Schließlich würde eine verfeinerte Abschätzung der Realzeitbedingungen über die oben angeführte Ermittlungsformel hinaus erfordern, für jeden ihrer Parameter eine relative Häufigkeitsverteilung über dem Definitionsbereich aller denkmöglichen Parameterausprägungen empirisch zu erheben und hieraus eine relative Häufigkeitsverteilung der mittleren Zeitabstände zwischen zwei Einlastungsentscheidungen abzuleiten. Die voranstehend angedeuteten Komplizierungen werden hier jedoch nicht weiter verfolgt, weil nur beabsichtigt war, die Größenordnung von Realzeitbedingungen für Flexible Fertigungssysteme grob abzuschätzen.

Statt dessen findet sich ein weiterer Indikator, der die Koordinierungsrelevanz von Realzeitbedingungen für Flexible Fertigungssysteme nahelegt, bei SPUR (1980), S. 380. Dort wird kritisiert, daß konventionelle PPS-Systeme ("Modularprogramme") für die Koordinierung von Werkstattfertigungen aufgrund ihrer langen Laufzeiten nicht geeignet seien, um die Prozeßkoordinierung von Flexiblen Fertigungssystemen unter Realzeitbedingungen zu leisten. Vgl. dazu auch den Hinweis bei SPUR (1980), S. 348, daß in den dort angestellten Untersuchungen nicht alle Entscheidungsalternativen bei der systembezogenen Auftrageinlastung hinsichtlich ihrer Entscheidungskonsequenzen simulativ bewertet werden konnten. Denn der Zeitbedarf für die Konsequenzsimulationen sei größer gewesen, als aufgrund der Zeitdauer zwischen zwei aufeinander folgenden Einlastungsentscheidungen für alle Einlastungsalternativen zur Verfügung gestanden hätte.

129) An dieser Stelle wirkt sich die frühere Klarstellung aus, daß die Veränderungsgeschwindigkeit der Produktionssituation nur auf solche Situationsveränderungen bezogen ist, die aus dem Stabilitätsbereich der Prozeßregelung herausführen und deswegen störungskorrigierende Anpassungsmaßnahmen erfordern.

130) Dies scheint auch HELBERG (1987), S. 176, zu meinen, wenn er davon spricht, daß die Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen durch eine Verringerung der Reaktionszeiten kompliziert werde.

131) Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 17, 27, 198f., 283f., 415, 419 u. 424; HARTLEY (1984), S. 1, 6, 68 u. 153; GAUDERON (1984), S. 10 u. 66; AWF (1984), S. 1 u. 17; WILDEMANN (1987a), S. 1 u. 220; ARNING (1987), S. 112ff.; HINTZ (1987), S. 30; BÖTZOW (1988a), S. 113f., 144f., 148 u. 165f.; WILDEMANN (1988f), S. 20 u. 272ff.; ZEH (1988a), S. 205 u. 207; VILLA (1988c), S. 357; SCHMIDT, HU. (1989), S. 12; PRITSCHOW (1991a), S. 1.

Vgl. auch die Beschreibung von Durchlaufzeitverkürzungen, die durch die Nutzung Flexibler Fertigungssysteme (angeblich) realisiert werden konnten, bei EVERSHEIM (1981), S. 136 u. 158; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 284, 291f. u. 420; GAUDERON (1984), S. 124ff., insbesondere S. 129; HARTLEY (1984), S. 154ff. u. 160; MAIER-ROTHE (1985), S. 141; KOCHAN, D. (1986), S. 38f., 41, 47 u. 55; WILDEMANN (1987a), S. 32 u. 346ff. Die voranstehenden Quellen geben in der Mehrzahl Verringerungen der Durchlaufzeit zwischen 25% und 80% an. In extremo sollen sie aber auch nahe an oder sogar etwas mehr als 95% betragen haben; vgl. dazu z.B. HARTLEY (1984), S. 155 (Verkürzung von 180 Tagen auf 2 Tage); MAIER-ROTHE (1985), S. 141. WILDEMANN (1987a), S. 32, gibt als Durchschnittswert eine Durchlaufzeitreduzierung von 61% an.

Mit dem Ziel der Durchlaufzeitverkürzung wird vor allem die Absicht verfolgt, kurze Lieferfristen zur Verbesserung des akquisitorischen Potentials verwirklichen zu können. Dies gilt insbesondere für Absatzmärkte, die von rasch schwankenden Absatzbedingungen und beträchtlicher Nachfragemacht der Kunden bestimmt werden. Vgl. dazu MISSBAUER (1987), S. 4; BÖTZOW (1988a), S. 200; WILDEMANN (1988f), S. 272 u. 274; CORNELBEN (1988), S. 291; RIEDLINGER (1989), S. 361; WILDEMANN (1990a), S. 615f. (Durchlaufzeitverringering als wesentlicher Beitrag zu einer "kundennahen Produktion"); WILLENBACHER (1991), S. 4 u. 6.

Das Ziel kurzer Lieferzeiten findet eine besonders starke Ausprägung im Just in time-Prinzip. Dabei wird verlangt, daß sich beim Lieferanten End- und Zwischenlager weitgehend vermeiden lassen. Unter dieser Voraussetzung kann auf schwankende Absatzbedingungen nur dann mit niedrigen Lieferzeiten reagiert werden, wenn die Durchlaufzeiten von Produktionsaufträgen entsprechend gering ausfallen. Die Empfehlung, das Just in time-Prinzip auch der Prozeßkoordinierung in flexiblen Fertigungssystemen zugrunde zu legen, wurde bereits erwähnt. Vgl. darüber hinaus zur Verknüpfung dieses Koordinierungsprinzips mit dem Ziel niedriger Durchlaufzeiten WILDEMANN (1987a), S. 220; JAROSCH (1988), S. 202; KERN, W. (1991), S. 12; PICOT (1991a), S. 27.

132) Vgl. zum Ziel, die Losgröße "Eins" als extreme Nutzungsform flexibler Produktionsweisen zu verwirklichen, JUNGHANNS (1976), S. 90 ("weitgehend losgrößenunabhängig arbeiten") u. 118; SELIGER (1983), S. 140 ("Abkehr von der losweisen Fertigung"); HARTLEY (1984), S. 17, 256 u. 271; GOLDHAR (1984), S. 575 u. 577; KNOLMAYER (1984), S. 201; MERTINS (1985a), S. 69; ZELEWSKI (1986a), S. 1244 u. 1265; WEDEKIND (1986b), S. 3; WEDEKIND (1987a), S. 83f.; HELBERG (1987), S. 48 u. 63; KOCHAN, D. (1986), S. 41, 61, 82 u. 85f.; HINTZ (1987), S. 48; ZIMMERMANN, G. (1988), S. 479; WILDEMANN (1988i), S. 347ff.; WILDEMANN (1988f), S. 225; URBAN (1988), S. 356; SCHLINGENSIEPEN (1988a), S. 15; o.V. (1988i), S. 23; o.V. (1988n), S. 25; EVERSHEIM (1989b), S. 67; KOHEN (1989), S. 40; SCHEER (1989h), S. 33; KERN, W. (1990a), S. 237; SCHEER (1990c), S. 225; WILDEMANN (1990a), S. 623 i.V.m. S. 617; KNOLMAYER (1990b), S. 425ff. (distanziert) i.V.m. S. 429; SAURENBACH (1991), S. 8 u. 10.

Vgl. auch FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 534ff.; MERTINS (1985a), S. 160ff., und MERTINS (1985b), S. 255ff.; WILDEMANN (1987a), S. 346ff. In den vorgenannten Quellen sind mehrere reale Flexible Fertigungssysteme angeführt, die jeweils für Lose bis hinab zum Umfang "Eins" ausgelegt sind.

Allerdings wird die Losgröße "Eins" in gegenwärtig betriebenen flexiblen Fertigungssystemen oftmals noch nicht erreicht; vgl. EVERSHEIM (1989b), S. 67; KOHEN (1989), S. 40; vgl. auch die typischen Losumfänge flexibler Fertigungssysteme, die einleitend angesprochen wurden. In diesem Sinne formuliert PRITSCHOW (1991a), S. 1, für flexible Fertigungssysteme auch nur die bescheidenere Zielsetzung, "kleine Losgrößen ... zu fertigen." In ähnlicher Weise äußert sich VILLA (1988c), S. 357 ("medium-scale batches").

Plausible Erklärungen für das Abrücken vom Extrem der Losgröße "Eins" führen KNOLMAYER und LEMKE in KNOLMAYER (1990b), S. 425f., an: In klassischen Losgrößenmodellen müßten extrem kurze Umrüstzeiten - in der Größenordnung von wenigen Sekunden - realisiert werden, um die Losgröße "Eins" wirtschaftlich rechtfertigen können. Solche Umrüstzeiten ließen sich etwa durch bearbeitungsparalleles Umrüsten verwirklichen. Hinzu kommen noch erhebliche Investitionen für entsprechende Betriebsmittel, die zur Erzielung solcher Umrüstzeiten erforderlich wären. Allerdings hängen diese Erkenntnisse vom zugrundeliegenden Modell der wirtschaftlichen Losgröße und den vorausgesetzten Kosten- und Zeitparametern ab. Daher relativieren KNOLMAYER und LEMKE ihr eigenes Erklärungsangebot dadurch, daß das vorausgesetzte klassische Losgrößenmodell die produktionswirtschaftlichen Koordinierungsprobleme nur unzureichend erfasse (vgl. KNOLMAYER (1990b), S. 428). Auf S. 428ff. werden diese Vorbehalte durch eine Simulationsstudie vertieft. Diese Einschränkungen unterstützt JOHNSON, H. (1988), S. 25, aus einer anderen Perspektive: Er zeigt anhand einer einfachen, aber infolgedessen auch unmittelbar einsichtigen Argumentation auf, daß die klassischen Losgrößenmodelle einen Fehler 3. Art begehen. (Allerdings benutzt JOHNSON nicht explizit diesen speziellen Fehlerbegriff.)

133) Die beiden Ziele der Durchlaufzeitverringerung und der Losgrößenreduzierung lassen sich unabhängig voneinander verfolgen. Verkleinerungen der Losgrößen führen jedoch tendenziell auch zu einer Verkürzung der Durchlaufzeiten. Der durchlaufzeitverkürzende Effekt der Annäherung an die Losgröße "Eins" beruht auf der extremen Ausnutzung der Durchlaufzeitreduzierung durch überlappende Losfertigung. Vgl. zur Durchlaufzeitverringerung durch extrem reduzierte Losgrößen z.B. WILDEMANN (1988i), S. 347; JOHNSON, H. (1988), S. 25. Wegen dieses Mittel/Zweck-Verhältnisses wird das Ziel der Losgrößenreduzierung zumeist nur gemeinsam mit dem Ziel der Durchlaufzeitverringerung angestrebt. Die Umkehrung gilt hingegen nicht. Denn Durchlaufzeiten lassen sich auch auf andere Weise vermindern, als die Losgrößen zu verkleinern.

134) Zugleich wird hierdurch auch die Kapitalbindung im Umlaufvermögen durch Reduzierung der liegezeitbedingten Lagerhaltung vermindert; vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 27, 280, 283 u. 291; SCHMIDT, H. (1989), S. 12. Daher bedeutet der Pufferabbau sowohl eine Durchlaufzeit- als auch eine Lagerhaltungsreduzierung. Hier wird nur der Liegezeitaspekt explizit thematisiert. Vgl. aber zur gleichzeitigen Verfolgung der Ziele, in flexibel automatisierten Fertigungssystemen Durchlaufzeiten und kapitalbindende Lagerhaltung zu reduzieren, die beiden vorgenannten Quellen sowie WILDEMANN (1987a), S. 1; ARNING (1987), S. 113; WILDEMANN (1988f), S. 20; vgl. ebenso - allerdings ohne Bezug auf flexible Fertigungssysteme - RIEBEL (1987), S. 1154f.; ZEH (1988a), S. 205 u. 207; RIEBEL (1990), S. 632; WILLENBACHER (1991), S. 4.

Vgl. auch zur einseitigen Hervorhebung des Ziels, in flexiblen Fertigungssystemen die Kapitalbindung, die durch Lagerhaltung verursacht wird, zu reduzieren, FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 198, 421 u. 424; HARTLEY (1984), S. 1, sowie zur tatsächlichen Realisierung dieses Ziels FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 422; HARTLEY (1984), S. 156 u. 159f.

135) Vgl. zum Abfedern von Produktionsstörungen durch liegezeit- oder lagerbedingte Puffer BENZING (1981b), S. 225; WILDEMANN (1988f), S. 19; vgl. auch die Anmerkungen zur zeitlichen Präventivstrategie.

Liegezeiten können sich entweder derart auswirken, daß Situationsveränderungen entweder überhaupt nicht auf die ursprüngliche Produktionsplanung durchschlagen. Oder die Situationsveränderungen betreffen zwar zukünftig geplante Produktionsprozesse, können aber in dieser Wirkung bis zum Beginn der geplanten Prozeßausführung wieder kompensiert werden. Der erste Fall liegt z.B. vor, wenn sich die Bearbeitung eines Produktionsauftrags an einer Bearbeitungsstation zwar zeitlich verzögert, aber nicht auf den Produktionsplan auswirkt, weil im Ausgangslager der Bearbeitungsstation für den Auftrag eine Liegezeit eingeplant war, die größer als die tatsächliche Dauer der Bearbeitungsverzögerung ist. Der zweite Fall tritt dagegen z.B. dann ein, wenn während der Liegezeit eines Produktionsauftrags eine Betriebsstörung derjenigen Bearbeitungsstation eintritt, in deren Eingangslager sich der Auftrag aktuell befindet. Wenn die Betriebsstörung durch Reparaturmaßnahmen innerhalb der Liegezeit des Auftrags beseitigt werden kann, wird der Produktionsplan nicht betroffen. Die Planung solcher kompensierenden Reparaturmaßnahmen war schon früher aus dem Bereich der Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen ausgeschlossen worden. Daher gelten Reparatur- hier nicht als störungskorrigierende Anpassungsmaßnahmen. Statt dessen wird die Veränderung der Produktionssituation, die durch die Betriebsstörung einer Bearbeitungsstation eingetreten ist, während der Liegezeit des Produktionsauftrags so kompensiert, daß *aus der Perspektive der Prozeßkoordinierung* überhaupt keine eingriffsrelevante Produktionsstörung geschehen ist.

136) Der Zusammenhang, daß sich die Erfüllung knapp bemessener Durchlaufzeiten (Lieferfristen) bei Verzicht auf umfangreiche Zwischen- und Endlager in stark schwankenden Produktionssituationen niederschlagen kann, findet sich bei SCHAEFER, F. (1980), S. 2f. Auch HELBERG (1987), S. 176, führt die angestrebte Verkürzung von Durchlaufzeiten als Argument für eine Komplizierung der Prozeßkoordinierung in flexiblen Fertigungssystemen an. Doch begründet er dies nicht auf der Basis reduzierter Liegezeiten. Statt dessen bezieht er sich auf eine Verringerung der Reaktionszeiten, die für Steuerungsentscheidungen offenblieben. Auf *welche Weise* die Reaktionszeiten reduziert werden sollen, erklärt HELBERG jedoch nicht. Ebenso knüpft RIEBEL die "Fähigkeit zu aperiodischen schnellen Plananpassungen" u.a. an den Kontext reduzierter Durchlaufzeiten, ohne die Art des Zusammenhangs näher auszuführen; vgl. RIEBEL (1987), S. 1155; RIEBEL (1990), S. 632f.

137) In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Schwierigkeiten konventioneller Koordinierungskonzepte, rasche Anpassungsplanungen zu ermöglichen, schon ausführlich dargelegt. Daher überrascht es nicht, daß WINTER, R.O. (1991), S. 2, angesichts "der Erhöhung der Lieferbereitschaft und der Verkürzung von Lieferzeiten" eine "Unplanbarkeit" der Fertigung konstatiert.

138) Vgl. zur expliziten Würdigung von Realzeitaspekten bei der Prozeßkoordinierung in flexiblen Fertigungssystemen SPUR (1980), S. 365, 376 u. 380; SCHLINGENSIEPEN (1988a), S. 16; ZEH (1988a), S. 208 (als "Wünsche in Richtung einer echtzeitfähigen Fertigungssteuerung")

139) Vgl. dazu auch die Erläuterung des revidierten Planungsverständnisses, das dieser Arbeit zugrundeliegt.

140) Bezugspunkt ist hier das passive Störungsmanagement, das in konventionellen PPS-Systemen betrieben wird. Es erstreckt sich vor allem auf das Einfrieren von Produktionsplänen oder auf die Störungsabsorption mit der Hilfe von Material- und Zeitpuffern.

141) Wie das oben geäußerte Desiderat eingelöst werden kann, wurde bereits anhand des opportunistischen Koordinierungskonzepts skizziert. Es leistet ein aktives Störungsmanagement, das darauf spezialisiert ist, aufwendige Neudurch rasch ausführbare Anpassungsplanungen abzulösen. Vgl. darüber hinaus die späteren Ausführungen zur Robustheits- und Promptheitsanalyse von Netzmodellen. Sie zeigen in exemplarischer Weise Details auf, die zur konkreten Ausgestaltung eines aktiven Störungsmanagements beitragen können.

Auf eine Besonderheit von Konzepten für die Prozeßkoordinierung unter Realzeitbedingungen wird hier am Rande hingewiesen. Sie betrifft die zeitliche Trennung zwischen Aktionsplanung und Aktionsausführung, die im Rahmen konventioneller Produktionsplanungen, insbesondere auch bei entsprechenden Optimierungsansätzen, üblich ist. Denn unter Realzeitbedingungen ist es nicht mehr möglich, Planungs- und Ausführungsphase durch einen Zeitpunkt der Planfreigabe voneinander zu trennen. Die Realzeitsteuerung von Produktionsprozessen zeichnet sich vielmehr dadurch aus, daß die Ausführung von - früher geplanten - Aktionen und die Planung von - später auszuführenden - Aktionen zeitgleich ablaufen. Dies wird mitunter als Nebenläufigkeit oder Parallelität der Planung und Ausführung von Produktionsprozessen herausgestellt; vgl. DORN (1989), S. 142f. u. 156. Vgl. auch die Anmerkungen zur prozeßbegleitenden Planung, die allerdings nicht in den Kontext von Realzeitbedingungen eingeordnet waren. Des öfteren wird der Sachverhalt, daß Prozesse unter Realzeitbedingungen nebenläufig geplant und ausgeführt werden, auch als ununterbrochene Prozeßkoordinierung thematisiert; vgl. DORN (1989), S. 3, 121 u. 148.

2.6 Der problemtheoretische Rahmen

Das problemtheoretische Strukturierungsparadigma¹⁾ bereichert die Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen um keine Determinanten, die nicht schon anläßlich der system- und entscheidungstheoretischen Paradigmen inhaltlich angesprochen worden wären. Daher erstaunt es nicht, daß problemtheoretisch motivierte Untersuchungen von Koordinierungsproblemen - zumindest in produktionswirtschaftlichen Kontexten - selten präsentiert werden. Dennoch wird in dieser Arbeit dem problemtheoretischen Ansatz aus zwei Gründen größere Beachtung geschenkt. Erstens gestattet er, system- und entscheidungstheoretische Aspekte in einem homogenen Konzept der Problembewältigung einzubetten. Zweitens erlaubt eine herausragende Facette der Problemtheorie, das Konstrukt der Problemgraphen, die Integration von Beiträgen der Graphentheorie²⁾. Sie werden später genutzt werden, um das Petrinetz-Konzept um Erreichbarkeitsgraphen und deren Auswertung zu bereichern. Die darauf gründende Erreichbarkeitsanalyse wird die wichtigste Auswertungstechnik für Netzmodelle darstellen.

Ausgangspunkt der Problemtheorie ist es, Probleme in der Gestalt von Problemsystemen³⁾ zu konzeptualisieren. Bei den hier behandelten Koordinierungsproblemen fällt jedes Problemsystem mit dem Modell desjenigen Produktionssystems zusammen, dessen Produktionsprozesse koordiniert werden sollen. Der Ausgangszustand eines Problemsystems ist der Zustand des Produktionsmodells, der zu Koordinierungsbeginn vorliegt. Eine nicht-leere Menge von erwünschten⁴⁾ Endzuständen gibt an, in welchen Zuständen sich das Produktionsmodell am Ende einer sachlich zulässigen Prozeßkoordinierung befinden soll⁵⁾. Jeder erwünschte Endzustand des Problemsystems zeichnet sich dadurch aus, daß in ihm alle Sachziele des Entscheidungsträgers erfüllt sind. Die Übergänge zwischen zwei benachbarten Zuständen⁶⁾ des Problemsystems werden durch die bereits erläuterten nicht-leeren Ereignismengen bewirkt⁷⁾. Jeder Zustandsübergang⁸⁾ läßt sich mit denjenigen Beiträgen bewerten, die er zur Erfüllung aller Formalziele des Entscheidungsträgers beisteuert⁹⁾.

Ein sachlich wohldefiniertes Problem i.w.S. liegt aus problemtheoretischer Perspektive vor, wenn für sein Problemsystem gilt: Der Ausgangszustand, eine nicht-leere Menge erwünschter Endzustände und eine Menge zustandstransformierender Ereignisse¹⁰⁾ sind jeweils korrekt¹¹⁾ spezifiziert¹²⁾. Ein formal wohldefiniertes Problem i.w.S. zeichnet sich hingegen dadurch aus, daß es nicht nur sachlich wohldefiniert ist. Darüber hinaus muß es auch ein korrekt definiertes Formalzielsystem besitzen. Schließlich müssen alle Zustandsübergänge, die durch zustandstransformierende Ereignisse bewirkt werden können, bezüglich dieses Formalzielsystems bewertet sein¹³⁾. Von einem wohldefinierten Problem i.w.S. wird fortan gesprochen, wenn es sich um ein entweder sachlich oder aber formal wohldefiniertes Problem i.w.S. handelt¹⁴⁾.

Ein wohldefiniertes Problem i.w.S. heißt unecht oder entartet, falls sein Ausgangszustand in der Menge erwünschter Endzustände enthalten ist. Andernfalls - wenn der Ausgangszustand mit keinem der erwünschten Endzustände zusammenfällt - heißt das Problem i.w.S. ein echtes oder nicht-entartetes Problem i.w.S. Ein echtes Problem i.w.S. wird als degeneriert oder trivial eingestuft, wenn mindestens einer seiner erwünschten Endzustände von seinem Ausgangszustand aus durch genau einen Zustandsübergang erreicht werden kann¹⁵⁾. Ein echtes Problem i.w.S. heißt dagegen nicht-degeneriert oder nicht-trivial, wenn es nicht möglich ist, durch nur eine nicht-leere Ereignismenge vom Ausgangszustand des Problemsystems unmittelbar zu mindestens einem seiner erwünschten Endzustände zu gelangen. Dann besteht eine nicht-triviale oder "wesentliche" Diskrepanz¹⁶⁾ zwischen dem Ausgangszustand und der Menge aller erwünschten Endzustände. Jedes echte und nicht-triviale Problem i.w.S. stellt ein

Problem i.e.S. dar¹⁷⁾. Fortan wird nur noch auf Probleme i.e.S. eingegangen, sofern keine ausdrücklich abweichenden Festlegungen erfolgen. Daher werden sie auch nur kurz als Probleme angesprochen.

Prozesse, die sich in einem Problemsystem ausführen lassen, werden in der gleichen Weise definiert wie die früher konzeptualisierten Prozesse in Produktionssystemen: Ein Prozeß im Problemsystem ist eine alternierende Folge von Zuständen des Problemsystems und zustandstransformierenden, nicht-leeren Ereignismengen. Um ein Koordinierungsproblem zu lösen, wird in seinem Problemsystem nach Prozessen gesucht, die jeweils drei charakteristische Anforderungen erfüllen sollen:

- ❑ Jeder Prozeß beginnt im Ausgangszustand des Problemsystems.
- ❑ Er erreicht durch Geschehnisse der Ereignisse aus zustandstransformierenden Ereignismengen mindestens einen der erwünschten Endzustände.
- ❑ Die Bewertungen der bewirkten Zustandsübergänge erfüllen das Formalzielsystem des Entscheidungsträgers in der intendierten - satisfizierenden, meliorisierenden oder optimierenden - Weise.

Prozesse, welche die beiden ersten Bedingungen erfüllen, heißen fortan sachlich zulässige Prozesse. Falls sie allen drei Anforderungen gerecht werden, heißen sie intendierte Prozesse. Jeder Prozeß, der in einem Problemsystem ausgeführt werden kann, stellt genau dann eine zulässige oder intendierte Lösung des untersuchten Koordinierungsproblems dar, wenn es sich um einen sachlich zulässigen bzw. intendierten Prozeß handelt. Wenn es nicht erforderlich ist, zwischen der sachlichen Zulässigkeit und der formalen Intendiertheit eines Prozesses zu unterscheiden, wird auch kurz von einem problemlösenden Prozeß gesprochen.

Die Bearbeitung¹⁸⁾ eines Koordinierungsproblems erfolgt dadurch, daß in seinem Problemsystem nach intendierten Prozessen gesucht wird. Das Problem heißt gelöst, wenn mindestens ein intendierter Prozeß gefunden wurde. Das Problem erweist sich dagegen als unlösbar, falls erkannt wird, daß es grundsätzlich ausgeschlossen ist, in ihm jemals einen intendierten Prozeß aufzufinden¹⁹⁾. Schließlich wird das Problem als bewältigt bezeichnet, wenn es entweder gelöst oder aber seine Unlösbarkeit bekannt ist.

Die problemtheoretische Strukturierung von Koordinierungsproblemen geht erst dann über einen rein terminologischen Rahmen hinaus, wenn die Suche nach intendierten Prozessen (Problemlösungen) im Problemsystem selbst als ein Prozeß höherer Art - als ein Suchprozeß - konzeptualisiert wird²⁰⁾. Diese Perspektive wird insbesondere seitens der Erforschung Künstlicher Intelligenz eingenommen²¹⁾. Sie führt zum Konzept der Problemgraphen, dessen bedeutsame Rolle für diese Arbeit bereits einleitend erwähnt wurde.

Die Gestaltung von Suchprozessen in Problemgraphen geht von der dynamischen Struktur des Problemsystems aus. Diese dynamische Systemstruktur wird durch die Menge aller Zustände des Problemsystems (Zustandsmenge) und die Menge aller Zustandsübergänge (Übergangsmenge) gebildet. Zustands- und Übergangsmenge zusammen spannen einen abstrakten "Raum" auf, in dem die Suche nach problemlösenden Prozessen geschieht. Es wird auch als Zustandsraum des Problemsystems²²⁾, als Lösungsraum des zugrundeliegenden Koordinierungsproblems²³⁾ oder als Suchraum für die Suche nach Problemlösungen bezeichnet. Die spezielle Konstitution des Zustandsraums²⁴⁾ legt es nahe, den Zustandsraum durch einen gerichteten Graphen zu repräsentieren. Seine Knotenmenge ist mit der Zustandsmenge identisch. Seine Kantenmenge fällt mit der Übergangsmenge zusammen. Das Paar aus dieser Knoten- und Kantenmenge stellt einen gerichteten Graphen dar, der die dynamische Struktur des Problemsystems vollständig und explizit repräsentiert. Es handelt sich um den Problemgraphen des zugrundeliegenden Koordinierungsproblems. Falls im Problemsystem die Zustandsübergänge hinsichtlich ihrer Beiträge zur Formalzielerfüllung bewertet sind, werden die

Kanten des Problemgraphen mit den jeweils zugehörigen Übergangswerten beschriftet. Dann liegt ein beschrifteter (bewerteter) gerichteter Graph vor.

Die Suche nach einem problemlösenden Prozeß nimmt im Problemgraphen²⁵⁾ folgende Gestalt an: Es wird versucht, einen Weg im Graphen zu konstruieren, der im Knoten für den Ausgangszustand des Problemsystems beginnt und schließlich in einem der Knoten von erwünschten Endzuständen des Problemsystems endet. Jeder solche Weg stellt per constructionem im Problemsystem einen sachlich zulässigen Prozeß dar. Soll darüber hinaus ein intendierter Prozeß gefunden werden, so wird nach einem Weg im Problemgraphen gesucht, dessen Bewertung²⁶⁾ das Formalzielsystem des Entscheidungsträgers in der jeweils gewünschten Weise erfüllt.

Für die lösungssuchende Konstruktion von Wegen in Problemgraphen hält die Erforschung Künstlicher Intelligenz eine breite Palette von Suchkonzepten zur Verfügung²⁷⁾. Dieses Erkenntnispotential wird auch in dieser Arbeit genutzt, um die Auswertung von Netzmodellen für Koordinierungsprobleme zu befruchten.

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Vgl. zu Überblicken über die problemtheoretische Konzeptualisierung von Untersuchungsobjekten ACKOFF (1962), S. 28 u. 30ff.; REITMAN (1964), S. 282ff.; EASTMAN, C. (1969), S. 669ff.; ULRICH, H. (1970), S. 138ff.; KEPNER (1971), insbesondere S. 54ff. (mit Ausrichtung auf die Managementpraxis); HEINEN (1972), S. 3ff.; SIMON, H. (1973a), S. 181ff.; NEWELL (1976), S. 409ff.; PFOHL (1977), S. 13ff., 38ff. u. 69ff.; ABEL, B. (1977), S. 93ff.; KIRSCH (1978), S. 29ff., 64ff. u. 140ff.; BRETZKE (1978b), S. 140ff.; ACKOFF (1978); WITTE, T. (1979a); DÖRNER, D. (1979); HERRMANN, T. (1979), S. 210(ff.); PFOHL (1980), Sp. 1917ff.; MASON, R. (1981), S. 18ff.; VAN GUNDY (1981); KIRSCH (1983), S. 207ff.; HUBER, O. (1983), S. 59; JACKSON, M.C. (1984), S. 473ff.; KIRSCH (1984), S. 231ff.; HOFMANN, J. (1985); SCHAEFER, R. (1985), S. 2ff., 50ff. u. 179ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 127ff. u. 236ff.; vgl. auch die Beiträge in dem Sammelwerk MAIER, N. (1970), S. 82ff.; KEYS (1986), S. 229ff.; EUL-BISCHOFF (1987), S. 38ff.; SELL (1988); PROBST (1988), S. 1151ff.; LOPARIC (1988), S. 107ff.; MARTIN, A. (1989), S. 276ff.; KLEE, H. (1989), S. 18ff.; DORN (1989), S. 118ff.

Das problemtheoretische Strukturierungsparadigma wird auch durch das Planungskonzept der Linearen Beweise erfüllt. Es wird allerdings nicht explizit in den problemtheoretischen Kontext eingebettet. Vgl. zum Konzept Linearer Beweise FRONHÖFER (1987), S. 15ff., und BIBEL (1989), S. 50ff. Vgl. des weiteren auch die Ausführungen von MÄDLER (1990), S. 86ff., zu linearen Plänen. Sie werden zwar nicht ausdrücklich auf Lineare Beweise gegründet, stimmen aber mit linear bewiesenen Plänen konzeptionell überein.

2) Konzeptionelle und terminologische Grundlagen der Graphentheorie werden in dieser Arbeit als bekannt vorausgesetzt. Vgl. zu Überblicken darüber TROBMAN (1990), S. 99ff.

3) Problemsysteme werden hier auch als problembeschreibende oder -spezifizierende Systeme angesprochen. Sie werden vornehmlich in der Literatur zur Erforschung Künstlicher Intelligenz thematisiert, allerdings unter vielfach variierenden Bezeichnungen. Z.B. wird dort häufig von einem "state space approach" gesprochen. Dabei steht die dynamische Struktur eines Problemsystems im Vordergrund, die durch den abstrakten "Raum" aller zulässigen Systemzustände konstituiert wird. Aus einer anderen Perspektive, welche die graphische Repräsentation dieses Zustandsraums betont, wird von Problemgraphen geredet. Sie werden nachfolgend noch präzisiert.

Vgl. zu solchen Problemsystemen und ihren abstrakten Zustandsräumen, zu Problemgraphen sowie zum "state space approach" NEWELL (1965), S. 198f.; ERNST (1969), S. 17ff.; POHL (1970), S. 193ff., insbesondere S. 195; NEWELL (1972), S. 98ff.; ITZINGER (1976), S. 97f.; WINSTON (1977), S. 87ff.; POHL (1977), S. 58f.; PFOHL (1977), S. 22ff. u. 178f.; MEIBNER (1978), S. 12f., 25ff. u. 31ff.; WITTE, T. (1979a), S. 34ff. u. 45f.; SHAPIRO, S.C. (1979a), S. 1ff.; POSPELOV, D. (1979), S. 45ff.; NILSSON, N. (1980a), S. 25, 27f., 54, 61ff. u. 99ff.; BANERJI (1980), S. 17; FARLEY (1980), S. 446f.; PYLYSHYN (1980), S. 431; BARR, A. (1981), S. 25f. u. 32ff.; GEORGEFF (1981), S. 563f.; RICH (1983), S. 25ff. u. 60ff.; GRAHAM, N. (1983), S. 21ff. u. 29ff.; GEVARTER (1983), S. 8ff.; KOWALSKI (1983a), S. 75ff.; GELERNTER (1983), S. 288ff.; HUBER, O. (1983), S. 59ff.; LAIRD (1983), S. 771; SCHAEFER, R. (1985), S. 52ff. u. 203ff.; HOFMANN, J. (1985), S. 49; HERTZBERG (1986), S. 152(ff.); ZELEWSKI (1986a), S. 237ff. (problemspezifisierende Systeme) u. 242ff. (Problemgraphen); STEEL (1987), S. 208ff.; MURATA, T.A. (1988b), S. 486; DORN (1989), S. 5ff.; WINTER, R.O. (1991), S. 143f.

4) Problemsysteme können auch unerwünschte Endzustände enthalten. Solche "Deadlocks" werden im Kontext des Petrinetz-Konzepts noch ausführlich behandelt werden.

5) Die Menge der erwünschten Endzustände kann auch implizit definiert werden durch ein Prädikat, das sich auf beliebige Zustände des Problemsystems als Argumente beziehen läßt. Dieses Prädikat ist genau dann gültig, wenn der Systemzustand seines Arguments einen erwünschten Endzustand darstellt. Ebenso kommen Prozeduren in Betracht, die für jeden präsentierten Systemzustand zu entscheiden gestatten, ob es sich entweder um einen oder aber um keinen erwünschten Endzustand handelt. Vgl. zur impliziten Definition erwünschter Endzustände durch solche Entscheidungsprozeduren ERNST (1969), S. 20; WINTER, R.O. (1991), S. 143.

6) Solange diese Zustände nicht ausdrücklich als unzulässige Systemzustände ausgewiesen werden, handelt es sich stets um zulässige Systemzustände.

7) In dieser Hinsicht wird von der sonst üblichen Vorgehensweise, wie sie sonst bei der Konzeptualisierung von Problemsystemen vorherrscht, bewußt abgewichen. Denn dort werden Zustandsübergänge in der Regel durch das Ausführen von atomaren Operationen bewirkt. Dies bedeutet, daß jedes Ausführen einer atomaren Operation genau *einen* Zustandsübergang hervorruft. In dieser Arbeit gilt dies nicht mehr. Denn atomare Operationen wurden früher als Arbeitsgänge eingeführt. Solche atomaren Operationen besitzen jeweils genau ein Start- und genau ein Endereignis. *Jedes* dieser beiden Ereignisse kann einen Zustandsübergang bewirken oder zumindest an einer mehrelementigen Menge von Ereignissen teilhaben, die in ihrer Gesamtheit einen Zustandsübergang hervorbringen. Daher ist das Ausführen einer atomaren Operation hier mit *zwei* Zustandsübergängen verknüpft.

8) Jeder Zustandsübergang, der nicht ausdrücklich als unzulässig bezeichnet wird, stellt einen zulässigen Zustandsübergang dar.

9) Falls sich ein Zustandsübergang auf die Erfüllung eines Formalziels nicht auswirkt, wird dies als Nullbeitrag explizit ausgewiesen.

Neben den Zustandsübergängen könnten auch die Zustände des Problemsystems bewertet werden. Diese doppelte Bewertung findet sich z.B. bei HOFMANN, J. (1985), S. 49. Der Verf. folgt diesem Ansatz jedoch nicht. Dies wird er später im Kontext des Petrinetz-Konzepts näher begründen; vgl. insbesondere den späteren Hinweis auf die Gefahr eines "double accounting".

10) Seitens der Problemtheorie wird anstatt dieser letztgenannten Menge gewöhnlich die Menge aller Operationen (Operatoren) angeführt, die sich in zustandstransformierender Weise anwenden lassen.

11) Korrektheit wird hier als Oberbegriff zu Eindeutigkeit, Vollständigkeit und Konsistenz verstanden; vgl. ÖSTERLE (1981), S. 48ff. Abundanz- und Redundanzfreiheit werden dagegen von einer korrekten Sachverhaltsdefinition nicht gefordert; vgl. dazu ZELEWSKI (1986a), S. 636, Fn. 1. Abweichender Ansicht ist dagegen z.B. WINTER, RO. (1991), S. 68. Er fordert eine weitgehende Eliminierung aller redundanten Komponenten von Problembeschreibungen. An späterer Stelle - und in einem speziellen informationstechnischen Argumentationszusammenhang - spricht sich jedoch auch WINTER, RO. (1991) zugunsten einer kontrollierten Redundanz aus (S. 253).

Die Definition eines Sachverhalts gilt als eindeutig, wenn der definierte Sachverhalt von allen Rezipienten, die das jeweils implizit vorausgesetzte Hintergrundwissen teilen und den explizit angeführten Definitionskontext würdigen, in gleichartiger Weise verwendet wird. Dabei ist eine identische Verwendungsweise weder notwendig - vgl. dazu die Anmerkung zu begrifflicher Synonymie - noch im strengen Sinne einlösbar. Auf die zugrundeliegende fundamentale Unbestimmtheit jeder Terminologie kann hier nur hingewiesen werden. Sie wird zumeist als Unbestimmtheit der Übersetzung zwischen unterschiedlichen Terminologien oder Sprachsystemen thematisiert. Unter welchen Bedingungen nicht-identische Verwendungsweisen eines Sachverhalts noch als gleichartig betrachtet werden, wird hier nicht näher festgelegt. Statt dessen werden sie der expliziten Vereinbarung oder dem implizit geteilten Vorverständnis der Rezipienten überlassen.

Eine Sachverhaltsdefinition gilt als vollständig, wenn sie alle Aspekte enthält, die zur Erfüllung des Definitionszwecks erforderlich sind. Die Wahl des Definitionszwecks wird hier nicht eingeschränkt. Hinsichtlich der Konsistenz einer Sachverhaltsdefinition wird auf die früheren Anmerkungen zur Widerspruchsfreiheit von Argumentationszusammenhängen und von Zielsystemen verwiesen.

12) Dies entspricht in einer ersten Annäherung der vorherrschenden Einstellung in der problemtheoretischen Literatur, Probleme durch dreistellige Vektoren zu definieren. Jedes dieser Problemtripel besteht aus dem Ausgangszustand eines problemspezifizierenden Systems, einem erwünschten Endzustand für dasselbe System und der Menge aller Operationen (Operatoren), die auf die Systemzustände in zustandstransformierender Weise angewendet werden können. Vgl. zu solchen Problemtripeln REITMAN (1964), S. 284 (ff.); EASTMAN, C. (1969), S. 669 u. 671; KIRSCH (1977b), S. 145ff. (ohne den dort angeführten Prozeßbezug); ABEL, B. (1977), S. 97; MEIBNER (1978), S. 12; WITTE, T. (1979a), S. 38 u. 42ff., insbesondere S. 45; SZYPERSKI (1981), S. 13 (indirekt); EUL-BISCHOFF (1987), S. 48.

Von dieser konventionellen Problemdefinition durch Problemtripel wird hier jedoch zunächst in zweifacher Hinsicht abgewichen. (Dartüber hinaus erfolgt in Kürze noch eine Definitionserweiterung um den Aspekt der Formalziele.)

Erstens wird nicht nur ein erwünschter Endzustand des Problemsystems, sondern eine nicht-leere Menge solcher Endzustände zugelassen. Hierin liegt eine nicht nur formale Verallgemeinerung des konventionellen Definitionsansatzes. Statt dessen findet auch eine materiell bedeutsame Ausweitung statt. Denn zahlreiche Sachziele der Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen lassen sich nicht nur durch genau einen erwünschten Endzustand des Problemsystems spezifizieren. Beispielsweise wird das Sachziel, einen bestimmten Auftrag abzuwickeln, durch alle Systemzustände erfüllt, in denen dieser Auftrag tatsächlich fertiggestellt ist. Diese Systemzustände können sich hinsichtlich einer Fülle von Merkmalen unterscheiden, z.B. bezüglich der Mengen angearbeiteter Werkstücke, die sich innerhalb des Produktionssystems in Zwischenlagern befinden. Daher wird hier der Standpunkt vertreten, das Sachzielsystem des Koordinierungsträgers durch eine - beliebig komplexe - (prädikaten-)logische Formel zu beschreiben. Als erwünschte Endzustände werden alle Systemzustände betrachtet, in denen diese Formel gültig ist. Dies können auch mehrere, im Prinzip sogar unendlich viele Systemzustände sein. Falls die Problemdefinitionen der problemtheoretischen Literatur diese eine zustandsauszeichnende Formel meinen sollten, wenn sie im Problemtripel vom einen (erwünschten) Endzustand des Problemsystems sprechen, so teilt der Verf. diese Ansicht durchaus. Nur müßte dann präzise von einer Formel - und nicht von einem Zustand gesprochen werden. In die gleiche Richtung weisen die Anmerkungen bei REITMAN (1964), S. 288, zu möglichen Auffächerungen (Sublisten) von Komponenten eines Problemtripels. Explizit eine Menge von (erwünschten) Endzuständen nennt sogar MEIBNER (1978), S. 12.

Zweitens kann wegen der früheren Konzeptualisierung dynamischer Systemstrukturen, die auf Ereignismengen anstelle von Operationen aufbaute, hier nicht dem Ansatz einer Operationen- oder Operatorenmenge gefolgt werden. Statt dessen wird in dieser Arbeit von nicht-leeren Ereignismengen ausgegangen, deren Geschehnisse die Übergänge zwischen je zwei unmittelbar aufeinander folgenden Systemzuständen bewirken. Diese Ereignismengen stellen jeweils nicht-leere Teilmengen derjenigen Menge zustandstransformierender Ereignisse dar, die in der o.a. Problemdefinition als dritte Tripelkomponente angeführt wurde. Wie sich diese Teilmengen konkret bilden lassen, wird später anhand des Konzepts der Schaltschritte näher ausgeführt.

13) Vgl. HOFMANN, J. (1985), S. 49, der allerdings von einer Problemraumdefinition spricht. Die o.a. Problemdefinition liegt auch ZELEWSKI (1986a), S. 636 i.V.m. S. 634f. u. 237f., zugrunde, wird dort aber unter dem entgegengesetzten Aspekt schlechtstrukturierter Probleme thematisiert. Gegenüber der konventionellen Definition von Problemtripeln, die bereits in einer früheren Anmerkung angesprochen wurde, umfaßt die Definition von formal wohldefinierten Problemen i.w.S. als zusätzliche Komponente auch das Formalzielsystem des Koordinierungsträgers. Es erstaunt, daß sie in der problemtheoretischen, von der KI-Forschung maßgeblich beeinflussten Literatur nicht explizit gewürdigt wird. Ihre Einbeziehung in die Definition von formal wohldefinierten Problemen i.w.S. kann daher als ein Spezifikum der betriebswirtschaftlichen, entscheidungstheoretisch geprägten Perspektive betrachtet werden.

14) Auf der Basis - sachlich oder formal - wohldefinierter Probleme (i.w.S.) läßt sich eine weiterführende Unterscheidung zwischen wohl- und schlechtstrukturierten Problemen einführen. Sie wird zunächst nur auf wohldefinierte Probleme bezogen. Dabei wird an das Phänomen der Lösungsdefektheit angeknüpft. Aus dieser Perspektive gilt ein Problem genau dann als wohlstrukturiert, wenn es aufgrund seiner Problemformulierung wohldefiniert ist und wenn seine Problemlösungen ohne praktisch unüberwindliche Schwierigkeiten ermittelt werden können. Ein wohlstrukturiertes Problem ist daher ein wohldefiniertes und lösungsdefektfreies Problem. Ein wohldefiniertes Problem zählt dagegen zu den schlechtstrukturierten Problemen, falls es einen Lösungsdefekt aufweist. Es kann aber auch andere Anlässe der Schlechtstrukturiertheit von Problemen geben. Darauf scheint KIRSCH (1978), S. 38, anzudeuten, wenn er wohldefinierte - aber lösungsdefekte - Probleme als beinahe wohlstrukturiert bezeichnet. Alle Aspekte der Schlechtstrukturiertheit eines Problems, die sich nicht auf Lösungsdefekte zurückführen lassen, werden unter dem Begriff der Schlechtdefiniertheit zusammengefaßt. Daher liegt ein schlechtstrukturiertes Problem genau dann vor, wenn es sich entweder um ein schlechtdefiniertes oder aber um ein wohldefiniertes und lösungsdefektes Problem handelt.

Wegen der Möglichkeit von Lösungsdefekten garantiert die Wohldefiniertheit eines Problems noch nicht dessen praktische Lösbarkeit. Statt dessen bedeutet die Wohldefiniertheit nur, daß die Problemdefinition erlaubt, für jede *präsentierte* Problemlösung ein logisch präzise bestimmtes Entscheidungsproblem zu formulieren: Es gilt zu prüfen, ob die präsentierte - angebliche - Problemlösung tatsächlich eine sachlich zulässige oder formal intendierte Lösung des definierten Problems darstellt oder ob es sich um keine solche Problemlösung handelt. Damit ist noch keine Aussage darüber getroffen, ob sich dieses präzise formulierte Entscheidungsproblem - im Sinne einer positiven oder negativen Lösung - auch lösen läßt oder ob es sich als unentscheidbar herausstellt. Auf die Existenz unentscheidbarer Entscheidungsprobleme und ihre Konsequenzen für logisch basierte Modellierungskonzepte wird später noch ausführlich eingegangen. Darüber hinaus setzt die Formulierbarkeit des vorgenannten Entscheidungsproblems voraus, daß eine Problemlösung bereits vorliegt. Wie oder ob eine solche Problemlösung aufgefunden werden kann, bleibt für die Wohldefiniertheit eines Problems vollkommen unbeachtlich. Daher kann ein wohldefiniertes Problem durchaus den eingangs erwähnten Lösungsdefekt besitzen.

Die voranstehende Explikation der Wohldefiniertheit eines Problems stimmt mit der Literatur zur Problemtorie insoweit überein, als auch dort ein Problem genau dann als wohldefiniert (schlechtdefiniert) gilt, wenn für jede (mindestens eine) präsentierte Problemlösung (nicht) entschieden werden kann, ob es sich tatsächlich um eine Problemlösung handelt. Vgl. dazu MINSKY (1963), S. 408; REITMAN (1964), S. 282 u. 301ff., insbesondere S. 303f.; REITMAN (1965), S. 148; KLEIN, H. (1971), S. 32 u. 35; SIMON, H. (1973a), S. 183, Punkt 1 (ohne explizite Bezugnahme auf den Begriff der Wohldefiniertheit); KIRSCH (1977b), S. 147 u. 200; PFOHL (1977), S. 195; KIRSCH (1978), S. 31f.; DÖRNER, D. (1979), S. 13; SZYPERSKI (1980a), S. 78; ZELEWSKI (1986a), S. 635; HINTZ (1987), S. 87. Allerdings wird in den vorgenannten Quellen zwischen sachlich zulässigen und formal intendierten Problemlösungen nicht unterschieden. Dies spielt hier aber keine größere Rolle, da die Wohldefiniertheit eines Problems auf beide Lösungsarten analog zutrifft. Dagegen ist bemerkenswert, daß dort unterstellt wird, für ein wohldefiniertes Problem *immer* entscheiden zu können, ob jede präsentierte Problemlösung auch tatsächlich eine Problemlösung darstellt. Dies übersieht die o.a. und später vertiefte Schwierigkeit, daß Probleme existieren, für die trotz ihrer Wohldefiniertheit nicht garantiert werden kann, mit endlichem Ressourceneinsatz unter allen denkmöglichen Umständen zu entscheiden, ob eine präsentierte Lösung das untersuchte Problem auch tatsächlich löst. Entgegengesetzter Ansicht scheint SIMON, H. (1973a), S. 183, zu sein: Er fordert für das Prüfen einer präsentierten Problemlösung nicht nur ein wohlformuliertes ("definite") Prüfkriterium mit einem zugehörigen, automatisch ausführbaren Entscheidungsverfahren ("mechanizable process"), sondern ebenso die

praktische Lösungsmöglichkeit des o.a. Entscheidungsproblems ("processes postulated require only practicable amounts of computation").

Ein schlechtdefiniertes Problem liegt genau dann vor, wenn es sich nicht um ein wohldefiniertes Problem handelt. Aufgrund der oben vorgetragenen Entfaltung wohldefinierter Probleme kommen dafür grundsätzlich fünf Ursachen in Betracht. Erstens kann ein Initialisierungsdefekt vorliegen, weil der Ausgangszustand des Problemsystems nicht korrekt spezifiziert ist. Zweitens ist ein sachlicher Zielsetzungsdefekt möglich, der auf einer inkorrekten Definition des Sachzielsystems beruht. Sie führt dazu, daß die Menge erwünschter Endzustände ebenso wenig korrekt definiert ist. Beispielsweise kann diese Zustandsmenge leer sein, weil die Sachziele einander widersprechen. Drittens kommt ein Wirkungsdefekt in Betracht, der sich auf eine inkorrekte Definition der Menge zustandstransformierender Ereignisse zurückführen läßt. Viertens wird von einem formalen Zielsetzungsdefekt gesprochen, falls das Formalzielsystem des Koordinierungsträgers nicht korrekt definiert ist. Fünftens liegt ein Bewertungsdefekt vor, wenn sich nicht alle Zustandsübergänge im Problemsystems hinsichtlich ihrer Beiträge zur Erfüllung des - als korrekt vorausgesetzten - Formalzielsystems bewerten lassen. Die vorgenannten fünf Defektmöglichkeiten werden jedoch in dieser Arbeit nicht weiter behandelt. Vgl. statt dessen zur ausführlicheren Diskussion von Wirkungs-, Bewertungs- und Zielsetzungsdefekten, die sich in der Regel ebenso auf Lösungsdefekte erstreckt, WITTE, T. (1979a), S. 76ff.; ADAM, D. (1979), S. 382ff.; WITTE, T. (1979b), S. 437ff.; WITTE, T. (1979c), S. 490ff.; ADAM, D. (1980a), S. 127ff.; ADAM, D. (1980b), S. 178ff.; ADAM, D. (1980c), S. 382ff.; RIEPER (1982), S. 438f.; ADAM, D. (1983a), S. 486f.; ADAM, D. (1983b), S. 14ff.; MÜLLER, A. (1987), S. 30ff.

Bezüglich der vorgenannten Quellen ist allerdings auf drei Besonderheiten hinzuweisen. Erstens werden dort Initialisierungsdefekte überhaupt nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für die Vorausschaufekte, die bereits thematisiert wurden. Zweitens werden dort Zielsetzungsdefekte anscheinend nur auf inkorrekte Definitionen von Formalzielsystemen bezogen, so daß sachliche Zielsetzungsdefekte ausgeklammert bleiben. Drittens wird in einigen der vorgenannten Quellen schon dann von einem Zielsetzungsdefekt gesprochen, wenn ein Formalzielsystem mit mehreren Optimierungszielen vorliegt und keine Problemlösung existiert, welche die Optima aller Einzelziele erfüllt. Darauf wurde schon eingegangen. Dies wird hier jedoch nicht als ein (formaler) Zielsetzungsdefekt behandelt, der Anlaß zur Schlechtstrukturiertheit eines Problems gäbe. Denn es ist nicht einzu- sehen, warum Probleme mit multidimensionalen Formalzielsystemen eine "schlechte" Struktur besitzen sollten. Sie lassen sich durchaus - etwa auf der Grundlage des Dominanzkonzepts der multikriteriellen Entscheidungstheorie - in übersichtlich strukturierter Weise behandeln.

Vgl. zu vertiefenden Erörterungen von wohl- und schlechtstrukturierten Problemen SIMON, H. (1958a), S. 4ff.; REITMAN (1964), S. 282ff. u. 299ff.; LUHMANN (1968), S. 183; NEWELL (1969), S. 363ff. u. 374f.; EASTMAN, C. (1969), S. 669ff.; KLEIN, H. (1971), S. 32ff.; HEINEN (1972), S. 3ff.; SIMON, H. (1973a), S. 181ff. u. 187ff.; NEWELL (1973), S. 55ff.; ROTHMAN (1976), S. 139; ABEL, B. (1977), S. 97ff.; KIRSCH (1977b), S. 141ff.; PFOHL (1977), S. 195ff., insbesondere S. 197; BRADLEY, S. (1977), S. 213ff.; KIRSCH (1978), S. 1f. u. 36ff.; MEIBNER (1978), S. 5ff.; WITTE, T. (1979a), S. 72ff.; ADAM, D. (1979), S. 382ff.; ADAM, D. (1980d), S. 50ff.; SIMON, H. (1980b), S. 337ff.; RIEPER (1982), S. 438f.; ADAM, D. (1983a), S. 485ff.; ADAM, D. (1983b), S. 13ff.; STADTLER (1983a), S. 6; BOSMAN (1983), S. 80; HOFMANN, J. (1985), S. 105ff. u. 230ff.; HARMON (1985), S. 28f.; HOFF, H. (1986), S. 35ff. u. 71ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 635ff.; EUL-BISCHOFF (1987), S. 59ff.; HINTZ (1987), S. 87ff.; HEINEN (1991b), S. 25f. u. 41ff.

Dabei weichen die vorgenannten Quellen in inhaltlichen Nuancen sowohl untereinander als auch von den oben vorgetragenen Festlegungen ab. Sie umfassen auch die oben angesprochenen schlechtdefinierten Probleme als Teilaspekt der Schlechtstrukturiertheit. Schließlich wird eine vielfach variierte Terminologie verwendet, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

15) Ein triviales Problem läßt sich aus dieser Perspektive durch Identifizieren von nur einer zustandstransformierenden, nicht-leeren Ereignismenge zu lösen. Die Problemtrivialität hätte auch in anderer Weise definiert werden können. Beispielsweise wäre es möglich, für triviale Probleme zu fordern, daß vom Ausgangszustand aus mindestens ein erwünschter Endzustand durch das Geschehen von nur einem Ereignis erreicht wird. Dieser Alternativansatz wird hier nicht weiter verfolgt. Er wird ohnehin von der oben definierten Problemtrivialität als derjenige Sonderfall umgriffen, in dem die Ereignismenge nur genau ein Element enthält.

16) Diese Diskrepanz wird oftmals als konstitutive Problemeigenschaft betrachtet. Dann bleiben jedoch alle trivialen und unechten Probleme i.w.S. aus der Betrachtung ausgeschlossen. Vgl. zur Betonung des Diskrepanzmerkmals von Problemen ULRICH, H. (1970), S. 138; BACKHAUSEN (1974), S. 37; PFOHL (1977), S. 22; ABEL, B. (1977), S. 94; PFOHL (1980), Sp. 1917; HOFMANN, J. (1985), S. 37ff., 41, 70 u. 188; ZELEWSKI (1986a), S. 127; EUL-BISCHOFF (1987), S. 39 u. 41; SELL (1988), S. 1; KLEE, H. (1989), S. 18.

17) Umgekehrt ist jedes Problem i.e.S. zugleich auch ein echtes und nicht-triviales Problem i.w.S.

18) Es kann auch vom Lösen oder Bewältigen eines Koordinierungsproblems gesprochen werden. Dies gilt jedoch nur in einer vereinfachenden Diktion. Strenggenommen nimmt das Bearbeiten von Problemen eine mittlere

Position zwischen ihrem Lösen und ihrem Bewältigen ein. Dies gilt zumindest dann, wenn der Differenzierung von ZELEWSKI (1986a), S. 130f., gefolgt wird. Demnach umfaßt das Bewältigen eines Problems drei Aspekte: das Erkennen der Existenz eines Problems (Problemwahrnehmung), das Lösen des Problems - sofern es sich um ein lösbares Problem handelt - (Problemlösung) sowie andernfalls die Einsicht in die Unlösbarkeit des Problems. In dieser Arbeit wird auf Schwierigkeiten der Problemwahrnehmung überhaupt nicht eingegangen. Wenn darüber hinaus vom Sonderfall unlösbarer Probleme abstrahiert wird, bleibt von den drei Aspekten der Problembewältigung nur noch das Lösen eines Problems übrig. Diese zweifache Vereinfachung, die sowohl von der Problemwahrnehmung als auch von mangelnder Problemlösbarkeit absieht, wird in dieser Arbeit grundsätzlich zugelassen. Falls es erforderlich erscheint, wird im aktuellen Argumentationskontext jeweils ausdrücklich auf die Denkmöglichkeit unlösbarer Probleme hingewiesen.

19) Es wird dann auch von einem inkonsistent spezifizierten Koordinierungsproblem (Problemsystem) gesprochen. Ein Koordinierungsproblem (Problemsystem) heißt dagegen konsistent, wenn bekannt ist, daß im Problemsystem mindestens ein intendierter Prozeß ausgeführt werden kann. Es ist dabei nur das Wissen über die *Existenz* eines solchen Prozesses erforderlich. Es braucht dagegen nicht bekannt zu sein, welche konkrete Gestalt dieser intendierte Prozeß besitzt.

20) Die Prozesse, die im Problemsystem ausgeführt werden können und unter Umständen die intendierten Prozesse darstellen, besitzen dann die Qualität von Objektprozessen. Beim Suchprozeß nach einem intendierten (Objekt-)Prozeß handelt es sich dagegen um einen Metaprozeß.

21) Vgl. zur grundlegenden Bedeutung, die dem Konzept der Lösungssuche in abstrakten Suchräumen im Rahmen der KI-Forschung zukommt, REITMAN (1964), S. 305ff.; FRÜCHTENICHT (1981), S. 39; SIMON, H. (1983a), S. 7f. u. 14ff.; LAIRD (1983), S. 771; ZELEWSKI (1986a), S. 241ff.

22) Diese Perspektive liegt dem "state space approach" zugrunde, der in einer früheren Anmerkung angesprochen wurde.

23) Es handelt sich allerdings um eine implizite Darstellung des Lösungsraums, weil die Problemlösungen nicht unmittelbar repräsentiert werden. Statt dessen müssen sie jeweils aus einem Weg durch den Lösungsraum gewonnen werden. Dies wird in Kürze skizziert.

24) Gemeint ist hiermit zunächst, daß die Konstituenten des Zustandsraums in die *zwei disjunkten Mengen* aller Systemzustände und aller Zustandsübergänge gegliedert werden können. Dies entspricht der dualen Zusammensetzung eines Graphen aus einer Knoten- und einer Kantenmenge. Hinzu kommen die *gerichteten* Verknüpfungen von je zwei unmittelbar aufeinander folgenden Systemzuständen durch genau einen Zustandsübergang. Sie korrespondieren mit der Auszeichnung einer Richtung für alle übergangsrepräsentierenden Kanten.

25) Die Suche nach einer Problemlösung in einem Problemgraphen läßt sich deshalb auch auf zwei äquivalente Weisen charakterisieren: als Lösungssuche im Zustandsraum des zugehörigen Problemsystems oder als Suche in demjenigen Lösungsraum, der durch Problemgraph oder -system implizit aufgespannt wird. Auf alle voranstehenden Ausdrucksweisen wird in dieser Arbeit zurückgegriffen.

26) Die Bewertung eines Wegs im Problemgraphen ist die Summe der Bewertungen aller Kanten, die zum jeweils betrachteten Weg gehören.

27) Dies wird hier noch nicht belegt. Vgl. statt dessen die spätere Diskussion solcher Suchkonzepte im Rahmen der Erreichbarkeitsanalyse von Netzmodellen und die dort angeführten Quellen.

2.7 Der semiotische Rahmen

Die semiotische Betrachtungsweise¹⁾ unterscheidet an jedem sprachlich²⁾ verfaßten Konstrukt eine syntaktische, eine semantische und eine pragmatische Dimension³⁾. Auch die Beschreibungen von Koordinierungsaufgaben in Flexiblen Fertigungssystemen und die hieraus abgeleiteten Netzmodelle werden in dieser Arbeit als sprachliche Konstrukte behandelt, die sich in ein semiotisches Denkmuster einfügen lassen.

Die unterste semiotische Erkenntnisschicht bildet eine formale Logik. Grundsätzlich kommen hierfür konkurrierende formale Logikkonzeptionen in Betracht⁴⁾. Ihre Eigenarten und Unterschiede werden später im Detail erörtert, sofern hiervon die Modellierung von Koordinierungsaufgaben in Flexiblen Fertigungssystemen betroffen ist⁵⁾. Aus der allgemeinen semiotischen Perspektive interessiert hier zunächst nur die grundsätzliche Charakteristik einer formalen Logik.

Ausgangspunkt jeder formalen Logik ist ein Kalkül⁶⁾ für die Erzeugung und die Kombination von kalkülspezifischen Zeichen, die fortan als formale Objekte angesprochen werden. Ein Kalkül besteht aus einer Menge formaler Objekte und einer Menge von Operationen, die auf formalen Objekten ausgeführt werden können. Die Ergebnisse der Operationsausführungen sind wiederum formale Objekte. Die erzeugten formalen Objekte können sowohl aus der ursprünglich vorgegebenen Menge formaler Objekte stammen als auch neuartige formale Objekte darstellen. Im ersten Fall wird von originären formalen Objekten gesprochen, im zweiten von emergenten formalen Objekten.

Formale⁷⁾ Objekte⁸⁾ sind Zeichen, denen keine Referenz auf äußere Entitäten zukommt⁹⁾. Formale Objekte besitzen vor allem¹⁰⁾ keine "Bedeutung"¹¹⁾ im Sinne einer - unten näher erklärten - denotationalen Semantik. Sie sind ausschließlich durch ihre "Form" bestimmt¹²⁾. Die Operationen, die auf den formalen Objekten ausgeführt werden dürfen¹³⁾, hängen nur von der Existenz, von den Formen und von den relativen Anordnungen¹⁴⁾ ihrer Operanden¹⁵⁾ ab¹⁶⁾. Diese formale Basis wird der Entfaltung Synthetischer Netze zugrundegelegt. Hierfür spricht die vielfach¹⁷⁾ geteilte Erfahrung¹⁸⁾, daß nur ein formales Fundament gestattet, komplexere Konzepte mit hoher Darstellungspräzision¹⁹⁾ und Transparenz²⁰⁾ auszustatten. Formalisierungen wirken sich ebenso auf die Folgerungsmächtigkeit²¹⁾ und die Folgerungszuverlässigkeit²²⁾ positiv aus. Hinzu kommt der Vorzug, daß formale Konzepte den befruchtenden Erkenntnistransfer zwischen Konzeptanwendungen erlauben, die zu vollkommen verschiedenen "Bedeutungssphären" gehören. Denn erst die Bedeutungsfreiheit eines formalen Konzepts gestattet es, dasselbe Konzept bei der Bearbeitung von material verschiedenartigen Objekten einzusetzen²³⁾. Schließlich erlauben formale Konzepte in der Regel, Sachverhalte wesentlich kompakter auszudrücken, als es mit natürlichsprachlichen Umschreibungen möglich ist²⁴⁾.

Der Kalkül einer formalen Logik besteht aus einem Alphabet und einem Regelsatz. Das Alphabet ist die Menge aller formalen Objekte, die für den Kalkül originär definiert sind (Buchstaben)²⁵⁾. Der Regelsatz ist die Menge aller Operationen, die auf den - originären oder emergenten - formalen Objekten des Kalküls ausgeführt werden dürfen²⁶⁾. Das Ergebnis jeder Operationsausführung ist wiederum ein formales Objekt. Die jeweils angewandte Operation wird daher als Formierungsregel²⁷⁾ bezeichnet. Das hierbei erzeugte Objekt heißt derivativ definiert. Alphabet und Regelsatz stellen jeweils nicht-leere Mengen dar. Das Alphabet kann sowohl endlich als auch abzählbar unendlich viele Buchstaben umfassen. Für den Regelsatz wird stets eine endliche Operationenanzahl vorausgesetzt. Alle formalen Objekte, die aus den originär definierten formalen Objekten des Kalküls mit Hilfe der kalkülspezifischen Formierungsregeln erzeugt werden können, stellen Ausdrücke (Worte) einer formalen Sprache dar²⁸⁾. Die Menge aller derart erzeugbaren Worte wird als eine formale Sprache 1. Stufe (Objektsprache) bezeichnet. Ihre Elemente heißen daher auch formalsprachliche Ausdrücke 1. Stufe oder objektsprachliche Aus-

drücke. Die Objektsprache kann - unabhängig von der Endlichkeit ihres zugrundeliegenden Alphabets - unendlich sein, weil sich die ausdrucks erzeugenden Operationen unbeschränkt oft wiederholt anwenden lassen. Der Kalkül, der eine Objektsprache erzeugt, wird als deren Syntax²⁹⁾ bezeichnet. Da eine Objektsprache durch ihren erzeugenden Kalkül vollständig determiniert ist, heißt sie rein syntaktisch bestimmt³⁰⁾. Jede formale Logik beruht auf einem solchen Kalkül als syntaktischer Basis.

Über der kalkülisierten syntaktischen Basis besitzt eine formale Logik im allgemeinen eine formale Semantik³¹⁾ (erster Ordnung). Diese Semantik ist eine Interpretation des zugrundeliegenden Kalküls³²⁾. Hierdurch werden Interpretationen der formalsprachlichen Ausdrücke 1. Stufe definiert³³⁾. Bei den Interpretationen handelt es sich um Abbildungen der Ausdrücke 1. Stufe auf formale Objekte einer 2. Stufe (Designata). Im Regelfall³⁴⁾ stellen diese formalen Objekte der 2. Sprachstufe Wahrheitswerte für die objektsprachlichen Ausdrücke 1. Stufe dar³⁵⁾.

Auch die Interpretationen objektsprachlicher Ausdrücke nehmen nur auf die Form dieser Ausdrücke Bezug. Daher handelt es sich jeweils um eine *formale* Semantik. Die interpretierten objektsprachlichen Ausdrücke, die als Kombinationen von objektsprachlichen Ausdrücken und formalen Objekten 2. Stufe vorliegen, können als formalsprachliche Ausdrücke *sui generis* aufgefaßt werden (metasprachliche Ausdrücke)³⁶⁾. Die Gesamtheit aller derart definierten metasprachlichen Ausdrücke bildet eine formale Sprache 2. Stufe, die Metasprache³⁷⁾.

Die formalsprachliche Hierarchisierung, die durch die metasprachliche Interpretation objektsprachlicher Ausdrücke initialisiert wurde, kann in beliebiger Weise durch formale Semantiken höherer Ordnungen induktiv fortgesetzt werden³⁸⁾. Hierdurch lassen formale Objekte jeder gewünschten Komplexität aufbauen: Ausgehend von den originär definierten formalen Objekten eines Alphabets wird über die objektsprachlichen Ausdrücke 1. Stufe zu höherstufigen formalsprachlichen Ausdrücken fortgeschritten³⁹⁾.

Beispielsweise lassen sich formale Beweissysteme⁴⁰⁾ einführen, die mit der voranstehend skizzierten formalen Semantik auf der 2. Sprachstufe konkurrieren⁴¹⁾. Hierbei werden formale Beweisoperationen auf objektsprachlichen Ausdrücken der 1. Stufe definiert. Die Ausführungen solcher Operationen stellen Ableitungen objektsprachlicher Ausdrücke aus anderen objektsprachlichen Ausdrücken dar (Inferenzen). Oder sie führen objektsprachliche Ausdrücke erstmals ein (Axiome). Inferenzen und Axiome sind metasprachliche Ausdrücke oder formalsprachliche Ausdrücke 2. Stufe. Sie verknüpfen die formalsprachlichen Ausdrücke 1. Stufe in Beweisketten miteinander bzw. definieren sie als potentielle Startpunkte von Beweisketten. Die Operationsdefinitionen, die zulässige Inferenzen und Axiome spezifizieren, heißen Inferenz-⁴²⁾ bzw. Axiom(bildungs)regeln⁴³⁾. Diese Regeln werden auch unter dem Begriff der Umformungsregeln zusammengefaßt⁴⁴⁾. Abermals nehmen sie nur auf die Form der involvierten Ausdrücke 1. Stufe - die objektsprachlichen Ausdrücke - Bezug. Daher handelt es sich auch hier um eine *formale* Semantik (erster Ordnung).

Die beiden voranstehend erläuterten Semantiken erster Ordnung konkurrieren miteinander, weil sie mit wechselseitig inkompatiblen begrifflichen Konzepten arbeiten: den Formelgültigkeiten bzw. den Formelableitungen. Um die beiden Semantiken voneinander zu unterscheiden, wird die erste als eine deklarative⁴⁵⁾, die zweite als eine operationale⁴⁶⁾ Semantik bezeichnet. Der Begriff der operationalen Semantik wird fortan jedoch nicht auf formale Beweissysteme eingeschränkt. Vielmehr bezieht er sich auf jede formale Semantik eines formalsprachlichen Kalküls, in der Veränderungen formaler Objekte durch Ausführen von formalen Operationen erklärt werden⁴⁷⁾. Diese Operationen nehmen nur auf innersprachlich definierte Objekte Bezug⁴⁸⁾, besitzen aber keinen Realitätsbezug⁴⁹⁾.

Des weiteren kann auf einer 3. Sprachstufe mit meta-metasprachlichen⁵⁰⁾ Mitteln untersucht werden, welche Eigenschaften das Konkurrenzverhältnis zwischen deklarativer und operationaler Semantik erfüllt. So läßt sich beispielsweise für die Prädikatenlogik zeigen, daß sich in ihrer Grundstufe Argumentationen auf der Basis von Formelgültigkeiten und solche auf der Grundlage

von Formelableitungen wechselseitig ineinander transformieren lassen⁵¹). Da sich auch diese Transformationseigenschaft durch formalsprachliche Ausdrücke erfassen und beweisen läßt, liegt abermals eine formale Semantik, nunmehr jedoch zweiter Ordnung vor.

Formale Logiken können also Hierarchien formaler Semantiken etablieren, in denen jeweils tiefere Sprachstufen durch höhere Sprachstufen interpretiert werden. Doch sind in formalen Semantiken niemals Bezugnahmen auf Entitäten außerhalb der jeweils eingeführten formalen Sprachen definiert. Formale Logiken kennen keine Interpretationen durch außersprachliche Entitäten.

Im Gegensatz dazu enthalten materiale Logiken Bezugnahmen auf Entitäten, die außerhalb des formalsprachlichen logischen Kalküls liegen⁵²). Im Regelfall⁵³) handelt es sich bei diesen Entitäten um Objekte⁵⁴), die in einer sprachunabhängig existierenden Realität existieren oder zumindest als dort existierend angenommen werden. Sie werden als materiale oder reale Objekte bezeichnet. Derjenige Realitätsausschnitt, den ein Modellierungsträger für seine Modellierungszwecke als relevant erachtet, wird in seiner Ganzheit auch als Modellierungsobjekt angesprochen. Dies knüpft an den weit gefaßten Objektbegriff der objektorientierten Systemgestaltung an. Die Gesamtheit aller informalen Vorstellungen, die ein Modellierungsträger zu Beginn eines Modellierungsprozesses über sein Modellierungsobjekte besitzt, wird als Objektwissen bezeichnet. Das Wissen ist bereits das Ergebnis eines mentalen Konzeptualisierungsprozesses. Die Frage, wie ein Modellierungsträger zu seinem Objektwissen gelangt, wird in dieser Arbeit aber nicht weiter thematisiert. Statt dessen wird unterstellt, daß das Objektwissen zunächst als informale, natürlichsprachliche Beschreibung des Modellierungsobjekts vorliegt.

Darüber hinaus wird vorausgesetzt, daß die natürlichsprachliche Konzeptualisierung des modellierungsrelevanten Realitätsausschnitts bereits in eine formalsprachliche Wissensrepräsentation übersetzt worden ist. Das Ergebnis dieser Wissenstransformation wird als Objektmodell bezeichnet. Es bildet den Ausgangspunkt des Modellierungskonzepts Synthetischer Netze. Später wird die Syntax und formale Semantik dieser Wissensrepräsentation als Prädikatenlogik identifiziert⁵⁵). Auf dieser Ebene wird mit dem Wissen über den jeweils repräsentierten Realitätsausschnitt noch in rein formaler Weise umgegangen. Die modellierten realen Objekte, auf die sich dieses Wissen bezieht, werden *innerhalb* der formalsprachlichen Objektmodelle in keiner Weise thematisiert. Es erfolgt noch keine Referenz auf die modellierten, aber außersprachlichen Objekte.

Materiale Logiken beruhen dagegen auf einer denotationalen Semantik⁵⁶). Durch die denotationale Semantik werden die formalsprachliche Wissensrepräsentation eines Objektmodells mit dem jeweils abgebildeten, außersprachlichen Realitätsausschnitt verknüpft. Dabei werden ausgezeichnete formalsprachliche Konstrukte des Objektmodells jeweils durch konstruktsspezifische reale Objekte interpretiert⁵⁷). Die interpretative Kopplung zwischen formalem Objektmodell und realem Modellierungsobjekt leisten Korrespondenzregeln⁵⁸). Sie bilden das Kernkonzept jeder denotationalen Semantik. Zugleich spiegeln sie das Korrespondenzkonzept der Wahrheit wider, das früher als epistemisches Fundament des modelltheoretischen Paradigmas erläutert - und problematisiert - wurde⁵⁹). Zur Formulierung der Korrespondenzregeln wird die informale natürliche Sprache herangezogen⁶⁰).

Einen Spezialfall der denotationalen Semantik stellt die dynamische Semantik dar. In einer dynamischen Semantik werden ausgezeichnete formalsprachliche Konstrukte als Operationen definiert⁶¹). Für die Ausführung der Operationen werden mit formallogischen Mitteln operationsspezifische Ausführungsvoraussetzungen und -resultate festgelegt. Dabei werden die formalen Operationen durch Anweisungen interpretiert, daß in einer sprachunabhängigen Realität Aktivitäten stattfinden sollen. Zumeist stellen die realen Aktivitäten Handlungen dar, die von handlungsfähigen Subjekten⁶²) ausgeführt werden. Die subjektbezogenen Aktivitäten werden oftmals auch als Aktionen bezeichnet⁶³). Vom Stattfinden einer Aktivität sind reale Objekte betroffen⁶⁴). Die Objekte werden durch die Aktivität erzeugt, verändert oder auch wieder vernichtet⁶⁵). Wenn sich die formalen Operationen oder die zugeordneten realen Aktivitäten in nicht-leeren, zeitlich

geordneten⁶⁶⁾ Mengen zusammenfassen lassen, kann die dynamische Semantik auch als temporale Semantik angesprochen werden⁶⁷⁾.

Das Modellierungskonzept Synthetischer Netze, das in dieser Arbeit entfaltet wird, setzt die unterschiedlichen Aspekte formaler und materialer Logiken des voranstehenden semiotischen Bezugsrahmens voraus⁶⁸⁾. Die logische Basis des Konzepts Synthetischer Netze bildet die formallogische Repräsentation der zu modellierenden Realitätsausschnitte⁶⁹⁾ mit Hilfe der Prädikatenlogik⁷⁰⁾. Sie wird fortan als prädikatenlogisches Objektmodell bezeichnet. Ziel ist es, dieses Objektmodell in ein inhaltlich gleichwertiges, aber formal andersartiges Netzmodell zu transformieren, das die Gestalt eines Synthetischen Netzes annimmt. Die Transformation basiert auf einer kalkülierten Netzsprache. Die Netzsprache stellt als Objektsprache eine formale Sprache 1. Stufe dar. Ihre Ausdrücke 1. Stufe sind alle konkreten Netztopologien, die das allgemeine Definitionsschema für die Topologien von Stelle/Transition-Netzen erfüllen⁷¹⁾. Mit Hilfe dieser Netzsprache wird der topologische Kern eines Synthetischen Netzes als ein markierungs-, gewichtungs- und kapazitätsfreies Stelle/Transition-Netz spezifiziert⁷²⁾. Die objektsprachliche Netztopologie gibt die aussagenlogische Struktur⁷³⁾ der logischen Repräsentation des Modellierungsobjekts wieder. Auf der Netztopologie wird eine formale Semantik errichtet. Diese Netzsemantik erster Ordnung interpretiert die formalen Netzkonstituenten durch prädikatenlogisch und algebraisch fundierte Netzbeschriftungen. Die derart beschrifteten Netze stellen formalsprachliche Ausdrücke 2. Stufe dar. Eine operationale Semantik gestattet, beschriftungsverändernde formale Operationen in der Gestalt von Markierungsveränderungen auszuführen. Diese Semantik wird durch ein Übergangsschema konstituiert, das die markierungsmodifizierenden Operationen spezifiziert. Hierdurch werden formalsprachliche Ausdrücke 2. Stufe aus einer Semantik 1. Ordnung ineinander transformiert. Daher konstituiert die operationale Semantik des Übergangsschemas eine Netzsemantik 2. Ordnung. Zugleich definiert sie als einen formalsprachlichen Ausdruck 3. Stufe eine netzspezifische Erreichbarkeitsrelation, die Vorgänger- auf Nachfolgermarkierungen miteinander verknüpft. Der Komplex aus Netztopologie, Netzbeschriftungen und Übergangsschema stellt das Synthetische Netz dar, das als formal interpretiertes Netzmodell das ursprünglich vorgegebene prädikatenlogische Objektmodell ersetzt.

Auf die beiden formalen Semantiken erster und zweiter Ordnung wird in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich eingegangen. Später werden diese formalen Semantiken durch eine denotationale Semantik für Synthetische Netze erweitert. Hierdurch wird eine materiale Logik für Netzmodelle eingeführt. Es werden Bezüge der bereits formal interpretierten Synthetische Netze zu außersprachlich vorgegebenen Maschinenbelegungsproblemen bei Flexiblen Fertigungssystemen hergestellt. Dabei nimmt die denotationale Netzsemantik die spezielle Gestalt einer dynamischen Semantik an. Hierbei werden formale Konstrukte eines Synthetischen Netzes zunächst durch reale Objekte interpretiert. Darüber hinaus werden aber auch die markierungsverändernden formalen Operationen durch reale Aktivitäten erklärt, die als Arbeitsgänge an realen Objekten ausgeführt werden. Die derart material interpretierten Synthetischen Netze stellen Netzmodelle für Realprobleme dar. Ihre diskursive Herleitung stellt das Hauptanliegen des vierten und fünften Hauptabschnitts der vorliegenden Ausarbeitung dar.

Schließlich umgreift der semiotische Bezugsrahmen auch noch eine pragmatische Dimension. Der Begriff der Pragmatik wird allerdings sehr unterschiedlich definiert⁷⁴⁾. In dieser Arbeit wird unter einer Pragmatik die Zwecksetzung verstanden, um derentwillen ein Kalkülbenutzer die objektsprachlichen Konstrukte und ihre semantischen Interpretationen verwendet⁷⁵⁾. Diese Zwecksetzung wird später in Netzmodellen als Zielsystem von Entscheidungsträgern konkretisiert. Obwohl sich dieses Zielsystem formalsprachlich ausdrücken läßt, wird die Modellpragmatik vom Verf. nicht mehr zum Bereich der formalen Logikkonzeptionen gerechnet. Denn die konstitutive Bezugnahme auf die Zwecke eines Modellierungsträgers stellt ein außersprachliches, logikfremdes Element dar. Allerdings läßt sich die pragmatische Modellierungsdimension der materialen Logik zurechnen⁷⁶⁾.

Abb. 5 auf der nächsten Seite faßt die semiotischen und logischen Systemisierungskategorien für den hier entfalteten Bezugsrahmen Synthetischer Netze zusammen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf formalen Kategorien.

Die primär formale Ausrichtung des Bezugsrahmens wird dadurch verstärkt, daß keine intensionalen, sondern nur extensional bestimmte Konstruktionen vorgenommen werden⁷⁷⁾. Dies entspricht dem vorherrschenden Ansatz formaler Konzepte, nur auf extensional definierte Konstrukte zurückzugreifen⁷⁸⁾. Er reflektiert die allgemeine Erfahrung, daß sich Konzepte nur dann formal präzise handhaben lassen, wenn auf intensionale Definitionen verzichtet wird⁷⁹⁾. Denn alle intensionalen Konzeptkomponenten erfordern metaphysisch dubiose und zugleich sprachlich ambige Postulate über das "wahre Wesen" der Komponentenbedeutungen. Dies hat vor allem PUTNAM in scharfsinnigen Beiträgen dargelegt⁸⁰⁾, in denen er den extensional definierten formalen Mengenbegriff von seinem intensionalen Pendant - dem "eigentlichen" Mengenbegriff - abgrenzte⁸¹⁾.

Extensional definierte Konstrukte⁸²⁾ zeichnen sich dadurch aus, daß ihre Semantik - d.h. die Konstruktbedeutung - jeweils durch rein formalsprachliche Mittel vollständig determiniert wird⁸³⁾. Dabei ist die Konstruktsemantik entweder durch formale Ausdrücke vollständig expliziert⁸⁴⁾. Oder aber die Konstruktsemantik wird implizit so festgelegt, daß sie sich auf bereits eingeführte extensionale Konstrukte durch explizit formalisierte Ableitungsschritte zurückführen läßt⁸⁵⁾. Im ersten Fall liegt die Semantik eines extensionalen Konstrukts unmittelbar explizit vor; im zweiten Fall läßt sich seine implizite Semantik mittelbar explizieren. Der Freiheitsgrad, zwischen beiden Explizierungsvarianten zu wählen - und diese auch miteinander zu kombinieren⁸⁶⁾ - wird fortan als kontrollierte Explizitheit angesprochen⁸⁷⁾.

Beispielsweise wird ein Begriff dadurch extensional definiert, daß seine Bedeutung durch die Menge aller begriffserfüllenden Objekte erschöpfend bestimmt ist und sich diese Objekte formal darstellen lassen⁸⁸⁾. Die formale Definitionsweise gewährleistet dabei exakte, eindeutige und transparente Formulierungen extensionaler Konstrukte⁸⁹⁾. Zusammen mit der umfassenden Explizierung bewirkt dies die hohe Präzision⁹⁰⁾ aller extensional-formalen Konzepte.

Die rein formal definierte Konstruktbedeutung wird als Konstruktextension bezeichnet. Extensionsgleiche Konstrukte lassen sich in einer formallogischen Semantik wechselseitig substituieren, ohne daß die Wahrheitswerte derjenigen Formeln variieren, in denen diese Konstrukte vorkommen⁹¹⁾. Denn die Semantik extensionaler Konstrukte wird einerseits per definitionem durch ihre rein formalen Extensionen vollständig und eindeutig festgelegt. Andererseits werden in allen formallogischen Semantiken Formeln auf Wahrheitswerte abgebildet. Daher kann sich das Resultat dieser Wahrheitswertabbildung nicht ändern, wenn Konstrukte gleicher Extension ausgetauscht werden. Diese Wahrheitsäquivalenz extensionsgleicher Konstrukte läßt sich durch ein Extensionalitätsaxiom verschärfen, das alle Konstrukte als identisch erklärt, welche die gleiche Extension besitzen⁹²⁾. Auch das Petrinetz-Konzept beruht auf einem solchen Extensionalitätsaxiom⁹³⁾.

Intensional definierte Konstrukte⁹⁴⁾ erfordern Wissen über die "eigentliche" oder "wesentliche" Konstruktbedeutung⁹⁵⁾. Daher können sich zwei Konstrukte trotz gleicher Extension immer noch intensional unterscheiden⁹⁶⁾, sofern ihre "wesentlichen" Konstruktinhalte voneinander abweichen. Da die formal ausdrückbaren Konstruktunterschiede bereits durch die extensionalen Konstruktdefinitionen abgedeckt werden⁹⁷⁾, lassen sich Intensionsunterschiede nur *informal* umschreiben⁹⁸⁾. Folglich können intensionale Konstrukte durch formalsprachliche Kalküle und Semantiken niemals vollständig erfaßt werden. Statt dessen erfordert die informale Bedeutungsumschreibung stets einen Rückgriff auf die natürliche Sprache, deren Vagheiten und Ambiguitäten⁹⁹⁾ grundsätzlich nicht vermieden werden können. Darüber hinaus verleitet der Rekurs auf "eigentliche" Konstruktbedeutungen, bei Konstruktdefinitionen in essentialistische "Wesensschau" ¹⁰⁰⁾ zurückzufallen. Diese grenzt der Verf. zugunsten des nominalistischen Definitionskonzepts¹⁰¹⁾ grundsätzlich aus¹⁰²⁾.

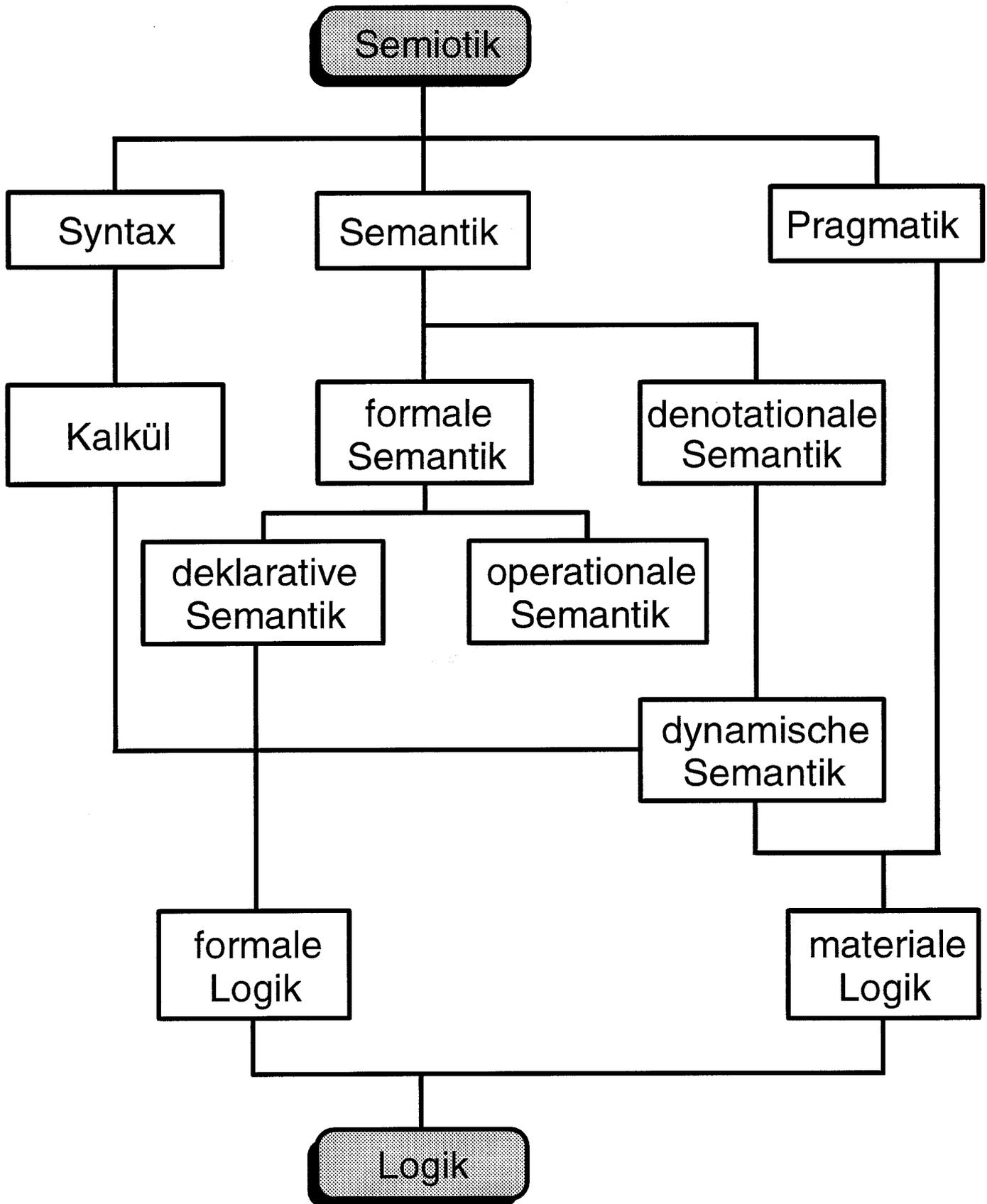


Abb. 5: Semiotische und logische Systematisierungskategorien

Aufgrund dieser Schwächen der intensionalen Definitionsweise werden in dieser Arbeit extensionale Konstruktdefinitionen grundsätzlich bevorzugt. Allerdings erfordert die formale Bestimmung der Konstruktbedeutungen, auf formalisierte Metasprachen zurückzugreifen. Ihre Definition und Handhabung bereitet oftmals erheblichen Aufwand. Die informalen, natürlich-sprachlichen Umschreibungen von intensionalen Konstruktdefinitionen lassen sich dagegen mit wesentlich geringerem Aufwand ausdrücken. Denn die natürlichsprachlichen Konstruktionen appellieren durch ihre Begriffsverwendungen jeweils an umfangreiches, aber implizit vorausgesetztes Hintergrundwissen der Rezipienten¹⁰³). Daher geht der Verf. vom Grundsatz der kontrollierten Extensionalität aus. Dieser Grundsatz schließt einen Kompromiß zwischen formalsprachlich-extensionalen und natürlichsprachlich-intensionalen Konstruktdefinitionen: Es wird fallweise abgewogen, ob im jeweils aktuellen Argumentationskontext die extensionale Präzision und Explizitheit formaler Metasprachen bzw. die intensionale Kompaktheit natürlichsprachlicher Umschreibungen vorteilhafter erscheint.

Mit der Hilfe des voranstehend erläuterten semiotischen Bezugsrahmens läßt sich das Modellierungskonzept dieser Arbeit begrifflich ausdifferenzieren. Dabei wird zunächst nur der Modellierungsprozeß betrachtet, der ein vorgegebenes Objektmodell in ein äquivalentes¹⁰⁴) Netzmodell transformieren soll¹⁰⁵). Das syntaktische Rückgrat jedes Netzmodells wird ein Synthetisches Netz bilden. Die semantische Dimension dieses uninterpretierten Netzmodells wird dadurch erschlossen, daß ausgezeichnete Komponenten des Synthetischen Netzes durch prädikatenlogische Formeln beschriftet werden. Diese Beschriftung von Netzkomponenten wird unmittelbar aus den Formeln des formalsprachlichen Objektmodells hergeleitet. Die Interpretation des Synthetischen Netzes durch seine Komponentenbeschriftung ist die Semantik des Netzmodells. Die Gesamtheit aus uninterpretiertem Netzmodell und seiner Netzsemantik wird als interpretiertes Netzmodell bezeichnet.

Die Netzsemantik besitzt zunächst einen rein formalen Charakter. Dies gilt so lange, wie die Semantik eines Netzmodells nur durch die netzbeschriftenden Formeln konstituiert wird¹⁰⁶). Die formale Semantik wird zu einer formal-operationalen Netzsemantik erweitert, sobald die Schaltregel für Synthetische Netze einbezogen wird. Sie determiniert zulässige Veränderungen der formalen Netzbeschriftungen. Darüber hinaus können semi-formale Korrespondenzregeln formuliert werden. Sie ordnen den netzbeschriftenden Formeln in natürlichsprachlicher Weise zunächst reale Objekte aus dem modellierten Realitätsausschnitt als Formelbedeutungen zu. Das Zuordnungsergebnis ist eine denotationale Netzsemantik¹⁰⁷). Darüber hinaus können Korrespondenzregeln die Schaltakte von Transitionen eines Netzmodells mit der Ausführung realer Aktivitäten im modellierten Realitätsausschnitt verknüpfen. Dann liegt eine material-formale Netzsemantik vor. Schließlich werden die Sach- und Formalziele des Modellierungsträgers in ein Netzmodell eingebunden. Dies geschieht ohne Korrespondenzregeln nur mit Hilfe von formal definierten Netzkonstituenten. Daher resultiert eine formale Netzpragmatik.

Anmerkungen zum Kapitel:

1) Vgl. zu Überblicken über den semiotischen (zeichentheoretischen) Ansatz, der sich als eine allgemeine Wissenschaft über den Umgang mit Zeichen begreift, KUHN, A. (1963), S. 154ff.; ECO (1972), S. 17ff.; STEGMÜLLER (1976b), S. 415f.; BENTELE (1978), S. 9ff.; WALTHER, E. (1979), S. 11ff.; STEGMÜLLER (1983), S. 71f.; am Rande auch REICHENBACH (1977), S. 335.

Dabei entspricht der semiotische Zeichenbegriff dem hier allgemeiner formulierten Konstruktionsbegriff und dem später eingeführten Begriff formaler Objekte aus objektsprachlichen Kalkülen. Daher kann die Semiotik auch als die Zusammenfassung aller metasprachlich formulierten Erkenntnisse über den Umgang mit Zeichen aus einer Objektsprache angesehen werden. Als Metasprache für die semiotischen Erkenntnisse kommt vor allem die natürliche Sprache in Betracht, die auch nachfolgend benutzt wird. Weitreichende Erläuterungen zum semiotischen Zeichenbegriff finden sich bei BENTELE (1978), S. 21ff., 31ff., 38ff. u. 87ff.; BENTELE (1984), S. 78ff.

Vgl. darüber hinaus zu der oben vorausgesetzten, im folgenden vielfach wiederkehrenden Differenzierung zwischen objektsprachlichen Aussagen über außersprachliche Sachverhalte einerseits und metasprachlichen Aussagen über Aussagen (innersprachliche Sachverhalte) andererseits CHURCH (1956), S. 47; CARNAP (1960a), S. 10f. u. 77; KÖHLER, R. (1966), S. 10 u. 68; CARNAP (1968), S. 4, 17, 106ff. u. 259f., der allerdings die Meta- noch als "Syntaxsprache" (S. 4) bezeichnet; STEGMÜLLER (1968), S. 3 u. 39ff.; SCHANZ (1973), S. 133; STÄHLIN (1973), S. 14 u. 16; RAFFEE (1974), S. 18f.; JANICH (1974), S. 47 u. 67f.; WANDSCHNEIDER (1974), S. 74, 77 u. 85; GOMEZ, P. (1975), S. 308ff.; OPP, K. (1976), S. 295 u. 313; STEGMÜLLER (1976b), S. 415 u. 417f.; CHURCH (1976), S. 756; REICHENBACH (1977), S. 335; ESSLER (1979), S. 7ff.; CHMIELEWICZ (1979), S. 46f. u. 81f.; ESSLER (1982a), S. 32; STEGMÜLLER (1983), S. 70 u. 76; STEGMÜLLER (1984b), S. 24f.; POPPER (1984b), S. 327ff. u. 337ff.; MALIK (1986), S. 21; APEL (1987), S. 135f.; LORENZEN, P. (1987), S. 55.

Vgl. darüber hinaus zum Sachverhaltsbegriff CHMIELEWICZ (1979), S. 45 u. 48; vgl. ebenso zum Aussagenbegriff CHMIELEWICZ (1979), S. 48 u. 80.

2) Eine Sprache wird hier in einem weit gefaßten semiotischen Begriffsverständnis als ein kohärentes System der Erzeugung und Verwendung von Zeichen beliebiger Art angesehen.

3) Dabei erstrecken sich die drei Dimensionen auf die syntaktischen Beziehungen zwischen Zeichen, die semantischen Beziehungen zwischen Zeichen und dem jeweils Bezeichnetem (Designat) sowie die pragmatischen Beziehungen zwischen Zeichen und den Zeichenbenutzern (Interpreten). Vgl. zur semiotischen, vor allem an MORRIS angelehnten Differenzierung dieser drei Dimensionen CARNAP (1960a), S. 78; KUHN, A. (1963), S. 164; STEGMÜLLER (1968), S. 3; RESCHER (1968a), S. 35f.; STEGMÜLLER (1969), S. 33; STEGMÜLLER (1976b), S. 414; BENTELE (1978), S. 40f. u. 134ff.; ESSLER (1982a), S. 32; STEGMÜLLER (1983), S. 71; SINZIG (1983), S. 9f.; OBERQUELLE (1987b), S. 8ff.; POULAIN (1987), S. 334; GREWENDORF (1987), S. 377; BRINKMANN (1989), S. 10.

Vgl. dagegen zu einer Kritik an dieser semiotischen Trichotomie GETHMANN (1980b), S. 37.

4) Vgl. zu Überblicken über verschiedenartige Konzepte der formalen Logik RESCHER (1968a), S. 32ff., insbesondere die Systematik auf S. 35ff.; THIEL, C. (1980c), S. 119ff.; STEGMÜLLER (1984b), S. 49ff.; BUNGE (1985a), S. 55ff.; STEGMÜLLER (1986a), S. 147ff. (der allerdings von philosophischen Logiken spricht); RICHTER, M.M. (1988), S. 18ff.

Von den dort behandelten Logikarten wird später im wesentlichen nur die Prädikatenlogik präzisiert.

5) Vgl. dazu die ausführliche Thematisierung der Prädikatenlogik und deren Abgrenzung von alternativen Logikkonzeptionen.

6) Vgl. zum Konzept der (formallogischen) Kalküle WAISMANN (1938), S. 274ff.; LORENZEN, P. (1955), S. 4 u. 38; CARNAP (1960a), S. 79 u. 102; LORENZEN, P. (1962), S. 29 u. 95 i.V.m. S. 85ff.; CARNAP (1968), S. 4ff. u. 120; STEGMÜLLER (1969), S. 35; OPP, K. (1976), S. 305f. u. 312ff., der auf S. 306ff. den aussagenlogischen Kalkül exemplarisch entfaltet; STEGMÜLLER (1976b), S. 420f.; BRACHMAN (1980), S. 78; STEGMÜLLER (1983), S. 73f.; STEGMÜLLER (1984b), S. 97ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 182f.; ALBRECHT, J. (1988), S. 201.

Mitunter wird ein weit gefaßter Kalkülbegriff vertreten, der mit den erst später vorgestellten Beweissystemen übereinstimmt. Dies gilt vor allem für WAISMANN (1938), S. 274ff.; CARNAP (1960a), S. 102. Grundsätzlich nicht gefolgt wird dagegen KOSIOL (1972), S. 219f., der "symbolische Entscheidungsmodelle" als Inbegriff von Kalkülen behandelt.

7) Das Attribut "formal" läßt sich nicht präzise bestimmen. Denn seine Definition kann nur auf natürlichsprachliche Umschreibungen zurückgreifen. Diese leiden aber prinzipiell unter den Präzisionsdefiziten der Vagheit und Mehrdeutigkeit. Die mangelhafte Präzisierung des Begriffs formaler Konzepte bringt BUCHER (1987), S. 13, besonders deutlich zum Ausdruck: "Was eine Form genau ist, das kann nicht exakt bestimmt werden."

Es könnte statt dessen versucht werden, scharfe und eindeutige Definitionsbestandteile formaler Art zu benutzen, um das Attribut "formal" inhaltlich festzulegen. Allerdings läge bei einem solchen Definitionsversuch eine unzulässige *petitio principii* vor, da der Begriff "formal" erst noch zu erklären ist. Vgl. zur hier vorausgesetzten Unzulässigkeit von Argumentationen, die dem Typ der *petitio principii* angehören, HÖSLE (1987), S. 257.

Jedoch weist LORENZEN, P. (1962), S. 85 u. 95, darauf hin, daß die Definition des Attributs "formal" zwar nicht willkürfrei möglich sei. Aber im allgemeinen bestehe ein intuitiver Konsens darüber, was "sinnvollerweise" (S. 85) als formal betrachtet werden solle. Dieser intuitive Konsens über den Begriff formaler Konzepte wird durch den nachfolgend entfalteten Kalkülbegriff so weit operationalisiert, daß die später kalkülhaft dargestellten Signatur- und Netzkonzepte jeweils präzise bestimmt sind. Dies entspricht der Einstellung von OPP, K. (1976), S. 316. Er spricht von der Formalisierung eines (theoretischen) Konzepts genau dann, wenn diesem Konzept ein Kalkül zugeordnet wird: "Formalisierung heißt ... der Prozeß der Zuordnung einer Theorie und eines Kalküls. (S. 316, kursive Hervorhebungen im Original hier unterlassen). Auch CARNAP (1931c), S. 105, verwendet die Begriffe des Formalismus und des Kalküls synonym. Dieser Identifizierung von formalen Konzepten und Kalkülen schließt sich der Verf. jedoch nur eingeschränkt an. Er stimmt ihr insofern zu, daß auch nach seinem Verständnis das Fundament jeder Formalisierung ein Kalkül darstellt. Auf der Basis dieses rein syntaktisch definierten Kalküls lassen sich jedoch auch formale Konzepte höherer Ordnungen - formale Semantiken und Pragmatiken - konstruieren. Nur wenn auch diese höheren formalen Konzepte unter den Kalkülbegriff subsumiert würden, träfe die o.a. Identifizierung ohne Vorbehalt zu. Einen derart weit gefaßten Kalkülbegriff vertritt der Verf. jedoch nicht.

8) Formale Objekte werden mitunter auch als Symbole bezeichnet; vgl. z.B. CARNAP (1960a), S. 173, oder VON FOERSTER (1987), S. 147. Dann entsprechen die vorgenannten formalen Logiken dem Konzept symbolischer Logiken. Vgl. zur Präferenz der symbolbezogenen Ausdrucksweise WHITEHEAD (1925), S. passim; CARNAP (1930a), S. 15f.; CARNAP (1960a), S. 1ff.; REICHENBACH (1977), S. 323ff., der "die" moderne Logik mit der symbolischen Logik schlechthin identifiziert. Daher werden nachfolgend alle Beiträge zur symbolischen Logik dem Gehalt der formalen Logik zugerechnet. Der Verf. zieht den Bezug auf formale Objekte anstelle von Symbolen vor, weil der Symbolbegriff ambig ist. Denn oftmals schwingt im Symbolbegriff die Assoziation mit, Symbole seien "Symbole von etwas", d.h. sie verträten eine außersymbolische Realität. Vgl. dazu etwa KANT, I. (1981d), S. 295ff. Diese denotationale Symbolinterpretation verläßt jedoch den Erkenntnisbereich formaler Logiken, deren formale Objekte sich gerade dadurch auszeichnen, *rein formal* definiert zu sein. Genau dies drückt der Begriff "formales Objekt" eindeutig aus. Auf denotationale Logikerweiterungen wird an späterer Stelle zurückgekommen.

9) Der Begriff des formalen Objekts ist infolge seiner o.a. Negativdefinition grundsätzlich offen. Als formales Objekt kommt *jede* sprachlich ausdrückbare Entität in Betracht, die ein Konzeptgestalter als formales Objekt entweder originär definiert oder aber durch Operationsanwendungen aus bereits eingeführten formalen Objekten herleitet. Welche Entität ein Konzeptgestalter auf diese originäre bzw. derivative Weise als formal auszeichnet, steht letztlich in seiner definitorischen Freiheit. Vgl. z.B. OPP, K. (1976), S. 313, der die Auswahl der originären formalen Objekte (Zeichen) und der zulässigen Operationen (Regeln) für die Erzeugung emergenter formaler Objekte als "willkürlich" herausstellt. Diese Freiheit gilt allerdings nur so lange, wie das o.a. negative Charakteristikum formaler Objekte - ihre Referenzlosigkeit - erfüllt wird.

10) Daneben nehmen formale Objekte keinen Bezug auf Zwecksetzungen für die Objektverwendung oder das jeweils objektverwendende Subjekt; vgl. STEGMÜLLER (1976b), S. 420. Solche Aspekte gehören dem Bereich der Pragmatik an. Hierauf wird an späterer Stelle kurz zurückgekommen.

11) Vgl. zu dieser Bedeutungsfreiheit formaler Objekte HILBERT (1925), S. 177; CARNAP (1931c), S. 105; CARNAP (1968), S. IV, 1 u. 5; KOSIOL (1972), S. 220; OPP, K. (1976), S. 305f. u. 320f.; STEGMÜLLER (1976b), S. 420f.; REICHENBACH (1977), S. 324; STEGMÜLLER (1986a), S. 252, der Formalisierung als "Abstraktion von jeder Interpretation" ansieht; ALBRECHT, J. (1988), S. 201; BRINKMANN (1989), S. 37.

12) Vgl. DIN 5474 (1973), S. 5; WEDEKIND (1989c), S. 31; BRINKMANN (1989), S. 37.

Ein formales Objekt und seine Form fallen ohne weitere Differenzierungsmöglichkeit zusammen: beide sind identisch. Die Objektform ist das phänomenale Erscheinungsbild eines Objekts in jeder seiner physikalischen Manifestationen (Vorkommnisse). Dasselbe - formidentische - formale Objekt "b" kommt z.B. in den formalen Ausdrücken " $b \in OB_i$ " und " $2a+3b+5c$ " ein bzw. zweimal vor. Jedesmal ist es durch seine Form "b" eineindeutig bestimmt.

13) Im Gegensatz zu den später eingeführten Operationen, die auf realen Objekten ausgeführt werden, handelt es sich hier strenggenommen um formale Operationen, weil sie nur für formale Objekte definiert sind. Solange es aus dem Kontext ersichtlich ist, daß kalkülzugehörige Operationen gemeint sind, wird der Einfachheit halber auf das präzisierende Attribut "formal" verzichtet.

14) KANITSCHIEDER (1971), S. 33, bezeichnet die relative Objektanordnung als "logische Form des gegebenen Ordnungsgefüges".

Die relative Anordnung formaler Objekte erstreckt sich auf zwei Aspekte: Einerseits betrifft sie in räumlicher Hinsicht vor allem die Anordnungsverhältnisse der Objekte in eindimensionalen, linearen Objektfolgen. Diese Objektanordnungen werden auch als Sequenzen oder "strings" bezeichnet. Andererseits erstreckt sich die relative Anordnung formaler Objekte auf die zeitliche Dimension ihrer Genese. Dabei gehen formale Objekte anderen formalen Objekten genau dann zeitlich voran, wenn die letzten aus den ersten hervorgebracht worden sind.

Den räumlichen Objektanordnungen können auch zwei- oder dreidimensionale Objektkonfigurationen zugrundeliegen. Doch spielen solche höherdimensionalen Fälle für diejenigen formalsprachlichen Konzepte keine Rolle, die im Rahmen dieser Arbeit für die Entfaltung Synthetischer Netze ausreichen. Im Regelfall werden solche höherdimensionalen Objektkonfigurationen in Kalküldarstellungen überhaupt nicht thematisiert. Vgl. zur ausschließlichen Betrachtung von Objektreihungen z.B. CARNAP (1968), S. 6.

Darüber hinaus können höherdimensionale Objektkonfigurationen stets auf lineare Objektfolgen zurückgeführt werden. Beispielsweise stellen Netztopologien in der Gestalt von Stelle/Transition-Netzen zunächst zweidimensionale formalsprachliche Ausdrücke dar. Sie lassen sich jedoch jeweils durch eine Netzdefinition reformulieren, in der alle Netzkomponenten linear aneinandergereiht sind; vgl. dazu die lineare Formulierung von Netztopologien durch die Signatur TSIG. Darüber hinaus kann jeder formalsprachliche Ausdruck beliebiger räumlicher Konfiguration durch die allgemeingültige Gödelisierungstechnik dadurch in eine lineare Folge von Primzahlpotenzen transformiert werden, daß auch die räumlichen Anordnungsbeziehungen als Gödelzahlen codiert werden. Vgl. zu dieser Gödelisierungstechnik z.B. GÖDEL (1931), S. 178f.; LORENZEN, P. (1962), S. 106f.; NAGEL, E. (1964), S. 77ff.; MENDELSON (1964), S. 135ff.

15) Die Operanden einer Operation sind alle formalen Objekte, für welche die Operationsanwendungen zulässig sind.

16) Vgl. CARNAP (1968), S. 1 u. 207; ALBRECHT, J. (1988), S. 200f.

17) Es wird nicht bestritten, daß mitunter die dezidiert abweichende Ansicht vertreten wird, formale Konzepte bedeuteten grundsätzlich einen Irrweg der menschlichen Vernunft. Vgl. zu dieser Gegenthese - stellvertretend für andere Autoren - HORKHEIMER (1969), passim, insbesondere S. 33f., 37, 100 u. 111f. Aufgrund der nachfolgend vorgetragenen Argumente vermag sich der Verf. jener Irrwegthese aber nicht anzuschließen.

18) Die Leistungsfähigkeit formaler Kalküle demonstriert allein die Dominanz ihrer Anwendung in allen komplexeren Problembereichen. Hierzu gehört auch der Einsatz der Automatischen Informationsverarbeitung, die immer auf den formalen Kalkülen der System- und Programmiersprachen beruht. Darüber hinaus hat z.B. OPP, K. (1976), S. 319ff., die Vorzüge formalisierter Konzepte für den real-, insbesondere den sozialwissenschaftlichen Bereich ausführlich systematisiert. Daher verzichtet der Verf., unter Wiederholung der dort angeführten Argumente, das hier gewählte formallogische Fundament Synthetischer Netze eingehender zu rechtfertigen.

Vgl. des weiteren zur Präferenz formaler (symbolischer) Konzeptgestaltungen HILBERT (1925), S. 176ff.; WHITEHEAD (1925), S. 87f.; CARNAP (1931c), S. 105; VON NEUMANN (1931), S. 118f.; GENTZEN (1936), S. 499 u. 501f.; ACKERMANN, W. (1957), S. 3ff.; KÖRNER, S. (1968), S. 100ff.; STACHOWIAK (1973), S. 265; ULLRICH (1976), S. 0.2 u. 5.1; ZAVE (1976), S. 35; HOLT, A. (1976), S. 139 (als strengere Forderung nach mathematischer Form); ZENTES (1976), S. 32 u. 35f. (implizit); REICHENBACH (1977), S. 327ff. (mit speziellem Hinweis auf die Sozialwissenschaften auf S. 336); ESSER, H. (1977a), S. 179ff. (als Idealsprache, deren Formalisierung nur en passant - z.B. auf S. 183 - erwähnt wird); MELDMAN (1977), S. 32; PETERSON, J. (1977), S. 246; SCHNEIDER, H.-J. (1978), S. 55; WUCHTERL (1987), S. 24ff.; VON FOERSTER (1987), S. 147ff.; ALBRECHT, J. (1988), S. 200ff. u. 205; TREDE (1990), S. 9f.

Damit werden keineswegs die Gefahren formaler Konzepte geleugnet, wie etwa deren Scheinpräzision oder Validitätsdefizite; vgl. dazu z.B. auch OPP, K. (1976), S. 325f. Denn diese Gefahren hindern keineswegs an einer formalen Konzeptfundierung. Vielmehr handelt es sich um Mängel, die keine immanenten Eigenschaften formaler Konzepte darstellen, sondern erst aus Fehlern bei der Konzeptanwendung resultieren. Darüber hinaus wäre der Verzicht auf eine formale Konzeptbasis erst dann gerechtfertigt, wenn sich - unter Abwägung aller Vorzüge und Schwächen - nachweisen ließe, daß mit einer informalen Konzeptbasis ein insgesamt leistungsfähigeres Konzept entwickelt werden könnte. Aber noch nicht einmal ein Nachweisversuch ist dem Verf. bis heute aus informaler Richtung bekannt geworden. Daher spricht das Argument des ersten Anscheins bisher weiter zugunsten einer formalen Konzeptfundierung.

Darüber hinaus wird auch nicht das Epissprachen-Argument von WUCHTERL (1987), S. 25, verkannt. Ihm zufolge werden wissenschaftliche Argumentationszusammenhänge keineswegs im Regelfall formalsprachlich ausgedrückt. Vielmehr dominiert eine "Epissprache", die aus der natürlichen Sprache gewonnen und auf die spezifischen Argumentationszwecke einer wissenschaftlichen Disziplin zugeschnitten wird. Dabei wird die Epissprache eventuell um einige formalsprachliche Aspekte bereichert, jedoch nicht konsequent formalisiert. Vgl. zur Verwendung von Epissprachen als wissenschaftliche Mitteilungs- oder Fachsprachen ebenso STACHOWIAK (1973), S. 268, insbesondere Fn. 233; VAN FRAASSEN (1983), S. 98 (ohne explizit von Epissprachen zu reden). Diese wissenschaftlichen Epissprachen sind aber kein Argument gegen die *theoretische* Bevorzugung formalsprachlicher Argumentationen. Sie resultieren nur aus der *praktischen* Erfahrung, daß sich epissprachliche Argumentationen wesentlich leichter als rein formalsprachliche Ausdrucksweisen handhaben lassen. Da in dieser Weise eine *theoretische* Fundierung von Synthetischen Netzen angestrebt wird, bleibt das praxisbezogene Epissprachen-Argument bedeutungslos. Darüber hinaus verdeutlicht WUCHTERL (1987), S. 25f., das epissprachliche Argumentationen in der Regel unter dem - zumeist impliziten - Vorbehalt stehen, sie könnten prinzipiell in formalsprachlicher Weise reformuliert werden. Daher bleibt in

"wesentlichen" (strittigen) Argumentationszusammenhängen letztlich die Präferenz rein formaler Darstellungsweisen bestehen.

19) Vgl. zum Präzisionsvorteil formaler Konzepte, der auch als Exaktheit, Eindeutigkeit, Unmißverständlichkeit oder Trennschärfe thematisiert wird, ACKERMANN, W. (1957), S. 3; CARNAP (1968), S. 208; STACHOWIAK (1973), S. 265; OPP, K. (1976), S. 322; REICHENBACH (1977), S. 328 u. 332; AYACHE (1979a), S. 1050; WUCHTERL (1987), S. 24 (formale Logik ... als *Organon* präziser Gedankenverknüpfungen") u. 26; VON FOERSTER (1987), S. 147; REIMER (1989), S. 7; DITTRICH, G. (1989b), S. 1; TREDE (1990), S. 10.

20) Vgl. zur Transparenzförderung formaler Konzepte durch ihre Explizitheit und Klarheit OPP, K. (1976), S. 321 u. 323f.; REICHENBACH (1977), S. 337; WUCHTERL (1987), S. 24 u. 26; vgl. auch KERN, W. (1967), S. 215, hinsichtlich der "Prägnanz" formaler Ansätze.

21) Vgl. zum Vorzug der hohen Folgerungsmächtigkeit formaler Konzepte ACKERMANN, W. (1957), S. 3; KERN, W. (1967), S. 215 (hinsichtlich der Möglichkeit, formale Modelle "kausalmechanisch zu manipulieren"); OPP, K. (1976), S. 320f., 323 u. 325; STEGMÜLLER (1976b), S. 430f.; ZAVE (1976), S. 35; REICHENBACH (1977), S. 327f. u. 329; WUCHTERL (1987), S. 24.

Die Folgerungsmächtigkeit wird zumeist nur im Sinne des formallogischen Folgerungsbegriffs verstanden. Dann wird auch vom Inferenzpotential formaler Konzepte gesprochen. Darüber hinaus kann der Folgerungsbegriff auch auf mathematische Formeltransformationen bezogen werden. Dann umschließt er auch so leistungsfähige Beiträge, wie sie z.B. von den Kalkülen mathematischer Äquivalenztransformationen angeboten werden. In diese Richtung weist z.B. ZAVE (1976), S. 35, wenn er die Anwendbarkeit mathematischer Optimierungskalküle herausstellt.

22) Vgl. STACHOWIAK (1973), S. 265.

23) Vgl. STACHOWIAK (1973), S. 259.

Das formale Konzept bildet die einheitsstiftende Klammer, die den Erkenntnistransfer aus einem materialen Objektbereich in einen Anwendungsbereich mit andersartigen Objektbedeutungen ermöglicht. Daher stellt die Bedeutungsfreiheit formaler Konzepte - entgegen einem weit verbreiteten Vorurteil - keineswegs einen beklagenswerten Mangel dar. Vielmehr stimuliert sie die wechselseitige Befruchtung verschiedenartiger "Bedeutungssphären". Insofern können auch formale Konzepte eine mittelbare materiale Relevanz besitzen. Auf die Fruchtbarkeit des formalen Konzepts der Petrinetze wird in dieser Arbeit noch mehrfach zurückgekommen. Vgl. insbesondere die abschließenden Ausführungen, die sich dem Beurteilungskriterium der konzeptionellen Fruchtbarkeit widmen.

24) Vgl. KERN, W. (1967), S. 215 (als "Kürze" der "Ausdrucksformen"); ROSENSTENGEL (1983). Indirekt klingt diese Einschätzung auch an, wenn ESSER, H. (1977a), S. 179, feststellt, daß die "Welterschließungskompetenz der ... natürlichen Sprachen zu gering ist, um auch komplexere Strukturen abzubilden."

25) Die Buchstaben werden auch synonym als Zeichen bezeichnet.

26) Jede Operation stellt also eine Regel für den zulässigen Umgang mit oder die zulässige Verwendung von formalen Objekten dar. Falls sich eine Operation nur auf genau einen Operanden erstreckt, liegt eine Umformungsregel vor. Die identische Operation, die einen Operanden auf sich selbst abbildet, wird als entarteter Sonderfall solcher "Umformungsregeln aufgefaßt. Eine Operation, die für mehrere - im Regelfall zwei - Operanden definiert ist, heißt eine Verknüpfungsregel. Da sich alle Ergebnisse der Operationsanwendungen als Kombinationen der Buchstaben aus dem Kalkülalphabet auffassen lassen, werden Umformungs- und Verknüpfungsregeln unter dem Begriff der Kombinationsregeln zusammengefaßt; vgl. OPP, K. (1976), S. 306.

Der Regelbegriff läßt sich auch so weit fassen, daß das Alphabet eines Kalküls unter dessen Regelsatz subsumiert werden kann. Dann werden Darstellungsregeln benutzt, die sich jeweils auf null Operanden beziehen. Sie gestatten es, jeweils ein zulässiges formales Objekt *ex nihilo* zu erzeugen und hierdurch originär zu definieren. Diese Perspektive entspricht dem später vorgestellten Ansatz des Signaturkonzepts, Konstanten (formale Objekte) durch nullstellige Operationen einzuführen. In dem umfassenden Sinn, der alle Darstellungs- und Kombinationsregeln einbezieht, werden die Operationen eines Kalküls infolge ihrer formbildenden Funktion auch als Formierungsregeln bezeichnet.

27) Vgl. zu dieser Begriffsbildung z.B. CARNAP (1960a), S. 79ff. u. 164, insbesondere S. 80 ("Formregeln"); CHURCH (1956), S. 50; SMULLYAN (1968), S. 43 ("formation rules"); LUXEMBURG (1973), S. 41 ("formation of the formula"); STEGMÜLLER (1983), S. 72 ("Formregeln").

28) Diese formalsprachlichen Ausdrücke sind wesentlich umfassender definiert als der natürlichsprachliche Ausdrucks- oder Wortbegriff. Denn als formalsprachliche "Buchstaben" sind auch Leer- und alle Interpunktionszeichen zulässig. Daher überdecken formalsprachliche Ausdrücke alle natürlichsprachlichen Worte, Sätze und Texte, die sich als endliche und geordnete Anordnungen von Buchstaben eines formalsprachlichen Alphabets darstellen lassen; vgl. CARNAP (1968), S. 4 u. 15. Darüber ist es - im Gegensatz zur natürlichen Sprache - sogar zulässig, daß ein formalsprachlicher Ausdruck eine wohldefinierte Anordnung unendlich vieler Buchstaben ist; vgl. dazu die Einführung unendlicher Worte in der formalen Sortensprache.

29) Aus semiotischer Sicht wird die Syntax einer Sprache im allgemeinen als die Gesamtheit aller formal definierten Beziehungen zwischen den Zeichen dieser Sprache aufgefaßt; vgl. STEGMÜLLER (1976b), S. 414f.; BENTELE (1978), S. 40f. u. 134f.; VIEFHUES (1982), S. 71.

Dies gibt in abstrakter Formulierung den wesentlichen Gehalt der oben eingeführten Kalküldefinition wieder. Von CARNAP (1960a), S. 79, und CARNAP (1968), S. 5, werden Syntax und Kalkül einer formalen Logik sogar explizit miteinander identifiziert. Weitere Syntaxdefinitionen, die im Prinzip dem Kalkülkonzept entsprechen, finden sich bei CARNAP (1960a), S. 78f.; CARNAP (1968), S. 1 u. 207; STEGMÜLLER (1969), S. 34f.; DIN 5474 (1973), S. 5. Daher wird in dieser Arbeit die Syntax einer formalen Sprache mit dem Sprachkalkül gleichgesetzt.

30) Die Kennzeichnung von Kalkülen als "reine Syntax" wird besonders deutlich von ALBRECHT, J. (1988), S. 201, hervorgehoben.

31) Im Rahmen der Semiotik gilt die Semantik einer Sprache im allgemeinen als die Gesamtheit aller definierten Beziehungen zwischen den Zeichen dieser Sprache und den jeweils zugehörigen Zeichenbedeutungen (Designata); vgl. STEGMÜLLER (1968), S. 3; STEGMÜLLER (1976b), S. 414; BENTELE (1978), S. 40f. u. 134f.;

Innerhalb dieser semiotischen Semantikauffassung wird jedoch der wesentliche Begriff der Zeichenbedeutung in vielfach variierenden, oftmals erheblich voneinander abweichenden Schattierungen verwendet; vgl. GREWENDORF (1987), S. 298. PUTNAM, H. (1982a), S. 49, stellt fest, es gäbe "heute viele verschiedene Begriffe ... und nicht einen einzigen einheitlichen Begriff von 'Bedeutung'. Die 'Bedeutung' ist zerbrochen."

Vgl. zu Überblicken über verschiedenartige Bedeutungskonzepte CARNAP (1960a), S. 95ff. u. 100ff.; BENTELE (1978), S. 20ff. (passim); BRACHMAN (1980), S. 78; MITTELSTAEDT (1983), S. 25 u. 30ff.; HABERMAS (1986), S. 345ff.; GREWENDORF (1987), S. 298ff.; HABERMAS (1988), S. 77 u. 105ff.; PITRAT (1988), S. 1ff. u. 49ff.

Nachfolgend wird nur der spezielle Aspekt formaler Semantiken behandelt, in denen die Bedeutung formaler Objekte durch andere formale Objekte erklärt wird. Vgl. zu dieser Perspektive formaler Semantiken OPP, K. (1976), S. 316; POPPER (1984b), S. 340; EHRIG (1985a), S. 46f., 62f. u. 273ff.; LEVI, G. (1986), S. 423ff.; HAUSSER (1987), S. 330ff.; HABERMAS (1988), S. 108ff.; RECK (1988), S. 53; REIMER (1989), S. 7ff., der auch einen Überblick über mehrere Konzepte formaler Semantiken bietet, die hier nicht weiter behandelt werden.

32) Vgl. STEGMÜLLER (1968), S. 190; OPP, K. (1976), S. 315f.;

Daher wird das Interpretationsergebnis auch als interpretierter Kalkül bezeichnet; vgl. CARNAP (1960a), S. 79.

33) Die Kombination aus einem rein syntaktisch definierten Kalkül und einer formalen Semantik wird daher auch als interpretierter Kalkül bezeichnet.

34) Daneben kommen weitere formale Objekte 2. Stufe für spezielle Semantikausprägungen in Betracht. Dazu gehört z.B. das Assertionszeichen " \vdash ", das von FREGE (1891), S. 30ff., eingeführt sowie von WHITEHEAD (1925), S. 8ff. u. 92, und HEYTING (1931), S. 113, aufgenommen wurde, um in der Metasprache Zustimmung zu objektsprachlichen Ausdrücken darzustellen. Dieses Assertionszeichen findet sich in identischer Form und ähnlicher Bedeutung bei GETHMANN (1979), S. 85, als Behauptungszeichen wieder. GETHMANN (1979), S. 85, führt auch weitere formale Objekte 2. Stufe ein, um im Rahmen einer "Protologik" auf der metasprachlichen Ebene Aufforderungen, Zweifel, Zustimmungen und Bestreitungen bezüglich objektsprachlicher Ausdrücke formulieren zu können.

35) Näheres dazu im Rahmen der prädikatenlogischen Semantik. Die Behandlung der Wahrheitswerte als eigenständige formallogische Ausdrücke wird vor allem bei SMULLYAN (1968), S. 13, deutlich; dort werden sie als logische Konstantensymbole behandelt.

36) Beispielsweise repräsentieren die formalsprachlichen Ausdrücke 2. Stufe " $\models p_j$ " und " $\dashv p_j$ " die metasprachlichen Feststellungen, daß der formalsprachliche Ausdruck 1. Stufe - die objektsprachliche Formel p_j - allgemeingültig bzw. beweisbar ist. Diese Ausdrücke werden später bei der Diskussion der prädikatenlogischen Semantik intensiv benutzt. Dabei ist zu beachten, daß das Beweisbarkeitszeichen " \models " im Ausdruck " $\dashv p_j$ " nicht dem notationsgleichen Assertionszeichen " \vdash " von FREGE entspricht.

37) Die übliche Unterscheidung zwischen Objekt- und Metasprachen wurde bereits eingeführt.

38) Vgl. OPP, K. (1976), S. 313.

39) Vgl. z.B. STEGMÜLLER (1973a), S. 19, der formale Objekte als Oberbegriff zu den Buchstaben eines formalsprachlichen Alphabets, den hieraus gebildeten Ausdrücken sowie den davon abgeleiteten Ausdruckssequenzen - wie etwa Beweisketten - behandelt.

40) Näheres zu Beweissystemen, die auch als Deduktions- oder Inferenzsysteme bezeichnet werden, findet sich bei HILBERT (1925), S. 177ff.; WHITEHEAD (1925), S. 90ff.; TARSKI (1930), S. 363ff., insbesondere S. 369ff.; VON NEUMANN (1931), S. 118ff.; GENTZEN (1936), S. 498ff., insbesondere S. 511ff.; GENTZEN (1938), S. 20ff.; WAISMANN (1938), S. 274ff.; CARNAP (1960a), S. 85ff., insbesondere S. 89ff.; MENDELSON (1964), S. 29ff. u. 56ff.; STEGMÜLLER (1968), S. 174ff.; SMULLYAN (1968), S. 80ff. u. 101ff.; OPP, K. (1976), S. 308ff.; RICHTER, M.M. (1978), S. 39ff. u. 167ff.; RAUTENBERG (1979), S. 53ff.; MAINZER (1980b), S. 292ff.; POTTHOFF (1981), S. 47ff.;

STEGMÜLLER (1983), S. 73ff.; STEGMÜLLER (1984b), S. 98ff.; DELAHAYE (1987), S. 38ff. u. 79ff.; RECK (1988), S. 69ff.; WEDEKIND (1989c), S. 21ff.; HUANG,X. (1989), S. 37ff.

41) Näher wird auf dieses Konkurrenzverhältnis im Zusammenhang mit der Differenzierung zwischen semantischen Schlußfolgerungen und syntaktischen Inferenzen eingegangen. Erste gehören zu der oben angesprochenen formalen Semantik, letzte zu den konkurrierenden Beweissystemen.

42) Inferenzregeln werden auch als Ableitungs-, Schluß(folgerungs)- oder Transformationsregeln bezeichnet. Kataloghafte Zusammenstellungen oder exemplarische Anführungen solcher Inferenzregeln - für den Standardfall der deduktiven Logik - finden sich z.B. bei WHITEHEAD (1925), S. 96f. u. 99ff.; GENTZEN (1936), S. 512ff., insbesondere S. 514f.; GENTZEN (1938), S. 22ff.; MENDELSON (1964), S. 57 u. 258f.; POPPER (1965b), S. 268ff.; CARNAP (1968), S. 29ff., insbesondere S. 30; SMULLYAN (1968), S. 85ff., 105ff. u. 138f.; RAPHAEL (1976), S. 114ff.; ESSER,H. (1977a), S. 37a, 45ff. u. 51; RICHTER,M.M. (1978), S. 42, 68f. u. 187ff.; RAUTENBERG (1979), S. 70 u. 75; POTTHOFF (1981), S. 49f.; STEGMÜLLER (1983), S. (73,) 81ff. u. 92ff.; BUCHER (1987), S. 87ff., 105ff. u. 176ff.; HUANG,X. (1989), S. 37ff.; vgl. auch die Ausführungen zur speziellen, komplex strukturierten Inferenzregel der kombinierten Unifizierung und Resolution.

43) Axiombildungsregeln werden auch mit den Axiomen selbst identifiziert oder als Grundsätze eines Beweissystems angesprochen.

Axiombildungsregeln haben gegenüber der direkten Vorgabe von Axiomenmengen den Vorzug, mit jeweils einer endlichen Regelmenge auch unendliche Axiomenmengen erzeugen zu können. Die Gesamtheit aller Axiombildungsregeln wird dann auch als Axiomschema bezeichnet. Vgl. zu solchen unendlichen Axiomenmengen SMULLYAN (1968), S. 80f.; STEGMÜLLER (1983), S. 86f., und DELAHAYE (1987), S. 48 u. 50.

44) Vgl. zu dieser Begriffsbildung CARNAP (1960a), S. 85.

45) Wenn ein semantisches formales Konzept durch kein Attribut näher spezifiziert wird, gilt es fortan immer als eine deklarative Semantik.

46) Im Kontext der Programmiersprache PROLOG wird die operationale zumeist als prozedurale Semantik thematisiert. Näheres dazu später.

47) Operationale Semantiken dominieren im Bereich der Automatischen Informationsverarbeitung. Sie erlauben es, auf der Grundlage eines formalsprachlichen Kalküls die "Semantik" von Programmiersprachen rein formalsprachlich zu definieren. Vgl. zu derartigen Semantikauffassungen z.B. LEE,R. (1983), S. 28 ("computational semantics"); LEVI,G. (1986), S. 402ff. u. 409; ZELEWSKI (1986a), S. 193, Fn. 1; REIMER (1989), S. 7.

48) Die Operationen einer operationalen Semantik lassen sich daher auf rein formale Weise durch Abbildungen darstellen, die formale Objekte ineinander transformieren.

49) Daher werden imperative Semantiken von Programmiersprachen hier nicht zum rein formalsprachlich definierten Bereich operationaler Semantiken gerechnet. Dies gilt jedoch nur in dem Ausmaß, wie sich diese imperativen Semantiken auch auf Anweisungen für *reale* Automatische Informationsverarbeitungsanlagen erstrecken. Dann gehören sie der Klasse dynamischer Semantiken an, die später skizziert werden.

50) Vgl. zur Begriffsbildung der "Meta-Metasprache" OPP,K. (1976), S. 313.

51) Näheres dazu an späterer Stelle unter den Aspekten der prädikatenlogischen Vollständigkeit und Korrektheit.

52) Vgl. LORENZEN,P. (1987), S. 148, der für materiale Konzepte als außersprachliche Entitäten Zwecke und Mittel aus politischen bzw. technischen Argumentationskontexten anführt.

53) In anderen materialen Logikversionen wird mitunter versucht, nicht-formale Inferenzregeln für "natürliches Schließen" zu definieren. Derartige informale Schlußweisen werden in dieser Arbeit aber nicht weiter berücksichtigt. Vgl. statt dessen zu solchem "natürlichem Schließen" oder "common sense reasoning" HELLWIG,P. (1977), S. 59ff.; NILSSON,N. (1979), S. 102ff.; BIRNBAUM (1980), S. 313ff.; WAHLSTER (1981), S. 16ff.; HAUGELAND (1982), insbesondere S. 245ff.; GOGUEN (1983), S. 521ff.; STEGMÜLLER (1984b), S. 98f.; FLOWERS (1984), S. 657f.; SOWA (1984), S. 18f.; ZELEWSKI (1986a), S. 368f. u. 379.

54) Der Objektbegriff wird im weit gefaßten Sinn des Bezugsobjekts verstanden. Bei einem Bezugsobjekt kann es sich um beliebige Sachverhalte, also auch um Eigenschaften, Ereignisse, Aktivitäten oder Operationen handeln. Dieses Objektverständnis stimmt mit dem weit gefaßten Objektbegriff der objektorientierten Systemgestaltung überein. Daher konnten schon früher Operationen in den Objektbegriff integriert werden.

55) In der prädikatenlogischen Repräsentation des Objektwissens liegt kein wesentlicher Engpaß des Modellierungsprozesses. Denn eine vorgegebene natürlichsprachliche Beschreibung des Wissens über ein Modellierungsobjekt läßt sich im Prinzip ohne Schwierigkeiten in eine prädikatenlogische Wissensrepräsentation transformieren. Hierfür muß lediglich eine Vertrautheit mit dem formalen Apparat des prädikatenlogischen Kalküls und seiner Semantik vorausgesetzt werden.

Allerdings könnte der Einwand erhoben werden, daß gerade diese Vertrautheit in der betrieblichen Praxis im allgemeinen nicht vorliegt. Der Einwand ist zwar grundsätzlich berechtigt, wendet sich aber gegen *jede* formale Wissensrepräsentation. Da alle Modellierungskonzepte solche Formalisierungen erfordern, besitzt das Argument mangelnder Vertrautheit keine spezifische Geltung hinsichtlich der Prädikatenlogik. Vielmehr besteht allgemein ein Problem der Wissensakquisition. Es erstreckt sich auf den Erwerb formal explizierter Wissensrepräsentationen aus informalen oder sogar impliziten Wissensquellen. Dieses grundsätzliche Akquisitionsproblem ist nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Vgl. dazu ZELEWSKI (1986a), S. 1149ff.

56) Vgl. zur denotationalen Semantikauffassung z.B. RUSSELL, B. (1905), S. 479ff., insbesondere S. 488; LEE, R. (1983), S. 28; GOODMAN (1987), S. 95ff. u. 129ff., insbesondere S. 134ff.; POULAIN (1987), S. 334 (ohne explizite Verwendung des Attributs "denotational"); HAUSSER (1987), S. 336 u. 348; LEE, R. (1988a), S. 224ff., insbesondere S. 225 ("semantic rules that specify the denotation of the symbols in the logic ... as a functional mapping ... from symbols to entities in the world"; Unterstreichung im Original hier unterlassen); POOLE, D. (1988), S. 29f.

57) Dabei wird der weit gefaßte Objektbegriff der objektorientierten Systemgestaltung vorausgesetzt. Daher umfaßt ein Objekt als Sachverhaltsbeschreibung sowohl einen "dinghaften" als auch einen prozessualen Aspekt. Im allgemeinen wird im Kontext von denotationalen Semantiken nur die erstgenannte Objektdimension thematisiert. Die hier zugelassene prozessuale Objektdimension erlaubt es jedoch, als einen Spezialfall materialer Logiken auch die aktivitätsabbildenden Operationen aus einer dynamischen Semantik zu erfassen.

58) Vgl. zu solchen Korrespondenzregeln, die auch als Zuordnungsregeln, Zuordnungsdefinitionen, semantische Regeln oder Korrespondenzpostulate bezeichnet werden, CARNAP (1959b), S. 37; RAMSEY, F. (1965), S. 215 u. 221 i.V.m. S. 228 (dort wird die Gesamtheit aller Korrespondenzregeln als "dictionary" angesprochen); CARNAP (1969), S. 233ff.; STEGMÜLLER (1970a), S. 138, 188, 308ff., 400, 402ff. u. 468; DLUGOS (1972b), S. 36; STEINMANN, H. (1972), S. 128ff. u. 138; HEMPEL (1974), S. 73f. u. 78ff.; OPP, K. (1976), S. 187 u. 315f.; STEGMÜLLER (1976b), S. 464; ESSER, H. (1977a), S. 182f.; CHMIELEWICZ (1979), S. 65 u. 161; VIEFHUES (1982), S. 86ff.; STEGMÜLLER (1983), S. 132f.; STEGMÜLLER (1986a), S. 480; SCHANZ (1988b), S. 44; LEE, R. (1988a), S. 225.

Korrespondenzregeln beruhen auf dem Konzept, durch empirische Begriffe aus einer natürlichen Beobachtungssprache die theoretischen Begriffe aus einer Formalsprache - zumindest partiell - zu interpretieren. Vgl. zu dieser Zuordnung von empirischer Beobachtungs- und theoretischer Formalsprache, auf deren epistemologischen Probleme hier nicht weiter eingegangen wird, CARNAP (1959b), S. 32ff.; STEGMÜLLER (1970a), S. 293ff. u. 400ff.; STEINMANN, H. (1972), S. 128ff. u. 138; HEMPEL (1974), S. 73ff.; MAZANEC (1975), S. 317f.; OPP, K. (1976), S. 358ff.; ESSER, H. (1977a), S. 180ff.; KIRSCH (1977b), S. 35ff.; KAMLAH, A. (1978), S. 41ff.; CHMIELEWICZ (1979), S. 65f. u. 161; VIEFHUES (1982), S. 86f.; STEGMÜLLER (1983), S. 131ff.; STEGMÜLLER (1986a), S. 466f. u. 480ff.

59) Aus den Schwierigkeiten des Korrespondenzkonzepts könnten alternative Auffassungen für die Semantik materialer Logiken entwickelt werden. Als Hauptperspektiven bieten sich das Gebrauchskonzept der Begriffsbedeutung und das strukturalistische Bedeutungskonzept an. Aus der Perspektive des Gebrauchskonzepts wird die Interpretation eines formalsprachlichen Objekts durch die Menge seiner korrekten realen Anwendungskontexte definiert. Dies entspricht dem Ansatz WITTGENSTEIN's, die Bedeutung natürlichsprachlicher Ausdrücke durch ihren Gebrauch in den Kontexten korrekter Sprachspiele festzulegen. Auf das Gebrauchskonzept der Begriffsbedeutung wurde bereits im Rechtfertigungskontext terminologischer Prämissen hingewiesen. Aus dem eng verwandten Blickwinkel des strukturalistischen Bedeutungskonzepts werden Sprachen als abstrakte Strukturen aus symbolischen (nicht-ikonischen) Zeichen und den gleichzeitigen (synchronischen) Beziehungen zwischen diesen Zeichen aufgefaßt. Aus strukturalistischer Sicht kann die Interpretation eines Ausdrucks durch die Menge seiner zulässigen Verknüpfungen mit anderen Ausdrücken aufgefaßt werden. Beide Perspektiven hat die Künstliche Intelligenz-Forschung im Konzept der Kasusrahmen zusammengeführt. Solche Kasusrahmen definieren die Semantik formalsprachlicher Wissensrepräsentationen dadurch, daß sie formale Ausdrücke durch ihre natürlichsprachlich zulässigen Ausdrucksverwendungen interpretieren.

Vgl. zum strukturalistischen Sprachkonzept der synchronischen Zeichenzusammenhänge SCHIWY (1969), S. 39f.; SCHIWY (1973), S. 113f. u. 127ff.; BAUMGÄRTNER, K. (1973), S. 119ff.; BELL, DA. (1986), S. 184ff. (mittelbar), insbesondere S. 186; ALBRECHT, J. (1988), S. 33ff. u. 107.

Vgl. zu Kasusrahmen BRUCE (1975), S. 327ff.; HAYES, P. (1977), S. 99ff. (weit interpretiert); NIEMANN (1981), S. 16f.; FAUSER (1981), S. 61f.; HOEPPNER (1982), S. 216ff.; WAHLSTER (1982), S. 245f.; STEDE (1983), S. 182ff.; MOHNHAUPT (1984), S. 52 u. 54; ZELEWSKI (1986a), S. 469ff.

Alle diese vorgenannten Semantikauffassungen, die vom Korrespondenzkonzept denotationaler Semantiken deutlich abweichen, werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Damit wird keineswegs verkannt, daß diese Alternativen den Vorzug aufweisen, den Verdacht einer naiv realistischen Weltabbildung von vornherein nicht aufkommen zu lassen. Denn sie ersetzen das abbildungsorientierte Korrespondenzkonzept durch ein zusammenhangsorientiertes Kohärenzkonzept. Der Verf. hat zwar an früherer Stelle dargelegt, daß er dem Kohärenzgedanken in epistemischen Argumentationszusammenhängen durchaus aufgeschlossen gegenübersteht. Doch wurde bereits anlässlich der Erörterung des modelltheoretischen Paradigmas ausgeführt, daß er in ontischen Modellierungskontexten am - obgleich konstruktiv aufgeklärten - realistischen Korrespondenzprinzip festhält.

60) Vgl. z.B. LEE,R. (1988a), S. 225, der eine extra-logische Metasprache anführt.

Grundsätzlich könnten Korrespondenzregeln auch außersprachlich durch Ostension realisiert werden; vgl. LEE,R. (1988a), S. 225. Dabei verknüpfen Zeigehandlungen die formalsprachlichen Konstrukte mit den jeweils bezeichneten realen Objekten. Vgl. dazu auch das Konzept des linguistischen Konstruktivismus, elementare Begriffe in ostensiver Weise einzuführen. Hierauf wurde bereits in einer früheren Anmerkung hingewiesen.

61) Die hier betrachteten Operationen bilden eine Operationsklasse *sui generis*. Sie gehören nicht zu den oben eingeführten Operationen von Beweissystemen. Später werden die speziellen Operationen von dynamischen Semantiken als Transformationsregeln für prädikatenlogische Faktenmengen und als Schaltregeln (Schaltprozeduren) für Synthetische Netze identifiziert.

62) Diese Subjekte werden fortan auch als Aktionsträger angesprochen. Der Subjektbegriff wird dabei so weit gefaßt, daß er jede Einheit umfaßt, die Handlungen auszuführen vermag. Dies umschließt auch nicht-menschliche Handlungsträger, wie z.B. Roboter.

63) Dies entspricht der aktionsorientierten Systemstrukturierung, wie sie vor allem im Rahmen betriebswirtschaftlicher Ablauforganisationen erfolgt.

64) Aktivitäten und Objekte lassen sich im weit gefaßten Objektbegriff der objektorientierten Systemgestaltung zusammenfassen. Die Aktivitäten, die auf ein Objekt einwirken können, werden dort als objektzugehörige Operationen thematisiert.

65) Die Dynamik einer denotationalen Semantik erstreckt sich also zunächst auf die Modifizierungen realer Objekte. Die Objektveränderungen werden von einer real stattfindenden Aktivität *bewirkt*. Daher besitzt die dynamische Semantik einen primär kausalen Charakter.

66) Der Ordnungsbegriff ist offen gegenüber sowohl vollständig geordneten als auch halbgeordneten Mengen. Darauf wird an anderer Stelle näher eingegangen. Die formale Handhabung des Ordnungsbegriffs wird wesentlich erleichtert, wenn er - wie es oben der Fall ist - auch für einelementige Mengen definiert ist. (Dort fallen Voll- und Halbordnungen zusammen.) Eine anschauliche Interpretation ermöglichen aber erst zeitlich geordnete Mengen, die mindestens zwei Aktivitäten umfassen. Dann läßt sich die zeitliche Anordnung der Aktivitäten durch eine zweistellige Präzedenzrelation ausdrücken.

67) Die temporale Dynamik geht über eine dynamische Semantik hinaus. Denn die zeitliche Anordnung von Operationen oder Aktivitäten ist haltreicher als der primär kausale Charakter, durch den sich die Aktivitäten einer dynamischen Semantik auszeichnen. Vgl. auch dazu die Erläuterungen zum Verhältnis zwischen kausalen und temporalen Ereignisbeziehungen. Allerdings handelt es sich bei dynamischer und temporaler Semantik gemeinsam um operations- oder aktivitätsorientierte Spezialfälle des umfassenderen Konzepts einer denotationalen Semantik.

68) Eine weitere Kombination formaler und materialer Logiken liegt auch dem Validitätsbegriff zugrunde, der an späterer Stelle zur Beurteilung von Netzmodellen eingeführt wird. Er setzt zunächst objektsprachlich formulierte Modelle realer Objekte voraus. Zur formalen Semantik dieser Modelle gehören einerseits die metasprachlichen Feststellungen, daß bestimmte objektsprachliche Ausdrücke aus den Netzmodellen - die Fakten - gültig sind. Die denotationale Semantik der Netzmodelle ist andererseits der jeweils modellierte Realitätsausschnitt. Die meta-metasprachliche Validitätsbehauptung, daß die Gültigkeit faktischer Netzausdrücke jeweils einen real zutreffenden Sachverhalt korrekt wiedergibt, verbindet die formale Netzsemantik mit der materialen Modellinterpretation.

69) Der modellierungsrelevante Realitätsausschnitt wird nachfolgend als Modellierungsobjekt angesprochen. Dies entspricht dem weit gefaßten Objektbegriff, der auf im Rahmen des objektorientierten Gestaltungsansatzes eingeführt wurde.

70) Die Prädikatenlogik wird an späterer Stelle ausführlich behandelt.

71) Der topologische Kern eines Stelle/Transition-Netzes wurde bereits an früherer Stelle definiert. Er stellt ein Stelle/Transition-Netz dar, von dessen Markierung, Kantengewichten und Markkapazitäten als quantitativen Netzaspekten abstrahiert ist. Vgl. dazu auch die Definition der Netztopologie von Synthetischen Netzen. Allerdings wird durch das Definitionsschema für Netztopologien der Kalkül der Netzsprache nicht in der oben eingeführten Weise mit der Hilfe eines Alphabets und darauf angewandten Formierungsregeln angegeben. Vielmehr erfolgt nur eine semi-formale Umschreibung des Netzsprachen-Kalküls durch die formalsprachliche Netzdefinition und die natürlichsprachliche Ergänzung, die Netzsprache umfasse alle definitionserfüllenden Netztopologien. Vgl. darüber hinaus den später vorgelegten Algorithmus, mit dessen Hilfe jede prädikatenlogische Repräsentation eines Modellierungsobjekts in ein Synthetisches Netz als Netzmodell transformiert werden kann. Er umfaßt u.a. die Konstruktion des topologischen Netzkerns in der Gestalt eines markierungs-, gewichtungs- und kapazitätsfreien Stelle/Transition-Netzes.

Im Kontext des algebraischen Signaturkonzepts wird an späterer Stelle der Kalkül der Netzsprache für Netztopologien vollständig formalisiert. Hierzu dient ein Alphabet aus originär definierten formalen Objekten, die als

Konstanten eingeführt und als s- oder t-Knoten bezeichnet werden. Hinzu kommen Operationen, die als Formierungsregeln aus jenen Konstanten zunächst Kanten und später Netztopologien als derivativ definierte formale Objekte erzeugen. Einen ähnlichen Ansatz hat der Verf. an anderer Stelle für den Spezialfall von Stelle/Transition-Netzen mit unbeschränkten Markkapazitäten und homogen unären Kantengewichten ausgeführt. Dabei hat er einen Isomorphismus zwischen dem Kalkül aussagenlogischer Formeln und den vorgenannten speziellen Stelle/Transition-Netzen konstruiert. Es wurden allerdings markierte Stelle/Transition-Netze betrachtet, um die Wahrheitswerte von aussagenlogischen Formeln repräsentieren zu können. Vgl. dazu ZELEWSKI (1986b), S. 11ff.; ZELEWSKI (1989c), S. 17ff.

72) Da dieser Netzkern keine quantitativen, sondern nur rein topologische Modellaspekte zu repräsentieren vermag, wird er als Topologie des Netzmodells bezeichnet. Synonym wird auch vom topologischen Netzkern oder von der Netztopologie gesprochen.

73) Mit der aussagenlogischen Struktur ist die Anwendung aussagenlogischer Operatoren auf die atomaren Prädikate einer prädikatenlogischen Objektmodellierung gemeint, die zur Negation und Zusammensetzung der involvierten Prädikate dienen.

74) Die Vielfalt unterschiedlicher und inkompatibler Pragmatikdefinitionen wird vor allem von ESSLER (1982a), S. 32ff., und GREWENDORF (1987), S. 374 u. 376, herausgestellt.

Seitens der Semiotik wird die Pragmatik einer Sprache im allgemeinen als die Gesamtheit aller Beziehungen zwischen den Zeichen dieser Sprache und den Zeichenbenutzern aufgefaßt; vgl. CARNAP (1960a), S. 78; STEGMÜLLER (1969), S. 33; BENTELE (1978), S. 40f. u. 134f.; WAHLSTER (1982), S. 212; GREWENDORF (1987), S. 377.

Bereits STEGMÜLLER (1968), S. 3; STEGMÜLLER (1976b), S. 414, verwendet einen leicht abweichenden semiotischen Pragmatikbegriff, der auch die semantischen Zeichenbedeutungen einschließt. Vgl. zu weiteren Pragmatikauffassungen HEGSELMANN (1980), S. 190f.; GETHMANN (1980b), S. 31ff., insbesondere S. 37; HABERMAS (1986), S. 353ff.; GREWENDORF (1987), S. 374ff., insbesondere S. 377ff.; HAUSSER (1987), S. 333f. u. 364ff.; POULAIN (1987), S. 334; PITRAT (1988), S. 6ff. u. 113ff.; HABERMAS (1988), S. 123ff.

75) Dies entspricht weitgehend der Pragmatikauffassung von STEGMÜLLER, auf die in der voranstehenden Anmerkung hingewiesen wurde.

76) Die logische Dimension der Pragmatik wird besonders deutlich bei Versuchen, pragmatisch begründete Schlußfolgerungskonzepte zu formulieren. Ansätze für ein solches pragmatisches Schließen finden sich z.B. bei THIEL, C. (1980c), S. 117ff., und GETHMANN (1980b), S. 31ff. Dabei faßt THIEL Schlußfolgerungen in argumentationspragmatischer Weise als Dialogsequenzen auf, die so konstruiert werden, daß die Folgerungen gegen alle zulässigen Zweifel verteidigt werden können. GETHMANN versucht den pragmatisch orientierten Aufbau einer Protologik. Beide Ansätze führen darauf hinaus, Regeln für *praktisches* Argumentieren einzuführen. Einerseits wurden solche Argumentationsregeln bereits an früherer Stelle im Kontext von Rechtfertigungszusammenhängen ausführlicher gewürdigt. Andererseits erfüllen sie nicht die Voraussetzung eines *formallogischen* Fundaments, u.a. von Sprachbenutzern und deren Zwecksetzungen vollständig zu abstrahieren. Denn jede pragmatische Betrachtung von dialogischen Rechtfertigungszusammenhängen kann solche Benutzer- und Zweckaspekte einschließen. Daher können pragmatische Schlußfolgerungskonzepte nicht zur formalen, sondern nur zur materialen Logik zählen.

77) Vgl. zur Unterscheidung zwischen extensionalen und intensionalen Definitionskonzepten WHITEHEAD (1925), S. 72ff.; CARNAP (1960a), S. 39ff.; CARNAP (1968), S. 176ff.; STEGMÜLLER (1969), S. 33f.; CHURCH (1976), S. 756f.; ESSER, H. (1977a), S. 62ff.; BENTELE (1978), S. 143ff.; RAUTENBERG (1979), S. 9ff.; WEDEKIND (1980), S. 667f.; THIEL, C. (1980a), S. 626; BUDDÉ (1981), S. 452f.; STEGMÜLLER (1983), S. 94ff.; SOWA (1984), S. 10f. u. 18; LORENZ, K. U. (1984), S. 256f.; STEGMÜLLER (1984b), S. 37f.; RICHTER, M. M. (1988), S. 23f.; RHEINWALD (1989), S. 2ff., insbesondere S. 4; WEDEKIND (1989c), S. 31ff.; KLEINHANS (1989), S. 81f.; JABLONSKI (1990), S. 100.

78) Vgl. zur allgemeinen Bevorzugung extensionaler Definitionen im Kontext formalsprachlicher Konstruktionen WHITEHEAD (1925), S. 25f. u. 72ff., insbesondere S. 74f.; FRAENKEL (1930), S. 301; CARNAP (1960a), S. 41f., 86, 95 u. 113f.; CARNAP (1961), S. 42ff. u. 61ff.; RAMSEY, F. (1965), S. 14ff. u. 231; HASENJAEGER (1968), S. 242; CARNAP (1968), S. 183ff. u. 188ff.; ESSER, H. (1977a), S. 181; KAMLAH, A. (1978), S. 44; RAUTENBERG (1979), S. 7, 10 u. 13; PUTNAM, H. (1982a), S. 45ff.; ESSLER (1982a), S. 46f.; LORENZ, K. U. (1984), S. 257; STEGMÜLLER (1984b), S. 38; RHEINWALD (1989), S. 1ff., insbesondere S. 2f.; WEDEKIND (1989c), S. 28 u. 31ff.; JABLONSKI (1990), S. 100. Die Präferenz extensionaler Ansätze wurde am rigidesten von WITTGENSTEIN (1921), S. 228, 234 u. 243, Punkte 5, bzw. 5.3 u. 5.54, in bezug auf jede "sinnvolle" Sprache formuliert. Er verwendet zwar nicht explizit den Extensionsbegriff und beschränkt sich auch auf den einfachen aussagenlogischen Kalkül. Doch findet sich bei WANG, H. A. (1965), S. 42, und RHEINWALD (1989), S. 2, eine überzeugende Interpretation von WITTGENSTEIN's Ausführungen im Sinne eines umfassenden Extensionalitätspostulats, das behauptet: Alle "sinnvollen" Aussagen über die Welt lassen sich extensional formulieren. Solche extensionalen Aussagen zeichnen sich u.a. infolge ihrer expliziten Formalisierung durch ihre Klarheit aus. Daher kann ein weiteres Motto aus WITTGENSTEIN's Frühwerk als Proklamierung seiner Extensionalitätsforderung gedeutet werden: "Alles was überhaupt gedacht werden kann, kann klar gedacht werden. Alles was sich aussprechen läßt, läßt sich klar aussprechen." (WITTGENSTEIN (1921), S. 217f., Punkt 4.116).

Des öfteren wird die generelle Bevorzugung extensionaler Formulierungsweisen auch in der Gestalt einer Extensionalitätsthese vorgetragen. Ihr zufolge kann jede intensionale Formulierung auf eine extensionale Ausdrucksweise zurückgeführt werden. Deshalb lassen sich intensionale Redeweisen von vornherein vermeiden oder zumindest nachträglich eliminieren. Vgl. zu solchen Extensionalitätsthesen oder -postulaten FRAENKEL (1930), S. 301; CARNAP (1960a), S. 114; WANG, HA. (1965), S. 41f.; THIEL, C. (1980a), S. 626; MAINZER (1980a), S. 627; LORENZ, KU. (1984), S. 257; WEDEKIND (1989c), S. 33 u. 35 (allerdings distanziert); JABLONSKI (1990), S. 100.

Allerdings führt WEDEKIND (1989c), S. 32ff., einige bemerkenswerte Aspekte an, welche in Aussicht stellen, zukünftig intensionale Konstrukte auf zeit- und modallogischer Basis verstärkt in fortgeschrittene Informationsverarbeitungskonzepte einzubeziehen. Vgl. dazu auch die Anmerkungen zum intensionalen Charakter der Modallogiken sowie ihrem Spezialfall, den Zeitlogiken. WEDEKIND bleibt jedoch in seinen Ausführungen auf der konzeptionell-deliberativen Ebene. Infolge fehlender Konkretisierung vermag der Verf. im einzelnen nicht nachzuvollziehen, ob tatsächlich intensionale Konstruktdefinitionen erörtert werden. Statt dessen wäre es auch möglich, daß das Attribut "intensional" nur Denkkonzepten zugeschrieben wird, die bei ihrer konkreten Implementierung doch wieder auf extensional definierte Ersatzkonstrukte abgebildet werden. Der Verf. mutmaßt den zweiten Fall. Hierfür spricht, daß ihm bislang keine Implementierungen von echt intensionalen Konstrukten in Automatischen Informationsverarbeitungssystemen bekannt geworden sind. Vgl. dazu auch die Anmerkung, daß die intensionale Modallogik in dem Moment, wo die Wahrheitswerte modallogischer Formeln konkret ermittelt werden sollen, doch wieder durch Ergänzungen extensionalen Charakters so überlagert werden, daß insgesamt eine extensionale Konstruktinterpretation erfolgt. WEDEKIND (1989c), S. 34, demonstriert selbst an einem Beispiel, wie er die intensionale Verschiedenheit zweier extensionsgleicher Prädikate ("Paarzeher" und "Wiederkäuer") mittels einer *extensional* definierten Integritätsbedingung zu bewältigen denkt. Dennoch gibt sich WEDEKIND zugleich als ein überzeugter "Intensionalist" aus (vgl. dazu auch die ebenso dunkle Präferenz für intensionale Begriffsbildung bei WEDEKIND (1980), S. 668). Dies bestätigt den zuvor skizzierten Verdacht des Verf., daß alle intensionalen Konstrukte spätestens in der Phase ihrer Implementierung mittels extensionaler Ergänzungen in extensionale Substitute transformiert werden.

Immerhin läßt sich WEDEKIND einen Ausweg offen, Intensionalität ohne extensionale Ersatzkonstruktionen zu verwirklichen: Er empfiehlt den interaktiven Dialogbetrieb von Automatischen Informationsverarbeitungssystemen, um den Menschen den intensionalen Part der Informationsverarbeitung spielen zu lassen; vgl. WEDEKIND (1989c), S. 28 u. 40. Der Verf. vermag sich mit diesem Vorschlag aber nicht recht anzufreunden. Er wird seine Skepsis etwas detaillierter rechtfertigen. Denn WEDEKINDS Überlegungen vertreten als *pars pro toto* etliche Ansätze, die gegenwärtig die Diskussion um Leistungsfähigkeit und Grenzen extensional definierter, rein formaler Konzepte bestimmen. Zugleich suggerieren sie die Ablösung der in Zweifel gezogenen "Formalisten" durch angeblich geeignetere informale, intensionale, intuitive oder ähnliche qualifizierte Alternativen.

Der menschliche Systembenutzer wird in der Argumentation WEDEKINDS zum Lückenbüßer, der mit jenen intensionalen Konstrukten umgehen soll, die von Konzepten der Automatischen Informationsverarbeitung anscheinend nicht bewältigt werden können. Der Systembenutzer wird als pervertierter "deus ex machina" zum wohlfeilen Surrogat konkret explizierter Konzepte, sobald diese nicht - oder zumindest nicht in der gewünschten Qualität - zur Verfügung stehen. Aber an keiner Stelle wird intersubjektiv nachvollziehbar erläutert, warum der Mensch gerade jene intensionalen Konstrukte beherrschen sollte, die von formalen Konzepten noch nicht abgedeckt werden. Sicherlich wird der Benutzer eines Automatischen Informationsverarbeitungssystems im Dialog *irgendwie* reagieren. Aber mit welchem Argument wird dargelegt, daß sein Reaktionsergebnis dem Resultat einer formalen Konzeptimplementierung überlegen wäre? Bei WEDEKIND findet sich kein noch so versteckter Hinweis auf eine solche Rechtfertigungsmöglichkeit.

Seine Ausführungen entsprechen statt dessen der oftmals verwendeten - aber in keiner Weise schlüssigen - Argumentationsfigur, aus dem vergangenen Mißerfolg formaler Konzepte zu folgern, das Eingreifen des Menschen verheiße zukünftigen Erfolg. Doch liegt hierin ein zweifacher Fehlschluß: Erstens kann aus dem tatsächlichen oder vermeintlichen Scheitern eines Konzepts grundsätzlich nicht auf das Gelingen eines Alternativkonzepts geschlossen werden (Fehlschluß des Alternativenwechsels). Vielmehr müßte inhaltlich aufgezeigt werden, daß das Alternativkonzept die suggerierten besserstellenden Leistungen tatsächlich erbringen kann. Dies erfolgt aber in der o.a. Argumentationsfigur nicht. Zweitens ist der Vergleich vergangener Leistungen des einen mit zukünftigen Leistungen des anderen Konzepts unzulässig, weil zeitlich inkompatible Größen miteinander verglichen werden (Fehlschluß des Zeitraumwechsels). Statt dessen müßte in einer Monotonieargumentation aufgezeigt werden, daß die Leistungsmängel des bisher erfolglosen formalen Konzepts bis zu demjenigen zukünftigen Zeitpunkt - zumindest relativ - fortbestehen werden, in dem das Alternativkonzept seine angeblich überlegene Leistung unter Beweis stellen soll. Aber auch eine solche Leistungsprognose erfolgt in der kritisierten Argumentationsfigur nicht. Fortentwicklungschancen der dort ablehnten formalen Konzepte werden zumeist überhaupt nicht ins Auge gefaßt. Aufgrund der beiden involvierten Fehlschlüsse sieht der Verf. keinen überzeugenden Ausweg darin, den Menschen als einen "Intensionalitätsgaranten" vorzusehen, der eine Überwindung der vermeintlich unzureichenden, rein extensional definierten Konstruktionen formaler Konzepte sicherstellen soll.

79) Vgl. RAUTENBERG (1979), S. 9f.; JABLONSKI (1990), S. 100.

BUDDE (1981), S. 452, geht sogar so weit, formale Konzepte mit extensionalen Definitionen der Konzeptkomponenten gleichzusetzen. Ob diese Identifizierung gerechtfertigt ist, vermag der Verf. nicht abzuschätzen. Ihm

ist aber auch kein formales Konzept bekannt, das mehr als extensional bestimmte Größen benutzen würde. Zugunsten von BUDDÉ's Identifizierung spricht, daß sich die formale Logik "definitionsgemäß" ausschließlich mit extensionalen Konstrukten befaßt (LORENZ, KU. (1984), S. 257).

Zwar könnte der Einwand erhoben werden, daß z.B. die Modallogik über die rein extensional festgelegten Wahrheitswerte modaler Formeln hinausreicht. Denn die meisten Varianten der Modallogik besitzen eine Semantik, die sich im Hinblick auf die Wahrheitswerte ihrer Formeln als unterbestimmt erweist. Aus dieser extensionalen Unterbestimmtheit resultiert ein intensionaler Charakter der modallogischen Semantik. Vgl. dazu KRIPKE (1959), S. 2f.; RAUTENBERG (1979), S. 261f.; MANNA (1979), S. 386; THIEL, C. (1980a), S. 626; MAINZER (1980a), S. 627; STEGMÜLLER (1983), S. 94; LORENZ, KU. (1984), S. 257; BUCHER (1987), S. 240 u. 246; RICHTER, M.M. (1988), S. 26; DORN (1989), S. 80 u. 82. Die intensionale Öffnung der Modallogik ist im Rahmen dieser Arbeit durchaus zu beachten, weil später gezeigt wird, daß auch das Petrinetz-Konzept modallogische Qualitäten aufweist. Folglich drängt sich der Verdacht auf, daß sich modallogische Aspekte des Petrinetz-Konzepts mit der oben konstatierten Beschränkung auf extensionale Konstrukte nicht vereinbaren lassen. Diese Bedenken treffen aber aus zwei Gründen nicht zu. Erstens werden die modallogischen Facetten des Petrinetz-Konzepts nur in natürlichsprachlicher Rede-weise erläutert. Der formale Apparat der hier vorgelegten Ausarbeitung verbleibt dagegen innerhalb des prädikatenlogischen Ausdrucksvermögens. Deswegen wird der problematische Bereich der formalen modallogischen Semantik überhaupt nicht betreten. Zweitens ist es aber auch möglich, Varianten der Modallogik so zu modifizieren, daß die variantenspezifischen Semantiken nichts anderes als extensionale Erweiterungen von konventionellen, d.h. aussagen- oder prädikatenlogischen Semantiken darstellen. Vgl. zu solchen extensionalen Semantikerweiterungen der Modallogik MAINZER (1980a), S. 627; LORENZ, KU. (1984), S. 257; BUCHER (1987), S. 246f., 253f. u. 279ff.; RICHTER, M.M. (1988), S. 26; DORN (1989), S. 82. Sie führen dazu, daß die Ermittlung von Wahrheitswerten in den semantisch erweiterten Logikkonzepten doch wieder extensional festgelegt ist. So räumt auch KRIPKE (1959), S. 3, ein, daß alle modallogischen Erkenntnisse (in einer Metasprache) vollständig extensional ausgedrückt werden können. Besonders deutlich wird der extensionale Charakter der modallogischen modifizierten Semantik, nachdem sie von BUCHER (1987), S. 279ff., um das Instrument der vierwertigen Wahrheitsmatrizen "bereichert" worden ist. Es läßt sich nicht erkennen, wo in diesem Fall noch ein Rest intensionaler Informalität und "Wesentlichkeit" vorhanden sein sollte.

80) Vgl. PUTNAM, H. (1982b), S. 11ff.; vgl. dazu auch STEGMÜLLER (1986a), S. 349ff., insbesondere S. 355ff.

81) Vgl. daneben auch die Kritik von CARNAP (1968), S. 225ff., an der "inhaltlichen Redeweise" aller nicht-formalen Konzepte, die auf intensionalen Begriffsverwendungen beruht.

82) Vgl. zu extensionalen Konstruktdefinitionen ESSER, H. (1977a), S. 63; BENTELE (1978), S. 144f.

83) Vgl. dazu die vorausgreifende Erläuterung an früherer Stelle, in der materielle Konstruktbedeutungen auf formalsprachliche Bedeutungsdefinitionen zurückgeführt wurden. Da die zugrundeliegenden Konstrukte auf objektsprachlicher Ebene definiert sind, gehören ihre formalsprachlichen Bedeutungsexplikationen stets der metasprachlichen Ebene an.

84) Vgl. zur Forderung nach möglichst umfassender (unmittelbarer) Explizierung der jeweils intendierten Konstruktaspekte CARNAP (1931c), S. 105; MESCHKOWSKI (1967), S. 222; PFOHL (1977), S. 181; GUPTA, J. (1977), S. 89; GETHMANN (1979), S. 84; REINFRANK (1985b), S. 21; KLEIN, D. (1987), S. 559ff.; HORACEK (1989), S. 2; SELL (1988), S. 75; HORACEK (1989), S. 324f.

Vgl. allerdings auch die Ausführungen von MEYER ZU SELHAUSEN (1980a), S. 42f., und MEYER ZU SELHAUSEN (1980b), S. 138. Dort werden Experimente referiert, die erkennen lassen, daß die Präferenz von entweder expliziten oder aber impliziten Darstellungsweisen wesentlich vom "analytischen" bzw. vom "ganzheitlichen" oder "intuitiven" Denkstil des Modellierungsträgers geprägt wird. Vor diesem Hintergrund betont die hier bevorzugte Explizierung von Sachverhalten den analytischen Denkstil. Vgl. zu einer vertiefenden Darstellung der voranstehend erwähnten kognitionspsychologischen Experimente HUYSMANS (1970), S. 92ff.; DOKTOR (1973), S. 885ff., insbesondere S. 888ff.

85) Abweichender Ansicht scheint WINSLETT (1986), S. 421, zu sein. Sie redet von extensionalen Konstrukten nur dann, wenn diese in vollständig explizierter Form vorliegen. Dagegen betrachtet sie Konstrukte als "intensional" definiert, falls ihre Bedeutungen zum Teil nur implizit festliegen, jedoch durch Inferenzen mittelbar erschlossen werden können. Damit lassen sich aber auch WINSLETT's "intensionale" Konstrukte vollständig explizieren. Darüber hinaus wird ihre formalsprachliche Konstruktformulierung unterstellt, um die zunächst impliziten Konstruktbedeutungen durch Inferenzen explizieren zu können. Daher gehören "intensionale" Konstrukte im Sinne WINSLETT's in der Terminologie des Verf. ebenso zu den extensional definierten Konstrukten.

86) Bei der kombinierten Definitionsweise wird ein Konstrukt zum Teil auf bereits eingeführte extensionale Konstrukte zurückgeführt. Zusätzliche Konstruktaspekte werden explizit formalisiert. Jedes originär eingeführte Konstrukt muß unmittelbar als explizit formalisierter Ausdruck vorliegen.

87) Die - prima facie naheliegende - Forderung nach vollständiger Explizierung der Konstruktsemantik erweist sich im allgemeinen als unrealistisch. Sie würde zu überaus voluminösen Konstruktdefinitionen führen. Darüber hinaus wäre sie hochgradig redundant, weil die Informationen, die als bereits erfolgte Konstruktdefinitionen vorliegen, in den Definitionen anderer Konstrukte, die auf den vorgenannten aufbauen, wiederholt expliziert würden. Daher ist stets zwischen dem Transparenzvorteil einer unmittelbaren Explizierung und der Ressourcenbindung durch redundante Explizierung abzuwägen. Vgl. beispielsweise die Anmerkungen zum entweder expliziten oder impliziten Ausweis von Formelgültigkeiten anlässlich der Einführung von Faktenmengen. Das Postulat kontrollierter Explizitheit klingt auch bei HORACEK (1989), S. 324, an: "What we ultimately envision is a model that contains explicit definitions ... of all those pieces of knowledge that are necessary for the functionality of the system." (ähnlich auf S. 325 als "Principle of explicitness" und auf S. 330 als "a desirable degree of explicitness"; kursive Hervorhebungen und Fettdruck des Originals hier unterlassen).

88) Die extensionale Begriffsdefinition läßt sich auf Funktionen, Relationen und Prädikate analog übertragen. Auch diese Konstrukte werden jeweils durch die Menge aller konstrukterfüllenden Objekte definiert.

Der Mengencharakter extensionaler Begriffsdefinitionen führt mitunter dazu, extensionale Entitäten schlechthin mit Mengen gleichzusetzen; vgl. z.B. RHEINWALD (1989), S. 3. Diese Sichtweise ist aber zu eng, weil im Rahmen der Prädikatenlogik der Extensionsbegriff heterogen verwendet wird:

- Die Extension eines Konstantensymbols (Individualausdrucks) ist keine Menge, sondern derjenige Sachverhalt (Gegenstand), der von diesem Symbol vertreten wird.
- Die Extension eines Prädikats ist die Menge aller prädikaterfüllenden Argumente, d.h. aller Objektupel, auf welche das Prädikat zutrifft. Nur dies entspricht der o.a. Mengenauffassung.
- Die Extension eines Satzes (einer geschlossenen Formel) - also auch einer Aussage - ist abermals keine Menge, sondern ein Wahrheitswert.

Vgl. zu diesen Festlegungen z.B. CARNAP (1960a), S. 40; STEGMÜLLER (1976b), S. 420; RHEINWALD (1989), S. 4.

Darüber hinaus läßt sich auch die Extension einer Menge als die Auflistung aller mengenzugehörigen Elemente angeben; vgl. STEGMÜLLER (1984b), S. 30. Die Auflistung kann dabei explizit durch jede beliebige Permutation der mengenzugehörigen Elemente erfolgen. Oder die Elementeaufzählung geschieht implizit durch die Angabe eines Prädikats, das genau von allen denjenigen formalen Objekten erfüllt wird, die als Elemente zur betrachteten Menge gehören; vgl. dazu die Anmerkung zum Komprehensionsaxiom der naiven Mengentheorie.

89) Vgl. zur Exaktheit, Eindeutigkeit und Transparenz als charakteristischen Qualitäten von formalen, rein syntaktisch basierten Konzepten die einleitenden Anmerkungen zur Rechtfertigung formaler Konstruktionen.

90) Präzision wird hier als Oberbegriff zu Vollständigkeit, Exaktheit und Eindeutigkeit verstanden.

91) Vgl. WHITEHEAD (1925), S. 72 u. 76f., mittelbar auch S. 56; RHEINWALD (1989), S. 4.

Strenggenommen gilt dies nur für geschlossene Formeln, da nur diese eindeutig bestimmte Wahrheitswerte besitzen. Da diese Präzisierung jedoch nähere prädikatenlogische Ausführungen voraussetzt, die erst später erfolgen, wird hier vereinfacht von Formeln gesprochen.

92) Daher gilt z.B. für die Extensionalität von Prädikats- und Funktionssymbolen im Anschluß an CARNAP (1968), S. 83: Zwei Prädikatssymbole sind identisch, wenn sie für dieselben Argumente jeweils denselben Wahrheitswert besitzen. Denn dann sind die Mengen prädikaterfüllender Argumente - die Prädikatsextensionen - gleich. Zwei Funktionssymbole sind identisch, wenn sie dieselben Argumente jeweils auf denselben Funktionswert abbilden. Denn in diesem Fall stimmen die Mengen funktionserfüllender Paare aus Funktionsargumenten und -werten - also wiederum die Funktionsextensionen - überein. CARNAP formuliert seine beiden Extensionalitätsaxiome zwar mit Hilfe des Gleichheitssymbols "=", doch bedeutet dies im formalsprachlichen Verständnis die Identität. Dies wird unmittelbar aus den Identitätsgrundsätzen von CARNAP (1968), S. 82, ersichtlich, in denen Identität durch formalsprachliche Gleichheit definiert wird. Vgl. auch die Definition des Identitätsprädikats durch die Termgleichheit, die an anderer Stelle erfolgt. Also können in formalsprachlichen Kontexten syntaktisch verschiedene formale Objekte als identisch behandelt werden, sobald sie in der Relation der Gleichheit stehen. Daher weicht der formalsprachliche Identitätsbegriff von der umgangssprachlichen Identitätsvorstellung ab, die ein Identischsein *in jeder Hinsicht* - also auch bezüglich der syntaktischen Objektdefinition - unterstellt. Diese umgangssprachliche Identitätsvorstellung findet ihren Ausdruck in LEIBNIZ' Prinzip der Identität des Ununterscheidbaren. Die hierbei vorausgesetzte Ununterscheidbarkeit in jeder Hinsicht läßt sich jedoch bei präziser formalsprachlicher Analyse nicht aufrechterhalten, weil sie in einen unauflösbaren Widerspruch führte; vgl. WHITEHEAD (1925), S. 57.

93) Das Extensionalitätsaxiom des Petrinetz-Konzepts fordert, daß zwei Transitionen identisch sind, wenn sie dieselben Vor- und Nachbereiche besitzen (gleiche statische Extension) sowie für dieselbe Markierung ihrer benachbarten Stellen dasselbe Schaltverhalten aufweisen (gleiche dynamische Extension). Falls nur Stelle/Transition-Netze mit homogen-unärer Kantengewichtung betrachtet werden, können sich Transitionen mit denselben Vor- und Nachbereichen in ihrem Schaltverhalten nicht unterscheiden. In diesem Spezialfall gelten zwei Transitionen schon dann als identisch, wenn sie dieselben Vor- und Nachbereiche aufweisen.

94) Vgl. zu intensionalen Konstruktdefinitionen ESSER, H. (1977a), S. 65; BENTELE (1978), S. 144; STEGMÜLLER (1986a), S. 352; RHEINWALD (1989), S. 4.

95) Intensionale Bedeutungsumschreibungen beruhen daher auf dem essentialistischen Bedeutungskonzept einer platonischen Wesensschau; vgl. PUTNAM, H. (1982b), S. 17 u. 20f.; ansatzweise auch CARNAP (1968), S. 238.

Ein deutliches Beispiel für diesen essentialistischen Rückfall bietet - vermutlich ungewollt - RHEINWALD (1989), S. 8. Die Autorin behauptet ohne nähere Begründung, daß Formeln zum Beweis des GÖDEL'schen Unvollständigkeits-Theorems der Zahlentheorie "nicht intensional adäquat" seien und "nicht die Bedeutung des Beweisbegriffs" erfüllten. Es bleibt vollkommen im Dunkeln, was denn die intensionale Adäquanz des Beweisbegriffs präzise darstellen soll. Allgemeingültige Adäquanzbedingungen, die ein Überprüfen der Angemessenheit von Formeln erlaubten, werden nicht expliziert.

96) Vgl. STEGMÜLLER (1986a), S. 352; RHEINWALD (1989), S. 4.

Beispielsweise haben die beiden Begriffe "Morgen-" und "Abendstern" zwar dieselbe extensionale Bedeutung (Denomination des Planeten Venus), aber verschiedene intensionale Bedeutungen; vgl. ESSER, H. (1977a), S. 55; LORENZ, KU. (1984), S. 257.

Vgl. zu ähnlichen Beispielen STEGMÜLLER (1976b), S. 420; STEGMÜLLER (1983), S. 95; STEGMÜLLER (1986a), S. 351f.; RHEINWALD (1989), S. 2; WEDEKIND (1989c), S. 34f.

97) Diese Prämisse ist strenggenommen nicht allgemeingültig. Denn es trifft nur zu, daß alle *bisher* vorgelegten formalen Konzepte extensional formuliert worden sind. Damit ist nicht ausgeschlossen, daß sich intensionale Konstrukte vielleicht auch formal darstellen ließen. Auf diese Denkmöglichkeit weist der Einwand hin, der im nachfolgenden Abschnitt skizziert wird. Darüber hinaus wurde oben nur ausgeführt, daß jedes extensionale Konstrukt rein formal definiert wird. Die Umkehrung, auch jedes rein formal definierte Konstrukt müsse extensionalen Charakter besitzen, folgt daraus keineswegs zwingend. Doch die bisher *ausschließlich* extensionale Abfassung aller formalen Konzepte liefert immerhin ein Plausibilitätsargument zugunsten der Informalität jedes intensionalen Konstrukts.

Es könnte zwar eingewendet werden, daß sich intensionale Bedeutungen von Konstrukten auch als spezielle formale Funktionen ausdrücken lassen. Diese Intensionsfunktionen bilden die Konstrukte in allen logisch möglichen Welten einer KRIPKE-Semantik auf die weltspezifischen Konstruktextensionen ab; vgl. PUTNAM, H. (1982a), S. 45ff.; STEGMÜLLER (1986a), S. 352f.; ansatzweise auch WAHLSTER (1982), S. 212. Doch helfen diese formalen Intensionsfunktionen nicht viel weiter. Denn sie setzen bereits die informale Umschreibung dessen voraus, was in allen logisch möglichen Welten das Gemeinsame der dort geltenden Konstruktextensionen ist. Diese Extensionsgemeinschaft ist wieder das "Wesentliche" der intensionalen Begriffsbedeutung, das schon a priori bekannt sein muß, um die o.a. Intensionsfunktionen definieren zu können. Vgl. auch die - anderes gelagerten - Einwände gegen diese Intensionsfunktionen bei PUTNAM, H. (1982a), S. 47; STEGMÜLLER (1986a), S. 354ff.

98) Vgl. BUDDÉ (1981), S. 453. Dies drückt auch RHEINWALD (1989), S. 9, explizit aus, wenn sie davon spricht, in einem Beweiszusammenhang sei "das *informale* Konsistenzprädikat ... zur Formulierung des Theorems erforderlich" (kursive Hervorhebung durch den Verf.).

99) Vgl. zur hier nicht weiter belegten Vagheit und Mehrdeutigkeit aller natürlichsprachlichen Umschreibungen, wie z.B. Metaphern und Analogiebildungen, ACKERMANN, W. (1957), S. 3; RAMSEY, F. (1965), S. 26; MELDMAN (1977), S. 32; SCHNEIDER, H.-J. (1978), S. 34; RAUTENBERG (1979), S. 9ff. u. 178; GETHMANN (1979), S. 83f. (mit dem interessanten Hinweis, daß sich die Präzisionsmängel in der Regel erst dann einstellen, wenn natürlichsprachliche Äußerungen aus ihren lebensweltlich-situativen Verlautbarungskontexten herausgelöst und - etwa als Texte - "an sich" betrachtet werden); STEGMÜLLER (1983), S. 63ff.; BURNS, L. (1986), S. 487ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 469ff.; BUCHER (1987), S. 14f., 50ff., 171, 224ff., 245 u. 248ff.; DITTRICH, G. (1989b), S. 2; TREDE (1990), S. 9 (mit einer drastischen Polemik gegenüber z.B. juristischer Natürlichsprachlichkeit).

Zusätzlich wird auf das Problem der semantischen Antinomien verwiesen. Für sie wurde aufgezeigt, daß sie zwar in natürlichsprachlichen Behauptungen über solche Kalküle auftreten können. Doch lassen sie sich in den formalsprachlichen Kalkülen selbst überhaupt nicht korrekt ausdrücken; vgl. CARNAP (1931c), S. 99; RAMSEY, F. (1965), S. 24ff. u. 278ff., insbesondere S. 26f., 29 u. 284. Infolge ihrer formalsprachlichen Unmöglichkeit ist es plausibel anzunehmen, daß die Wurzel dieser Antinomien in einem inneren Defekt des natürlichsprachlichen Ausdrucksvermögens liegt. Vgl. zur Klasse der semantischen Antinomien FRAENKEL (1930), S. 300f.; MENDELSON (1964), S. 2ff.; RAMSEY, F. (1965), S. 24ff. u. 278ff.; WANG, HA. (1965), S. 34 u. 45; CHURCH (1976), S. 751ff.

Darüber hinaus existieren weitere, aber "einfachere" Antinomien. Sie werden als logische Antinomien thematisiert. Diese Antinomien gehen wiederum aus einer natürlichsprachlichen Problemformulierung hervor. Diesmal ist aber eine formalsprachliche Reformulierung der Antinomien möglich. Es läßt sich zeigen, daß sich diese logischen Antinomien durch die Auswahl hinreichend komplexer formalsprachlicher Kalküle überwinden lassen. Darauf wird unter dem Aspekt der prädikatenlogischen Typentheorie zurückgekommen. Dies verweist abermals auf interne Unzulänglichkeiten natürlichsprachlicher Formulierungsweisen. Dazu gehören vor allem die Antinomien der imprädikativen Begriffsdefinitionen. Bei ihnen werden Begriffe in zirkulärer Weise durch Bezugnahme auf Gesamtheiten definiert, die ihrerseits das Definiendum als notwendigen Bestandteil umfassen. Dies ist beispielsweise bei der Anti-

nomie der frühen Mengentheorie der Fall, die sich auf die Menge aller Mengen erstreckt, die sich nicht selbst als Element enthalten.

Die natürlichsprachlich formulierten Antinomien, die oftmals auch als Paradoxien bezeichnet werden, eröffnen ein weites Feld natürlichsprachlicher Formulierungsdefekte. Nähere Ausführungen zu Entstehung und Überwindung solcher Antinomien finden sich bei WHITEHEAD (1925), S. 37ff., 48ff., 60ff., 76f. u. 79ff.; HILBERT (1925), S. 169f.; FRAENKEL (1930), S. 287ff. u. 298ff.; CARNAP (1930a), S. 19f.; CARNAP (1931c), S. 98ff. (u. 96f.); GENTZEN (1936), S. 494ff.; ACKERMANN, W. (1957), S. 4f.; CARNAP (1960a), S. 82; WANG, HA. (1965), S. 32ff., 44f. u. 48ff.; RAMSEY, F. (1965), S. 24ff.; MESCHKOWSKI (1967), S. 144ff., insbesondere S. 147ff.; MENDELSON (1964), S. 2ff.; WANDSCHNEIDER (1974), S. 74ff.; CHURCH (1976), S. 747ff.; STEGMÜLLER (1976b), S. 432, 435ff. u. 440; REICHENBACH (1977), S. 333ff.; GETHMANN (1980b), S. 21ff.; BALDWIN (1980), S. 397ff.; HEGSELMANN (1982), S. 349ff.; GOLDSTEIN (1983), S. 122ff.; BERMAN (1984), S. 191ff.; STEGMÜLLER (1984b), S. 32f.; BLAU (1985), S. 382ff., 395ff. u. 436ff.; BURNS, L. (1986), S. 487ff. u. 510f.; SMULLYAN (1989), passim, z.B. S. 13ff. u. 73ff.

100) Vgl. zur - kritischen - Reflexion essentialistischer Begriffsdefinitionen, die auch unter den Stichworten der Realdefinitionen oder des Begriffsrealismus erfolgt, CARNAP (1961), S. 221ff.; ALBERT, H. (1964), S. 7 u. 19ff.; POPPER (1965a), S. 19ff. u. 103ff.; KÖHLER, R. (1966), S. 45ff.; POPPER (1972a), S. 32ff.; SCHMID, M. (1972), S. 171ff.; RAFFEE (1974), S. 27f. u. 49f.; POPPER (1974b), S. 22; MAZANEC (1975), S. 310; STEGMÜLLER (1976b), S. 368, 373ff., 569, 580ff. u. 610ff.; OPP, K. (1976), S. 201f.; ESSER, H. (1977a), S. 56ff. u. 83ff.; CHMIELEWICZ (1979), S. 49f.; ESSLER (1982a), S. 68ff.; POPPER (1982b), S. 216ff. u. 235ff.; POPPER (1984a), S. 450f.; POPPER (1984b), S. 126ff., 201ff. u. 322f.; SCHANZ (1988b), S. 19 u. 45; vgl. auch ALBERT, H. (1987), S. 66ff., der sich allerdings mehr auf die Begründungs- als auf die Definitionsfunktion essentialistischer Argumentationen bezieht.

Vgl. dagegen zur Vielfalt von Bemühungen, das "Wesen" von Begriffen zu ergründen oder deren Bedeutung - im hermeneutischen Sinne - zu "verstehen", WITTGENSTEIN (1921), S. 205 ("Wesen des Satzzeichens") sowie S. 213 u. 237 ("Wesen des Satzes"); DIN 2330 (1961), S. II ("Wesen des Begriffes"); GROCHLA (1966), S. 23 ("Wesen der Automation"); ROPOHL (1971), S. 137 ("Wesen des Fertigungssystems") u. 209 ("Wesen flexibler Fertigungssysteme"); KUHN, T. (1973a), S. 44 ("Wesen der ... Wissenschaft", "Wesen der ... Forschung"); COOMANN (1983), S. 35, 87 u. 96 ("Wesen der Wahrheit"); RESCHER (1987c), S. 288 ("Wesen der 'Kohärenz'") u. 294 ("Wesens der Wahrheit"); RÜHLI (1988), passim, etwa S. 294 ("Wesen der Unternehmungsführung"), 295 ("Wesen der Unternehmungskultur") u. 300 ("Wesen der Unternehmung").

Vgl. auch die grundlegenden Ausführungen von HUSSERL (1976), S. 410ff.; HUSSERL (1985), S. 256ff., zur eideistisch-reduktiven Methode der begriffsverstehenden Wesensschau sowie deren Reflexion durch STEGMÜLLER (1976b), S. 46ff. u. 48ff., insbesondere S. 70ff.; ESSER, H. (1977b), S. 89ff. Sie hat auch die betriebswirtschaftliche Begriffsbildung - zumindest unterschwellig - in größerem Umfang beeinflusst; vgl. dazu die beispielreiche Literaturauswertung von GLÖCKNER (1962), S. 127ff., insbesondere die dort angesprochene "etymologische Ausdeutung" von Begriffen (S. 38ff. u. 154ff.). In diesem Zusammenhang mutet es erstaunlich an, daß selbst ALBERT als prominenter Vertreter des Kritischen Rationalismus immer noch auf das Konzept der Wesenserkenntnis rekurriert; vgl. ALBERT, H. (1987), passim, z.B. S. 46 u. 68. Allerdings wurde schon in der voranstehenden Anmerkung erwähnt, daß sich ALBERT vornehmlich der Begründungs-, kaum aber der Definitionsfunktion essentialistischer Argumentationen widmet.

101) Vgl. zum Konzept nominalistischer Begriffsdefinitionen PASCAL (1948), S. 19 u. 21; HUTCHISON (1964), S. 276f.; RAFFEE (1974), S. 28; OPP, K. (1976), S. 189ff.; STEGMÜLLER (1976b), S. 368f. u. 572; ESSER, H. (1977a), S. 57ff. u. 79ff.; GETHMANN (1977), S. 350; CHMIELEWICZ (1978), S. 426f.; CHMIELEWICZ (1979), S. 50ff. u. 59ff.; HOFMANN, J. (1985), S. 14f.; ESSLER (1982a), S. 69f.; SCHANZ (1988b), S. 18ff.; HABERMAS (1988), S. 160f.

Das nominalistische Definitionskonzept verneint die Fruchtbarkeit oder gar Notwendigkeit objektiv gültiger, essentialistischer Definitionen, die durch eine "Wesensschau" ergründet werden. Vielmehr handelt es sich bei jeder Begriffsdefinition aus nominalistischer Perspektive um eine subjektive Setzung.

In diesem Zusammenhang wird auf Vorstellungen verwiesen, daß der begriffliche Zugang zur realen Welt einen sprachlichen Prozeß sui generis darstelle. Es erfolge ein "Prozeß des Wortens der Welt" (WEISGERBER (1971), S. 155; sehr ähnlich auch WEISGERBER (1975), S. 174). Dabei werde über die reale Welt ein Begriffsnetz geworfen, das in seinen erkenntnisvermittelnden Begriffen zugleich Erkenntnisse fördert auch als unterdrückt. Die erkenntnisleitenden und -artikulierenden Begriffe konstituieren durch ihre inhaltlichen Eigenarten ein sprachabhängiges Erkenntnisraster. Von diesem Raster wird ein sprachlich bedingtes "Weltbild" geprägt; vgl. AJDUKIEWICZ (1934), S. 259ff., insbesondere S. 278ff. Es entsteht eine begrifflich determinierte "Weltperspektive"; vgl. ALBERT, H. (1964), S. 45f. Daher wird die Sprache als eine schöpferisch-geistige Kraft (*energeia*) verstanden. Mit ihrer Hilfe wird das in der Sprache Dargestellte nicht passiv "gespiegelt", sondern aktiv gestaltet. Die Gestaltungsleistung liegt vor allem in der begrifflichen Strukturierung des sprachlich Dargestellten. Hinzu kommen Unterstellungen, die in den Begriffsdefinitionen und -assoziationen dem Dargestellten explizit bzw. implizit zugeordnet werden. Daher konstituiert das "Worten der Welt" einen definitorischen Prozeß, der keine fest vorgegebenen, "natürlichen Begriffswesenheiten" *erkennt*, sondern terminologischer Setzungen *erschafft*.

Vgl. zu ausführlicheren Darstellungen des zuvor skizzierten Prozesses des "Weltwortens" WEISGERBER (1962), S. 76f., 81ff. u. 241ff.; WEISGERBER (1971), S. 60 u. 149ff., insbesondere S. 155ff. u. 173ff.; WEISGERBER (1975), S.

174ff., 189ff. u. 194ff.; PUTNAM, H. (1982a), S. 78, 81f., 98f., insbesondere S. 81; WEINRICH (1985), S. 206 (distanziert). Prägnant wird der erfahrungsgestaltende Wortungsprozeß von WEISGERBER (1975), S. 179, zusammengefaßt: "... das Umdenken sprachlicher Begriffe in sprachliche Zugriffe; das methodische Abheben der Sprachinhalte, der geistigen Sprachseite, von der außersprachlichen Wirklichkeit; die Überführung von Sein in sprachliches Bewußtsein und noch vieles andere, was wir in der Rede vom 'Worten von Welt' zusammenfassen." (kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Vgl. ebenso die Thematisierung der schöpferischen Kraft von Sprache bei VON HUMBOLDT (1963), S. 386ff. u. 426ff., insbesondere S. 386, 426, 430, 435f. u. 438f.; WEISGERBER (1962), S. 76f., 81ff. u. 241ff.; WEISGERBER (1971), S. 149ff., insbesondere S. 149 u. 153ff.; WEISGERBER (1975), S. 176ff. u. 189ff.; HABERMAS (1986), S. 328ff. u. 336f.; vgl. auch am Rande auch WITTGENSTEIN (1921), Punkt 4.023 (S. 213) u. 4.031 (S. 214); SCHULTE, J. (1989), S. 78.

Vgl. des weiteren zu sprachabhängigen Erkenntnisrastern POLANYI (1962), S. 80f. u. 104f.; ALBERT, H. (1964), S. 43 u. 46 (er hebt die selektive und potentiell erkenntnisbehindernde Funktion von Begriffsapparaten hervor); ZIMAN (1982), S. 96; COOMANN (1983), S. 29f.; RESCHER (1985b), S. 152, 168f., 291ff. u. 308; ALEXANDER, J. (1986), S. 105; HABERMAS (1986), S. 336f.; HABERMAS (1988), S. 50f. u. 174ff.; SCHANZ (1988b), S. 20. Vgl. auch die Reflexion dieser sprachlichen Erkenntnisaspekte durch GROCHLA (1978a), S. 69: Er bezeichnet "die Erarbeitung eines begrifflichen Instrumentariums ... [als einen] ... Vorgang der *Setzung von Perspektiven* zur Erfassung der Realität." (Zusatz [...] und kursive Hervorhebung durch den Verf.). Diesen Gedankengang greift WOLLNIK (1986), S. 44, auf: "Die Wirklichkeit ... wird ... durch die Wahl einer Perspektive ... beleuchtet. ... Die jeweils zugehörige Rhetorik bringt in ihren Begriffen ... verschiedenartig konstruierte Realität ... zum Ausdruck." (kursive Hervorhebung durch den Verf.). Darüber hinaus wird auf die These verwiesen, daß sich in Begriffsapparaten diejenigen Theorien widerspiegeln, die wie "Scheinwerfer" die erkenntnisrelevanten Aspekte der Realität "beleuchten". Vgl. zum Theoriebezug von Begriffen BIERI (1981b), S. 18f.; KUHLMANN (1985a), S. 324, der "Begriffssysteme als gefrorene Theorien" bezeichnet. Vgl. ebenso zur Scheinwerferfunktion von Theorien CHMIELEWICZ (1979), S. 142f.; POPPER (1984b), S. 358ff., insbesondere S. 360; SCHANZ (1988b), S. 53f.

Abweichender Ansicht ist lediglich POPPER (1984b), S. 41, 71, 86 u. 123ff. Er versteht Sprache im wesentlichen als ein Mittel der reinen Deskription, das die Welt so darstellt, wie sie wirklich ist. Aufgrund der voranstehenden Erläuterungen und Belege vermag sich der Verf. dieser Einstellung nicht anzuschließen.

102) Das nominalistische Definitionskonzept dient in dieser Arbeit nur als eine regulative Idee, die jeden Versuch einer begrifflichen Wesensschau von vornherein als inakzeptabel ausgrenzt. Diese Ausgrenzung reicht aber nicht aus, um die einzelnen definatorischen Festlegungen zu rechtfertigen. Dies könnte entweder auf endogene oder aber exogene Weise geschehen.

Eine endogene Rechtfertigung besteht darin, die Kohärenz des Begriffszusammenhangs nachzuweisen. Ein Begriffszusammenhang wird hier als kohärent bezeichnet, wenn er widerspruchsfrei (logisch konsistent) und durchgängig (terminologisch konsistent) ist; vgl. ähnlich ESSER, H. (1977a), S. 75ff. Aufgrund der Widerspruchsfreiheit dürfen weder Aussagen, die zur expliziten Begriffsdefinition verwendet werden, in sich widersprüchlich sein noch dürfen sich die Begriffsdefinitionen untereinander widersprechen. Vgl. zur Forderung nach begrifflicher Widerspruchsfreiheit AYER (1976), S. 23; CHMIELEWICZ (1979), S. 61; ESSLER (1982a), S. 98. Durchgängigkeit heißt, daß derselbe Sachverhalt bei jeder begrifflichen Bezugnahme auf ihn mit demselben Begriff belegt wird (Begriffseinheitlichkeit) und daß derselbe Begriff in allen Begriffsverwendungen denselben Sachverhalt bezeichnet (Begriffseindeutigkeit). Vgl. zur Forderung nach Begriffseinheitlichkeit RUSSELL, B. (1921), S. 187 u. 192; WITTGENSTEIN (1921), S. 209 u. 242; CHMIELEWICZ (1979), S. 60; REICHENBACH (1983), S. 9. Der Eindeutigkeitsaspekt wird hervorgehoben von RUSSELL, B. (1921), S. 187 u. 192; WITTGENSTEIN (1921), S. 209 u. 242; PASCAL (1948), S. 21; OPP, K. (1976), S. 228; CHMIELEWICZ (1979), S. 60; HOFMANN, J. (1985), S. 16; SCHANZ (1988b), S. 21.

Eine Begriffsverwendung läßt sich auf exogene Weise in mehreren Varianten rechtfertigen. Zunächst ist es möglich aufzeigen, daß durch den terminologischen Apparat ein interessantes Erkenntnispotential erschlossen, eine Erkenntnisbefruchtung stimuliert wird. Vgl. POPPER (1935a), S. 24; CARNAP (1959a), S. 15; KÖHLER, R. (1966), S. 47; MEYER, W. (1973b), S. 502; RAFFEE (1974), S. 28f. u. 88; OPP, K. (1976), S. 234ff.; STEGMÜLLER (1976b), S. 375; CHMIELEWICZ (1979), S. 51f.; POPPER (1984a), S. 27; HOFMANN, J. (1985), S. 16; SCHANZ (1988b), S. 18, 20 u. 22. Darüber hinaus liegt eine exogene Rechtfertigung aber auch dann vor, wenn die bequeme Handhabung eines Begriffsapparats demonstriert werden kann. Vgl. HUTCHISON (1964), S. 276f. Zum Bereich "bequemer" Begriffsbildungen gehören vor allem auch alle Abkürzungsdefinitionen. Sie werden benutzt, um längere sprachliche Umschreibungen von Sachverhalten durch kurze Begriff(skomplexe) zu ersetzen; vgl. PASCAL (1948), S. 19 u. 21; QUINE (1964), S. 26; JANICH (1974), S. 59; STEGMÜLLER (1976b), S. 368; CHMIELEWICZ (1979), S. 50f.; STEGMÜLLER (1986a), S. 243. Eine ideenreiche Ausweitung des Konzepts der exogenen Rechtfertigung von Begriffsfestsetzungen findet sich schließlich bei AJDUKIEWICZ (1934), S. 283f. Da sie jedoch auf den speziellen Aspekt empirischer Theorien zugeschnitten ist, wird sie hier nicht weiter verfolgt.

Die vorgenannten Möglichkeiten, einzelne nominalistische Begriffsdefinitionen zu rechtfertigen, werden in dieser Arbeit nur in bescheidenem Umfang genutzt. Denn es ist nicht ihr Anliegen, in terminologischen Tiefen schürfen. Statt dessen beschränkt sich der Verf. darauf, an einzelnen herausragenden Stellen seine Begriffsverwendung zu motivieren. Dabei knüpft er sowohl an endogene als auch an exogene Rechtfertigungsaspekte an. Einerseits beruft er sich auf den Kohärenzgedanken, die verwandten Begriffe in bereits etablierte Terminologien konsistent einzubetten.

Vgl. dazu auch die Erläuterung zur kohärentistischen Erkenntnisposition. Andererseits wird er mehrfach Abkürzungsdefinitionen einführen, die eine bequemere Handhabung komplexer Begriffskombinationen erlauben.

Allerdings wird ein geräumt, daß sich die Begriffseinbettung in etablierte Terminologien des öfteren nicht mit der Forderung nach Begriffseinheitlichkeit vereinbaren läßt. Denn fachsprachlich verfestigte Begriffsbildungen kollidieren häufig miteinander. Dies gilt beispielsweise für:

- Flexible *Fertigungssysteme* und *Produktionssteuerung*
- *Informationsverarbeitung* im *Informationssystem* einer *Unternehmung* und im Rahmen der *Betriebsdatenerfassung*;
- *Produktions-* oder *Werkstattsteuerung* und das ihnen zugrundeliegende kybernetische *Regelungskonzept*.

Vgl. dazu auch ROS (1980), S. 251ff. Dort wird die problematische Beziehung zwischen etablierten Terminologien und kollidierenden Begriffsverwendungen ausführlicher behandelt. Im Zweifelsfall wird der Verf. angeben, ob er der Übereinstimmung mit einer verfestigten Fachsprache oder der begrifflichen Einheitlichkeit den Vorzug gibt.

103) Vgl. auch die Erläuterungen zur argumentationstheoretischen Relevanz von Hintergrundwissen.

104) Zwei Modelle werden hier als äquivalent angesehen, wenn sie wechselseitig ineinander transformiert werden können und hierbei Informationen über das jeweils modellierte Objekt weder vernichtet noch erzeugt werden.

105) Der vorgelagerte Modellierungsprozeß, in dem der Modellierungsträger sein Wissen über den modellierungsrelevanten Realitätsausschnitt erwirbt, mental organisiert und schließlich als Objektmodell formal repräsentiert, wurde bereits oben ausgegrenzt. Der nachgelagerte Modellierungsprozeß, der sich auf die Auswertung von Netzmodellen erstreckt, wird erst später thematisiert.

106) Es wird dann auch von einem formal interpretierten Netzmodell gesprochen.

107) In diesem Fall liegt ein denotational interpretiertes Netzmodell vor.

Literaturverzeichnis zu Band 2

Vorbemerkungen:

- ❑ Jedes Werk wird durch die Angabe eines Referenztitels (1. Zeile) und durch seine bibliographischen Angaben (folgende Zeilen) aufgeführt. In den Quellenangaben dieser Arbeit wird immer auf den Referenztitel Bezug genommen.
- ❑ Die Referenztitel bestehen nur aus den Autorennachnamen und den Erscheinungsjahren, solange hierdurch eine eindeutige Identifizierung der jeweils zugehörigen Werke möglich ist. Andernfalls dienen zusätzliche - abgekürzte - Autorennamen oder alphabetische Zusätze zu den Erscheinungsjahren der eindeutigen Identifizierung.
- ❑ Um eine einheitliche Quellenangabe in allen Bänden des Projekts PEMOPS zu gewährleisten, bezieht sich die eindeutige Identifizierung durch Autorennamen und alphabetische Zusätze zu den Erscheinungsjahren auf den Gesamtkorpus aller verarbeiteten Quellen. Daher kann es dazu kommen, daß innerhalb eines Bandes Lücken klaffen. Sie resultieren daraus, daß die scheinbar fehlenden Quellen im Gesamtkorpus zwar enthalten sind, aber im jeweils betroffenen Band nicht verwendet wurden.
- ❑ Die Titel fremdsprachlicher Werke werden grundsätzlich in der Notation des Originals wiedergegeben. Allerdings gelten drei Ausnahmen:
 - Titel, die sich nicht mit dem deutschsprachigen Alphabet ausdrücken lassen, werden in ihrer lautsprachlichen Umschreibung durch das deutschsprachige Alphabet wiedergegeben. Dies gilt insbesondere für Werke mit chinesischen oder kyrillischen Schriftzeichen.
 - Falls die Titel im Original durchgängig mit Großbuchstaben dargestellt werden, erfolgt hier eine Notation in der jeweils sprachspezifischen Groß-/Kleinschreibung von Titeln. Dies trifft vor allem auf anglophone Werke zu, in deren Titeln die jeweils sinnbestimmenden Worte durch Großbuchstaben eingeleitet werden.
 - Accents und andere diakritische Zeichenbestandteile, die nicht im deutschsprachigen Alphabet enthalten sind, werden grundsätzlich ausgelassen.
- ❑ In das Literaturverzeichnis wurden alle Quellen aufgenommen, auf die in den Anmerkungen zum laufenden Text verwiesen wurde.
- ❑ Weitere Publikationen, die sich auf die Thematik des Petrinetz-Konzepts beziehen, aber in den vorgenannten Quellen nicht angesprochen wurden, finden sich im Band 10 des Projekts PEMOPS zur Petrinetz-Literatur.
- ❑ Die Literaturobwertung wurde 1992 abgeschlossen (vgl. das Vorwort in Band 1).

Abel,B. (1977)

Abel,B.: Problemorientiertes Informationsverhalten - Individuelle und organisatorische Gestaltungsbedingungen innovativer Entscheidungssituationen, Darmstadt 1977.

Abel,B. (1978)

Abel,B.: Betriebswirtschaftslehre und praktische Vernunft - Zwei Modelle -; in: Steinmann,H. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als normative Handlungswissenschaft - Zur Bedeutung der Konstruktiven Wissenschaftstheorie für die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1978, S. 161-191.

Abel,B. (1979a)

Abel,B.: Denken in theoretischen Modellen als Leitidee der Wirtschaftswissenschaften; in: Raffee,H.; Abel,B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979, S. 138-160.

Ackermann,W. (1957)

Ackermann,W.: Philosophische Bemerkungen zur mathematischen Logik und zur mathematischen Grundlagenforschung; in: Ratio, (1.) Jg. 1957/58, Heft 1, S. 1-20.

Ackoff (1962)

Ackoff,R.L.: Scientific Method - optimizing applied research decisions, New York - London - Sydney 1962.

Ackoff (1970)

Ackoff,R.L.; Sasieni,M.W.: Operations Research - Grundzüge der Operationsforschung, Stuttgart 1970.

Ackoff (1978)

Ackoff,R.L.: The Art of Problem Solving - Accompanied by Ackoff's Fables, New York - Chichester - Brisbane ... 1978.

Adam,D. (1969)

Adam,D.: Produktionsplanung bei Sortenfertigung - Ein Beitrag zur Theorie der Mehrproduktunternehmung, Wiesbaden 1969.

Adam,D. (1970)

Adam,D.: Entscheidungsorientierte Kostenbewertung, Wiesbaden 1970.

Adam,D. (1979)

Adam,D.: Merkmale der Planung in gut- und schlechtstrukturierten Planungssituationen; in: Das Wirtschaftsstudium, 8. Jg. (1979), S. 380-386.

Adam,D. (1980a)

Adam,D.: Planungsüberlegungen in bewertungs- und zielsetzungsdefekten Problemsituationen (I); in: Das Wirtschaftsstudium, 9. Jg. (1980), S. 127-130.

Adam,D. (1980b)

Adam,D.: Planungsüberlegungen in bewertungs- und zielsetzungsdefekten Problemsituationen (II); in: Das Wirtschaftsstudium, 9. Jg. (1980), S. 178-182.

Adam,D. (1980c)

Adam,D.: Planungsüberlegungen in wirkungsdefekten Problemsituationen; in: Das Wirtschaftsstudium, 9. Jg. (1980), S. 382-386.

Adam,D. (1980d)

Adam,D.: Zur Problematik der Planung in schlecht strukturierten Entscheidungssituationen; in: Jacob,H. (Hrsg.): Neue Aspekte der betrieblichen Planung, Wiesbaden 1980, S. 47-75.

Adam,D. (1983a)

Adam,D.: Planung in schlechtstrukturierten Entscheidungssituationen mit Hilfe heuristischer Vorgehensweisen; in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 35. Jg. (1983), S. 484-494.

Adam,D. (1983b)

Adam,D.: Kurzlehrbuch Planung, 2. Aufl., Wiesbaden 1983.

Adam,D. (1988a)

Adam,D.: Die Eignung der belastungsorientierten Auftragsfreigabe für die Steuerung von Fertigungsprozessen mit diskontinuierlichem Materialfluß; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 58. Jg. (1988), S. 98-115.

Adam,D. (1990a)

Adam,D.: Produktionsdurchführungsplanung; in: Jacob,H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre - Handbuch für Studium und Prüfung, 4. Aufl., Wiesbaden 1990, S. 673-918.

Adan (1989)

Adan,I.J.B.F.; Wessels,J.; Zijm,W.H.M.: Queuing analysis in a flexible assembly system with a job-dependent parallel structure; in: Pressmar,D.; Jäger,K.E.; Krallmann,H.; Schellhaas,H.; Streitferdt,L. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1988 - DGOR, Vorträge der 17. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 551-558.

Agassi (1974a)

Agassi,J.: The Confusion Between Science and Technology in the Standard Philosophies of Science; in: Rapp,F. (Hrsg.): Contributions to a Philosophy of Technology - Studies in the Structure of Thinking in the Technological Sciences, Dordrecht - Boston 1974, S. 40-59.

Agassi (1985)

Agassi,J.: Technology - Philosophical and Social Aspekte, Dordrecht - Boston- Lancaster ... 1985.

Ahrens,W. (1988)

Ahrens,W.: Objektorientierte Wissensrepräsentationen in der Prozeßleittechnik; in: Lauber,R. (Hrsg.): Prozeßrechnungssysteme'88 - Automatisierungstechnik, Leittechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Fachtagung, 02.-04.03.1988 in Stuttgart, Proceedings, Informatik-Fachberichte 167, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 498-513.

Ajdukiewicz (1934)

Ajdukiewicz,K.: Das Weltbild und die Begriffsapparatur; in: Erkenntnis, 4. Bd. (1934), S. 259-287.

Alagic (1986)

Alagic,S.: Relational Database Technology, New York - Berlin - Heidelberg ... 1986.

Albach (1971)

Albach,H.: Ansätze zu einer empirischen Theorie der Unternehmung; in: von Kortzfleisch,G. (Hrsg.): Wissenschaftsprogramm und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung, 02.-05.1971 in St. Gallen, Berlin 1971, S. 133-156.

Albach (1988a)

Albach,H.: Kosten, Transaktionen und externe Effekte im betrieblichen Rechnungswesen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 58. Jg. (1988), S. 1143-1170.

Albach (1988b)

Albach,H.: Betriebswirtschaftslehre als Wissenschaft vom Management; in: Wunderer,R. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als Management- und Führungslehre, 2. Aufl., Stuttgart 1988, S. 99-107.

Albert,H. (1963)

Albert,H.: Modell-Platonismus - Der neoklassische Stil des ökonomischen Denkens in kritischer Beleuchtung; in: Karrenberg,F.; Albert,H. (Hrsg.). Sozialwissenschaft und Gesellschaftsgestaltung, Festschrift für Gerhard Weisser, Berlin 1963, S. 45-76.

Albert,H. (1964)

Albert,H.: Probleme der Theoriebildung - Entwicklung, Struktur und Anwendung sozialwissenschaftlicher Theorien; in: Albert,H. (Hrsg.): Theorie und Realität - Ausgewählte Aufsätze zur Wissenschaftslehre der Sozialwissenschaften, 1. Aufl., Tübingen 1964, S. 3-70.

Albert,H. (1965b)

Albert,H.: Modell-Platonismus - Der neoklassische Stil des ökonomischen Denkens in kritischer Beleuchtung; in: Topitsch,E. (Hrsg.): Logik der Sozialwissenschaften, Köln - Berlin 1965, S. 406-434. (Anmk. des Verf.: identisch mit Albert,H. (1963).)

Albert,H. (1967)

Albert,H.: Marktsoziologie und Entscheidungslogik - Ökonomische Probleme in soziologischer Perspektive, Neuwied - Berlin 1967.

Albert,H. (1968)

Albert,H.: Traktat über kritische Vernunft, 1. Aufl., Tübingen 1968.

Albert, H. (1975b)

Albert, H.: Transzendente Träumereien - Karl-Otto Apels Sprachspiele und sein hermeneutischer Gott, Hamburg 1975.

Albert, H. (1976a)

Albert, H.: Wissenschaftstheorie; in: Grochla, E.; Wittmann, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, 4. Aufl., Stuttgart 1976, Sp. 4674-4692.

Albert, H. (1978a)

Albert, H.: Traktat über rationale Praxis, Tübingen 1978.

Albert, H. (1980a)

Albert, H.: Traktat über kritische Vernunft, 4. Aufl., Tübingen 1980.

Albert, H. (1982)

Albert, H.: Die Wissenschaft und die Fehlbarkeit der Vernunft, Tübingen 1982.

Albert, H. (1985)

Albert, H.: Münchhausen in transzendentaler Maskerade - Über einen neuen Versuch der Letztbegründung praktischer Sätze; in: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Bd. 16 (1985), S. 341-356.

Albert, H. (1987)

Albert, H.: Kritik der reinen Erkenntnislehre - Das Erkenntnisproblem in realistischer Perspektive, Tübingen 1987.

Albrecht, J. (1988)

Albrecht, J.: Europäischer Strukturalismus - Ein forschungsgeschichtlicher Überblick, Darmstadt 1988.

Aldinger (1985a)

Aldinger, L.: Leitstandunterstützte kurzfristige Fertigungssteuerung bei Einzel- und Kleinserienfertigung, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985.

Alexander, J. (1986)

Alexander, J.: Habermas' neue Kritische Theorie: Anspruch und Probleme; in: Honneth, A.; Joas, H. (Hrsg.): Kommunikatives Handeln - Beiträge zu Jürgen Habermas' "Theorie des kommunikativen Handelns", Frankfurt 1986, S. 73-109.

Alexander, J.H. (1986)

Alexander, J.H.; Freiling, M.J.; Shulman, S.J.; Staley, J.L.; Rehfuss, S.; Messick, S.L.: Knowledge Level Engineering: Ontological Analysis; in: o.V.: proceedings aaai-86, fifth annual national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Vol. 2: engineering, Los Altos 1986, S. 963-968.

Allen, J. (1983)

Allen, J.F.: Maintaining Knowledge about Temporal Intervals; in: Communications of the ACM, Vol. 26 (1983), S. 832-843.

Allen, J. (1984)

Allen, J.F.: Towards a General Theory of Action and Time; in: Artificial Intelligence, Vol. 23 (1984), S. 123-154.

Allison (1971)

Allison, G.T.: Essence of Decision - Explaining the Cuban Missile Crisis, Boston 1971.

Allison (1976)

Allison, G.T.: Drei Modelle zur Analyse politischer Prozesse; in: Badura, B. (Hrsg.): Seminar: Angewandte Sozialforschung - Studien über Voraussetzungen und Bedingungen der Produktion, Diffusion und Verwertung sozialwissenschaftlichen Wissens, Frankfurt 1976, S. 466-502.

Allman (1990)

Allman, W.F.: Menschliches Denken / Künstliche Intelligenz - Von der Gehirnforschung zur nächsten Computer-Generation, München 1990.

Ameling (1990)

Ameling, D.; Brands, H.; Grüter, A.; van der Hoeven, P.C.; Ködding, W.; Langer, J.; Schütz, P.; Siepmann, M.: Stand der Auftragsabwicklung am Beispiel der Feinblechfertigung; in: Stahl und Eisen, 110. Jg. (1990), Nr. 4, S. 67-74.

Apel (1973b)

Apel, K.-O.: Transformationen der Philosophie, Bd. II: Das Apriori der Kommunikationsgemeinschaft, Frankfurt 1973.

Apel (1976a)

Apel, K.-O.: Das Problem der philosophischen Letztbegründung im Lichte einer transzendentalen Sprachpragmatik; in: Kanitscheider, B. (Hrsg.): Sprache und Erkenntnis, Festschrift für Gerhard Frey zum 60. Geburtstag, Innsbruck 1976, S. 55-82.

Apel (1987)

Apel, K.-O.: Fallibilismus, Konsens Theorie der Wahrheit und Letztbegründung; in: Köhler, W.R.; Kuhlmann, W.; Rohs, P. (Hrsg.): Philosophie und Begründung, Frankfurt 1987, S. 116-211.

Aquilano (1980)

Aquilano, N.J.; Smith, D.E.: A Formal Set of Algorithms For Project Scheduling With Critical Path Scheduling/Material Requirements Planning; in: Journal of Operations Research, Vol. 1 (1980/81), No. 2, S. 57-67.

Aristoteles (1978)

Seidl, H. (Hrsg.): Aristoteles' Metaphysik - Erster Halbband: Bücher I(A) - VI(E), Griechisch-deutsch, Hamburg 1978.

Arning (1987)

Arning, A.: Die wirtschaftliche Bewertung der Zentrenfertigung - Dargestellt am Beispiel einer Fertigungsinsel, Wiesbaden 1987.

Arruda (1980)

Arruda, A.I.: A Survey of Paraconsistent Logic; in: Arruda, A.I.; Chuaqui, R.; da Costa, N.C.A. (Hrsg.): Mathematical Logic in Latin America, Proceedings of the IV Latin American Symposium on Mathematical Logic, 18.-22.12.1978 in Santiago, Amsterdam - New York - Oxford 1980, S. 1-41.

Ashby (1940)

Ashby, W.R.: Adaptiveness and Equilibrium; in: Journal of Mental Science, Vol. 86 (1940), S. 478-483.

Ashby (1968)

Ashby, W.R.: Variety, Constraint, and the Law of Requisite Variety; in: Buckley, W. (Hrsg.): Modern Systems Research for the Behavioral Scientist, Chicago 1968, S. 129-136.

Ashby (1974)

Ashby, W.R.: Einführung in die Kybernetik, Frankfurt 1974.

Attardi (1987)

Attardi, G.; Corradini, A.; Diomedi, S.; Simi, M.: Taxonomic Reasoning; in: du Boulay, B.; Hogg, D.; Steels, L. (Hrsg.): Advances in Artificial Intelligence - II, Seventh European Conference on Artificial Intelligence, ECAI-86, 20.-25.07.1986 in Brighton, Amsterdam - New York - Oxford 1987, S. 277-286.

AWF (1984)

AWF - Ausschuß für Wirtschaftliche Fertigung e.V. (Hrsg.): Flexible Fertigungsorganisation am Beispiel von Fertigungsinseln, (Düsseldorf -) Eschborn 1984.

Axer (1984)

Axer, H.: Der "technologiefreundliche Entgelttarifvertrag - Erfahrungen der Firma Vögele mit dem neuen Tarifvertrags-Typ; in: Knebel, H.; Zander, E. (Hrsg.): Neue Entwicklungen bei Arbeit, Entgelt und Führung, Freiburg 1984, S. 30-45.

Ayache (1979a)

Ayache, J.M.; Diaz, M.; Valette, R.: Methode de specification de la commande dans les systemes de commutation electronique; in: o.V.: Proceedings of the International Switching Symposium ISS'79, Paris 1979, S. 1049-1056.

Ayache (1979b)

Ayache, J.M.; Azema, P.; Diaz, M.: Observer: A Concept for On-Line Detection of Control Errors in Concurrent System; in: o.V.: International Symposium on Fault Tolerant Computing, im Juni 1979 in Madison, New York 1979, S. 79-86.

Ayer (1976)

Ayer,A.J.: Die Hauptfragen der Philosophie, München 1976.

Backhausen (1974)

Backhausen,W.J.: Über einige allgemeine Forderungen an einen wissenschaftlichen Erkenntnisbegriff; in: Ungeheuer,G. (Hrsg.): Kommunikationsforschung und Phonetik - Festschrift zum fünfzigjährigen Bestehen des Instituts für Kommunikationsforschung und Phonetik der Universität Bonn, Hamburg 1974, S. 27-44.

Backman (1983)

Backman,W.: Practical and Scientific Rationality: A Difficulty for Levi's Epistemology; in: Synthese, Vol. 57 (1983), S. 269-276.

Baetge (1974)

Baetge,J.: Betriebswirtschaftliche Systemtheorie, Opladen 1974.

Baetge (1980)

Baetge,J.: Kontrolltheorie; in: Grochla,E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation, 2. Aufl., Stuttgart 1980, Sp. 1091-1104.

Bäuerle,P. (1989)

Bäuerle,P.: Zur Problematik der Konstruktion praktikabler Entscheidungsmodelle; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 175-192.

Baker,A. (1988)

Baker,A.D.: Complete Manufacturing Control Using a Contract Net: A Simulation Study; in: o.V.: 1988 International Conference on Computer Integrated Manufacturing, 23.-25.05.1988 in Troy, Washington 1988, S. 100-109.

Baker,G. (1984)

Baker,G.P.; Hacker,P.M.S.: Critical Study: On Misunderstanding Wittgenstein: Kripke's Private Language Argument; in: Synthese, Vol. 58 (1984), S. 407-450.

Baker,K. (1984)

Baker,K.R.: Sequencing Rules and Due-Date Assignments in a Job Shop; in: Management Science, Vol. 30 (1984), S. 1093-1104.

Baldwin (1980)

Baldwin,J.F.; Guild,N.C.F.: The Resolution of Two Paradoxes by Approximate Reasoning Using a Fuzzy Logic; in: Synthese, Vol. 44 (1980), S. 397-420.

Ballwieser (1983)

Ballwieser,W.: Unternehmensbewertung und Komplexitätsreduktion, Wiesbaden 1983.

Ballwieser (1990)

Ballwieser,W.: Unternehmensbewertung und Komplexitätsreduktion, 3. Aufl., Wiesbaden 1990.

Balzer,W. (1987a)

Balzer,W.; Moulines,C.U.; Sneed,J.D.: An Architectonic for Science - The Structuralist Program, Dordrecht - Boston - Lancaster ... 1987.

Bamberg (1989)

Bamberg,G.; Coenenberg,A.G.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, 5. Aufl., München 1989.

Bana E Costa (1991)

Bana E Costa,C.A.: MCDS under Poor Weighting Information: The Outweigh Approach; in: Korhonen,P.; Lewandowski,A.; Wallenius,J. (Hrsg.): Multiple Criteria Decision Support, Proceedings of the International Workshop, 07.-11.08.1989 in Helsinki, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 87-93.

Bancilhon (1986)

Bancilhon,F.; Khoshafian,S.: A Calculus for Complex Objects; in: o.V.: Proceedings of the Fifth ACM SIGACT-SIGMOD Symposium on Principles of Database Systems, 24.-26.03.1986 in Cambridge (Massachusetts), New York 1986, S- 53-59.

Banerji (1980)

Banerji,R.B.: Artificial Intelligence - A Theoretical Approach, New York - Oxford 1980.

Banks (1984)

Banks, J.; Carson, J.S.: Discrete-Event System Simulation, Englewood Cliffs 1984.

Barr, A. (1981)

Barr, A.; Feigenbaum, E.A. (Hrsg.): The Handbook of Artificial Intelligence, Vol. 1, Stanford - Los Altos 1981.

Barr, R. (1989)

Barr, R.S.; Christiansen, M.G.: A Parallel Auction Algorithm: A Case Study in the Use of Parallel Object-Oriented Programming; in: Sharda, R.; Golden, B.L.; Wasi, E.; Balci, O.; Stewart, W. (Hrsg.): Impacts of Recent Computer Advances on Operations Research, New York - Amsterdam - London 1989, S. 23-32.

Barth, G. (1988a)

Barth, G.; Welsch, C.: Objektorientierte Programmierung; in: Informationstechnik, 30. Jg. (1988), S. 404-421.

Bartnick (1989)

Bartnick, J.: An A* Algorithm for the Aggregation of Preference Relations; in: Kleinschmidt, P.; Radermacher, F.J.; Schweitzer, W.; Wildemann, H. (Hrsg.): Methods of Operations Research 59, XII. Symposium on Operations Research, 09.-11.09.1987 in Passau, Proceedings, Frankfurt 1989, S. 311-322.

Baumann, G. (1991)

Baumann, G.; Meemken, G.: Objektverfolgung im Materialfluß einer Montagelinie - Barcode und magnetischer Code wirken zusammen im Fördersystem; in: VDI-Z(eitschrift), Bd. 133 (1991), Nr. 5, S. 85-90.

Baumann, R. (1984)

Baumann, R.: Datenverarbeitung unter Zeitbedingungen; in: Informatik-Spektrum, Bd. 7 (1984), S. 62-64.

Baumeister, H. (1987)

Baumeister, H.; Ganzinger, H.; Heeg, G.; Rüger, M.: Smalltalk-80; in: Informationstechnik, 29. Jg. (1987), S. 241-251.

Baumgärtner, K. (1973)

Baumgärtner, K.; Fritz, G.: Einführung in die strukturalistische Methode; in: Baumgärtner, K.; Fitz, G.; Herrlitz, W.; Hundsnurscher, F.; Kastovsky, D.; König, E.; Kühlwein, W.; Kürschner, W.; von er Mülbe, U.; Narr, B.; Wagner, K.-H.; Weber, H.: Funk-Kolleg Sprache - Eine Einführung in die moderne Linguistik, Band I, Frankfurt 1973, S. 115-124.

Bechmann (1978)

Bechmann, A.: Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung, Bern - Stuttgart 1978.

Bechte (1980)

Bechte, W.: Steuerung der Durchlaufzeit durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstattfertigung, Dissertation, Universität Hannover, Hannover 1980.

Bechte (1988)

Bechte, W.: Theory and practice of load-oriented manufacturing control; in: International Journal of Production Research, Vol. 26 (1988), S. 375-395.

Becker, J. (1978)

Becker, J.: Stand und Tendenzen der Weiterentwicklung von DV-gestützten Produktionsplanungs- und Produktionssteuerungssystemen; in: Ellinger, T.; Wildemann, H. (Hrsg.): Praktische Fälle zur Produktionssteuerung, Wiesbaden 1978, S. 499-518.

Becker, J. (1991a)

Becker, J.: CIM-Integrationsmodell - Die EDV-gestützte Verbindung betrieblicher Bereiche, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991.

Becker-Biskaborn (1991)

Becker-Biskaborn, G.-U.; Siegmann, A.: CIM-Produktionsleitsystem - Systematik der Modellbildung und Informationsflußanalyse für das Produktionsleitsystem eines Haugerätewerkes, Braunschweig 1991.

Beckstein (1986)

Beckstein,C.; Görz,G.; Tielemann,M.: FORK: Ein System zur objekt- und regelorientierten Programmierung; in: Rollinger,C.-R.; Horn,W. (Hrsg.): GWAI-86 und 2. Österreichische Artificial-Intelligence-Tagung, 22.-26.09.1986 in Ottenstein, Informatik-Fachberichte 124, Berlin - Heidelberg - New York ... 1986, S. 312-317.

Beckstein (1987)

Beckstein,C.; Görz,G.; Tielemann,M.: FORK: A System for Object- and Rule-Oriented Programming; in: Balzert,H.; Heyer,G.; Lutze,R. (Hrsg.): Expertensysteme'87 - Konzepte und Werkzeuge, Fachtagung, 07.-08.04.1987 in Nürnberg, Stuttgart 1987, S. 52-63.

Beckstein (1988b)

Beckstein,C.; Goerz,G.; Hernandez,D.; Tielemann,M.: An Integration of Object-Oriented Knowledge Representation and Rule-Oriented Programming as a Basis for Design and Diagnosis of Technical Systems; in: Keeney,R.L.; Möhring,R.H.; Otway,H.; Radermacher,F.J.; Richter,M. M. (Hrsg.): Multi-Attribute Decision Making via O.R.-Based Expert Systems, Proceedings of the International Conference on Multi-Attribute Decision Making via O.R.-Based Expert Systems, im April 1986 in Passau; zugleich: Annals of Operations Research, Vol. 16 (1988), Basel 1988, S. 13-32.

Beensen (1971)

Beensen,R.: Komplexitätsbeherrschung in den Wirtschaftswissenschaften, Berlin 1971.

Beer,S. (1972)

Beer,S.: Brain of the Firm - The managerial cybernetics of organization, London 1972.

Beer,S. (1975)

Beer,S.: Platform for Change - a message from Stafford Beer, London - New York - Sydney ... 1975.

Beer,S. (1979)

Beer,S.: The Heart of Enterprise - The Managerial Cybernetics of Organization, Companion volume to: Brain of the Firm, Chichester - New York - Brisbane - Toronto 1979.

Beetz (1986)

Beetz,M.: Wissensrepräsentationstechniken und Inferenzmaschinen - ein klassifizierender Überblick, Forschungsbericht FB-TA-85-14, WISDOM-Verbundprojekt/Triumph-Adler AG, o.O. (Nürnberg) 1986.

Behrens,C. (1989)

Behrens,C.-U.: Fußnoten: Nur störendes Beiwerk?; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 18. Jg. (1989), S. 95-96.

Beier (1988a)

Beier,H.: Methoden und Technik zur Realzeitsteuerung werkstatorientierter Betriebe mittels KI-gestützter Fertigungsleittechnik; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 219-245.

Bell,C.E. (1988)

Bell,C.E.: A Least Commitment Approach to Avoiding Protection Violations in Nonlinear Planning; in: Annals of Operations Research, Vol. 12 (1988), S. 135-145.

Bell,Da. (1986)

Bell,Da.: Die Sozialwissenschaften seit 1945, Frankfurt - New York 1986.

Bellgardt (1987)

Bellgardt,P.: Flexible Arbeitszeitsysteme - Entwicklung und Einführung, Heidelberg 1987.

Bellman (1954)

Bellman,R.: The Theory of Dynamic Programming; in: Bulletin of the American Mathematical Society, Vol. 60 (1954), S. 503-515.

Bellman (1956)

Bellman,R.: Notes on the Theory of Dynamic Programming IV - Maximization over Discrete Sets; in: Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 3 (1956), 67-70.

Bellman (1957a)

Bellman,R.: Dynamic Programming, Princeton - New York 1957.

Bellman (1967)

Bellman,R.: Dynamische Programmierung und selbstanpassende Regelprozesse, München - Wien 1967.

Ben-Arieh (1986a)

Ben-Arieh,D.: Knowledge Based Control System for Automated Production and Assembly; in: Kusiak,A. (Hrsg.): Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems, Kempston/Bedford - Amsterdam - Oxford ... 1986, S. 347-368.

Benayoun (1971)

Benayoun,R.; de Montgolfier,J.; Tergny,J.: Linear programming with multiple objective functions: step method (STEM); in: Mathematical Programming, Vol. 1 (1971), S. 366-375.

Bendeich (1977)

Bendeich,E.: Datenerfassung im Produktionsbereich, Dissertation unter dem Titel "Auswahl und Einsatz von Datenerfassungs-Verfahren für den Produktionsbereich", Universität Stuttgart, Mainz 1977.

Bendeich (1979)

Bendeich,E.; Dauser,R.; Gentner,R.: Wirtschaftliche Datenerfassung in Klein- und Mittelbetrieben - Entscheidungshilfen zur Auswahl von rationellen Datenerfassungs-Verfahren, München 1979.

Bensana (1986)

Bensana,E.; Corregge,M.; Bel,G.; Dubois,D.: An Expert-System Approach to Industrial Job-Shop Scheduling; in: o.V.: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Silver Spring 1986, Vol. 3, S. 1645-1650.

Bensoussan (1985)

Bensoussan,A.: Theorie der Kontrolle betrieblicher Systeme bei Unsicherheit; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 55. Jg. (1985), S. 77-104.

Bentele (1978)

Bentele,G.; Bystrina,I.: Semiotik - Grundlagen und Probleme, Stuttgart - Berlin - Köln ... 1978.

Bentele (1984)

Bentele,G.: Zeichen und Entwicklung - Vorüberlegungen zu einer genetischen Semiotik, Dissertation, Freie Universität Berlin 1981, Tübingen 1984.

Benzing (1981a)

Benzing,H.: Produktionsplanung und -steuerung bei Hengstler, Teil 1: Das Unternehmen und die Anforderungen an die Produktionsplanung und -steuerung; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 30. Jg. (1981), S. 61-75.

Benzing (1981b)

Benzing,H.: Produktionsplanung und -steuerung bei Hengstler, Teil 2: Die Besonderheiten der Produktionsplanungs- und -steuerungslösung (Fortsetzung); in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 30. Jg. (1981), S. 220-233.

Benzing (1981c)

Benzing,H.: Produktionsplanung und -steuerung bei Hengstler, Teil 3: Grobplanung (Folge 1); in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 30. Jg. (1981), S. 387-399.

Benzing (1983)

Benzing,H.: Produktionsplanung und -steuerung bei Hengstler, Teil 4: Feinplanung (Folge 5); in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 30. Jg. (1981), S. 49-72.

Berg (1979)

Berg,C.C.: Prioritätsregeln in der Reihenfolgeplanung; in: Kern,W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 1425-1433.

Berlich (1982)

Berlich,A.: Elenktik des Diskurses - Karl-Otto Apels Ansatz einer Transzendentalpragmatischen Letztbegründung; in: Kuhlmann,W.; Böhler,D. (Hrsg.): Kommunikation und Reflexion - Zur Diskussion der Transzendentalpragmatik - Antworten auf Karl-Otto Apel, Frankfurt 1982, S. 251-287.

Berliner (1988)

Berliner, C.; Brimson, J. A. (Hrsg.): Cost Management for Today's Advanced Manufacturing - The CAM-I Conceptual Design, Boston 1988.

Berman (1984)

Berman, M.: Wiederverzauberung der Welt - Am Ende des Newton'schen Zeitalters, 2. Aufl., München 1984.

Berndt (1987)

Berndt, W.; Brantner, K.; Thome, H. G.; Wieneke-Toutaoui, B.: Modellebenen; in: Halin, J. (Hrsg.): Simulationstechnik. 4. Symposium Simulationstechnik, Proceedings, 9.-11.09.1987 in Zürich, Informatik-Fachberichte 150, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987, S. 103-118.

Bernstein (1973)

Bernstein, P. A.: Description Problems in the Modeling of Asynchronous Computer Systems, Master of Science-Thesis 1972, zugleich: Technical Report No. 48, Department of Computer Science, University of Toronto, Toronto 1973.

Bernstein (1974)

Bernstein, P. A.; Tsichritzis, D.: Models for Description of Computer Systems; in: o. V.: Proceedings of the Eighth Annual Princeton Conference on Information Sciences and Systems, 28.-29.03.1974 in Princeton, o. O. 1974, S. 340-343.

Berr (1970)

Berr, U.; Papendieck, A. J.: Produktionsreihenfolgen und Losgrößen der Serienfertigung in einem Werkstattmodell; in: Werkstattstechnik, 60. Jg. (1970), S. 191-196.

Berr (1976)

Berr, U.; Tangermann, H.-P.: Einfluß von Prioritätsregeln auf die Kapazitätsterminierung der Werkstattfertigung; in: Werkstattstechnik, 66. Jg. (1976), S. 7-12.

Bertsekas (1989)

Bertsekas, D. P.; Tsitsiklis, J. N.: Parallel and Distributed Computation - Numerical Methods, London - Sydney - Toronto ... 1989.

Best, G. (1986)

Best, G.; Parston, G.; Rosenhead, J.: Robustness in Practice - The Regional Planning of Health Services; in: The Journal of the Operational Research Society, Vol. 37 (1986), S. 463-478.

Bibel (1989)

Bibel, W.; del Cerro, L. F.; Fronhöfer, B.; Herzig, A.: Plan Generation by Linear Proofs: On Semantics; in: Metzging, D. (Hrsg.): GWAI-89, 13th German Workshop on Artificial Intelligence, 18.-22.09.1989 in Eringerfeld, Proceedings, Informatik-Fachberichte 216, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 49-62.

Bicchieri (1988)

Bicchieri, C.: Strategic Behavior and Counterfactuals; in: Synthese, Vol. 76 (1988), S. 135-169.

Bidlingmaier (1976)

Bidlingmaier, J.; Schneider, D. J. G.: Ziele, Zielsysteme und Zielkonflikte; in: Grochla, E.; Wittmann, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, 4. Aufl., Stuttgart 1976, Sp. 4731-4740.

Biel (1991)

Biel, A.: Einführung der Prozeßkostenrechnung; in: Kostenrechnungspraxis, o. Jg. (1991). Heft 2, S. 85-90.

Biendl (1984)

Biendl, P.: Ablaufsteuerung von Montagefertigungen - Heuristische Reihenfolgeplanung vergiegender Auftragsstrukturen mittels Prioritätsregeln - Computergestützte Simulationsstudien der Werkstattfertigung, Bern - Stuttgart 1984.

Bieri (1981b)

Bieri, P.: Generelle Einführung; in: Bieri, P. (Hrsg.): Analytische Philosophie des Geistes, Meisenheim 1981, S. 1-28.

Binmore (1987)

Binmore, K.: Modeling Rational Players; in: Economics and Philosophy - Part I, Vol. 3 (1987), S. 179-214.

Binmore (1988)

Binmore, K.: Modeling Rational Players - Part II; in: Economics and Philosophy, Vol. 4 (1988), S. 9-55.

Bircher (1976)

Bircher, B.: Langfristige Unternehmensplanung - Konzepte, Ergebnisse und Modelle auf systemtheoretischer Grundlage, Bern - Stuttgart 1976.

Birnbaum (1980)

Birnbaum, L.; Flowers, M.; McGuire, R.: Towards an AI Model of Argumentation; in: o.V.: Proceedings of the First Annual National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-80, 18.-21.08.1980 in Stanford, o.O. (Menlo Park) 1980, S. 313-315.

Bitran (1981)

Bitran, G.R.; Haas, E.A.; Hax, A.C.: Hierarchical Production Planning: A Single Stage System; in: Operations Research, Vol. 29 (1981), S. 717-743.

Bitran (1982)

Bitran, G.R.; Haas, E.A.; Hax, A.C.: Hierarchical Production Planning: A Two-Stage System; in: Operations Research, Vol. 30 (1982), S. 232-251.

Bitran (1988b)

Bitran, G.R.; Tirupati, D.: Multiproduct Queueing Networks with Deterministic Routing: Decomposition Approach and the Notion of Interference; in: Management Science, Vol. 34 (1988), S. 75-100.

Bitz (1977)

Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, Wiesbaden 1977.

Bjorke (1980)

Bjorke, O.; Rolstadas, F.: Partly Unmanned Machining; in: Blake, P.L. (Hrsg.): Advanced Manufacturing Technology, Amsterdam - Oxford 1980, S. 271-284.

Blackburn, S. (1984)

Blackburn, S.: The Individual Strikes Back; in: Synthese, Vol. 58 (1984), S. 281-301.

Blackstone (1982)

Blackstone, J.H.; Phillips, D.T.; Hogg, G.L.: A State-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations; in: International Journal of Production Research, Vol. 20 (1982), S. 27-45.

Blanchard (1978)

Blanchard, M.: Approche "unitaire" de la conception des systemes logiques; in: L'Ingenieur et le technicien de l'Enseignement Technique; No. 215 (1978), S. 7-13.

Blanchard (1979a)

Blanchard, M.: automatismes logiques: Grafset ou reseaux de Petri?; in: le nouvel Automatism, Tome 24 (1979), No. 5, S. 45-52.

Blau (1985)

Blau, U.: Die Logik der Unbestimmtheiten und Paradoxien; in: Erkenntnis, Vol. 22 (1985), S. 369-459.

Blohm (1988)

Blohm, H.; Lüder, K.: Investition - Schwachstellen im Investitionsbereich des Industriebetriebes und Wege zu ihrer Beseitigung, 6. Aufl., München 1988.

Bloom, T. (1979)

Bloom, T.: Evaluating Synchronization Mechanisms; in: o.V.: Proceedings of the Seventh Symposium on Operating Systems Principles, 10.-12.12.1979 in Pacific Grove, New York 1979, S. 24-32.

Boehnke (1988)

Boehnke, R.: Umsetzung von JiT-Konzepten mit Zulieferern der Volkswagen AG sowie Planungsschwerpunkte; in: Schmidt, K.J. (Hrsg.): Handbuch Logistik und Produktionsmanagement - Strategien, Konzepte und Lösungen für die JIT-Beschaffung, -Produktion und -Distribution, Stand: 2. Nachlieferung, Landsberg 1988, Punkt 3.1.8.

Börner, D. (1981)

Börner, D.: Kostenverteilung, Prinzipien und Technik; in: Kosiol, E.; Chmielewicz, K.; Schweitzer, M. (Hrsg.): Handwörterbuch des Rechnungswesens, 2. Aufl., Stuttgart 1981, Sp. 1105-1114.

Bötzow (1988a)

Bötzow, H.: Die Fertigungsinsel als Konzept zur Einführung flexibler Automation in mittelständischen Industriebetrieben der Einzel- und Kleinserienfertigung, Dissertation, Universität Köln 1987, Düsseldorf 1988.

Bohnen (1975)

Bohnen, A.: Individualismus und Gesellschaftstheorie - Eine Betrachtung zu zwei rivalisierenden soziologischen Erkenntnisprogrammen, Habilitationsschrift, Universität Mannheim, Tübingen 1975.

Bohr (1979)

Bohr, K.: Produktionsfaktorsysteme; in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 1481-1493.

Bormann (1978)

Bormann, D.: Störungen von Fertigungsprozessen und die Abwehr von Störungen bei Ausfällen von Arbeitskräften durch Vorhaltung von Reservepersonal, Berlin 1978.

Borries (1988)

Borries, B.: Regelgesteuerte graphische Darstellung von Handlungsplänen in System AiD, Arbeitspapiere der GMD 305, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn, Sankt Augustin 1988.

Bosman (1983)

Bosman, A.: Decision Support Systems, Problem Processing and Coordination; in: Sol, H.G. (Hrsg.): Processes and Tools for Decision Support, Proceedings of the Joint IFIP WG 8.3/IASA Working Conference on Processes and Tools for Decision Support, 19.-21.07.1982 in Laxenburg, Amsterdam - New York - Oxford 1983, S. 79-92.

Bossert (1990)

Bossert, W.; Stehling, F.: Theorie kollektiver Entscheidungen - Eine Einführung, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Bossi (1989)

Bossi, A.; Cocco N.: Verifying correctness of logic programs; in: Diaz, J.; Orejas, F. (Hrsg.): TAPSOFT'89, Proceedings of the International Joint Conference on Theory and Practice of Software Development, 13.-17.03.1989 in Barcelona, Volume 2: Advanced Seminar on Foundations of Innovative Software Development II and Colloquium on Current Issues in Programming Languages (CC IPL), Lecture Notes in Computer Science 352, Berlin - Heidelberg - Bourne, D.A.; Fox, M.S.: Autonomous Manufacturing: Automating the Job-Shop; in: Computer, Vol. 17 (1984), No. 9, S. 76-86.

Brachman (1980)

Brachman, R.J.; Smith, B.C. (Hrsg.): Special Issue on Knowledge Representation, SIGART Newsletter, No. 70 (1980).

Brachman (1983b)

Brachman, R.J.: What IS-A Is and Isn't: An Analysis of Taxonomic Links in Semantic Networks; in: Computer, Vol. 16 (1983), No. 2, S. 30-36.

Bradley, F. (1962)

Bradley, F.H.: Essays on Truth and Reality, Reprint, Oxford 1962.

Bradley, G. (1989)

Bradley, G.H.: Mathematical Programming Modeling Project - Overview; in: Sharda, R.; Golden, B.L.; Wasil, E.; Balci, O.; Stewart, W. (Hrsg.): Impacts of Recent Computer Advances on Operations Research, New York - Amsterdam - London 1989, S. 447-462.

Bradley, S. (1977)

Bradley, S.P.; Hax, A.C.; Magnanti, T.L.: Applied Mathematical Programming, Reading - Menlo Park - London ... 1977.

Brankamp (1971a)

Brankamp,K.; Junghanns,o.Vn.; Berger,o.Vn.: Bearbeitungszentren, Berlin - Köln - Frankfurt 1971.

Brankamp (1978)

Brankamp,K.: Produktion in 'Geisterschicht' - Prozeßüberwachung an Maschinen der Massenfertigung, Essen 1978.

Brans (1984)

Brans,J.-P.; Mareschal,B.; Vincke,P.: PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis; in: in: Brans,J.P. (Hrsg.): Operational Research'84, Proceedings of the Tenth International Conference on Operational Research, 6.-10.08.1984 in Washington, Amsterdam - New York - Oxford 1984, S. 477-490.

Brans (1986)

Brans,J.P.; Vincke,P.; Mareschal,B.: How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method; in: European Journal of Operational Research, Vol. 24 (1986), S. 228-238.

Braun,G. (1977)

Braun,G.E.: Methodologie der Planung - Eine Studie zum abstrakten und konkreten Verständnis der Planung, Meisenheim 1977.

Braun,G. (1979)

Braun,G.E.: Zum Praxisbezug in der Betriebswirtschaftslehre in wissenschaftstheoretischer Sicht; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 31. Jg. (1979), S. 468-486.

Braun,W. (1973)

Braun,W.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre als Erfahrungs- und Handlungswissenschaft, Arbeitspapiere Heft 9, Betriebswirtschaftliches Institut, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg 1973.

Braun,W. (1977)

Braun,W.; Schreyögg,G.: Betriebswirtschaftslehre als rationale und empirische Handlungswissenschaft - Zugleich eine Analyse der "Betriebswirtschaftslehre als Wissenschaft vom Handeln" und der "Empirischen Theorie der Unternehmung"; in: Köhler,R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977, S. 189-207.

Braun,W. (1978)

Braun,W.: Wissenschaft und Werturteil - Zu einigen Mißverständnissen einer normativ-kritischen Betriebswirtschaftslehre; in: Steinmann,H. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als normative Handlungswissenschaft - Zur Bedeutung der Konstruktiven Wissenschaftstheorie für die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1978, S. 193-201.

Braun,W. (1982)

Braun,W.: Ökonomie, Geschichte und Betriebswirtschaftslehre - Studien zur klassischen Ökonomie und politischen Theorie der Unternehmung, Habilitationsschrift, Universität Wuppertal, Bern - Stuttgart 1982.

Braun,W. (1985)

Braun,W.: Konstruktive Betriebswirtschaftslehre, - Eine wissenschaftliche Einführung, Wiesbaden 1985.

Braybrooke (1963)

Braybrooke,D.; Lindblom,C.E.: A Strategy of Decision - Policy Evaluation as a Social Process, Glencoe - London 1963.

Brenken (1988)

Brenken,D.: Strategische Unternehmensführung und Ökologie - Rekonstruktion eines ausgewählten Denkmodells und die Analyse seiner Anwendung am Beispiel ökonomisch-ökologischer Problemkomplexe, Dissertation, Universität Münster 1987, Bergisch Gladbach - Köln 1988.

Bretzke (1978a)

Bretzke, W.-R.: Die Entwicklung von Kriterien für die Konstruktion und Beurteilung betriebswirtschaftlicher Entscheidungsmodelle als Aufgabe einer betriebswirtschaftlichen Methodenlehre; in: Steinmann, H. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als normative Handlungswissenschaft - Zur Bedeutung der Konstruktiven Wissenschaftstheorie für die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1978, S. 217-244.

Bretzke (1978b)

Bretzke, W.-R.: Die Formulierung von Entscheidungsproblemen als Entscheidungsproblem; in: Die Betriebswirtschaft, 38. Jg. (1978), S. 135-143.

Bretzke (1980)

Bretzke, W.-R.: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, Habilitationsschrift, Universität Köln 1979, Tübingen 1980.

Brinkmann (1989)

Brinkmann, G.: Analytische Wissenschaftstheorie - Einführung sowie Anwendung auf einige Stücke der Volkswirtschaftslehre, München - Wien 1989.

Bruce (1975)

Bruce, B.: Case Systems for Natural Language; in: Artificial Intelligence, Vol. 6 (1975), S. 327-360.

Brucker (1975)

Brucker, P.; Lenstra, J.K.; Rinnooy Kan, A.H.G.: Complexity of Machine Scheduling Problems, Preprint BW 43/75, stichting mathematisch centrum, afdeling mathematische beslistkunde, Amsterdam 1975.

Brucker (1981)

Brucker, P.: Scheduling, Wiesbaden 1981.

Brüggemann (1991)

Brüggemann, U.: Integriertes Bedienfeld - ein neuer Weg der Informationsverarbeitung an der Werkzeugmaschine; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 86. Jg. (1991), S. 226-229.

Bruter (1978)

Bruter, C.P.: The Theory of Catastrophes: Some Epistemological Aspects; in: Synthese, Vol. 39 (1978), S. 293-315.

Bucher (1987)

Bucher, T.G.: Einführung in die angewandte Logik, Berlin - New York 1987.

Buchmann (1983)

Buchmann, W.: Zeitlicher Abgleich von Belastungsschwankungen bei der belastungsorientierten Fertigungssteuerung, Dissertation 1983, Universität Hannover, Düsseldorf 1983.

Budde (1981)

Budde, R.: Einige Bemerkungen zum Verständnis nebenläufiger Prozesse und Systeme; in: Brauer, W. (Hrsg.): GI - 11. Jahrestagung in Verbindung mit: Third Conference of the European Co-operation in Informatics (ECI), Proceedings, 20.-23.10.1981 in München, Informatik-Fachberichte 50, Berlin - Heidelberg - New York 1981, S. 448-459.

Bühner (1985a)

Bühner, R.: Strategie und Organisation - Analyse und Planung der Unternehmensdiversifikation mit Fallbeispielen, Wiesbaden 1985.

Bühner (1986b)

Bühner, R.: Entwicklungslinien zukünftiger Fabrikorganisation - jenseits von Taylor; in: VDI-Z (Zeitschrift), Bd. 128 (1986), S. 535-539.

Bühner (1986c)

Bühner, R.: Personalentwicklung für neue Technologien in der Produktion, Stuttgart 1986.

Bühner (1987)

Bühner, R.: Strategisches Personalmanagement für neue Produktionstechnologien; in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 39. Jg. (1987), S. 249-265.

Bünger (1988)

Bünger, J.: Ein lernendes Mustererkennungssystem zur betrieblichen Prozeßsteuerung - Entwicklung eines Expertensystems, Dissertation, Universität Köln 1987, Bergisch Gladbach - Köln 1988.

Bürgel, H. (1992)

Bürgel, H.D.; Gentner, A.: Phasenübergreifende Integration zur Steuerung der Entwicklungs- und Anlaufphasen bei Serienprodukten - Prozeßmanagement und Überleitungsphasen als wirkungsvolle Integrationsmechanismen; in: Hanssen, R.A.; Kern, W. (Hrsg.): Integrationsmanagement für neue Produkte, Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Sonderheft 30/92, Düsseldorf - Frankfurt 1992, S. 69-83.

Büttner (1989)

Büttner, R.: Konzeption des Beratungsteils und Implementierung von Teilbereichen eines Expertensystems zur Unterstützung der kurzfristigen Umdisposition in der Fertigung, Diplomarbeit, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg o.J. (1989).

Bullinger (1988)

Bullinger, H.-J.: CIM - Die Herausforderung der nächsten Jahre; in: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Produktionsforum '88 - Die CIM-fähige Fabrik, 8. IAO-Arbeitstagung, 4.-5.05.1988 in Stuttgart, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 10-44.

Bunge (1974)

Bunge, M.: Technology as Applied Science; in: Rapp, F. (Hrsg.): Contributions to a Philosophy of Technology - Studies in the Structure of Thinking in the Technological Sciences, Dordrecht - Boston 1974, S. 19-39.

Bunge (1975)

Bunge, M.: Entscheidungstheoretische Modelle in der Politik: Beispiel Vietnam; in: Simon-Schaefer, R.; Zimmerli, W.C. (Hrsg.): Wissenschaftstheorie der Geisteswissenschaften - Konzeptionen - Vorschläge, Entwürfe, Hamburg 1975, S. 309-323.

Bunge (1977)

Bunge, M.: Treatise on Basic Philosophy, Volume 3, Ontology I: The Furniture of the World, Dordrecht - Boston 1977.

Bunge (1985a)

Bunge, M.: Treatise on Basic Philosophy, Volume 7, Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science and Technology, Part I: Formal and Physical Sciences, Dordrecht - Boston - Lancaster 1985.

Burger, A. (1992)

Burger, A.: Entscheidungsorientierte Kostenrechnung für die flexibel automatisierte Fertigung, Habilitationsschrift, Universität Wien 1991, Stuttgart 1992.

Burns, J. (1988)

Burns, J.R.; Morgeson, J.D.: An Object-Oriented World-View for Intelligent, Discrete, Next-Event Simulation; in: Management Science, Vol. 34 (1988), S. 1425-1440.

Burns, L. (1986)

Burns, L.: Vagueness and Coherence; in: Synthese, Vol. 68 (1986), S. 487-513.

Busch, R. (1977)

Busch, R.: Entwurf und Darstellung von Lösungsspielräumen bei Zuordnungsproblemen mit Hilfe der losen Kopplung, Dissertation, Universität Bonn, Bonn 1977.

Buttery (1988)

Buttery, E.A.; Buttery, E.M.: A Computerized Decision Support System for the Control and Development of Marketing; in: Information Management, 3. Jg. (1988), Heft 4, S. 42-48

Buzacott (1984)

Buzacott, J.A.: Modelling Flexible Manufacturing Systems; in: Brans, J.P. (Hrsg.): Operational Research'84, Proceedings of the Tenth International Conference on Operational Research, 6.-10.08.1984 in Washington, Amsterdam - New York - Oxford 1984, S. 546-560.

Buzacott (1985)

Buzacott, J.A.; Shanthikumar, J.G.: On Approximate Queueing Models of Dynamic Job Shops; in: Management Science, Vol. 31 (1985), S. 870-887.

Buzacott (1986b)

Buzacott, J.A.; Gupta, D.: Impact of Flexible Machines on Automated Manufacturing Systems; in: Stecke, K.E.; Suri, R. (Hrsg.): Flexible Manufacturing Systems - Operations Research Models and Applications, Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems, 12.-15.08.1986 in Ann Arbor, Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo 1986, S. 257-268.

Byrn (1974)

Byrn, W.H.: Sequential Processes, Deadlocks, and Semaphore Primitives, Dissertation, Department of Applied Mathematics, Harvard University, Cambridge (Massachusetts) 1974.

Camm (1990)

Camm, J.D.; Raturi, A.S.; Tsubakitani, S.: Cutting Big M Down to Size; in: Interfaces, Vol. 20 (1990), No. 5, S. 61-66.

Cammarata (1983)

Cammarata, S.; McArthur, D.; Steeb, R.: Strategies of Cooperation in Distributed Problem Solving; in: Bundy, A. (Hrsg.): IJCAI-83, Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 08.-12.08.1983 in Karlsruhe, o.O. (Los Altos) 1983, Vol. 2, S. 767-770.

Carlson, R. (1979)

Carlson, R.C.; Jucker, J.V.; Kropp, D.H.: Less Nervous MRP Systems: A Dynamic Economic Lot-Sizing Approach; in: Management Science, Vol. 25 (1979), S. 754-761.

Carnap (1930a)

Carnap, R.: Die alte und die neue Logik; in: Erkenntnis, 1. Bd. (1930/31), S. 12-26.

Carnap (1931c)

Carnap, R.: Die logizistische Grundlegung der Mathematik; in: Erkenntnis, 2. Bd. (1931), S. 91-105.

Carnap (1959a)

Carnap, C.: Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit, bearbeitet von W. Stegmüller, Wien 1959.

Carnap (1959b)

Carnap, R.: Beobachtungssprache und theoretische Sprache; in: Logica - Studia Paul Bernays Dedicata, Vol. 34 (1959), S. 32-44.

Carnap (1960a)

Carnap, R.: Einführung in die symbolische Logik, 2. Aufl., Wien 1960.

Carnap (1961)

Carnap, R.: Der logische Aufbau der Welt - Scheinprobleme in der Philosophie, 2. Aufl., Hamburg 1961.

Carnap (1968)

Carnap, R.: Logische Syntax der Sprache, 2. Aufl., Wien - New York 1968.

Carnap (1969)

Carnap, R.: Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaft, München 1969.

Casper (1987)

Casper, S.: Terminologie als Grundlage objektorientierter Entwurfs- und Programmiermethodik; in: Czap, H.; Galinski, C. (Hrsg.): Terminology and Knowledge Engineering, Proceedings, International Congress on Terminology and Knowledge Engineering, 29.09.-01.10.1987 in Trier, Frankfurt 1987, S. 69-76.

Chalmers (1986)

Chalmers, A.F.: Wege der Wissenschaft - Einführung in die Wissenschaftstheorie, Berlin - Heidelberg - New York ... 1986.

Chang, F. (1985)

Chang, F.-C.: A Knowledge-Based Real-Time Decision Support System for Job Shop Scheduling at the Shop Floor Level, Dissertation, Ohio State University, Ann Arbor 1985.

Charniak (1976b)

Charniak,E.: Inference and Knowledge Part 2; in: Charniak,E.; Wilks,Y. (Hrsg.): Computational Semantics - An Introduction to Artificial Intelligence and Natural Language Comprehension, Amsterdam - New York - Oxford 1976, S. 129-154.

Charron-Bost (1990)

Charron-Bost,B.: Concerning the size of clocks; in: Guessarian,I. (Hrsg.): Semantics of Systems of Concurrent Processes, LITP Spring School on Theoretical Computer Science, 23.-27.04.1990 in La Roche Posay, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 469, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 176-184.

Checkland (1987)

Checkland,P.: Weiches Systemdenken - Aus Optimieren wird Lernen: eine Weiterentwicklung des Systemdenkens für die neunziger Jahre; in: Die Unternehmung, 41. Jg. (1987), S. 117-133.

Chiarella (1990)

Chiarella,C.: The Elements of a Nonlinear Theory of Economic Dynamics, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 343, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Chmielewicz (1978)

Chmielewicz,K.: Wissenschaftsziele und Forschungskonzeptionen der Wirtschaftswissenschaft; in: Schweitzer,M. (Hrsg.): Auffassungen und Wissenschaftsziele der Betriebswirtschaftslehre, Darmstadt 1978, S. 417-449.

Chmielewicz (1979)

Chmielewicz,K.: Forschungskonzeptionen der Wirtschaftswissenschaft, 2. Aufl., Stuttgart 1979.

Chmielewicz (1984)

Chmielewicz,K.: Forschungsschwerpunkte und Forschungsdefizite in der deutschen Betriebswirtschaftslehre; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 36. Jg. (1984), S. 148-157.

Chow,W.S. (1988)

Chow,W.S.; Heragu,S.; Kusiak,A.: Operations Research Models and Techniques; in: Rolstadas, A. (Hrsg.): Computer-Aided Production Management, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 135-148.

Church (1956)

Church,A.: Introduction to Mathematical Logic, Princeton 1956.

Church (1976)

Church,A.: Comparison of Russels's Resolution of the Semantical Antinomies with that of Tarski; in: The Journal of Symbolic Logic, Vol. 41 (1976), S. 747-760.

Cieplik (1985)

Cieplik,U.: Personalplanung bei technologischem Wandel; in: Zink,K.J. (Hrsg.): Personalwirtschaftliche Aspekte neuer Technologien, Berlin 1985, S. 45-61.

Clarkson (1960)

Clarkson,G.P.E.; Simon,H.A.: Simulation of Individual and Group Behavior; in: American Economic Review, Vol. 50 (1960), No. 5, S. 920-932.

Coenenberg (1991a)

Coenenberg,A.G.; Fischer,T.M.: Prozeßkostenrechnung - Strategische Neuorientierung in der Kostenrechnung; in: Die Betriebswirtschaft, 51. Jg. (1991), S. 21-38.

Cohen,P. (1982)

Cohen,P.R.; Feigenbaum,E.A. (Hrsg.): The Handbook of Artificial Intelligence, Vol. III, London - Los Altos 1982.

Commission of the European Communities (1989)

Commission of the European Communities: 1989 ESPRIT Workprogramme (European Strategic Programme for R&D in Information Technology), Brüssel 1989.

Conrath (1973)

Conrath,D.W.: From Statistical Decision Theory to Practice: Some Problems with the Transition; in: Management Science, Vol. 19 (1973), S. 873-883.

Conterno (1985b)

Conterno,R.; Menga,G.: Performance Evaluation of FMS by Heuristic Queueing Network Analysis; in: Menga,G.; Kempe,V. (Hrsg.): Advances in Informational Aspects of Industrial Automation, Proceedings of the III. Bilateral Meeting GDR-Italy, 19.-21.02.1985 in Berlin (Ost), Berlin (Ost) 1985, S. 39-47.

Conway,G. (1989a)

Conway,G.D.: Wittgenstein: An Antifoundationalist?, Paper, präsentiert am 19.08.1989 anlässlich: 14. Internationales Wittgenstein Symposium, 13.-20.08.1989 in Kirchberg, o.O. (Emmitsburg) o.J. (1989).

Conway,R. (1960)

Conway,R.W.; Johnson,B.M.; Maxwell,W.L.: An Experimental Investigation of Priority Dispatching; in: The Journal of Industrial Engineering, Vol. 11 (1960), S. 221-229.

Conway,R. (1966)

Conway,R.W.; Maxwell,W.L.; Oldziey,J.W.: Sequencing Against Due-Dates; in: Hertz,D.B.; Melese,J. (Hrsg.): Proceedings of the 4th Conference on Operational Research, New York 1966, S. 599-617.

Conway,R. (1967)

Conway,R.; Maxwell,W.L.; Miller,L.W.: Theory of Scheduling, Reading - Palo Alto - London - Don Mills 1967.

Coomann (1983)

Coomann,H.: Die Kohärenztheorie der Wahrheit - Eine kritische Darstellung der Theorie Reschers vor ihrem historischen Hintergrund, Dissertation, Universität Düsseldorf, Frankfurt - Bern - New York 1983.

Cooper (1988)

Cooper,R.; Kaplan,R.S.: Use activity-based costing to guide corporate strategy. - Measure Costs Right: Make the Right Decisions; in: Harvard Business Review, Vol. 66 (1988), No. 5 (September-October), S. 96-103.

Cooper (1990a)

Cooper,R.: Activity-Based Costing - Was ist ein Activity-Based Cost-System?; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1990), S. 210-220.

Cooper (1990b)

Cooper,R.: Activity-Based Costing - Wann brauche ich ein Activity-Based Cost-System und welche Kostentreiber sind notwendig? (Teil 2); in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1990), S. 271-279.

Cooper (1990c)

Cooper,R.: Activity-Based Costing - Einführung von Systemen des Activity-Based Costing (Teil 3); in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1990), S. 345-351.

Cooper (1992)

Cooper,R.: Activity-Based Costing; in: Männel,W. (Hrsg.): Handbuch Kostenrechnung, Wiesbaden 1992, S. 360-383.

Corkill (1979)

Corkill,D.D.: Hierarchical Planning in a Distributed Environment; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 1, S. 168-175.

Corkill (1983)

Corkill,D.D.; Lesser,V.R.: The Use of Meta-Level Control for Coordination in a Distributed Problem Solving Network; in: Bundy,A. (Hrsg.): IJCAI-83, Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 08.-12.08.1983 in Karlsruhe, o.O. (Los Altos) 1983, Vol. 2, S. 748-756.

Cornelßen (1988)

Cornelßen,I.: Die Kür des Kümmereres; in: manager magazin, 18. Jg. (1988), Heft 10, S. 286-291.

Corsten (1986a)

Corsten,H.: Produktionsfaktorsysteme; in: Das Wirtschaftsstudium, 15. Jg. (1986), S. 173-179.

Corsten (1986b)

Corsten,H.: Wirtschafts unabhängiges Produktionsfaktorsystem; WISU-Studienblatt April 1986, Beilage der Zeitschrift: Das Wirtschaftsstudium, 15. Jg. (1986), o.S.

Corsten (1988b)

Corsten,H.: Ansatzschwerpunkte zur Bildung von Kontrollschwerpunkten; in: Das Wirtschaftsstudium, 17. Jg. (1988), S. 597-602.

Corsten (1990a)

Corsten,H.: Produktionswirtschaft - Einführung in das industrielle Produktionsmanagement, München - Wien 1990.

Cullingford (1981)

Cullingford,R.E.: Integrating Knowledge Sources for Computer "Understanding" Tasks; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 52-60.

Cunis (1987a)

Cunis,R.; Günter,A.; Syska,I.: PLAKON - Ein übergreifendes Konzept zur Wissensrepräsentation und Problemlösung bei Planungs- und Konfigurierungsaufgaben; in: Balzert,H.; Heyer,G.; Lutze,R. (Hrsg.): Expertensysteme'87 - Konzepte und Werkzeuge, Fachtagung, 07.-08.04.1987 in Nürnberg, Stuttgart 1987, S. 406-420.

Cunis (1987b)

Cunis,R.; Günter,A.; Syska,I.: Planen mit PLAKON, Arbeitsbericht, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg, Preprint eines Vortrags für den Workshop "Planen", 10.-11.03.1987 in Sankt Augustin, Hamburg o.J. (1987).

Cyert (1963)

Cyert,R.M.; March,J.G.: A Behavioral Theory of the Firm, Englewood Cliffs 1963.

Czap (1989)

Czap,H.: Datenbankunterstützung der betrieblichen Dokumentation; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 361-376.

Czeranowsky (1980)

Czeranowsky,G.: Grundsätzliche Überlegungen bei der Auswahl adäquater Modellformulierungen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 50. Jg. (1980), S. 53-58.

da Costa (1974)

da Costa,N.C.A.: On the Theory of Inconsistent Formal Systems; in: Notre Dame Journal of Formal Logic, Vo. 15 (1974), S. 497-510.

da Costa (1982)

da Costa,N.C.A.: The Philosophical Import of Paraconsistent Logic; in: Journal of Non-Classical Logic, Vol. 1 (1982), S. 1-19.

Dadam (1989)

Dadam,P.; Dillmann,R.; Lockemann,P.C.; Südkamp,N.: Produktionsintegration mittels Datenbanken: Anforderungen, Lösungsansätze, Trends; in: o.V.: Informatik für die Industrielle Automation, INFINA'89, 15.-17.02.1989 in Karlsruhe, Düsseldorf 1989, S. 63-71.

Dangelmaier (1987d)

Dangelmaier,W.; Kühnle,H.; Fuchs,R.M.; Hachtel,G.: Logistische Philosophien; in: Automobil-Produktion, o.Jg. (1987), Heft 2 (Juni), S. 136-142.

Daniel,L. (1984)

Daniel,L.: Planning and Operations Research; in: O'Shea,T.; Eisenstadt,M. (Hrsg.): Artificial Intelligence - Tools, Techniques, and Applications, New York - Cambridge - Philadelphia ... 1984, S. 423-452.

Dantzig (1951)

Dantzig,G.B.: The Programming of Interdependent Activities: Mathematical Model; in: Koopmans,T.C. (Hrsg.): Activity Analysis of Production and Allocation, Proceedings of a Conference, New York - London 1951, S. 19-32.

Das (1988)

Das,S.K.; Agrawal,V.K.; Sarkar,D.; Patnaik,L.M.: Invariant-Preserving Petri Net Reduction and Conditions for Invariant-Existence; in: Computers and Electrical Engineering, Vol. 14 (1988), No. 3/4, S. 75-91.

Davidson (1983)

Davidson, D.: A Coherence Theory of Truth and Knowledge; in: Henrich, D. (Hrsg.): Stuttgarter Hegel-Kongreß 1981 - Kant oder Hegel? - Über Formen der Begründung in der Philosophie, Stuttgart 1983, S. 423-438. (Auch veröffentlicht in: in: LePore, E. (Hrsg.): Truth and Interpretation - Perspectives on the Philosophy of Donald Davidson, Oxford 1986, S. 307-319.)

Davis, E. (1987)

Davis, E.: Constraint Propagation with Interval Labels; in: Artificial Intelligence, Vol. 32 (1987), S. 281-331.

Davis, L. (1983)

Davis, L.C.; Aldrich, J.R.: A Knowledge-Based Approach to Naval Multisensor Information Integration; in: o.V.: Proceedings Trends & Applications 1983 - Automating Intelligent Behavior - Applications and Frontiers, Silver Spring 1983, S. 216-224.

Davis, R. (1981)

Davis, R.; Smith, R.G.: Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving, A.I. Memo No. 624, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts) 1981.

Davis, R. (1983)

Davis, R.; Smith, R.G.: Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving; in: Artificial Intelligence, Vol. 20 (1983), S. 63-109. (Anmk. des Verf.: geringfügig überarbeitete Version von Davis, R. (1981).)

De (1985b)

De, S.: Decision-Making in Manufacturing: An Information Processing Approach, Dissertation, Purdue University 1984, Ann Arbor 1985.

Decker, K. (1987)

Decker, K.S.: Distributed Problem-Solving Techniques: A Survey; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-17 (1987), S. 729-740.

Deker (1983)

Deker, U.; Thomas, H.: Unberechenbares Spiel der Natur - Die Chaos-Theorie; in: bild der wissenschaft, 20. Jg. (1983), Heft 1, S. 63-75.

Delahaye (1987)

Delahaye, J.-P.: Formal Methods in Artificial Intelligence, Oxford 1987.

Delfmann (1989a)

Delfmann, W.: Die Planung "robuster" Distributionsstrukturen bei Ungewißheit über die Nachfrageentwicklung im Zeitablauf; in: Hax, H.; Kern, W.; Schröder, H.-H. (Hrsg.): Zeitaspekte betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis, 50. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 24.-28.05.1988 in Köln, Stuttgart 1989, S. 215-229.

Dellmann (1979)

Dellmann, K.: Zum Stand der betriebswirtschaftlichen Theorie der Kostenrechnung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 49. Jg. (1979), S. 319-332.

Demongeot (1988)

Demongeot, J.; Herve, T.; Rialle, V.; Roche, C. (Hrsg.): Artificial Intelligence and Cognitive Sciences, Manchester - New York 1988.

Dempster (1981)

Dempster, M.A.H.; Fisher, M.L.; Jansen, L.; Lageweg, B.J.; Lenstra, J.K.; Rinnooy Kan, A.H.G.: Analytical Evaluation of Hierarchical Planning Systems; in: Operations Research, Vol. 29 (1981), S. 707-716.

de Treville (1987)

de Treville, S.: Disruption, Learning, and System Improvement in Just-In-Time Manufacturing, Dissertation, Graduate School of Business Administration, Garvard University, Helsinki 1987.

Dey (1984)

Dey, H.J.; Möller, B.: Fertigungszelle, Fertigungsinsel, Fertigungssystem - Konzepte einer Flexiblen Fertigung; in: Werkstatt und Betrieb, 117. Jg. (1984), S. 457-465.

Dichtl (1988)

Dichtl,E.: Die Verringerung der Fertigungstiefe ist keine Patentlösung - Oft besteht zwischen den "Partnern im Profit" ein problematisches Machtungleichgewicht; in: Handelsblatt, Ausgabe von 10.12.1988, Nr. 237, S. 26.

Dickhut (1966)

Dickhut,E.O.: Zur Problematik der optimalen Fertigungsablaufplanung in der Einzel- und Kleinserienfertigung, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Aachen 1966.

Diederich (1989b)

Diederich,W.: The Development of Structuralism. A Re-evaluation on the Occasion of W. Stegmüller's Theorie und Erfahrung, pt. 3 (1986); in: Erkenntnis, Vol. 30 (1989), S. 363-386.

Diederich (1989c)

Diederich,W.; Ibarra,A.; Mormann,T.: Bibliography of Structuralism; in: Erkenntnis, Vol. 30 (1989), S. 387-407.

Diederich (1989d)

Diederich,W.: Realität und Modell - 'Semantischer' und 'Strukturalistischer' Ansatz in der Wissenschaftstheorie; in: Allgemeine Zeitschrift für Philosophie, Jg. 14 (1989), Heft 3, S. 1-14.

Diehl (1988)

Diehl,W.: Verwaltung und Pflege von NC-Programmen - Das Informationsnetz in der Fertigung; in: Industrie-Anzeiger, 110. Jg. (1988), Nr. 76, S. 28-29.

Dietrich,R. (1978)

Dietrich,R.; Zimmermann,G.: Einführung und Einsatz eines Softwarepaketes zur integrierten Fertigungssteuerung in einem Unternehmen der Elektroindustrie mit Serienfertigung; in: Ellinger,T.; Wildemann,H. (Hrsg.): Praktische Fälle zur Produktionssteuerung, Wiesbaden 1978, S. 391-419.

Dillmann (1984)

Dillmann,R.: Hierarchische Steuerungsstrukturen für mobile Roboter, Skript eines Vortrags, gehalten am 01.10.1984 anlässlich des Fachgesprächs: Industrieroboter und künstliche Intelligenz, veranstaltet im Vorprogramm der 14. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, 02.-04.10.1984 in Braunschweig, Karlsruhe 1984.

Dillmann (1990a)

Dillmann,R.: Statistik I - Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie, Heidelberg 1990.

Dillmann (1990b)

Dillmann,R.: Statistik II - Induktive Statistik, Heidelberg 1990.

DIN 2330 (1961)

Ausschuß Normungstechnik im Deutschen Normenausschuß (DNA): DIN 2330 - Begriffe und Benennungen - Allgemeine Grundsätze, Berlin - Köln 1961.

DIN 44300 (1972)

Fachnormenausschuß Informationsverarbeitung (FNI) im Deutschen Normenausschuß (DNA): DIN 44300 - Informationsverarbeitung - Begriffe, Berlin - Köln 1972.

DIN 44300 (1985)

Normenausschuß Informationsverarbeitungssysteme (NI) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Entwurf DIN 44300 - Informationsverarbeitung - Begriffe, Teil 1 bis 9, Berlin 1985.

DIN 5474 (1973)

Deutscher Normenausschuß - Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen (Hrsg.): DIN 5474, Zeichen der mathematischen Logik, Berlin - Köln 1973.

Dincmen (1984)

Dincmen,M.; Cebi,T.: Prioritätsregeln in der Werkstattfertigung; in: Werkstattstechnik, 74. Jg. (1984), S. 85-88.

Dinkelbach (1973)

Dinkelbach,W.: Modell -ein isomorphes Abbild der Wirklichkeit?; in: Grochla,E.; Szyperski,N. (Hrsg.): Modell- und computer-gestützte Unternehmensplanung, Wiesbaden 1973, S. 151-162.

Dinkelbach (1979)

Dinkelbach, W.: Operations Research-Verfahren; in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 1379-1391.

Dinkelbach (1989a)

Dinkelbach, W.: Flexible Planung; in: Szyperski, N.; Winand, U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 507-512.

Dinkelbach (1989b)

Dinkelbach, W.; Piro, A.: Entsorgung und Recycling in der betriebswirtschaftlichen Produktions- und Kostentheorie: LEONTIEF-Technologien (I); in: Das Wirtschaftsstudium, 18. Jg. (1989), S. 399-405.

Dinkelbach (1990a)

Dinkelbach, W.: Elemente einer umweltorientierten betriebswirtschaftlichen Produktions- und Kostentheorie auf der Grundlage von Leontief-Technologien; in: Kistner, K.-P.; Ahrens, J.H.; Feichtinger, G.; Minnemann, J.; Streitferdt, L. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1989 - DGOR, Vorträge der 18. Jahrestagung, 13.-15.09.1989 in Kiel, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 60-70.

Diruf (1980a)

Diruf, G.: Logistische Langfristplanung mit dem Prinzip robuster nächster Schritte; in: IHS-Journal, Vol. 4 (1980), S. 1-14.

Diruf (1983)

Diruf, G.: Strategisch-logistische Müllentsorgungs-Planung mit einem lernorientierten Modellsystem; in: Bühler, W.; Fleischmann, B.; Schuster, K.P.; Streitferdt, L.; Zander, H. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1982, DGOR - Vorträge der 11. Jahrestagung, 22.-24.09.1982 in Frankfurt, Berlin - Heidelberg - New York 1983, S. 237-247.

Diruf (1984)

Diruf, G.: Modell- und computergestützte Gestaltung physischer Distributionssysteme; in: Albach, H. (Schriftleitung): Unternehmensführung und Logistik, Ergänzungsheft 2/84 zu: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Wiesbaden 1984, S. 114-130.

Dittrich, G. (1989b)

Dittrich, G.; Evertz-Jägers, B.: Der Kanal-Instanz-Netz Editor KINED - Ein Tool zur Unterstützung einer methodischen Systemmodellierung mit Hilfe von hierarchisch dargestellten Kanal-Instanz-Netzen, Forschungsbericht Nr. 308, Fachbereich Informatik, Universität Dortmund, Dortmund o.J. (1989).

Dittrich, K. (1989)

Dittrich, K.R.: Objektorientierte Datenbanksysteme; in: Informatik-Spektrum, Bd. 12 (1989), S. 215-220.

Dittrich, L. (1982)

Dittrich, L.: Ein Wirtschaftlichkeitsproblem bei Werkzeugmaschinen: CNC-Steuerungen Handeingabe oder automatischer Programmierplatz?; in: Management-Zeitschrift io, 51. Jg. (1982), S. 128-131.

Dlugos (1972a)

Dlugos, G.; Eberlein, G.; Steinmann, H. (Hrsg.): Wissenschaftstheorie und Betriebswirtschaftslehre - Eine methodologische Kontroverse, Düsseldorf 1972.

Dlugos (1972b)

Dlugos, G.: Analytische Wissenschaftstheorie als Regulativ betriebswirtschaftlicher Forschung; in: Dlugos, G.; Eberlein, G.; Steinmann, H. (Hrsg.): Wissenschaftstheorie und Betriebswirtschaftslehre - Eine methodologische Kontroverse, Düsseldorf 1972, S. 21-53.

Dörken (1973a)

Dörken, W.: Simulationsmodelle und ihre Anwendung bei der Analyse von Prioritätsregeln zur Maschinenbelegungsplanung (I); in: Arbeitsvorbereitung, 10. Jg. (1973), S. 89-95.

Dörken (1973b)

Dörken, W.: Simulationsmodelle und ihre Anwendung bei der Analyse von Prioritätsregeln zur Maschinenbelegungsplanung (II); in: Arbeitsvorbereitung, 10. Jg. (1973), S. 115-122.

Dörner, D. (1979)

Dörner, D.: Problemlösen als Informationsverarbeitung, 2. Aufl., Stuttgart - Berlin - Köln ... 1979.

Dörner, E. (1984)

Dörner, E.: Plankostenrechnungen aus produktionstheoretischer Sicht, Dissertation, Universität Köln 1984, Bergisch Gladbach 1984.

Doerry (1990)

Doerry, M.: "Die Studenten sind Experten" _ Die Soziologen Friedhelm Neidhardt und Erwin K. Scheuch über Uni-Ranglisten; in: Der Spiegel, 44. Jg. (1990), Heft 5, S. 72-80.

Döttling (1981)

Döttling, W.: Flexible Fertigungssysteme - Steuerung und Überwachung des Fertigungsablaufs, Berlin - Heidelberg - New York 1981.

Doktor (1973)

Doktor, R.H.; Hamilton, W.F.: Cognitive Style and the Acceptance of Management Science Recommendations; in: Management Science, Vol. 19 (1973), S. 884-894.

Dollinger (1990)

Dollinger, M.: Arbeitszeitmodelle - Grenzen, Gefahren und Chancen für Humanität und Effektivität; in: Zeitschrift Führung + Organisation, 59. Jg. (1990), S. 399-403.

Domschke (1990)

Domschke, W.; Drexl, A.: Einführung in Operations Research, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Dorfman (1969)

Dorfman, R.: An Economic Interpretation of Optimal Control Theory; in: The American Economic Review, Vol. 59 (1969), S. 817-831.

Dorn (1989)

Dorn, J.: Wissensbasierte Echtzeitplanung, Dissertation, Technische Universität Berlin, Braunschweig - Wiesbaden 1989.

Doumeingts (1984a)

Doumeingts, G.: Methodology of Design Computer Integrated Manufacturing and Control of Manufacturing Unit; in: Rembold, U.; Dillmann, R. (Hrsg.): Methods and Tools for Computer Integrated Manufacturing, Advanced CREST Course on Computer Integrated Manufacturing (CIM 83), 5.-16.09.1983 in Karlsruhe, Lecture Notes in Computer Science 168, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984, S. 194-265.

Doumeingts (1985)

Doumeingts, G.; Berard, C.; Breuil, D.; Maisonneuve, M.: Use of Artificial Intelligence for Piloting Manufacturing Unit; in: Falster, P.; Mazumder, R.B. (Hrsg.): Modeling Production Management Systems, Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on M.P.M.S., 29.-31.08.1984 in Kopenhagen, Amsterdam - New York - Oxford 1985, S. 197-218.

Drexl (1989)

Drexl, A.: Heuristische Scheduling-Verfahren zur Personaleinsatzplanung bei Unternehmensprüfungen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 193-212.

Drexl (1990a)

Drexl, A.: Job-Prozessor-Scheduling für heterogene Computernetzwerke; in: Wirtschaftsinformatik, 32. Jg. (1990), S. 345-351.

Dror, Y. (1964)

Dror, Y.: Muddling Through - "Science" or Inertia?; in: Public Administration Review, Vol. 24 (1964), S. 153-157.

Drukarczyk (1970)

Drukarczyk, J.: Investitionstheorie und Konsumentenpräferenz, Berlin 1970.

Durfee (1986)

Durfee, E.H.; Lesser, V.R.: Incremental Planning to Control a Blackboard-Based Problem Solver; in: o.V.: proceedings aaai-86, fifth national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Vol. 1: science, Los Altos 1986, S. 58-64.

Dycke (1988)

Dycke,A.: Zur Ableitung von Managementregeln aus kontrolltheoretischen Unternehmensmodellen, Dissertation, Universität Passau, Bergisch Gladbach - Köln 1988.

Dyckhoff (1988a)

Dyckhoff,H.: Production Theoretic Foundation of Cutting and Related Processes; in: Fandel,G.; Dyckhoff,H.; Reese,J. (Hrsg.): Essays on Production Theory and Planning, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 151-180.

Dyckhoff (1990)

Dyckhoff,H.: Berücksichtigung des Umweltschutzes in der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie, Arbeitsbericht Nr. 90-01, überarbeitete Version vom Juni 1990, Institut für Wirtschaftswissenschaften, Technische Hochschule Aachen, Aachen 1990. (Anmk. des Verf.: geringfügige Änderungen und Textumstellungen gegenüber der Version vom April 1990.)

Dyckhoff (1991a)

Dyckhoff,H.: Berücksichtigung des Umweltschutzes in der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie; in: Ordelt, D.; Rudolph, B.; Büsselmann, E. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre und Ökonomische Theorie, 52. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 05.-09.06.1990 in Frankfurt, Stuttgart 1991, S. 275-309. (Anmk. des Verf.: nahezu identisch mit Dyckhoff (1990).)

Dyckhoff (1992a)

Dyckhoff,H.: Betriebliche Produktion - Theoretische Grundlagen einer umweltorientierten Produktionswirtschaft, Berlin - Heidelberg - New York ... 1992.

Dyson (1973)

Dyson,R.G.: Robustness; in: Operational Research Quarterly, Vol. 24 (1973), S. 317-318.

Eastman,C. (1969)

Eastman,C.M.: Cognitive Processes and Ill-Defined Problems: A Case Study from Design; in: Walker,D.E.; Norton,L.M. (Hrsg.): Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, 07.-09.05.1969 in Washington, Bedford (Massachusetts) 1969, S. 669-690.

Eberle,M. (1984)

Eberle,M.: Planung und Realisierung technik-gestützter Informationssysteme - Analyse und Gestaltung auf der Grundlage der Systemwirtschaftlichkeit, Göttingen 1984.

Eberle,R. (1991)

Eberle,R.: Fertigungsintegrierte Kalkulation; in: Scheer,A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV, 12. Saarbrücker Arbeitstagung 1991, Heidelberg 1991, S. 287-310.

Eco (1972)

Eco,U.: Einführung in die Semiotik, München 1972.

Ehrich (1982)

Ehrich,H.-D.: On the Theory of Specification, Implementation, and Parametrization of Abstract Data Types; in: Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 29 (1982), S. 206-227.

Ehrig (1985a)

Ehrig,H.; Mahr,B.: Fundamentals of Algebraic Specification 1 - Equations and Initial Semantics, Berlin - Heidelberg - New York ... 1985.

Ehrt (1967)

Ehrt,R.: Die Zurechenbarkeit von Kosten und Leistungen - auf der Grundlage kausaler und financer Beziehungen, Stuttgart - Berlin - Köln ... 1967.

Eichhorn (1979)

Eichhorn,W.: Die Begriffe Modell und Theorie in den Wirtschaftswissenschaften; in: Raffee,H.; Abel,B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979, S. 60-105.

Eidenmüller (1987)

Eidenmüller,B.: Auswirkungen neuer Technologien auf die Arbeitsorganisation; in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 39. Jg. (1987), S. 239-248.

Eilon (1974)

Eilon,S.: Mathematical Modelling for Management; in: Interfaces, Vol. 4 (1974), No. 2, S. 32-38.

Eisenführ (1978)

Eisenführ,F.: Die Wissenschaft vom vernünftigen Handeln; in: Die Betriebswirtschaft, 38. Jg. (1978), S. 435-448.

Eleftheriu (1988)

Eleftheriu,M.N.; Desrochers,A.A.: Production Planning for a Prone to Failures Manufacturing Facility with Stochastic Demand; in: o.V.: 1988 International Conference on Computer Integrated Manufacturing, 23.-25.05.1988 in Troy, Washington 1988, S. 74-80.

Elle (1989b)

Elle,H.-D.: Aufgeklärter Konstruktivismus - Ein Beitrag zur erkenntnis- und wissenschaftsprogramatischen Diskussion innerhalb der Betriebswirtschaftslehre, Arbeitsbericht Nr. 29, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1989.

Elle (1991)

Elle,H.-D.: Unternehmensentwicklung - Ansätze [zu] einer aufgeklärt-konstruktivistischen ökonomischen Theorie und Politik der Entwicklung von Unternehmen, Dissertation, Universität Köln, Stuttgart 1991. (Anmk. des Verf.: Zusatz [...] nach Maßgabe des Autors.)

Ellinger (1977a)

Ellinger,T.; Wildemann,H.: Zielorientierte Produktionsplanung und Produktionssteuerung - Betriebswirtschaftlich und technologisch begründete Zielsetzungen für Entscheidungen über die Gestaltung und Bewertung von Produktionsplanungs- (und) Produktionssteuerungssystemen, Arbeitsbericht Nr. 6, Industrieseminar, Universität Köln, Köln 1977. (Anmk. des Verf.: "und" fehlt auf der Titelseite.)

Ellinger (1979)

Ellinger,T.; Schmitz,P.; Bons,H.; Goldbecker,H.; Hasenkamp,U.; Haupt,R.; Linnartz,W.; van Megen,R.; Oellers.B.; Ortman,L.: Generatorsystem zur Simulation von Reihenfolgeproblemen (SIRE), Köln 1978, hrsg. vom Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht DV 79-03, Eggenstein-Leopoldshafen 1979.

Ellinger (1985)

Ellinger,E.; Wildemann,H.: Planung und Steuerung der Produktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht, 2. Aufl. München 1985.

Ellinger (1990a)

Ellinger,T.: Operations Research - Eine Einführung, 3. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Elmaghraby (1964)

Elmaghraby,S.E.: An Algebra for the Analysis of Generalized Activity Networks; in: Management Science, Vol. 10 (1964), S. 494-514.

Elmaghraby (1966a)

Elmaghraby,S.E.: The Design of Production Systems, New York - Cincinnati - Toronto - London - Melbourne 1966.

Elmaghraby (1977)

Elmaghraby,S.E.: Activity Networks: Project Planning and Control by Network Models, New York - London - Sydney ... 1977.

Elton (1973a)

Elton,M.; Gupta,S.K.; Rosenhead,J.: Reply to Professor D.J. White; in: Operational Research Quarterly, Vol. 24 (1973), S. 313-316.

Elton (1973b)

Elton,M.; Gupta,S.K.; Rosenhead,J.: Reply to Comments by Dr. R.R. Dyson; in: Operational Research Quarterly, Vol. 24 (1973), S. 318-319.

Endell (1987)

Endell,B.: Analyse der wechselseitigen Beziehungen zwischen flexiblen Arbeitszeitregelungen und moderner Produktion - Eine flexibilitätstheoretische Betrachtung -, Dissertation 1986, Universität Köln, Düsseldorf 1987.

Engelmore (1979)

Engelmore,R.; Terry,A.: Structure and Function of the CRYVALIS System; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 1, S. 250-256.

Erman (1975)

Erman,L.D.; Lesser,V.R.: A Multi-Level Organization for Problem Solving Using Many, Diverse Cooperating Sources of Knowledge; in: o.V.: Advance Papers of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-75), 03.-08.09.1975 in Tbilisi, o.O. (Cambridge/Massachusetts) 1975, Vol. 2, S. 483-490.

Erman (1980)

Erman,L.D.; Hayes-Roth,F.; Lesser,V.R.; Reddy,D.R.: The HEARSAY-II Speech-Understanding System: Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty; in: Computing Surveys, Vol. 12 (1980), S. 213-253.

Ernst (1969)

Ernst,G.W.; Newell,A.: GPS: A Case Study in Generality and Problem Solving, New York - London 1969.

Eschenbacher (1991)

Eschenbacher,P.: Formulierung transactions-orientierter Modelle mit der systemtheoretischen Beschreibungssprache SIMPLEX-MDL; in: Biethahn,J.; Hummeltenberg,W.; Schmidt,B. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe, Band 2, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 221-235.

Esser,H. (1977a)

Esser,H.; Klenovits,K.; Zehnpfennig: Wissenschaftstheorie 1: Grundlagen und Analytische Wissenschaftstheorie, Stuttgart 1977.

Esser,H. (1977b)

Esser,H.; Klenovitz,K.; Zehnpfennig,H.: Wissenschaftstheorie 2: Funktionsanalyse und hermeneutisch-dialektische Ansätze, Stuttgart 1977.

Essler (1971)

Essler,W.K.: Wissenschaftstheorie II - Theorie und Erfahrung, Freiburg - München 1971.

Essler (1979)

Essler,W.K.: Wissenschaftstheorie IV - Erklärung und Kausalität, Freiburg - München 1979.

Essler (1982a)

Essler,W.K.: Wissenschaftstheorie I - Definition und Reduktion, 2. Aufl., Freiburg - München 1982.

Ester (1989)

Ester,M.: Konsistenzwerkzeuge für PROLOG-Wissensbasen, Dissertation, Technische Hochschule Zürich, Zürich 1989.

Eul-Bischoff (1987)

Eul-Bischoff,M.: Computergestützte Problemstrukturierung - Anwendung der Interpretativen Strukturmodellierungs-Technik in Gruppen, Dissertation 1986, Universität Köln, Bergisch Gladbach - Köln 1987.

Eversheim (1981)

Eversheim,W.: Organisation in der Produktionstechnik, Bd. 4: Fertigung und Montage, Düsseldorf 1981.

Eversheim (1989b)

Eversheim,W.: Organisation in der Produktionstechnik, Band 3: Arbeitsvorbereitung, 2. Aufl., Düsseldorf 1989.

Eversheim (1989g)

Eversheim,W.; Rozenfeld,H.; Schneewind,J.: Integrierte Arbeitsplanerstellung flexibel gestalten - Automatismus nach Maß; in: Industrie-Anzeiger, 111. Jg. (1989), Nr. 85, S. 26-29.

Eversheim (1990c)

Eversheim,W.; Schuh,G.; Caesar,C.: Produkt- und Produktionscontrolling innerhalb integrierter Produktionssysteme; in: Ahlert,D.; Franz,K.-P.; Göppl,H. (Hrsg.): Finanz- und Rechnungswesen als Führungsinstrument, Herbert Vormbaum zum 65. Geburtstag, Wiesbaden 1990, S. 73-107.

Fahrion (1989)

Fahrion,R.: Wirtschaftsinformatik - Grundlagen und Anwendungen, Heidelberg 1989.

Faidt (1989)

Faidt,K.; Flohr,S.; Bleisinger,R.: Repräsentation und Verarbeitung von zeitlichem Wissen; in: Retti,J.; Leidlmair,K. (Hrsg.): 5. Österreichische Artificial-Intelligence-Tagung, 28.-31.03.1989 in Igls, Proceedings, Informatik-Fachberichte 208, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 303-312.

Falster (1988)

Falster,P.: Graph Theoretical Approaches; in: Rolstadas,A. (Hrsg.): Computer-Aided Production Management, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 97-121.

Fandel (1972)

Fandel,G.: Optimale Entscheidung bei mehrfacher Zielsetzung, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 76, Berlin - Heidelberg - New York 1972.

Fandel (1981a)

Fandel,G.: Entwicklungslinien in der Entscheidungstheorie bei mehrfachen Zielsetzungen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 1/81 zum 51. Jg. (1981), S. 118-127.

Fandel (1988a)

Fandel,G.: Auswirkungen der Lieferabrufsysteme in der Automobilindustrie auf die Serienstückkosten der Zulieferer; in: Lücke,W. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Steuerungs- und Kontrollprobleme, Wissenschaftliche Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 9.-13.06.1987 in Göttingen, Wiesbaden 1988, S. 49-62.

Fandel (1988b)

Fandel,G.; Francois,P.: Rational Material Flow Planning with MRP and Kanban; in: Fandel,G.; Dyckhoff,H.; Reese,J. (Hrsg.): Production Theory and Planning, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 43-65.

Fandel (1989a)

Fandel,G.; Reese,J.: "Just-in-Time"-Logistik am Beispiel eines Zulieferbetriebs in der Automobilindustrie; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 55-69.

Fandel (1989b)

Fandel,G.; Francois,P.: Just-in-Time-Produktion und -Beschaffung - Funktionsweise, Einsatzvoraussetzungen und Grenzen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 531-544.

Fandel (1991a)

Fandel,G.: Produktion I - Produktions- und Kostentheorie, 3. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1991.

Fandel (1991b)

Fandel,G.: Bedeutung der ökonomischen Theorie für das betriebswirtschaftliche Gebiet der Produktion; in: Ordelheide,D.; Rudolph,B.; Büsselmann,E. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre und Ökonomische Theorie, 52. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 05.-09.06.1990 in Frankfurt, Stuttgart 1991, S. 227-254.

Farley (1980)

Farley,A.M.: Issues in Knowledge-Based Problem Solving; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-10 (1980), S. 447-459.

Fausser (1981)

Fausser,A.; Rathke,C.: Studie zum Stand der Forschung über natürlichsprachliche Frage/Antwort-Systeme, Forschungsbericht ID 81-006 - Information und Dokumentation - für das Bundesministerium für Forschung und Technologie, Stuttgart 1981.

Feichtinger (1981)

Feichtinger,G.: Optimierung von Instandhaltungsinvestitionen, Produktionsintensität und Nutzungsdauer maschineller Produktionsanlagen: Anwendungen der Kontrolltheorie in der Instandhaltungs- und Produktionsplanung; in: Brockhoff,K.; Krelle,W. (Hrsg.): Unternehmensplanung - Referate eines Kolloquiums an der Fernuniversität Hagen, 11.-12.07.1981 in Hagen, Berlin - Heidelberg - New York 1981, S. 213-234.

Feichtinger (1982a)

Feichtinger,G.: Anwendungen des Maximumprinzips im Operations Research, Teil 1; in: Operations Research-Spektrum, Bd. 4 (1982), S. 171-190.

Feichtinger (1982b)

Feichtinger,G.: Anwendungen des Maximumprinzips im Operations Research, Teil 2; in: Operations Research-Spektrum, Bd. 4 (1982), S. 195-212.

Feichtinger (1986)

Feichtinger,G.; Hartl,R.F.: Optimale Kontrolle ökonomischer Prozesse - Anwendungen des Maximumprinzips in den Wirtschaftswissenschaften, Berlin - New York 1986.

Feldbrugge (1983)

Feldbrugge,F.: Beiträge zu den Panel-Diskussionen am 27. u. 28.09.1983 in Toulouse anlässlich: 4th European Workshop on Applications and Theory of Petri Nets.

Feltner (1985)

Feltner,C.E.; Weiner,S.A.: Models, Myths And Mystery In Manufacturing; in: Industrial Engineering, Vol. 17 (1985), No. 7 (July), S. 66-76.

Fendler (1986)

Fendler,M.; Wichlacz,R.: SYCON - Ein Rahmensystem zur Constraint-Propagierung auf Netzwerken von beliebigen symbolischen Constraints; in: Stoyan,H. (Hrsg.): GWAI-85, 9th German Workshop on Artificial Intelligence, 23.-27.09.1985 in Dassel/Solling, Informatik-Fachberichte 118, Berlin - Heidelberg - New York ... 1986, S. 36-45.

Ferber (1988a)

Ferber,J.: Coreferentiality: The Key to an Intentional Theory of Object Oriented Knowledge Representation; in: Demengeot,J.; Herve,T.; Rialle,V.; Roche,C. (Hrsg.): Artificial Intelligence and Cognitive Sciences, Manchester - New York 1988, S. 73-94.

Ferstl (1990)

Ferstl,O.K.; Sinz,E.J.: Objektmodellierung betrieblicher Informationssysteme im Semantischen Objektmodell; in: Wirtschaftsinformatik, 32. Jg. (1990), S. 566-581.

Fetzer (1982)

Fetzer,K.-O.: Voraussetzungen beim Verketteten von Bearbeitungszentren zu flexiblen Fertigungssystemen; in: Werkstatt und Betrieb, 115. Jg. (1982), S. 9-15.

Feyerabend (1976a)

Feyerabend,P.: Wider den Methodenzwang - Skizze einer anarchistischen Erkenntnistheorie, Frankfurt 1976.

Fidelak (1988b)

Fidelak,M.; Lischka,C.; Voß,H.: Repräsentation der Dynamik technisch-physikalischer Systeme; in: Hoschka,P. (Hrsg.): Forschungsgruppe Expertensysteme - Aus der Arbeit der Forschungsgruppe Expertensysteme, Arbeitspapiere der GMD 337, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn, Sankt Augustin 1988, 5. Beitrag.

Fikes (1985)

Fikes,R.; Kehler,T.: The Role of Frame-Based Representation in Reasoning; in: Communications of the ACM, Vol. 28 (1985), S. 904-920.

Fischer,E. (1988)

Fischer,E.: Komplexität - Probleme und mögliche Optimierungsansätze; in: Schmidt,K.J. (Hrsg.): Handbuch Logistik und Produktionsmanagement - Strategien, Konzepte und Lösungen für die JIT-Beschaffung, -Produktion und -Distribution, Stand: 2. Nachlieferung, Landsberg 1988, Punkt 1.1.1.

Fischer, J. (1989)

Fischer, J.: Qualitative Ziele in der Unternehmensplanung - Konzepte zur Verbesserung betriebswirtschaftlicher Planungstechniken, Berlin 1989.

Fischer-Winkelmann (1971)

Fischer-Winkelmann, W.F.: Methodologie der Betriebswirtschaftslehre, München 1971.

Fischer-Winkelmann (1974)

Fischer-Winkelmann, W.F.: Plädoyer gegen die Einbeziehung krypto-normativer Aussagen in die Betriebswirtschaftslehre; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 26. Jg. (1974), S. 53-62.

Fischer-Winkelmann (1983)

Fischer-Winkelmann, W.F. (Hrsg.): Paradigmawechsel in der Betriebswirtschaftslehre, Spardorf 1983.

Flowers (1984)

Flowers, M.; Dyer, M.G.: Really arguing with your computer in natural language; in: Frailey, D.J. (Hrsg.): 1984 National Computer Conference, 09.-12.07.1984 in Las Vegas, AFIPS Conference Proceedings, Vol. 53, Reston 1984, S. 651-659.

Förderkreis Betriebswirtschaft Stuttgart (1988)

Förderkreis Betriebswirtschaft an der Universität Stuttgart e.V.: Budgetierung von Ergebniseffekten logistischer Maßnahmen in der Fertigung - Ergebnisse eines Pilotversuchs; in: Die Betriebswirtschaft, 48. Jg. (1988), S. 347-357.

Foldenauer (1990)

Foldenauer, J.: Wissensbasierte Analyse von Fließlinien - Ein Expertensystem zur Beurteilung von verketteten Prozessen, Dissertation (unter dem Titel "Ein constraint-basiertes Analysesystem für Fließfertigungen"), Universität Karlsruhe, Düsseldorf 1990.

Forge (1990)

Forge, J.: Theoretical Explanation and Errors of Measurement; in: Erkenntnis, Vol. 33 (1990), S. 371-390.

Forschbach (1978)

Forschbach, G.: Produktionsplanung und -steuerung in einem Maschinenbauunternehmen unter besonderer Berücksichtigung der Arbeitsplanverwaltung und Fertigungssteuerung; in: Ellinger, T.; Wildemann, H. (Hrsg.): Praktische Fälle zur Produktionssteuerung, Wiesbaden 1978, S. 255-284.

Fotilas (1980)

Fotilas, P.: Arbeitshumanisierung und teilautonome Arbeitsgruppen - Wirtschaftliche, soziale und technische Aspekte, Dissertation (unter dem Titel: Die Betriebswirtschaftliche Problematik bei der Einführung teilautonomer Gruppen in der Fertigung), Technische Universität Berlin 1978, Berlin 1980.

Fotilas (1983)

Fotilas, P.: Mikroelektronik im Industriebetrieb - Betriebswirtschaftlich-organisatorische Auswirkungen auf Produktentwicklung und Produktionsprozeß, Berlin 1983.

Fox, B. (1985a)

Fox, B.R.; Kempf, K.G.: Complexity, Uncertainty and Opportunistic Scheduling; in: Weisbin, C. R. (Hrsg.): Artificial Intelligence Applications - The Engineering of Knowledge-Based Systems, Proceedings of the Second Conference, 11.-13.12.1985 in Miami Beach, Washington - Amsterdam 1985, S. 487-492.

Fox, B. (1985b)

Fox, B.R.; Kempf, K.G.: Opportunistic Scheduling for Robotic Assembly; in: o.V.: Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1985 in St. Louis, o.O. 1985, S. 880-889.

Fox, B. (1987a)

Fox, B.R.: The Implementation of Opportunistic Scheduling; in: Hertzberger, L.O.; Groen, F.C.A. (Hrsg.): Intelligent Autonomous Systems, An International Conference, 8.-11.12.1986 in Amsterdam, Amsterdam - New York - Oxford - Tokyo 1987, S. 231-240.

Fox,G. (1988)

Fox,G.: Theory and Practice of Concurrent Systems; in: o.V.: FGCS'88 - Fifth Generation Computer Systems 1988, Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1988, 28.11.-02.12.1988 in Tokyo, Vol. 1, Tokyo - Berlin - Heidelberg ... 1988, S. 157-160.

Fox,M. (1982a)

Fox,M.S.; Allen,B.; Strohm,G.: Job-Shop Scheduling: An Investigation in Constrained-Directed Reasoning; in: o.V.: Proceedings of the Second Annual National Conference on Artificial Intelligence AAAI-82, 18.-20.08.1982 in Pittsburgh, Menlo Park 1982, S. 155-158.

Fox,M. (1983a)

Fox,M.S.: Constraint-Directed Search: A Case Study of Job-Shop Scheduling, Dissertation, Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh 1983.

Fox,M. (1983b)

Fox,M.S.: The Intelligent Manufacturing System: An Overview; in: Sol.,H.G. (Hrsg.): Processes and Tools for Decision Support, Proceedings of the Joint IFIP WG 8.3/IASA Working Conference on Processes and Tools for Decision Support, 19.-21.07.1982 in Laxenburg, Amsterdam - New York - Oxford 1983, S. 105-130.

Fox,M. (1983c)

Fox,M.S.; Smith,S.F.; Allen,B.P.; Strohm,G.A.; Wimberly,F.C.: ISIS: A Constrained-Directed Reasoning Approach to Job Shop Scheduling; in: o.V.: Proceedings Trends & Applications 1983 - Automating Intelligent Behavior - Applications and Frontiers, Silver Spring 1983, S. 76-81.

Fox,M. (1984a)

Fox,M.S.; Smith,S.F.: ISIS - a knowledge-based system for factory scheduling; in: Expert Systems, Vol. 1 (1984), No. 1, S. 25-49.

Fox,M. (1984b)

Fox,M.S.: Artificial Intelligence in the Factory of the Future; in: o.V.: Proceedings of the 12th Annual Computer Science Conference in Philadelphia, New York 1984, S. 29-38.

Fox,M. (1984d)

Fox,M.S.: Intelligent Management Systems in Manufacturing, Technical Paper EE84-826, Society of Manufacturing Engineers, Preprint eines Vortrags, anlässlich : EMTAS'84 Conference, 09.-11.10.1984 in Raleigh, Dearborn 1984.

Fox,M. (1986a)

Fox,M.S.; McDermott,J.: The Role of Databases in Knowledge-Based Systems; in: Brodie,M.L.; Mylopoulos,J. (Hrsg.): On Knowledge Base Management Systems - Integrating Artificial Intelligence and Database Technology, Berlin - Heidelberg - New York ... 1986, S. 407-430.

Fox,M. (1986b)

Fox,M.S.: Observations on the Role of Constraints in Problem Solving, Preprint eines Vortrags, anlässlich: Annual Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, im Mai 1986 in Montreal, o.O. 1986.

Fox,M. (1986c)

Fox,M.S.: Industrial Applications of Artificial Intelligence; in: Robotics, Vol. 2(1986), S. 301-311.

Fraenkel (1930)

Fraenkel,A.: Die heutigen Gegensätze in der Grundlegung der Mathematik; in: Erkenntnis, 1. Bd. (1930/31), S. 286-302.

Frank,J. (1976)

Frank,J.: Selektion von Standard-Software, Kriterien und Methoden zur Beurteilung und Auswahl von Software-Produkten, Dissertation, Universität Köln, Köln 1976.

Franke,R. (1972)

Franke,R.: Betriebsmodelle - Rechensysteme für Zwecke der kurzfristigen Planung, Kontrolle und Kalkulation, Düsseldorf 1972.

Franken (1974)

Franken,R.; Fuchs,H.: Grundbegriffe zur Allgemeinen Systemtheorie; in: Grochla,E.; Fuchs,H.; Lehmann,H. (Hrsg.): Systemtheorie und Betrieb, Opladen 1974, S. 23-49.

Franz,K. (1990a)

Franz,K.-P.: Die Prozeßkostenrechnung im Vergleich mit der Grenzplankosten- und Deckungsbeitragsrechnung; in: Horvath,P. (Hrsg.): Strategieunterstützung durch das Controlling: Revolution im Rechnungswesen?, Stuttgart 1990, S. 195-210.

Franz,K. (1990b)

Franz,K.: Die Prozeßkostenrechnung - Darstellung und Vergleich mit der Plankosten- und Deckungsbeitragsrechnung; in: Ahlert,D.; Franz,K.-P.; Göppl,H. (Hrsg.): Finanz- und Rechnungswesen als Führungsinstrument, Herbert Vormbaum zum 65. Geburtstag, Wiesbaden 1990, S. 109-136.

Franz,K. (1991a)

Franz,K.-P.: Prozeßkostenrechnung - Ein neuer Ansatz für Produktkalkulation und Wirtschaftlichkeitskontrolle; in: Scheer,A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV, 12. Saarbrücker Arbeitstagung 1991, Heidelberg 1991, S. 173-189.

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik (1982)

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI); Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB); Institut für Werkzeugmaschinen- und Fertigungstechnik (IWF): Der Einsatz flexibler Fertigungssysteme - Technische, einführungsorganisatorische, wirtschaftliche und arbeitsplatzbezogene Aspekte, Forschungsbericht KfK-PFT 41, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe 1982.

Freedman (1988b)

Freedman,P.; Malowany,A.: SAGE: A Decision Support System for the Sequencing of Operations within a Robotic Workcell; in: Decision Support Systems, Vol. 4 (1988), S. 329-343.

Frege (1879)

Frege,G.: Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens, Halle 1879.

Frege (1891)

Frege,G.: Funktion und Begriff (Vortrag, gelaten vor der Jenaischen Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaft am 9.1.1891); in: Patzig,G. (Hrsg.): Gottlob Frege - Funktion, Begriff, Bedeutung - Fünf logische Studien, Göttingen 1962, S. 16-37.

French,S. (1982)

French,S.: Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job-Shop, New York - Chichester - Brisbane ... 1982.

Frese (1975)

Frese,E.: Koordination; in: Grochla,E.; Wittmann,W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, 4. Aufl., Stuttgart 1975, Sp. 2263-2273 (mit Abb. 1: bis Sp. 2274).

Frese (1979)

Frese,E.: Arbeitsteilung und -bereicherung; in: Kern,W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 147-160.

Frese (1984)

Frese,E.: Grundlagen der Organisation - Die Organisationsstruktur der Unternehmung, 2. Aufl., Wiesbaden 1984.

Frese (1989c)

Frese,E.: Organisationstheoretische Anmerkungen zur Diskussion um "CIM-fähige" Unternehmen.; in: Wildemann,H. (Hrsg.): Gestaltung CIM-fähiger Unternehmen, München o.J. (1989), S. 161-184.

Frese (1990a)

Frese,E.: Entwicklungstendenzen in der organisatorischen Gestaltung der Produktion; in: Bleicher,K.; Gomez,P. (Hrsg.): Zukunftsperspektiven der Organisation, Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. Robert Staerke, Bern 1990, S. 81-97.

Frese (1990b)

Frese,E.: Industrielle Personalwirtschaft; in: Schweitzer,M. (Hrsg.): Industriebetriebslehre - Das Wirtschaften in Industrieunternehmungen, München 1990, S. 219-329.

Frese (1991)

Frese, E.: Organisationstheorie - Stand und Aussagen aus betriebswirtschaftlicher Sicht, Wiesbaden 1991.

Friedmann (1983)

Friedmann, J.: Bemerkungen zum Münchhausen-Trilemma; in: Erkenntnis, Vol. 20 (1983), S. 329-340.

Friend (1973)

Friend, J.K.; Jessop, W.N.: Entscheidungsstrategie in Stadtplanung und Verwaltung, Düsseldorf 1973.

Fritz, A. (1985)

Fritz, A.H.; Haage, H.-D.; Knipfelberg, M.; Kühn, K.-D.; Rohde, G.; Schulze, G.: Fertigungstechnik, Düsseldorf 1985.

Fröhling (1989)

Fröhling, O.: Prozeßkostenrechnung - System mit Zukunft?; in: io Management Zeitschrift, 58. Jg. (1989), Nr. 10, S. 67-69.

Fröhling (1990a)

Fröhling, O.: Prozeßkostenrechnung - Verfahren zur Gemeinkostensteuerung; in: Die Betriebswirtschaft, 50. Jg. (1990), S. 553-555.

Fröhling (1990b)

Fröhling, O.; Krause, H.: Systematisches Gemeinkosten-Management durch integrierte DV-gestützte Prozeßkostenrechnung; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1990), S. 223-228.

Fröhling (1992a)

Fröhling, O.; Krause, H.: DV-gestützte Prozeßkostenrechnung - Integrationsaspekte und Umsetzung auf Standard-Softwarebasis; in: Männel, W. (Hrsg.): Handbuch Kostenrechnung, Wiesbaden 1992, S. 384-394.

Fröhling (1992b)

Fröhling, O.: Prozeßorientiertes Portfolio-Management - Instrumentalvorschlag an der Schnittstelle Rechnungswesen und Strategisches Controlling; in: Die Betriebswirtschaft, 52. Jg. (1992), S. 341-358.

Fröhling (1992c)

Fröhling, O.: Thesen zur Prozeßkostenrechnung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 62. Jg. (1992), S. 723-741.

Fronhöfer (1987)

Fronhöfer, B.: PLANLOG: A Language Framework for the Integration of Procedural and Logical Programming; in: o.V.: IJCAI 87, Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 23.-28.08.1987 in Mailand, o.O. (Los Altos) 1987, Vol. 1, S. 15-17.

Früchtenicht (1981)

Früchtenicht, H.-W.; Haubner, H.; Kippe, J.: Künstliche Intelligenz - Basisdefinitionen und Basismethoden; in: FhG-Berichte, o.Jg. (1981), Heft 1/2, S. 36-39.

Fry (1988a)

Fry, T.D.; Philipoom, P.R.; Markland, R.E.: Dispatching in a multistage job shop where machine capacities are unbalanced; in: International Journal of Production Research, Vol. 26 (1988), S. 1193-1223.

Fuchs, R. (1989a)

Fuchs, R.-M.; Bühring, J.: Flexible Steuerung der Montage mit gleichzeitiger Verfügbarkeitsprüfung; in: Werkstattstechnik, 79. Jg. (1989), S. 293-295.

Fuchs, R. (1989b)

Fuchs, R.-M.; Bühring, J.: Planung und Steuerung einer mehrstufigen Linienfertigung mit Just-in-time-Philosophie; in: Arbeitsvorbereitung, 26. Jg. (1989), S. 60-62.

Fulda (1989)

Fulda, E.; Härter, M.; Lenk, H.: Prognoseprobleme; in: Szyperski, N.; Winand, U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 1637-1645.

Futo (1984)

Futo,I.; Gergely,T.: Cooperative Problem Solving by Intelligent Actors; in: Ponomaryov,V.M. (Hrsg.): Artificial Intelligence, Proceedings of the IFAC Symposium, 04.-06.10.1983 in Leningrad, Oxford - New York - Toronto ... 1984, S. 121-126.

Futo (1990)

Futo,I.; Gergely,T.: Artificial Intelligence in Simulation, New York - London - Toronto ... 1990.

Gäfgen (1974)

Gäfgen,G.: Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung - Untersuchungen zur Logik und Bedeutung des rationalen Handelns, 3. Aufl., Tübingen 1974.

Gärtner,M. (1989)

Gärtner,M.: Makroökonomik bei endogenem Regierungsverhalten - Vom politischen Konjunkturzyklus zur zeitlichen Inkonsistenz optimaler Pläne; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 18. Jg. (1989), S. 602-608.

Gaines (1991)

Gaines,B.: Designing Expert Systems for Usability; in: Shackel,B.; Richardson,S.J. (Hrsg.): Human Factors for Informatics Usability, Cambridge (Großbritannien) - New York - Port Chester ... 1991, S. 207-246.

Gaitanides (1978)

Gaitanides,M.: Zur Theorie der Benutzerakzeptanz; 'Inquiring Systems' und Gestaltung von Informationssystemen; in: Angewandte Informatik, 20. Jg. (1978), S. 240-247.

Gaitanides (1979b)

Gaitanides,M.: Konstruktion von Entscheidungsmodellen und 'Fehler dritter Art'; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 8. Jg. (1979), S. 8-12.

Gal (1981)

Gal,T.; Gehring,H.: Betriebswirtschaftliche Planungs- und Entscheidungstechniken, Berlin - New York 1981.

Galam (1991)

Galam,S.; Moscovici,S.: Compromise versus Polarization in Group Decision-Making; in: Avenhaus,R.; Karkar,H.; Rudnianski,M. (Hrsg.): Defense Decision Making - Analytical Support and Crisis Management, Proceedings of the ARESAD International Conference on Decision Making and Defense, 22.-23.11.1989 in Paris, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 40-51.

Gandy (1980)

Gandy,R.: Church's Thesis and Principles for Mechanisms; in: Barwise,J.; Keisler,H.J.; Kunen,K. (Hrsg.): The Kleene Symposium, Proceedings of the Symposium, 18.-24.06.1978 in Madison, Amsterdam - New York - Oxford 1980, S. 123-148.

Gardarin (1989)

Gardarin,G.; Valduriez,P.: Relational Databases and Knowledge Bases, Reading - Menlo Park - New York ... 1989.

Garey (1979)

Garey,M.R.; Johnson,D.S.: Computers and Intractability - A Guide to the Theory of NP-Completeness, San Francisco 1979.

Gass (1990)

Gass,S.I.: Model World: Danger, Beware the User as Modeler; in: Interfaces, Vol. 20 (1990), No. 3, S. 60-64.

Gauderon (1984)

Gauderon,E.; Merkle,W.; Dähnert,H.; Maßberg,W.; Kraft,J.; Witte,H.; Hauck,M.: Autonome Fertigungsinsel - Flexible Fertigungsstrukturen für die Einzel- und Kleinserienfertigung, Abschlußbericht KfK-PFT 79, hrsg. vom Kernforschungszentrum Karlsruhe (GmbH), Essen 1984.

Gebhardt,R. (1988)

Gebhardt,R.; Martin,R.; Amaling,W.: POPSY: Eine objektorientierte Systemarchitektur zur Simulation komplexer Systeme; in: Ameling,W. (Hrsg.): Simulationstechnik, 5. Symposium Simulationstechnik, 28.-30.09.1988 in Aachen, Proceedings, Informatik-Fachberichte 179, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 50-55.

Geibel (1992)

Geibel,R.: Computergestützte Informationssysteme zur Unterstützung von Gruppenentscheidungen - GDSS -, Dissertation, Universität Köln, Köln 1992.

Geitner (1985)

Geitner,U.W.: Die Automatische Fabrik; in: computer magazin, 14. Jg. (1985), Heft 4, S. 44-47.

Gelders (1982)

Gelders,L.F.; Van Wassenhove,L.N.: Hierarchical Integration in Production Planning: Theory and Practice; in: Journal of Operations Research, Vol. 3 (1982/83), No. 1, S. 27-35.

Gelernter (1983)

Gelernter,H.: Machine-Generated Problem-Solving Graphs; in: Siekmann,J.; Wrightson,G. (Hrsg.): Automation of Reasoning 1: Classical Papers on Computational Logic 1957-1966, Berlin - Heidelberg - New York 1983, S. 288-312.

Genesereth (1986)

Genesereth,M.R.; Ginsberg,M.L.; Rosenschein,J.S.: Cooperation without Communication; in: o.V.: Proceedings AAAI-86, Fifth National Conference on Artificial Intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Los Altos 1986, Vol. 1, S. 51-57.

Gentzen (1936)

Gentzen,G.: Die Widerspruchsfreiheit der reinen Zahlentheorie.; in: Mathematische Annalen, 112. Bd. (1935/36), S. 493-565.

Gentzen (1938)

Gentzen,G.: Die gegenwärtige Lage in der mathematischen Grundlagenforschung - Neue Fassung des Widerspruchsfreiheitsbeweises für die reine Zahlentheorie, Leipzig 1938.

Geoffrion (1976)

Geoffrion,A.M.: The purpose of mathematical programming is insight, not numbers; in: Interfaces, Vol. 7 (1976), No. 1, S. 81-92.

Geoffrion (1980)

Geoffrion,A.M.; Powers,R.F.: Facility Location Analysis is Just the Right Beginning (If You Do it Right); in: Interfaces, Vol. 10 (1980), No. 2, S. 22-30.

Georgeff (1981)

Georgeff,M.P.: Search Methods Using Heuristic Strategies; in: Drinan,A. (Hrsg.): Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-81, 24.-28.08.1981 in Vancouver, o.O. (Menlo Park) 1981, Vol. 1, S. 563-568.

Georgeff (1986)

Georgeff,M.P.: The Representation of Events in Multiagent Domains; in: o.V.: Proceedings AAAI-86, Fifth International Conference on Artificial Intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Los Altos 1986, Vol. 1, S. 70-75.

Gernert (1984)

Gernert,D.: Inkrementelle Modellbildung und Formalismen zur Beschreibung des Strukturwandels in offenen Systemen; in: Kornwachs,K. (Hrsg.): Offenheit - Zeitlichkeit - Komplexität, Zur Theorie der Offenen Systeme, Frankfurt - New York 1984, S. 18-50.

Gero (1985)

Gero,J.S.: Object Modelling Through Knowledge Engineering; in: Proceedings of the CIRP Seminars (on) Manufacturing Systems, Vol. 14 (1985), zugleich: Proceedings of the CIRP Seminar on Manufacturing Systems "Utilization of Artificial Intelligence and Pattern Recognition Techniques", 13.-14.07.1984 in Tokyo, S. 54-62.

Gerum (1983)

Gerum,E.: Betriebswirtschaftslehre als Prozeßtheorie? - Eine Problemskizze -; in: Kappler,E. (Hrsg.): Rekonstruktion der Betriebswirtschaftslehre als ökonomische Theorie, Prof. Dr. Drs. h.c. Erich Gutenberg zum 85. Geburtstag gewidmet, Spardorf 1983, S. 369-377.

Geske (1988)

Geske,U.: Programmieren mit PROLOG, München - Wien 1988.

Gethmann (1977)

Gethmann,C.F.; Hegselmann,R.: Das Problem der Begründung zwischen Dezionismus und Fundamentalismus; in: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Bd. 8 (1977), S. 342-368.

Gethmann (1979)

Gethmann,C.F.: Protologik - Untersuchungen zur formalen Pragmatik von Begründungsdiskursen, Frankfurt 1979.

Gethmann (1980b)

Gethmann,C.F.: Die Logik der Wissenschaftstheorie; in: Gethmann,C.F. (Hrsg.): Theorie des wissenschaftlichen Argumentierens, Frankfurt 1980, S. 15-42.

Gethmann (1987)

Gethmann,C.F.: Letztbegründungen vs. lebensweltliche Fundierung des Wissens und Handelns; in: Köhler,W.R.; Kuhlmann,W.; Rohs,P. (Hrsg.): Philosophie und Begründung, Frankfurt 1987, S. 268-302.

Gevarter (1983)

Gevarter,W.B.: An Overview of Artificial Intelligence and Robotics, Vol. I - Artificial Intelligence, Part C - Basic AI Topics, NASA Technical Memorandum 85839, Washington 1983.

Gittins,M. (1986)

Gittins,M.: The role of object oriented programming in knowledge engineering; in: KBS 86 - Knowledge Based Systems, Proceedings of the international conference, im Juli 1986 in London, London - New York 1986, S. 249-260.

Glaser,H. (1991a)

Glaser,H.; Geiger,W.; Rohde,V.: PPS - Produktionsplanung und -steuerung, Grundlagen - Konzepte - Anwendungen, Wiesbaden 1991.

Glaser,H. (1991c)

Glaser,H.: Prozeßkostenrechnung als Kontroll- und Entscheidungsinstrument;in: Scheer,A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV, 12. Saarbrücker Arbeitstagung 1991, Heidelberg 1991, S. 222-240.

Glaser,H. (1992b)

Glaser,H.: Prozeßkostenrechnung - Darstellung und Kritik; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 44. Jg. (1992), S. 275-293.

Glöckner (1962)

Glöckner,P.-H.: Über das Finden von Begriffen - Eine erkenntnistheoretisch-logische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung der Betriebswirtschaftslehre, Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin 1962.

Goebel (1984)

Goebel,H.-D.: Ist der Leistungslohn bei veränderten technologischen Bedingungen noch sinnvoll? - Der Einfluß von Produktions-, Planungs- und Steuerungssystemen mit Kennzahlen in der Fertigung; in: Knebel,H.; Zander,E. (Hrsg.): Neue Entwicklungen bei Arbeit, Entgelt und Führung, Freiburg 1984, S. 75-82.

Gödel (1931)

Gödel,K.: Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I; in: Monatshefte für Mathematik und Physik, 38. Bd. (1931), S. 173-198.

Götze,U. (1991)

Götze,U.: Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung, Dissertation, Universität Göttingen 1990, Wiesbaden 1991.

Goguen (1983)

Goguen,J.A.; Weiner,J.L.; Linde,C.: Reasoning and natural explanation; in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 19 (1983), S. 521-559.

Goldhar (1984)

Goldhar,J.D.: The Organizational Impacts of Computer Based Manufacturing; in: Brady,M.; Gerhardt,L.A.; Davidson,H.F. (Hrsg.): Robotics and Artificial Intelligence, NATO ASI Series F: Computer and System Sciences, Vol. 11, Berlin - Heidelberg - New York ... 1984, S. 567-578.

Goldstein (1983)

Goldstein,L.: Wittgenstein und die logisch-semantischen Paradoxien; in: Ratio, Bd. 25 (1983), S. 122-135.

Gomez,P. (1975)

Gomez,P.; Malik,F.; Oeller,K.-H.: Systemmethodik - Grundlagen einer Methodik zur Erforschung und Gestaltung komplexer soziotechnischer Systeme, Gemeinschaftsdissertation, Hochschule Sankt Gallen, Bern 1975.

Gomez,P. (1978)

Gomez,P.: Die kybernetische Gestaltung des Operations Managements - Eine Systemmethodik zur Entwicklung anpassungsfähiger Organisationsstrukturen, Bern - Stuttgart 1978.

Goodman (1987)

Goodman,N.: Vom Denken und anderen Dingen, Frankfurt 1987.

Gottschalk,E. (1989c)

Gottschalk,E.; Erkmann,J.; Hartmann,J.; Klein,W.; Schaffer,R.: Rechnergestützte Produktionsplanung und -steuerung, Berlin 1989.

Gräßler (1968)

Gräßler,D.: Der Einfluß von Auftragsdaten und Entscheidungsregeln auf die Ablaufplanung von Fertigungsstraßen, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Aachen 1968.

Graham,N. (1983)

Graham,N.: Künstliche Intelligenz - Wie Sie Ihren Computer zum Denken bringen, Sprendlingen 1983.

Grant,T. (1986)

Grant,T.: An Object-Oriented Approach to AI Planning and Scheduling; in: Mamdani,A.; Efsthioiu,J. (Hrsg.): Expert Systems and Optimisation in Process Control, Based on papers delivered at a seminar, 3.-5.12.1985, Aldershot - Brookfield 1986, S. 11-25.

Green,G. (1981)

Green,G.I.; Appel,L.B.: An Empirical Analysis of Job Shop Dispatch Rule Selection; in: Journal of Operations Research, Vol. 1 (1980/81), No. 4, S. 197-203.

Grewendorf (1987)

Grewendorf,G.; Hamm,F.; Sternefeld,W.: Sprachliches Wissen - Eine Einführung in moderne Theorien der grammatischen Beschreibung, Frankfurt 1987.

Grochla (1966)

Grochla,E.: Automation und Organisation - Die technische Entwicklung und ihre betriebswirtschaftlich-organisatorischen Konsequenzen, Wiesbaden 1966.

Grochla (1971)

Grochla,E.: Betriebswirtschaftlich-organisatorische Forschung auf dem Gebiet der Informationssysteme; in: von Kortzfleisch,G. (Hrsg.): Wissenschaftsprogramm und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung, 2.-5.06.1971 in St. Gallen, Berlin 1971, S. 205-224.

Grochla (1972)

Grochla,E.: Unternehmungsorganisation - Neue Ansätze und Konzeptionen, Reinbek 1972.

Grochla (1974a)

Grochla,E.; Meller,F.: Datenverarbeitung in der Unternehmung, (Bd.) 1: Grundlagen, Reinbek bei Hamburg 1974.

Grochla (1974b)

Grochla,E.: Das Kernkonzept des Kölner Integrationsmodells; in: Grochla,E. (et. al.): Integrierte Gesamtmodelle der Datenverarbeitung - Entwicklung und Anwendung des Kölner Integrationsmodells (KIM), München - Wien 1974, S. 35-46.

Grochla (1974c)

Grochla,E.; Garbe,H.; Gillner,R.; Poths,W.: Das Kölner Integrationsmodell; in: Grochla,E. (et. al.): Integrierte Gesamtmodelle der Datenverarbeitung - Entwicklung und Anwendung des Kölner Integrationsmodells (KIM), München - Wien 1974, S. 189-422.

Grochla (1975a)

Grochla,E. (Hrsg.): Organisationstheorie, 1. Teilband, Stuttgart 1975.

Grochla (1975b)

Grochla,E.: Entwicklung und gegenwärtiger Stand der Organisationstheorie; in: Grochla,E. (Hrsg.): Organisationstheorie, 1. Teilband, Stuttgart 1975, S. 2-32.

Grochla (1975c)

Grochla,E.: Organisationstheorie; in: Grochla,E.; Wittmann,W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Bd. 2, 4. Aufl., Stuttgart 1975, Sp. 2895-2920.

Grochla (1976a)

Grochla,E. (Hrsg.): Organisationstheorie, 2. Teilband, Stuttgart 1976.

Grochla (1976b)

Grochla,E.: Einführung in die systemtheoretisch-kybernetisch orientierten Ansätze; in: Grochla, E. (Hrsg.): Organisationstheorie, 2. Teilband, Stuttgart 1976, S. 532-541.

Grochla (1977)

Grochla,E.; Meller,F.: Datenverarbeitung in der Unternehmung, (Bd.) 2: Gestaltung und Anwendung, Reinbek 1977.

Grochla (1978a)

Grochla,E.: Einführung in die Organisationstheorie, Stuttgart 1978.

Grochla (1978b)

Grochla,E.: Grundlagen der Materialwirtschaft - Das materialwirtschaftliche Optimum im Betrieb, 3. Aufl., Wiesbaden 1978.

Grochla (1980b)

Grochla,E.: Organisationstheorie; in: Grochla,E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation, 2. Aufl., Stuttgart 1980, Sp. 1795-1814.

Grochla (1984)

Grochla,E.; Lehmann,H.; Renner,G.: Die Identifikation betrieblicher Systeme - Konzepte, Methoden und Vorgehensweisen -, Köln 1984.

Groß,E. (1986)

Groß,E.; Walther,J.; Christaller,T.; Rome,E. Müller,B.S.: Softwareentwurf und Realisierung des Expertensystemwerkzeugs BABYLON mit Hilfe objektorientierter Programmierung; in: Hommel,G.; Schindler,S. (Hrsg.): GI - 16. Jahrestagung I: Informatik-Anwendungen - Trends und Perspektiven, 06.-10.10.1986 in Berlin, Proceedings, Informatik-Fachberichte 126, Berlin - Heidelberg - New York ... 1986, S. 180-194.

Groß,M. (1991c)

Groß,M.; Müller,S.: Montageorientierte Auftragsabwicklung mit auftragsspezifischen Montage-netzplänen; in: VDI-Z(eitschrift), Bd. 133 (1991), Nr. 5, S. 97-100.

Große-Oetringhaus (1974)

Große-Oetringhaus,W.F.: Fertigungstypologie unter dem Gesichtspunkt der Fertigungsablauf-planung, Berlin 1974.

Gruhler (1990)

Gruhler,W.: Dienstleistungsbestimmter Strukturwandel in deutschen Unternehmen - Einzel- und gesamtwirtschaftlicher Kontext, Determinanten, Interaktionen, empirischer Befund, Dissertation, Universität Köln, Köln 1990.

Grunberg (1964)

Grunberg,E.: Notes on the Verifiability of Economic Laws; in: Albert,H. (Hrsg.): Theorie und Realität - Ausgewählte Aufsätze zur Wissenschaftslehre der Sozialwissenschaften, Tübingen 1964, S. 137-150.

Günther,H. (1971)

Günther,H.: Das Dilemma der Arbeitsablaufplanung - Zielverträglichkeiten bei der zeitlichen Strukturierung, Berlin 1971.

Günther, H. (1986)

Günther, H.O.: The Design of an Hierarchical Model for Production Planning and Scheduling; in: Axsäter, S., Schneeweiss, C.; Silver, E. (Hrsg.): Multi-Stage Production Planning and Inventory Control, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 266, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1986, S. 227-260.

Günther, H. (1988)

Günther, H.-O.: Planung und Steuerung der Produktion bei flexiblen Arbeitszeiten; in: Lücke, W. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Steuerungs- und Kontrollprobleme, Wissenschaftliche Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 9.-13.06.1987 in Göttingen, Wiesbaden 1988, S. 91-111.

Güsgen (1988a)

Güsgen, H.W.: CONSAT: Foundation of a System for Constraint Satisfaction; in: Früchtenicht, H.W.; Güsgen, H.W.; Hrycej, T.; Mörlner, G.; Struss, P. (Hrsg.): Technische Expertensysteme: Wissensrepräsentation und Schlußfolgerungsverfahren, München - Wien 1988, S. 415-440.

Güsgen (1988b)

Güsgen, H.-W.; Fidelak, M.: Programmieren mit Constraints; in: Informationstechnik, 30. Jg. (1988), S. 422-433.

Gunn (1982)

Gunn, T.G.: Konstruktion und Fertigung; in: Spektrum der Wissenschaft, o.Jg. (1982), Heft 11, S. 76-98.

Guntram (1985)

Guntram, U.: Die allgemeine Systemtheorie - Ein Überblick; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 55. Jg. (1985), S. 296-323.

Gupta, J. (1971)

Gupta, J.N.D.: M-stage scheduling problem - a critical appraisal; in: The International Journal of Production Research, Vol. 9 (1971), S. 267-281.

Gupta, J. (1977)

Gupta, J.N.D.: Management Science Implementation: Experiences of a Practicing O.R. Manager; in: Interfaces, Vol. 7 (1977), No. 3, S. 84-90.

Gupta, S. (1968)

Gupta, S.K.; Rosenhead, J.: Robustness in Sequential Investment Decisions; in: Management Science, Vol. 15 (1968), S. B-18 - B-29.

Gutenberg (1951)

Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Erster Band: Die Produktion, 1. Aufl., Berlin - Göttingen - Heidelberg 1951.

Gutenberg (1958)

Gutenberg, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1958 (Nachdruck 1990).

Gutenberg (1983)

Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Erster Band: Die Produktion, 24. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York 1983.

Gzuk (1975)

Gzuk, R.: Messung der Effizienz von Entscheidungen - Beitrag zu einer Methodologie der Erfolgseinstellung betriebswirtschaftlicher Entscheidungen, Tübingen 1975.

Habel (1983)

Habel, C.: Logische Systeme und Repräsentationsprobleme; in: Neumann, B. (Hrsg.): GWAI-83, 7th German Workshop on Artificial Intelligence, 19.-23.09.1983 in Dassel/Solling, Informatik-Fachberichte 76, Berlin - Heidelberg - New York ... 1983, S. 118-142.

Habermas (1973b)

Habermas, J.: Legitimationsprobleme im Spätkapitalismus, Frankfurt 1973.

Habermas (1981a)

Habermas, J.: Theorie des kommunikativen Handelns, Bd. 1: Handlungsrationalität und gesellschaftliche Rationalisierung, Frankfurt 1981.

Habermas (1981b)

Habermas, J.: Theorie des kommunikativen Handelns, Bd. 2: Zur Kritik der funktionalistischen Vernunft, Frankfurt 1981.

Habermas (1984a)

Habermas, J.: Vorstudien und Ergänzungen zur Theorie des kommunikativen Handelns, Frankfurt 1984.

Habermas (1986)

Habermas, J.: Entgegnung; in: Honneth, A.; Joas, H. (Hrsg.): Kommunikatives Handeln - Beiträge zu Jürgen Habermas' "Theorie des kommunikativen Handelns", Frankfurt 1986, S. 327-405.

Habermas (1988)

Habermas, J.: Nachmetaphysisches Denken - Philosophische Aufsätze, 2. Aufl., Frankfurt 1988.

Hahn, D. (1980)

Hahn, D.: Fertigung, Organisationstypen der; in: Grochla, E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation, 2. Aufl., Stuttgart 1980, Sp. 690-698.

Hahn, D. (1989a)

Hahn, D.: Ziele der Produktionsplanung und -steuerung (PPS); in: Wildemann, H. (Hrsg.): Gestaltung CIM-fähiger Unternehmen, München o.J. (1989), S. 439-454.

Haken (1987)

Haken, H.: Advanced Synergetics - Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices, korrigierter 2. Druck, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987.

Hall, R. (1987)

Hall, R.: Attaining Manufacturing Excellence - Just-in-Time, Total Quality, Total People Involvement, Homewood 1987.

Haller, R. (1974)

Haller, R.: Über das sogenannte Münchhausentrilemma; in: Ratio, Bd. 16 (1974), S. 113-127.

Hanker (1990)

Hanker, J.: Die strategische Bedeutung der Informatik für Organisationen - Industrieökonomische Grundlagen des Strategischen Informatikmanagements, Stuttgart 1990.

Hansen, H. (1978)

Hansen, H.R.: Wirtschaftsinformatik I - Einführung in die betriebliche Datenverarbeitung, 1. Aufl., Stuttgart - New York 1978.

Hanssmann (1976)

Hanssmann, F.; Diruf, G.; Ramer, S.; Fischer, W.; Schönbauer, J.: Systemforschung im Umweltschutz - Praktikable Methoden zur Beurteilung von Gestaltungsalternativen im Systemzusammenhang, Berlin 1976.

Hanssmann (1978a)

Hanssmann, F.: Einführung in die Systemforschung - Methodik der modellgestützten Entscheidungsvorbereitung, München - Wien 1978. (Anmk. des Verf.: partiell über Hanssmann (1987) hinausgehend.)

Hanssmann (1987)

Hanssmann, F.: Einführung in die Systemforschung - Methodik der modellgestützten Entscheidungsvorbereitung, 3. Aufl., München 1987.

Hanssmann (1989)

Hanssmann, F.: Robuste Planung; in: Szyperski, N.; Winand, U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 1758-1764.

Hanssmann (1990)

Hanssmann, F.: Quantitative Betriebswirtschaftslehre - Lehrbuch der modellgestützten Unternehmensplanung, 3. Aufl., München - Wien 1990.

Harmon (1985)

Harmon, P.; King, D.: Expert Systems - Artificial Intelligence in Business, New York - Chichester - Brisbane ... 1985.

Hart,A. (1951)

Hart,A.G.: Anticipations, Uncertainty, and Dynamic Planning, Reprints der Ausgabe von 1940, New York 1951/65.

Hartley (1984)

Hartley,J.: FMS at work, Kempston/Bedford - Amsterdam - New York 1984.

Harvey,W. (1969)

Harvey,W.S.; Nicholson,T.A.J.; Pullen,R.D.; Quas,D.P.: The Optimization of Paper Machine Scheduling; in: Operational Reserach Quarterly, Vol. 20 (1969), S. 237-245.

Hasenack (1963)

Hasenack,W.: Gedanken zu einer Betriebswirtschaftslehre in ganzheitlicher Sicht; in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 15. Jg. (1963), S. 257-269.

Hasenack (1977)

Hasenack,W.: Arbeitshumanisierung und Betriebswirtschaft - Fließband- und Gruppenarbeit im Wettbewerb, München - Wien 1977.

Hasenjaeger (1968)

Hasenjaeger,G.: Logik und Ontologie; in: Klibansky,R. (Hrsg.): Contemporary Philosophy - A Survey, Vol. I: Logic and Foundations of Mathematics, Firenze 1968, S. 241-249.

Hastings (1978)

Hastings,N.A.J.; Mello,J.M.C.: Decision Networks, Chichester - New York - Brisbane ... 1978.

Haton (1984)

Haton,J.P.: Knowledge-Based and Expert Systems in Industrial Applications; in: Ponomaryov, C.M. (Hrsg.): Artificial Intelligence, Proceedings of the IFAC Symposium, 04.-06.10.1983 in Leningrad, Oxford - New York - Toronto ... 1984, S. 83-89.

Hatvany (1983b)

Hatvany,J.; BJORKE,O.; Merchant,M.E.; Semenkov,O.I.; Yoshikawa,H.: Advanced Manufacturing Systems in Modern Society; in: Ellis,T.M.R.; Semenkov,O.I. (Hrsg.): Advances in CAD/CAM, Proceedings of the Fifth IFIP/IFAC Conference on Programming Research and Operations Logistics in Advanced Manufacturing Technology - PROLOMAT 82, 16.-18.05.1982 in Leningrad, Amsterdam - New York - Oxford 1983, S. 3-26.

Haugeland (1982)

Haugeland,J.: The Nature and Plausibility of Cognitivism; in: Haugeland,J. (Hrsg.): Mind Design - Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence, 1. Aufl./2. Druck, Cambridge (Massachusetts) - London 1982, S. 243-281.

Hauk (1972)

Hauk,W.: Beitrag zur Lösung des Reihenfolgeproblems bei der Auftragsplanung, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Aachen 1972.

Hauk (1973)

Hauk,W.: Einplanung von Produktionsaufträgen nach Prioritätsregeln - Eine Untersuchung von Prioritätsregeln mit Hilfe der Simulation, Berlin - Köln - Frankfurt 1973.

Haun (1987)

Haun,P.: Entscheidungsorientiertes Rechnungswesen mit Daten- und Methodenbanken, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987.

Haupt (1987)

Haupt,R.: Produktionstheorie und Ablaufmanagement - Zeitvariable Faktoreinsätze und ablaufbezogene Dispositionen in Produktionstheorie- und -planungs-Modellen, Habilitationsschrift 1984 unter dem Titel "Produktionstheorie und Ablaufplanung. Zur Erfassung zeitvariabler Faktoreinsätze und ablaufbezogener Dispositionen in Erklärungs- und Entscheidungsmodellen der industriellen Produktion", Universität Köln, revidierte Fassung, Stuttgart 1987.

Haupt (1989a)

Haupt,R.: A Survey of Priority Rule-Based Scheduling; in: Operations Research-Spektrum, Bd. 11 (1989), S. 3-16.

Hauschildt,J. (1980)

Hauschildt,J.: Zielsysteme; in: Grochla,E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation, 2. Aufl., Stuttgart 1980, Sp. 2419-2430.

Hausser (1987)

Hausser,R.: Modelltheorie, Künstliche Intelligenz und die Analyse von Wahrheit; in: Puntel,L.P. (Hrsg.): Der Wahrheitsbegriff - Neue Erklärungsversuche, Darmstadt 1987, S.330-368.

Hax,A. (1973)

Hax,A.C.: Aggregate Capacity Planning: A Review, Report, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts) 1973.

Hax,A. (1978a)

Hax,A.C.; Golovin,J.J.: Hierarchical Production Planning Systems; in: Hax,A.C. (Hrsg.): Studies in Operations Management, Amsterdam - New York - Oxford 1978, S. 400-428.

Hax,A. (1978b)

Hax,A.,C.; Golovin,J.J.: A Computer Based Operations Management System (COMS); in: Hax,A.C. (Hrsg.): Studies in Operations Management, Amsterdam - New York - Oxford 1978, S. 429-461.

Hax,H. (1965)

Hax,H.: Die Koordination von Entscheidungen - Ein Beitrag zur betriebswirtschaftlichen Organisationslehre, Köln - Berlin - Bonn - München 1965.

Hax,H. (1972)

Hax,H.; Laux,H.: Flexible Planung - Verfahrensregeln und Entscheidungsmodelle für die Planung bei Ungewißheit; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 24. Jg. (1972), S. 318-340.

Hax,H. (1974)

Hax,H.: Entscheidungsmodelle in der Unternehmung - Einführung in Operations Research, Reinbek 1974.

Hax,H. (1985)

Hax,H., Investitionstheorie, 5. Aufl., Würzburg - Wien 1985.

Hax,H. (1988)

Hax,H.; Franke,G.: Finanzwirtschaft des Unternehmens und Kapitalmarkt, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988.

Hax,H. (1991)

Hax,H.: Theorie der Unternehmung - Information, Anreize und Vertragsgestaltung; in: Ordelt, D.; Rudolph, B.; Büselmann, E. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre und Ökonomische Theorie, 52. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 05.-09.06.1990 in Frankfurt, Stuttgart 1991, S. 51-72.

Hax,K. (1959)

Hax,K.: Planung und Organisation als Instrumente der Unternehmungsführung; in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung, 11. Jg. (1959), S. 605-615.

Hax,K. (1966)

Hax,K.: Unternehmensplanung und gesamtwirtschaftliche Planung als Instrumente elastischer Wirtschaftsführung; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 18. Jg. (1966), S. 447-465.

Hayes,P. (1977)

Hayes,P.J.: On Semantic Nets, Frames and Associations; in: o.V.: 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence - 1977, IJCAI-77, Proceedings of the Conference, 22.-25.08.1977 in Cambridge (Massachusetts), Vol. 1, o.O. (Pittsburgh) 1977, S. 99-107.

Hayes-Roth,B. (1978)

Hayes-Roth,B.; Hayes-Roth,F.: Cognitive Processes in Planning, Report No. R-2366-ONR, Rand Corporation, Santa Monica 1978.

Hayes-Roth,B. (1979a)

Hayes-Roth,B.; Hayes-Roth,F.: A Cognitive Model of Planning; in: Cognitive Science, Vol. 3 (1979), S. 275-310.

Hayes-Roth,B. (1979b)

Hayes-Roth,B.; Hayes-Roth,F.; Rosenschein,S.; Cammarata,S.: Modeling Planning as an Incremental, Opportunistic Process; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 1, S. 375-383.

Hayes-Roth,B. (1985)

Hayes-Roth,B.: A Blackboard Architecture for Control; in: Artificial Intelligence, Vol. 26 (1985), S. 251-321.

Hayes-Roth,F. (1977)

Hayes-Roth,F.; Lesser,V.R.: Focus of Attention in the HEARSAY-II Speech Understanding System; in: o.V.: 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-77, Proceedings of the Conference, 22.-25.08.1977 in Cambridge (Massachusetts), o.O. (Pittsburgh) 1977, Vol. 1, S. 27-35.

Hebbeler (1991)

Hebbeler,M.B.; Klaas,K.-J.: Rechnergestützte Generierung von Arbeitsplänen; in Geitner,U.W. (Hrsg.): CIM Handbuch, 2. Aufl., Braunschweig 1991, S. 272-293.

Hedrich (1983)

Hedrich,P. (et al.): Flexibilität in der Fertigungstechnik durch Computereinsatz, München 1983.

Hegselmann (1979a)

Hegselmann,R.: Otto Neurath - Empiristischer Aufklärer und Sozialreformer; in: Hegselmann,R. (Hrsg.): Otto Neurath - Wissenschaftliche Weltauffassung, Sozialismus und Empirismus, Frankfurt 1979, S. 7-78.

Hegselmann (1979b)

Hegselmann,R.: Normalität und Rationalität - Zum Problem praktischer Vernunft in der Analytischen Philosophie, Dissertation, Universität Essen, Frankfurt - New York 1979.

Hegselmann (1980)

Hegselmann,R.: Logische Pragmatik; in: Gethmann,C.F. (Hrsg.): Theorie des wissenschaftlichen Argumentierens, Frankfurt 1980, S. 190-212.

Hegselmann (1982)

Hegselmann,R.; Raub,W.: Zur Logikabhängigkeit wissenschaftstheoretischer Paradoxien; in: Erkenntnis, Vol. 17 (1982), S. 349-359.

Heibey (1977)

Heibey,H.W.; Lutterbeck,B.; Töpel,M.: Auswirkungen der elektronischen Datenverarbeitung in Organisationen, Forschungsbericht DV 77-01 Datenverarbeitung, Institut für Informatik der Universität Hamburg, Eggenstein-Leopoldshafen 1977.

Hein,E. (1971)

Hein,E.: Betriebswirtschaftliche Probleme der Qualitätskontrolle im industriellen Produktionsprozeß - Modell einer Qualitätswirtschaft, Dissertation, Universität Göttingen, Göttingen 1971.

Hein,M. (1991)

Hein,M.; Tank,W.: Kommunizierende wissensbasierte Systeme; in: Bullinger,H.-J. (Hrsg.): Handbuch des Informationsmanagements im Unternehmen - Technik, Organisation, Recht, Perspektiven, Band I, München 1991, S. 681-717.

Heine (1987)

Heine,D.: Expertensysteme für die Terminplanung bei Werkstattfertigung, Diplomarbeit Nr. 3/383, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1987.

Heinen (1966)

Heinen,E.: Betriebswirtschaftslehre heute - Die Bedeutung der Entscheidungstheorie für Forschung und Praxis, Öffentlicher Vortrag, 01.02.1966 in München, Wiesbaden o.J. (1966).

Heinen (1969)

Heinen,E.: Zum Wissenschaftsprogramm der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaftslehre, 39. Jg. (1969), S. 207-220.

Heinen (1971)

Heinen,E.: Der entscheidungsorientierte Ansatz der Betriebswirtschaftslehre; in: von Kortz-fleisch,G. (Hrsg.): Wissenschaftsprogramm und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung, 2.-5.06.1971 in St. Gallen, Berlin 1971, S. 21-37.

Heinen (1972)

Heinen,E.: Zur Problembezogenheit von Entscheidungsmodellen; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 1. Jg. (1972), S. 3-7.

Heinen (1976)

Heinen,E.: Grundlagen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen - Das Zielsystem der Unternehmung, 3. Aufl., Wiesbaden 1976.

Heinen (1980)

Heinen,E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 7. Aufl., Wiesbaden 1980.

Heinen (1983)

Heinen,E.: Betriebswirtschaftliche Kostenlehre - Kostentheorie und Kostenentscheidungen, 6. Aufl., Wiesbaden 1983.

Heinen (1990)

Heinen,E.: Grundtatbestände betrieblicher Entscheidungen; in: Jacob,H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre - Handbuch für Studium und Prüfung, 4. Aufl., Wiesbaden 1990, S. 319-380.

Heinen (1991b)

Heinen,E. (Dietl,H.): Industriebetriebslehre als entscheidungsorientierte Unternehmensführung; in: Heinen,E. (Hrsg.) / Picot,A. (Schriftleitung): Industriebetriebslehre - Entscheidungen im Industriebetrieb, 9. Aufl., Wiesbaden 1991, S. 1-71.

Heinhold (1989)

Heinhold,M.: Simultane Unternehmensplanungsmodelle - ein Irrweg?; in: Die Betriebswirtschaft, 49. Jg. (1989), S. 689-708.

Heinz,A. (1988)

Heinz,A.: Optimierte objektorientierte Simulation durch simulierte Objektorientiertheit; in: Ameling,W. (Hrsg.): Simulationstechnik, 5. Symposium Simulationstechnik, 28.-30.09.1988 in Aachen, Proceedings, Informatik-Fachberichte 179, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 42-49.

Heizer (1988)

Heizer,J.; Render,B.: Production and Operations Management - Strategies and Tactics, Boston - London - Sydney ... 1988.

Hejl (1982)

Hejl,P.M.: Sozialwissenschaft als Theorie selbstreferentieller Systeme, Frankfurt New York 1982.

Hejl (1987)

Hejl,P.M.: Konstruktion der sozialen Konstruktion: Grundlinien einer konstruktivistischen Sozialtheorie; in: Schmidt,S.J. (Hrsg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt 1987, S. 303-339.

Helberg (1987)

Helberg,P.: PPS als CIM-Baustein - Gestaltung der Produktionsplanung und -steuerung für die computerintegrierte Produktion, Berlin 1987.

Hellwig,K. (1989b)

Hellwig,K.: Flexible Planung und Kapitalerhaltung; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 41. Jg. 1989, S. 404-414.

Hellwig,P. (1977)

Hellwig,P.: Ein Computermodell für das Folgern in natürlicher Sprache; in: Eisenberg,P. (Hrsg.): Semantik und künstliche Intelligenz - Beiträge zur automatischen Sprachbearbeitung II, Berlin - New York 1977, S. 59-85.

Helmer (1959)

Helmer,O.; Rescher,N.: On the Epistemology of the Inexact Sciences; in: Management Science, Vol. 6 (1959/60), No. 1 (1959), S. 25-52.

Hempel (1974)

Hempel, C.G.: Grundzüge der Begriffsbildung in der empirischen Wissenschaft, Düsseldorf 1974.

Hennicke (1991)

Hennicke, L.: Wissensbasierte Erweiterung der Netzplantechnik. Dissertation, Universität Frankfurt 1990/91, Heidelberg 1991.

Hennings (1985)

Hennings, R.D.: Expertensysteme: Grundlagen, Entwicklung, Anwendungen, Trends; in: Hennings, R.D.; Munter, H.: Artificial Intelligence - 1. Expertensysteme, Berlin 1985, S. 13-310.

Herold, R. (1988)

Herold, R.: Auswirkungen von Just-in-Time auf die Zulieferanten der US-Automobilindustrie; in: Schmidt, K.J. (Hrsg.): Handbuch Logistik und Produktionsmanagement - Strategien, Konzepte und Lösungen für die JIT-Beschaffung, -Produktion und -Distribution, Stand: 2. Nachlieferung, Landsberg 1988, Punkt 3.1.1.

Herrmann, T. (1976)

Herrmann, T.: Die Psychologie und ihre Forschungsprogramme, Göttingen - Toronto - Zürich ... 1976.

Herrmann, T. (1979)

Herrmann, T.: Zur Tauglichkeit psychologischer Theorien; in: Albert, H.; Stapf, K.H. (Hrsg.): Theorie und Erfahrung - Beiträge zur Grundlagenproblematik der Sozialwissenschaften, Stuttgart 1979, S. 195-217.

Hertzberg (1985)

Hertzberg, J.: Über Künstliche Intelligenz und die reale Welt, KI-Bericht Nr. 2, Institut für Informatik, Universität Bonn, Bonn 1985.

Hertzberg (1986)

Hertzberg, J.: Planerstellungsmethoden der Künstlichen Intelligenz; in: Informatik-Spektrum, Bd. 9 (1986), S. 149-161.

Hertzberg (1989)

Hertzberg, J.: Planen - Einführung in die Planerstellungsmethoden der Künstlichen Intelligenz, Mannheim - Wien - Zürich 1989.

Herzog, E. (1991a)

Herzog, E.: Entscheidungsrelevante Kalkulationsmethoden unter Berücksichtigung neuer amerikanischer Erkenntnisse (CAM-I); in: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV, 12. Saarbrücker Arbeitstagung 1991, Heidelberg 1991, S. 119-133.

Herzog, E. (1991b)

Herzog, E.: Anmerkungen zum Workshop von Prof. Robert G. Kaplan zum Thema "Activity Based Cost Accounting" am 15.4.1991 in Stuttgart; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1991), Heft 4, S. 205-207.

Herzog, O. (1973)

Herzog, O.: Petrinetze als Modelle für parallele Prozesse, im Auftrag der Firma ORGALOGIC/ Köln erstellter Bericht, o.O. 1973.

Herzog, O. (1983)

Herzog, O.: Beitrag zur Paneldiskussion, gehalten am 28.09.1983 in Toulouse anlässlich: 4th European Workshop on Applications and Theory of Petri Nets.

Heß (1989)

Heß, H.: Objektorientierter Systementwurf; in: Information Management, 4. Jg. (1989), Heft 3, S. 76-77.

Hewitt (1978b)

Hewitt, C.; Baker, H.: Actors and Continous Functionals; in: Neuhold, E.J. (Hrsg.): Formal Descriptions of Programming Concepts, Proceedings of the IFIP Working Conference on Formal Descriptions of Programming Concepts, 1.-5.08.1977 in Saint Andrews, Amsterdam 1978, S. 367-390.

Hewitt (1979)

Hewitt,C.: Control Structure as Patterns of Passing Messages; in: Winston,P.H.; Brown,R.H. (Hrsg.): Artificial Intelligence: An MIT Perspective, Vol. 2: Understanding - Vision - Manipulation - Computer Design - Symbol Manipulation, Cambridge (Massachusetts) - London 1979, S. 433-465.

Hewitt (1984)

Hewitt,C.; de Jong,P.: Open Systems; in: Brodie,M.L.; Mylopoulos,J.; Schmidt,J.W. (Hrsg.): On Conceptual Modelling - Perspectives from Artificial Intelligence, Databases, and Programming Languages, New York - Berlin - Heidelberg ... 1984, S. 147-164.

Heyting (1931)

Heyting,A.: Die intuitionistische Grundlegung der Mathematik; in: Erkenntnis, 2. Bd. (1931), S. 106-115.

Hieronimus (1979)

Hieronimus,A.: Einbeziehung subjektiver Risikoeinstellungen in Entscheidungsmodelle - Ein Beitrag zur Bernoulli-Nutzentheorie, Thun - Frankfurt 1979.

Hilbert (1925)

Hilbert,D.: Über das Unendliche; in: Mathematische Annalen, 95. Bd. (1925), S. 161-190.

Hill,W. (1991)

Hill,W.: Basisperspektiven der Managementforschung; in: Die Unternehmung, 45. Jg. (1991), Nr. 1, S. 2-15.

Hintz (1987)

Hintz,G.-W.: Ein wissensbasiertes System zur Produktionsplanung und -steuerung für flexible Fertigungssysteme, Dissertation, Universität Aachen, Düsseldorf 1987.

Hirao (1990)

Hirao,T.: Extension of the relational database semantic processing model; in: IBM Systems Journal, Vol. 29 (1990), S. 539-550.

Hirshfeld,D. (1990)

Hirshfeld,D.S.: Some Thoughts on Math Programming Practice in the '90s; in: Interfaces, Vol. 20 (1990), No. 4, S. 158-165.

Hoch (1973)

Hoch,P.: Betriebswirtschaftliche Methoden und Zielkriterien der Reihenfolgeplanung bei Werkstatt- und Gruppenfertigung, Frankfurt - Zürich 1973.

Hoepfner (1982)

Hoepfner,W.: ATN-Steuerung durch Kasusrahmen; in: Wahlster,W. (Hrsg.): GWAI-82, 6th German Workshop on Artificial Intelligence, 27.09.-01.10.1982 in Bad Honnef, Informatik-Fachberichte 58, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 215-226.

Hösle (1987)

Hösle,V.: Begründungsfragen des objektiven Idealismus - Dem Tübinger Freundeskreis; in: Köhler,W.R.; Kuhlmann,W.; Rohs,P. (Hrsg.): Philosophie und Begründung, Frankfurt 1987, S. 212-267.

Höss (1986)

Höss,K.; Küchenhoff,V.; Pichler,C.; Schmauch,C.; Thuy,o.Vn.: Objekt-orientierte Programmierung in Prolog; in: Prolog - Interface, Vol. 1 (1986), Heft 3, S. 3-11.

Hofer (1978)

Hofer,C.W.; Schendel,D.: Strategy Formulation: Analytical Concepts, St. Paul - New York - Los Angeles ... 1978.

Hoff,A. (1991)

Hoff,A.: Flexible Arbeitszeitgestaltung im Schichtbetrieb; in: Bullinger,H.-J. (Hrsg.): Produktionsforum'91: Produktionsmanagement - Vorgehensweisen und Praxisbeispiele zum Chancenmanagement in den 90er Jahren, 10. IAO-Arbeitstagung, 19.-20.02.1991 in Stuttgart, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 409-424.

Hoff,H. (1986)

Hoff,H.: Die Gestaltung von Entscheidungsprozessen in betrieblichen Gremien, Frankfurt - Bern - New York 1986.

Hoffmann, K. (1982)

Hoffmann, K.L.; Jackson, R.H.F.: In Pursuit of a Methodology for Testing Mathematical Programming Software; in: Mulvey, J.M. (Hrsg.): Evaluating Mathematical Programming Techniques, Proceedings of a Conference, 5.-6.01.1981 in Boulder, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 199, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 177-199.

Hofmann, J. (1985)

Hofmann, J.: Analyse des Anwendungsbereichs von Problemlösungsmethoden - Die Entwicklung von Anwendungsvorschriften für Problemlösungsmethoden und die Bestimmung des Anwendungsbereiches von Problemlösungsmethoden auf der Grundlage eines differenzierten problemtheoretischen Bezugsrahmens für Probleme, Problemlösungsprozesse und Problemlösungsmethoden, Frankfurt - Bern - New York 1985.

Hofstadter (1979)

Hofstadter, D.R.: Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid, New York 1979.

Hogarth (1990)

Hogarth, R.M.; Einhorn, H.J.: Venture Theory: A Model of Decision Weights; in: Management Science, Vol. 36 (1990), S. 780-803.

Hohenbild (1974)

Hohenbild, R.: Das Verursachungsdenken in der betriebswirtschaftlichen Kostenlehre, Dissertation, Universität Bochum ca. 1972, Bern - Frankfurt 1974.

Hohenstein (1986)

Hohenstein, U.; Neugebauer, L.; Saake, G.: An Extended Entity-Relationship Model for Non-Standard Databases; in: Heuer, A. (Hrsg.): Workshop über Relationale Datenbanken, 16.-20.06.1986 in Lessach, Informatik-Bericht 86/3, Institut für Informatik, Universität Clausthal-Zellerfeld, Clausthal-Zellerfeld 1986, S. 185-211. (Anmk. des Verf.: "Databases" im Original; gemeint ist wohl: "Databases".)

Hohenstein (1987)

Hohenstein, U.; Neugebauer, L.; Saake, G.; Ehrich, H.-D.: Three-Level-Specification of Databases Using an Extended Entity-Relationship Model; in: Wagner, R.R.; Traummüller, R.; Mayr, H.C. (Hrsg.): Informationsbedarfsermittlung und -analyse für den Entwurf von Informationssystemen, Fachtagung EMISA, 02.-03.07.1987 in Linz, Proceedings, Informatik-Fachberichte 143, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987, S. 58-88.

Hoitsch (1985)

Hoitsch, H.-J.: Produktionswirtschaft - Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre, München 1985.

Holden (1987)

Holden, T.: Knowledge Based CAD and Microelectronics, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987.

Hollander (1981)

Hollander, R.: Zur Losgrößenplanung bei mehrstufigen Produktionsprozessen, Göttingen 1981.

Holt, A. (1975d)

Holt, A.W.: Communication Mechanics; in: Massachusetts Computer Associates, Inc. (Hrsg.): Second Semi-Annual Technical Report (1.12.1973-31.03.1975) for the Project "Development of Theoretical Foundations for Description and Analysis of Discrete Information Systems", Wakefield 1975, S. 156-176.

Holt, A. (1976)

Holt, A.W.: Formal Methods in System Analysis; in: Shaw, B. (Hrsg.): Computers and the Educated Individual, Proceedings of the Joint IBM University of Newcastle upon Tyne Seminar, 9.-12.09.1975 in Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne 1976, S. 135-179.

Holthoff (1988)

Holthoff, A.: Rationalität und Wirtschaftlichkeit als Imperative für die Betriebsführung von Elektrizitätsversorgungsunternehmen, Dissertation, Universität Köln 1987, Berlin 1988.

Horacek (1989)

Horacek, H.: Towards Principles of Ontology; in: Metzger, D. (Hrsg.): GWAI-89, 13th German Workshop on Artificial Intelligence, 18.-22.09.1989 in Eringerfeld, Proceedings, Informatik-Fachberichte 216, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 323-330.

Horkheimer (1969)

Horkheimer, M.; Adorno, T. W.: Dialektik der Aufklärung - Philosophische Fragmente, Frankfurt 1969.

Hormann, D. (1973)

Hormann, D.: Betrieb rechnergesteuerter Fertigungssysteme, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Aachen 1973.

Horvath (1983)

Horvath, P.; Petsch, M.; Weihe, M.: Standard-Anwendungssoftware für die Finanzbuchhaltung und die Kosten- und Leistungsrechnung, München 1983.

Horvath (1986a)

Horvath, P.; Kleiner, F.; Mayer, R.: Differenzierte Kosteninformationen zur Entscheidungsunterstützung in der flexiblen Montage; in: Kostenrechnungspraxis, 30. Jg. (1986), Heft 4, S. 133-139.

Horvath (1987)

Horvath, P.; Kleiner, F.; Mayer, R.: Zweckneutrale Kostenerfassung in der flexiblen Montage mit Hilfe von Datenbanken; in: Kostenrechnungspraxis, 31. Jg. (1987), Heft 3, S. 93-104.

Horvath (1988b)

Horvath, P.: Wird die Kostenrechnung ihren Informations- und Steuerungsaufgaben beim Einsatz flexibel automatisierter Produktionssysteme noch gerecht?; in: Lücke, W. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Steuerungs- und Kontrollprobleme, Wissenschaftliche Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 9.-13.06.1987 in Göttingen, Wiesbaden 1988, S. 113-133.

Horvath (1989)

Horvath, P.; Mayer, R.: Prozeßkostenrechnung - Der neue Weg zu mehr Kostentransparenz und wirkungsvolleren Unternehmensstrategien; in: Controlling, 1. Jg. (1989), S. 214-219.

Horvath (1990a)

Horvath, P.; Renner, A.: Prozeßkostenrechnung - Konzept, Realisierungsschritte und erste Erfahrungen; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 39. Jg. (1990), S. 100-107.

Horvath (1991a)

Horvath, P.: Zur Zielsetzung und zum Inhalt dieses Buches; in: IFUA Horvath & Partner GmbH (Hrsg.): Prozeßkostenmanagement - Methodik, Implementierung, Erfahrungen, München 1991, S. 1-7.

Horvath (1992a)

Horvath, P.: Controlling, 4. Aufl., München 1992.

Hoss (1965)

Hoss, K.: Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden - unter besonderer Berücksichtigung des Ablaufplanungsdilemmas in der Werkstattfertigung, Würzburg - Wien 1965.

Hoß (1984)

Hoß, D.; Gerhardt, K.-U.; Kramer, H.; Weber, A.: Wirtschaftliche und soziale Auswirkungen des Einsatzes von integrierten CAD/CAM-Systemen, Untersuchungsteil II: Die sozialen Auswirkungen der Integration von CAD und CAM - Vorstudie für ein empirisches Hauptprojekt, RKW-Projekt A 148/83, Institut für Sozialforschung Frankfurt am Main, Düsseldorf 1984.

Hoyer, R. (1988)

Hoyer, R.: Organisatorische Voraussetzungen der Büroautomation - Rechnergestützte, prozeßorientierte Planung von Büroinformations- und -kommunikationssystemen, Berlin 1988.

Huang, X. (1989)

Huang, X.: Proof Transformation Towards Human Reasoning Style; in: Metzger, D. (Hrsg.): GWAI-89, 13th German Workshop on Artificial Intelligence, 18.-22.09.1989 in Eringerfeld, Proceedings, Informatik-Fachberichte 216, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 37-42.

Huber, A. (1990a)

Huber, A.: Wissensbasierte Überwachung und Planung in der Fertigung, Dissertation, Technische Universität Berlin 1989, Berlin 1990.

Huber, O. (1983)

Huber, O.: Zur Psychologie des Problemlösens; in: Schauer, H.; Tauber, H.J. (Hrsg.): Psychologie des Programmierens, München - Wien 1983, S. 59-78.

Huch (1979)

Huch, B.: Produktionskosten; in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 1512-1525.

Hüsch (1985)

Hüsch, H.-W.; Staudt, E.: The Influence of Artificial Intelligence on Organizational Structure and Rationalization; in: Bernold, T.; Albers, G. (Hrsg.): Artificial Intelligence: Towards Practical Applications, Proceedings of the Joint Technology Assessment Conference of the Gottlieb Duttweiler Institute and the European Coordinating Committee for Artificial Intelligence, 12.-13.04. 1984 in Rüschlikon, Amsterdam - New York - Oxford 1985, S. 189-200.

Hummel, S. (1970)

Hummel, S.: Wirklichkeitsnahe Kostenerfassung - Neue Erkenntnisse für eine eindeutige Kostenermittlung, Berlin 1970.

Hummel, S. (1983)

Hummel, S.: Entscheidungsorientierter Kostenbegriff, Identitätsprinzip und Kostenzurechnung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 53. Jg. (1983), S. 1204-1209.

Hummel, S. (1986)

Hummel, S.; Männel, W.: Kostenrechnung 1 - Grundlagen, Aufbau und Anwendung, 4. Aufl., Wiesbaden 1986.

Hura (1982a)

Hura, G.S.: A Petri Net Approach to Enumerate All System Success Paths for Reliability Evaluation of a Complex System; in: Microelectronics and Reliability, Vol. 22 (1982), S. 427-428.

Hura (1982c)

Hura, G.S.: Petri Net as a Modeling Tool; in: Microelectronics and Reliability, Vol. 22 (1982), S. 433-439.

Husserl (1976)

Husserl, E.: Erfahrung und Urteil - Untersuchungen zur Genealogie der Logik, 5. Aufl., Hamburg 1976.

Husserl (1985)

Husserl, E.: Die phänomenologische Methode - Ausgewählte Texte I, hrsg. von T. Held, Stuttgart 1985.

Hutchison (1964)

Hutchison, T.W.: Theoretische Ökonomie als Sprachsystem; in: Albert, H. (Hrsg.): Theorie und Realität - Ausgewählte Aufsätze zur Wissenschaftslehre der Sozialwissenschaften, Tübingen 1964, S. 273-285.

Hutner (1989)

Hutner, F.; Holzner, R.: Architektur, Programmierung und Leistungsbewertung des MIT-Datenflußrechners; in: Informatik-Spektrum, Bd. 12 (1989), S. 147-157.

Huysmans (1970)

Huysmans, J.H.B.M.: The Effectiveness of the Cognitive-Style Constraint in Implementing Operations Research Proposals; in: Management Science, Vol. 17 (1970), S. 92-104.

Hwang, C. (1981)

Hwang, C.-L.; Yoon, K.: Multiple Attribute Decision Making - Methods and Applications - A State-of-the-Art Survey, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 186, Berlin - Heidelberg - New York 1981.

Hwang, S. (1984)

Hwang, S.-L.; Barfield, W.; Chang, T.-C.; Salvendy, G.: Integration of humans and computers in the operation and control of flexible manufacturing systems; in: International Journal of Production Research, Vol. 22 (1984), S. 841-856.

IDS (1990)

IDS Prof. Scheer - Gesellschaft für integrierte Datenverarbeitungssysteme mbH (Hrsg.): Dezentrale Fertigungssteuerung: Der Intelligente Leitstand FI-2, Saarbrücken o.J. (1990).

Igel (1986b)

Igel,B.; Jungfermann,M.: Rechnergestützte graphische Spezifikation mit Kanal/Instanz-Netzen, Forschungsbericht Nr. 223, Abteilung Informatik, Universität Dortmund, Dortmund 1986.

Itzinger (1976)

Itzinger,O.: Methoden der maschinellen Intelligenz, München - Wien 1976.

Jablonski (1987)

Jablonski,S.; Ruf,T.: Konzeptionelle Aspekte der Datenverwaltung in Flexiblen Fertigungssystemen; in: Angewandte Informatik, 29. Jg. (1987), S. 196-205.

Jablonski (1990)

Jablonski,S.: Datenverwaltung in verteilten Systemen - Grundlagen und Lösungskonzepte, Informatik-Fachberichte 233, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Jackson,J. (1962)

Jackson,J.R.: Queues with dynamic Priority Disciplines; in: Management Science, Vol. 8 (1962), S. 18-34.

Jackson,J. (1963)

Jackson,J.R.: Jobshop-Like Queueing Systems; in: Management Science, Vol. 10 (1963), S. 131-142.

Jackson,M.A. (1979)

Jackson,M.A.: Grundsätze des Programmentwurfs, Darmstadt 1979.

Jackson,M.C. (1984)

Jackson,M.C.; Keys,P.: Towards a System of Systems Methodologies; in: Journal of the Operational Research Society, Vol. 35 (1984), S. 473-486.

Jacob,H. (1974)

Jacob,H.: Unsicherheit und Flexibilität - Zur Theorie der Planung bei Unsicherheit; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 44. Jg. (1974), S. 299-326 (Erster Teil), 403-448 (Zweiter Teil) u. 505-526 (Dritter Teil).

Jacob,H. (1976)

Jacob,H.: Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, 3. Aufl., Wiesbaden 1976.

Jacob,H. (1990)

Jacob,H.: Grundlagen und Grundtatbestände der Planung im Industriebetrieb; in: Jacob,H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre - Handbuch für Studium und Prüfung, 4. Aufl. (von Industriebetriebslehre in programmierter Form), Wiesbaden 1990, S. 381-400.

Jacobs (1988a)

Jacobs,H.-J.; Hentschel,B.; Stange,B.: Intelligent tool monitoring for machining; in: International Journal of Production Research, Vol. 26 (1988), S. 1579-1592.

Jäger,P. (1982)

Jäger,P.K.: Modellmethodologie und optimale Bestellmenge - Grundriß einer Methodologie der Modellkonstruktion konkretisiert am Modell der optimalen Bestellmenge -, Dissertation, Universität Frankfurt, Frankfurt 1982.

Jähnichen (1990)

Jähnichen,S.; Bieler,F.; Burghardt,J. (Hrsg.): Seminar Spezifikationstechniken, Sommersemester 1989, GMD-Studien Nr. 176, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn, Sankt Augustin 1990.

Jahn (1988)

Jahn,S.; Fischer,U.; Renner,E.: Facharbeitsplätze als Konstruktionselemente neuer PPS-Systeme; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 443-468.

Janas (1979)

Janas,J.M.: How to Not Say "Nil" - Improving Answers to Failing Queries in Data Base Systems; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Intelligence, 20-23.08.1979 in Tokyo, Vol. 1, o.O. (Stanford) 1979, S. 429-434.

Janich (1974)

Janich,P.; Kambartel,F.; Mittelstraß,J.: Wissenschaftstheorie als Wissenschaftskritik, Frankfurt 1974.

Jarke (1989b)

Jarke,M.; Jeusfeld,M.; Rose,T.: Software Process Modeling as a Strategy for KBMS Implementation, Bericht MIP-8933, Fakultät für Mathematik und Informatik, Universität Passau, Passau 1989.

Jarosch (1988)

Jarosch,W.: Expertensysteme in der Produktion: Auslastung versus Termineinhaltung; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 199-217.

Jehle (1973)

Jehle,E.: Über Fortschritt und Fortschrittskriterien in betriebswirtschaftlichen Theorien - Eine erkenntnis- und methodenkritische Bestandsaufnahme betriebswirtschaftlicher Forschungsprogramme, Dissertation, Universität Mannheim 1971, Stuttgart 1973.

Jehle (1990)

Jehle,E.; Müller,K.; Michael,H.: Produktionswirtschaft - Eine Einführung mit Anwendungen und Kontrollfragen, 3. Aufl., Heidelberg 1990.

Jeusfeld (1990)

Jeusfeld,M.; Krüger,E.: Deductive Integrity Maintenance in an Object-Oriented Setting, Bericht MIP-9013, Fakultät für Mathematik und Informatik, Universität Passau, Passau 1990.

Johnson,H. (1987)

Johnson,H.T.; Kaplan,R.S.: Relevance Lost - The Rise and Fall of Management Accounting, Boston 1987.

Johnson,H. (1988)

Johnson,H.T.: Activity-Based Information: A Blueprint for World-Class Management Accounting; in: Management Accounting, Vol. 69 (1987/88), No. 12 (June 1988), S. 23-30.

Jordan (1978)

Jordan,W.; Urban,H.: Strukturierte Programmierung, Berlin - Heidelberg - New York 1978.

Jünger (1980)

Jünger,E.-P.: Hierarchische Produktionsprogrammplanung, Frankfurt - Bern - Cirencester 1980.

Junghanns (1971)

Junghanns,W.: Planung neuer Fertigungssysteme für die Einzel- und Serienfertigung, Dissertation Aachen, Aachen 1971.

Junghanns (1976)

Junghanns,W.: Planung und wirtschaftlicher Einsatz numerisch gesteuerter Fertigungskonzepte - Grundlagen, Düsseldorf 1976.

Junike (1988)

Junike,W.: Zellenrechner - Funktionserweiterung der CNC-Steuerung; in: Werkstattstechnik, 78. Jg. (1988), S. 441-444.

Kämpfer (1984)

Kämpfer,S.: Roboter - Die elektronische Hand des Menschen, Düsseldorf 1984.

Kaiser,K. (1991)

Kaiser,K.: Kosten- und Leistungsrechnung bei automatisierter Produktion, Dissertation, Universität Bochum 1990, Wiesbaden 1991.

Kaisers (1985)

Kaisers,U.: Objektorientierte Entwicklung von Software; in: Online, o.Jg. (1985), Heft 7, S. 22-25.

Kalveram (1949)

Kalveram,W.: Der christliche Gedanke in der Wirtschaft, Köln 1949.

Kambartel (1975)

Kambartel,F.: Wissenschaftstheorie und Wissenschaftspraxis; in: Weingart,P. (Hrsg.): Wissenschaftsforschung, Frankfurt - New York 1975, S. 162-183.

Kambartel (1976)

Kambartel,F.: Theorie und Begründung - Studien zum Philosophie- und Wissenschaftsverständnis, Frankfurt 1976.

Kambartel (1977)

Kambartel,F.: Zur Überwindung des Szientismus und Modellplatonismus in der Ökonomie (Eine Erwiderung auf Jürgen Backhaus und Gebhard Kirchgäßner); in: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Bd. 8 (1977), S. 132-143.

Kamien (1981)

Kamien,M.J.; Schwartz,N.L.: Dynamic Optimization - The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management, New York - Oxford 1981.

Kamlah,A. (1978)

Kamlah,A.: Metagesetze und theorieunabhängige Bedeutung physikalischer Begriffe; in: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Bd. 9 (1978), S. 41-62.

Kamp (1978)

Kamp,A.-W.: Ein Beitrag zur Ablaufplanung bei flexiblen Fertigungssystemen, Düsseldorf 1978.

Kanet (1982)

Kanet,J.J.; Hayya,J.C.: Priority Dispatching with Operation Due Dates in a Job Shop; in: Journal of Operations Research, Vol. 2 (1982), No. 3, S. 167-175.

Kanitscheider (1971)

Kanitscheider,B.: Geometrie und Wirklichkeit, Berlin 1971.

Kant,I. (1981d)

Weischedel,W. (Hrsg.): Immanuel Kant - Werkausgabe, Bd. X: Immanuel Kant, Kritik der Urteils kraft, 5. Aufl., Frankfurt 1981.

Kaplan (1988)

Kaplan,R.S.: Are managers getting the information they need to value inventory, control operations, and measure product costs? - One Cost System Isn't Enough; in: Harvard Business Review, Vol. 66 (1988), No. 1 (January-February), S. 61-66.

Kaplan (1991)

Kaplan,R.S.: Das Vier-Stufen-Modell der Entwicklung von Kostenrechnungssystemen; in: IFUA Horvath & Partner GmbH (Hrsg.): Prozeßkostenmanagement - Methodik, Implementierung, Erfahrungen, München 1991, S. 11-24.

Kappler (1977)

Kappler,E.; Trost,O.A.: Der homo oeconomicus soll "handeln", aber er darf sich nicht "verhalten" - Thesen zur Diskussion der handlungstheoretischen Konzeption der Betriebswirtschaftslehre; in: Köhler,R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977, S. 167-179.

Kappler (1983)

Kappler,E. (Hrsg.): Rekonstruktion der Betriebswirtschaftslehre als ökonomische Theorie, Prof. Dr. Drs. h.c. Erich Gutenberg zum 85. Geburtstag gewidmet, Spardorf 1983.

Kargl (1990)

Kargl,H.: Industrielle Datenverarbeitung; in: Schweitzer,M. (Hrsg.): Industriebetriebslehre - Das Wirtschaften in Industrieunternehmen, München 1990, S. 893-1014.

Karmarkar,U. (1989a)

Karmarkar,U.: Getting Control of Just-in-Time; in: Harvard Business Review, Vol. 67 (1989), Heft September/October, S. 122-131.

Karsten (1990)

Karsten,G.: Fabrikkonzepte des 21. Jahrhunderts - Für den Menschen; in: Industrie-Anzeiger, 112. Jg. (1990), Nr. 71, S. 16-18.

Kasper (1975)

Kasper,A.: Einsatzmöglichkeiten von Verfahren der Netzplantechnik mit stochastischen Elementen bei Werkstattfertigung, Diplomarbeit, Seminar für Wirtschafts- und Sozialstatistik, Universität Köln, Köln 1975.

Kawamura, K. (1977)

Kawamura, K.; Malone, D.W.: Probing Complexity in Social Systems Through Interpretive Structural Modeling; in: Finsterbusch, K.; Wolf, C.P. (Hrsg.): Methodology of Social Impact Assessment, Stroudsburg 1977, S. 347-354.

Kazmaier (1984)

Kazmaier, E.: Ablaufplanung im Dialog - Alternative oder Ergänzung zur Optimierung; in: Steckhan, H.; Bühler, W.; Jäger, K.E.; Schneeweiß, C.; Schwarze, J. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1983, DGOR - Papers of the 12th Annual Meeting, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984, S. 163-168.

Keck (1968)

Keck, H.: Die Bearbeitung einiger Ablaufplanungsprobleme mit Hilfe der Simulation. Eine Literaturstudie; in: Bussmann, K.F.; Mertens, P. (Hrsg.): Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, Stuttgart 1968, S. 215-228.

Keilus (1990)

Keilus, M.: Das Reihenfolgeproblem bei mehrstufiger Entscheidungsfindung mittels Präferenzfunktionen im diskreten Grundmodell der normativen Entscheidungstheorie; in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 42. Jg. (1990), S. 330-352.

Keller, R. (1978)

Keller, R.M.: Denotational Models for Parallel Programs with Indeterminate Operators; in: Neuhold, E.J. (Hrsg.): Formal Description of Programming Concepts, Proceedings of the IFIP Working Conference on Formal Description of Programming Concepts, 1.-5.08.1977 in Saint Andrews, Amsterdam 1978, S. 337-366.

Keller, W. (1991)

Keller, W.; Teichert, K.: Kennen Sie die Wirtschaftlichkeit Ihrer Produktvarianten?; in: Controlling, o.Jg. (1991), S. 231-238.

Kemke (1988)

Kemke, C.: Darstellung von Aktionen in Vererbungshierarchien; in: Hoepfner, W. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz, GWAI-88, 12. Jahrestagung, Proceedings, 19.-23.09.1988 in Eringerfeld, Informatik-Fachberichte 181, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 66-76.

Kempf (1985)

Kempf, K.G.: Manufacturing and Artificial Intelligence; in: Robotics, Vol. 1 (1985), No. 1, S. 13-25.

Kenny (1974)

Kenny, A.: Wittgenstein, Frankfurt 1974.

Kepner (1971)

Kepner, C.H.; Tregoe, B.B.: Management-Entscheidungen vorbereiten und richtig treffen, 3. Aufl., München 1971.

Kern, H. (1984)

Kern, H.; Schumann, M.: Das Ende der Arbeitsteilung? - Rationalisierung in der industriellen Produktion: Bestandsaufnahmen, Trendbestimmung, München 1984.

Kern, M. (1979)

Kern, M.: Klassische Erkenntnistheorien und moderne Wissenschaftslehre; in: Raffee, H.; Abel, B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979, S. 11-27.

Kern, W. (1962a)

Kern, W.: Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihrer Ausnutzung - Grundlagen und Verfahren, Habilitation Darmstadt, Köln - Opladen 1962.

Kern, W. (1962b)

Kern, W.: Gestaltungsmöglichkeiten und Anwendungsbereich betriebswirtschaftlicher Planungsmodelle; in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung - Neue Folge, 14. Jg. (1962), S. 167-179.

Kern,W. (1966)

Kern,W.: Organisatorische Durchbildungsstufen industrieller Fertigungssteuerung; in: Moxter, A.; Schneider,D.; Wittmann,W. (Hrsg.): Produktionstheorie und Produktionsplanung, Karl Hax zum 65. Geburtstag, Köln - Opladen 1966, S. 231-251.

Kern,W. (1967)

Kern,W.: Optimierungsverfahren in der Ablauforganisation - Gestaltungsmöglichkeiten mit Operations Research, Essen 1967.

Kern,W. (1969b)

Kern,W.: Die Netzplantechnik als ein Instrument betrieblicher Ablaufplanung; in: Jacob,H. (Hrsg.): Anwendung der Netzplantechnik im Betrieb, Wiesbaden 1969, S. 53-80.

Kern,W. (1972a)

Kern,W.: Ziele und Zielsysteme in Betriebswirtschaften I; in: Das Wirtschaftsstudium, 1. Jg. (1972), S. 310-315.

Kern,W. (1972b)

Kern,W.: Ziele und Zielsysteme in Betriebswirtschaften II; in: Das Wirtschaftsstudium, 1. Jg. (1972), S. 360-365.

Kern,W. (1976)

Kern,W.: Die Produktionswirtschaft als Erkenntnisbereich der Betriebswirtschaftslehre; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 28. Jg. (1976), S. 756-767.

Kern,W. (1977)

Kern,W.; Schröder,H.-H.: Forschung und Entwicklung in der Unternehmung, Reinbek 1977.

Kern,W. (1978)

Kern,W.; Fallaschinski,K.: Betriebswirtschaftliche Produktionsfaktoren (I); in: Das Wirtschaftsstudium, 7. Jg. (1978), S. 580-584.

Kern,W. (1979b)

Kern,W.; Fallaschinski,K.: Betriebswirtschaftliche Produktionsfaktoren (II); in: Das Wirtschaftsstudium, 8. Jg. (1979), S. 15-18.

Kern,W. (1980)

Kern,W.: Industrielle Produktionswirtschaft, 3. Aufl. von "Industriebetriebslehre - Grundlagen einer Lehre von der Erzeugungswirtschaft", Stuttgart 1980.

Kern,W. (1983)

Kern,W.: Teil. II: Maßstab und Grenzen der Preisaufsicht nach * 12a BTO Elt - Betriebswirtschaftliches Gutachten; in: Badura,P.; Kern,W.: Maßstab und Grenzen der Preisaufsicht nach * 12a der Bundestarifordnung Elektrizität (BTO Elt) - aus rechtlicher und betriebswirtschaftlicher Sicht, Heidelberg 1983, S. 95-206.

Kern,W. (1986)

Kern,W.: Die Schranken unternehmerischen Handelns als Determinanten und Objekte wirtschaftlicher Betriebsführung; in: Gaugler,E.; Meissner,H.G.; Thom,N. (Hrsg.): Zukunftsaspekte der anwendungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, Stuttgart 1986, S. 557-567.

Kern,W. (1987)

Kern,W.: Operations Research - Einführung und Überblick, 6. Aufl., Stuttgart 1987.

Kern,W. (1988)

Kern,W.: Der Betrieb als Faktorkombination; in: Jacob,H. (Hrsg.): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 5. Aufl., Wiesbaden 1988, S. 117-208.

Kern,W. (1990a)

Kern,W.: Industrielle Produktionswirtschaft, 4. Aufl., Stuttgart 1990.

Kern,W. (1990b)

Kern,W.: Aufgaben und Dimensionen von Kapazitätsrechnungen; in: Ahlert,D.; Franz,K.-P.; Göppl,H. (Hrsg.): Finanz- und Rechnungswesen als Führungsinstrument, Herbert Vornbaum zum 65. Geburtstag, Wiesbaden 1990, S. 221-235.

Kern, W. (1991)

Kern, W.: Die Zeit als Dimension betriebswirtschaftlichen Denkens und Handelns, Arbeitsbericht Nr. 35, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1991.

Kern, W. (1992a)

Kern, W.: Die Zeit als Dimension betriebswirtschaftlichen Denkens und Handelns; in: Die Betriebswirtschaft, 52. Jg. (1992), S. 41-58.

Keys (1986)

Keys, P.: A Framework for the Design of Problem-Solving Methodologies; in: Trappl, R. (Hrsg.): Cybernetics and Systems'86, Proceedings of the Eighth European Meeting on Cybernetics and Systems Research, 01.-04.04.1986 in Wien, Dordrecht - Boston - Lancaster ... 1986, S. 229-236.

Kieser, A. (1985)

Kieser, A.: Wie rational kann man die Organisation einer Unternehmung gestalten?; in: Die Unternehmung, 39. Jg. (1985), S. 367-378.

Kilger (1983)

Kilger, W.: Beitrag zur Podiumsdiskussion; in: Chmielewicz, K. (Hrsg.): Entwicklungslinien der Kosten- und Erlösrechnung, Tagung der Kommission Rechnungswesen im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 14.-15.09.1979 in Erfstadt, Stuttgart 1983, S. 163-166.

Kilger (1988)

Kilger, W.: Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung, 9. Aufl., Wiesbaden 1988.

Kirsch (1972)

Kirsch, W.: Die entscheidungs- und systemorientierte Betriebswirtschaftslehre - Wissenschaftsprogramm, Grundkonzeptionen, Wertfreiheit und Parteilichkeit; in: Dlugos, G.; Eberlein, G.; Steinmann, H. (Hrsg.): Wissenschaftstheorie und Betriebswirtschaftslehre - Eine methodologische Kontroverse, Düsseldorf 1972, S. 153-184.

Kirsch (1977a)

Kirsch, W.: Erster Band - Verhaltenswissenschaftliche Ansätze der Entscheidungstheorie; in: Kirsch, W.: Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse, 2. Aufl. der Bände I bis III, Habilitationsschrift (unter dem Titel "Entscheidungen und Entscheidungsprämissen in der Unternehmungsorganisation"), Universität München, Wiesbaden 1977.

Kirsch (1977b)

Kirsch, W.: Zweiter Band - Informationsverarbeitungstheorie des Entscheidungsverhaltens; in: Kirsch, W.: Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse, 2. Aufl. der Bände I bis III, Habilitationsschrift (unter dem Titel "Entscheidungen und Entscheidungsprämissen in der Unternehmungsorganisation"), Universität München, Wiesbaden 1977.

Kirsch (1977c)

Kirsch, W.: Dritter Band - Entscheidungen in Organisationen; in: Kirsch, W.: Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse, 2. Aufl. der Bände I bis III, Habilitationsschrift (unter dem Titel "Entscheidungen und Entscheidungsprämissen in der Unternehmungsorganisation"), Universität München, Wiesbaden 1977.

Kirsch (1977d)

Kirsch, W.; Klein, H.K.: Management-Informationssysteme I - Wege zur Rationalisierung der Führung, Stuttgart - Berlin - Köln ... 1977.

Kirsch (1977e)

Kirsch, W.: Management-Informationssysteme II - Auf dem Weg zu einem neuen Taylorismus?, Stuttgart - Berlin - Köln - Mainz 1977.

Kirsch (1978)

Kirsch, W.: Die Handhabung von Entscheidungsproblemen, München 1978.

Kirsch (1979)

Kirsch, W.: Die verhaltenswissenschaftliche Fundierung der Betriebswirtschaftslehre; in: Raffee, H.; Abel, B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979, S. 105-120.

Kirsch (1981a)

Kirsch,W.: Aspekte einer Lehre von der Führung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 51. Jg. (1981), S. 656-671.

Kirsch (1981b)

Kirsch,W.: Die Unternehmungsziele in organisationstheoretischer Sicht; in: Kirsch,W.: Unternehmenspolitik: Von der Zielforschung zum strategischen Management, München 1981, S. 63-81.

Kirsch (1983)

Kirsch,W.: Die Betriebswirtschaftslehre als Führungslehre - neu betrachtet; in: Fischer-Winkelmann,W.F. (Hrsg.): Paradigmenwechsel in der Betriebswirtschaftslehre? - Diskussionstagung der Kommission "Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V.", 04.-04.04.1982 in München, Spardorf 1983, S. 204-237.

Kirsch (1984)

Kirsch,W.: Wissenschaftliche Unternehmensführung oder Freiheit vor der Wissenschaft? - Studien zu den Grundlagen der Führungslehre, 1. und 2. Halbband, München 1984.

Kistner (1981c)

Kistner,K.-P.: Einflüsse der Unternehmensforschung auf die betriebswirtschaftliche Theorie; in: Brockhoff,K.; Krelle,W. (Hrsg.): Unternehmensplanung - Referate eines Kolloquiums an der Fernuniversität Hagen, 11.-12.07.1981 in Hagen, Berlin - Heidelberg - New York 1981, S. 63-80.

Kistner (1990b)

Kistner,K.-P.; Steven/Switalski,M.: Warteschlangen-Netzwerke in der hierarchischen Produktionsplanung; in: Operations Research-Spektrum, Bd. 12 (1990), S. 89-101.

Kistner (1990c)

Kistner,K.-P.; Steven,M.: Produktionsplanung, Heidelberg 1990.

Klamroth (1972)

Klamroth,H. (Vorsitzender); Biehl,W.; Bock,G.; Boenke,F.; Budzinski,R.; Dombrowski,J.; Fleischmann,E.; Heine,B.; Heyn,P.; Marczinkowski,G.; Martin,H.G.; Münch,H.; Noll,L.; Paudtke,H.; Seiler,F.; Sure,E.; Wagner,W.; Zwirner,H.J. - Arbeitskreis "Deckungsbeitragsrechnung" im Betriebswirtschaftlichen Ausschuß des Verbandes der Chemischen Industrie e.V.: Zur Anwendbarkeit der Deckungsbeitragsrechnung - unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der chemischen Industrie, Beilage Nr. 13/72 zu Heft Nr. 33 von: Der Betrieb, 25. Jg. (1972), S. 1-15.

Klee,H. (1989)

Klee,H.W.: Zur Akzeptanz von Expertensystemen - Eine empirische Analyse der Relevanz und Angemessenheit der Erklärungskomponente, Dissertation, Universität Köln, Bergisch Gladbach - Köln 1989.

Klein,D. (1987)

Klein,D.; Finin,T.: What's in a Deep Model? - A Characterization of Knowledge Depth in Intelligent Safety Systems; in: o.V.: IJCAI 87, Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 23.-28.08.1987 in Mailand, o.O. (Los Altos) 1987, Vol. 1, S. 559-562.

Klein,H. (1971)

Klein,H.: Heuristische Entscheidungsmodelle - Neue Techniken des Programmierens und Entscheidens für das Management, Dissertation, Universität München 1968, Wiesbaden 1971.

Klein,S. (1989)

Klein,S.: Theorie der Unternehmungsplanung - Struktur und Beitrag einer anwendungsorientierten Planungstheorie, Stuttgart 1989.

Kleiner,F. (1991)

Kleiner,F.: Kostenrechnung bei flexibler Automatisierung, Dissertation, Universität Stuttgart, München 1991.

Kleinhans (1989)

Kleinhans,A.M.: Wissensverarbeitung im Management - Möglichkeiten und Grenzen wissensbasierter Managementunterstützungs-, Planungs- und Simulationssysteme, Dissertation, Universität Stuttgart 1989, Frankfurt - Bern - New York ... 1989.

Kloock (1981a)

Kloock, J.: Erfolgsrechnungen auf der Basis produktionsanalytischer Kostenrechnungen; in: Fandel, G.; Fischer, D.; Pfohl, H.-C.; Schuster, K.P.; Schwarze, J. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1980 - DGOR, Vorträge der Jahrestagung, 24.-26.09.1980 in Essen, Berlin - Heidelberg - New York 1981, S. 502-520.

Kloock (1981c)

Kloock, J.: Plankosten- und Planleistungsrechnung; in: Kosiol, E.; Chmielewicz, K.; Schweitzer, M. (Hrsg.): Handwörterbuch des Rechnungswesens, 2. Aufl., Stuttgart 1981, Sp. 1290-1309.

Kloock (1990a)

Kloock, J.; Sieben, G.; Schildbach, T.: Kosten- und Leistungsrechnung, 5. Aufl., Düsseldorf 1990.

Kloock (1990b)

Kloock, J.: Kostenkontrolle auf der Basis kombinierter und lernorientierter Feedback-Feedforward-Prozesse, Diskussionsbeiträge zum Rechnungswesen, Beitrag Nr. 1, Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Unternehmensrechnung, Universität Köln, Köln 1990.

Kloock (1991)

Kloock, J.: Prozeßkostenrechnung als Rückschritt und Fortschritt der Kostenrechnung, Diskussionsbeiträge zum Rechnungswesen, Beitrag Nr. 3, Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Unternehmensrechnung, Universität Köln, Köln 1991.

Knapp (1977)

Knapp, H.G.: Der Handlungsbegriff bei Koch: Empirischer Begriff oder klassifikatorischer Typ?; in: Köhler, R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977, S. 153-165.

Knapp (1978a)

Knapp, H.G.: Logik der Prognose - Semantische Grundlegung technologischer und sozialwissenschaftlicher Vorhersagen, Freiburg - München 1978.

Knobloch (1990)

Knobloch, T.: Simultane Anpassung der Produktion, Dissertation, Universität Köln 1989, Wiesbaden 1990.

Knolmayer (1984)

Knolmayer, G.: Das Konzept der "Factory of the Future": Chancen oder Risiken für mittelständische Unternehmen?; in: Albach, H.; Held, T. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre mittelständischer Unternehmen, Wissenschaftliche Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 12.-16.06.1984 in Bonn, Stuttgart 1984, S. 197-207.

Knolmayer (1990b)

Knolmayer, G.; Lemke, F.: Auswirkungen von Losgrößenreduktionen auf die Erreichung produktionswirtschaftlicher Ziele; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 60. Jg. (1990), S. 423-442.

Knoop (1986)

Knoop, J.: Online-Kostenrechnung für die CIM-Planung - Prozeßorientierte Kostenrechnung zur Ablaufplanung flexibler Fertigungssysteme, Berlin 1986.

Knoop (1987)

Knoop, J.: Prozeßorientierte Kostenrechnung - Ein Instrument zur Planung flexibler Fertigungssysteme; in: Kostenrechnungspraxis, 31. Jg. (1987), Heft 2, S. 47-58.

Kobsa (1982)

Kobsa, A.: Wissensrepräsentation - Die Darstellung von Wissen im Computer, Bericht, Österreichische Studiengesellschaft für Kybernetik, o.O. (Wien) 1982.

Koch, H. (1958)

Koch, H.: Zur Diskussion über den Kostenbegriff; in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung - Neue Folge, 10 Jg. (1958), S. 355-399.

Koch, H. (1959)

Koch, H.: Zur Frage des pagatorischen Kostenbegriffs - Bemerkungen zum Beitrag von K. Engelmann: "Einwendungen gegen den pagatorischen Kostenbegriff"; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 29. Jg. (1959), S. 8-17.

Koch,H. (1966)

Koch,H.: Grundprobleme der Kostenrechnung, Köln - Opladen 1966.

Koch,H. (1970)

Koch,H.: Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung - Probleme der betriebswirtschaftlichen Entscheidungslehre, Wiesbaden 1970.

Koch,H. (1971)

Koch,H.: Die betriebswirtschaftliche Theorie als Handlungsanalyse; in: von Kortzfleisch,G. (Hrsg.): Wissenschaftsprogramm und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung, 2.-5.06.1971 in St. Gallen, Berlin 1971, S. 61-78.

Koch,H. (1973)

Koch,H.: Die zeitliche Modellstruktur einer handlungsanalytisch konzipierten Theorie der Unternehmung - dargestellt anhand der Theorie des Absatzes; in: Koch,H. (Hrsg.): Zur Theorie des Absatzes, Erich Gutenberg zum 75. Geburtstag, Wiesbaden 1973, S. 215- 261.

Koch,H. (1974)

Koch,H.: Zum Methodenproblem der betriebswirtschaftlichen Theorie; in Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 44. Jg. (1974), S. 223-242 u. 327-342.

Koch,H. (1975)

Koch,H.: Die Betriebswirtschaftslehre als Wissenschaft vom Handeln - Die handlungstheoretische Konzeption der mikroökonomischen Analyse, Tübingen 1975.

Koch,H. (1977a)

Koch,H.: Zur Diskussion über die handlungstheoretische Konzeption in der Betriebswirtschaftslehre; in: Köhler,R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977, S. 283-300.

Koch,H. (1977b)

Koch,H.: Aufbau der Unternehmensplanung, Wiesbaden 1977.

Kochan,D. (1986)

Kochan,D. (Hrsg. u. Autor); Merchant,o.Vn.; Kozar,o.Vn.; Schaller,J.; Hutchinson,G.K.; Olling, o.Vn.; Semenov,o.Vn.; Klimov,W.; Spur,G.; Krause,F.L.; Pistorius,E.; Crestin,J.P. (Koautoren): CAM Developments in Computer-Integrated Manufacturing, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1986.

Köhler,R. (1966)

Köhler,R.: Theoretische Systeme der Betriebswirtschaftslehre im Lichte der neueren Wissenschaftslogik, Stuttgart 1966.

Köhler,R. (1976)

Köhler,R.: "Inexakte Methoden" in der Betriebswirtschaftslehre - Praxisrelevanz und wissenschaftstheoretische Beurteilung des von Helmer und Rescher vorgeschlagenen Ansatzes; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 46. Jg. (1976), S. 27-46. (Auch erschienen in: Ulrich,H. (Hrsg.): Zum Praxisbezug der Betriebswirtschaftslehre - in wissenschaftstheoretischer Sicht, Bern - Stuttgart 1976, S. 153-169).

Köhler,R. (1977a)

Köhler,R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977.

Köhler,R. (1977b)

Köhler,R.: Die empirische und die handlungstheoretische Forschungskonzeption im Sinne Eberhard Wittes bzw. Helmut Kochs - Stand und Entwicklungsmöglichkeit -; in: Köhler,R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977, S. 301-335.

Köhler,R. (1978)

Köhler,R.: Forschungsobjekte und Forschungsstrategien - Entwicklungen und heutiger Stand; in: Die Unternehmung, 32. Jg. (1978), S. 181-196.

Köhler, W. (1987b)

Köhler, W.R.: Zur Debatte um reflexive Argumente in der neueren deutschen Philosophie; in: Köhler, W.R.; Kuhlmann, W.; Rohs, P. (Hrsg.): Philosophie und Begründung, Frankfurt 1987, S. 303-333.

Kölle, A. (1991)

Kölle, A.: Werkstücke in wechselnden Typen und unbeaufsichtigt in flexibler Drehzelle fertigen; in: Werkstatt und Betrieb, 124. Jg. (1991), S. 455-458.

König, Re. (1963)

König, Re.: Grundlagenprobleme der soziologischen Forschungsmethoden (Modelle, Theorien, Kategorien); in: Karrenberg, F.; Albert, H. (Hrsg.): Sozialwissenschaft und Gesellschaftsgestaltung, Festschrift für Gerhard Weisser, Berlin 1963, S. 23-44.

Körner, S. (1968)

Körner, S.: Philosophie der Mathematik - Eine Einführung, München 1968.

Kötter (1983)

Kötter, R.: Was vermag das strukturalistische Theorienkonzept für die methodologischen Probleme der Ökonomie zu leisten?; in: Fischer-Winkelmann, W.F. (Hrsg.): Paradigmawechsel in der Betriebswirtschaftslehre, Spardorf 1983, S. 324-347.

Kötter (1986)

Kötter, R.: Modell und ökonomische Realität - Die Relevanz der Gleichgewichtstheorie als Grundlage der ordnungs- und wirtschaftspolitischen Diskussion; in: Hödl, E.; Müller, G. (Hrsg.): Die Neoklassik und ihre Kritik - Diskussionsband zu "Ökonomie und Gesellschaft", Jahrbuch 1, Frankfurt - New York 1986, S. 41-59.

Kohen (1989)

Kohen, E.; Schmitz-Mertens, H.J.; Wiegershaus, U.: Anbindung von flexiblen Fertigungssystemen an Produktionsplanung und -steuerung - Produktion als Regelkreis; in: Industrie-Anzeiger, 111. Jg. (1989), Nr. 46, S. 40-46.

Kolb (1978)

Kolb, J.: Industrielle Erlösrechnung - Grundlagen und Anwendung, Wiesbaden 1978.

Komorek (1990)

Komorek, C.; Pape, D.F.: Die neue Fabrik - ein komplexes System, Vielfältige Wechselwirkungen zwischen Technik, Organisation und den Menschen im Unternehmen; in: VDI-Zeitschrift, Bd. 132 (1990), Nr. 10, S. 27-29.

Konolige (1980)

Konolige, K.; Nilsson, N.J.: Multiple-Agent Planning Systems; in: o.V.: Proceedings of the First Annual National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-80, 18.-21.08.1980 in Stanford, o.O. (Menlo Park) 1980, S. 138-142.

Koopmans (1951)

Koopmans, T.C.: Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities; in: Koopmans, T.C. (Hrsg.): Activity Analysis of Production and Allocation, Proceedings of a Conference, New York - London 1951, S. 33-97.

Korhonen (1991)

Korhonen, P.; Lewandowski, A.; Wallenius, J. (Hrsg.): Multiple Criteria Decision Support, Proceedings of the International Workshop, 07.-11.08.1989 in Helsinki, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991.

Kosiol (1958)

Kosiol, E.: Kritische Analyse der Wesensmerkmale des Kostenbegriffs; in: Kosiol, E.; Schlieper, F. (Hrsg.): Betriebsökonomisierung durch Kostenanalyse, Absatzrationalisierung und Nachwuchserziehung, Festschrift für R. Seyffert zu seinem 65. Geburtstag, Köln - Opladen 1958, S. 7-37.

Kosiol (1961a)

Kosiol, E.: Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen; in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung - Neue Folge, 13. Jg. (1961), S. 318-334.

Kosiol (1962)

Kosiol, E.: Organisation der Unternehmung, Wiesbaden 1962.

Kosiol (1966)

Kosiol, E.: Grundriß der Betriebsbuchhaltung, 4. Aufl., Wiesbaden 1966.

Kosiol (1967)

Kosiol, E.: Zur Problematik der Planung in der Unternehmung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 37. (1967), S. 77-96.

Kosiol (1968)

Kosiol, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre - Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum, Wiesbaden 1968.

Kosiol (1972)

Kosiol, E.: Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum - Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, neubearbeitete und erweiterte Ausgabe des gleichnamigen Bandes aus dem Jahr 1966, Reinbek 1972.

Kosiol (1973a)

Kosiol, E.: Bausteine der Betriebswirtschaftslehre - Eine Sammlung ausgewählter Abhandlungen, Aufsätze und Vorträge, 1. Band: Methodologie, Grundlagen und Organisation, Berlin 1973.

Kosiol (1979)

Kosiol, E.: Kosten- und Leistungsrechnung, Grundlagen - Verfahren - Anwendungen, Berlin - New York 1979.

Kottkamp (1989)

Kottkamp, E.: Die Fertigung als integrierter Baustein logistischer Prozeßketten; in: Wildemann, H.; Westkämper, E. (Hrsg.): Fabrikstrukturierung Europa'92, Tagungsbericht, 16.-17.11.1989 in Frankfurt, München 1989, S. 321-336.

Kotz (1989)

Kotz, A.M.: Triggermechanismen in Datenbanksystemen, Informatik-Fachberichte 201, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989.

Koubek (1979)

Koubek, N.: Arbeit, ökonomische Rationalität und Interessen als Konfliktgrundlagen in der Unternehmung; in: Dlugos, G. (Hrsg.): Unternehmungsbezogene Konfliktforschung - Methodologische und forschungsprogrammatische Grundfragen, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V./ Bericht über die Tagung in Berlin, April 1978, Stuttgart 1979, S. 397-409.

Kowalski (1983a)

Kowalski, R.: Logic for Problem Solving, 2. und zugleich 3. Aufl., New York - Amsterdam - Oxford 1983.

Kowalski (1986)

Kowalski, R.; Sergot, M.: A Logic-based Calculus of Events; in: New Generation Computing, Vol. 4 (1986), S. 67-95.

Krafcik (1988)

Krafcik, J.F.: Triumph of the Lean Production System; in: Sloan Management Review, Vol. 30 (1988), No. 1, S. 41-52.

Kraft, V. (1973a)

Kraft, V.: Die Grundformen der wissenschaftlichen Methoden, 2. Aufl., Österreichische Akademie der Wissenschaften - Philosophisch-Historische Klasse, Sitzungsberichte, 284. Bd., 5. Abhandlung, Wien 1973.

Krallmann (1986)

Krallmann, H.: Expertensysteme für die computerintegrierte Fertigung; in: Warnecke, H.J. (Hrsg.): Produktionsplanung, Produktionssteuerung in der CIM-Realisierung - Erfahrungen, Strategien, Neue Ansätze, 18. IPA-Arbeitstagung, 22.-23.04.1986 in Stuttgart, Berlin - Heidelberg - New York ... 1986, S. 396-423.

Krallmann (1987b)

Krallmann, H.: Expertensysteme; in: Geitner, U.W. (Hrsg.): CIM-Handbuch - Wirtschaftlichkeit durch Integration, Braunschweig - Wiesbaden 1987, S. 127-138.

Krallmann (1989a)

Krallmann,H.; Scholz,B.: Analyse und Modellierung von Kommunikationsarchitekturen in der rechnerintegrierten Produktion; in: Kurbel,K.; Mertens,P.; Scheer,A.-W. (Hrsg.): Interaktive betriebswirtschaftliche Informations- und Steuerungssysteme, Berlin - New York 1989, S. 329-347.

Krallmann (1989b)

Krallmann,H.; Siebert,V.: Der CIM-Leitstand - Integration wissensbasierter Komponenten in das Konzept der elektronischen Fertigungssteuerung; in: o.V.: Mit Technologie die Zukunft bewältigen - Software im Maschinen- und Anlagenbau - Fallbeispiele für das Management, Tagung, 01.-02.06.1989 in Frankfurt, Band 9, Frankfurt 1989, 9. Beitrag.

Krallmann (1990a)

Krallmann,H.: Modellierung betrieblicher Kommunikationsarchitekturen; in: computer magazin, 19. Jg. (1990), Heft 3/4, S. 22-23.

Krallmann (1990b)

Krallmann,H.: Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen in der Stahlindustrie; in: Ehrenberg, D.; Krallmann,H.; Rieger,B. (Hrsg.): Wissensbasierte Systeme in der Betriebswirtschaft - Grundlagen, Entwicklung, Anwendungen, Berlin 1990, S. 481-496.

Krallmann (1990c)

Krallmann,H.; Scholz-Reiter,B.: CIM-KSA - Eine rechnergestützte Methode für die Planung von CIM-Informations- und Kommunikationssystemen; in: Reuter,A. (Hrsg.): GI - 20. Jahrestagung II, Informatik auf dem Weg zum Anwender, 08.-12.10.1990 in Stuttgart, Proceedings, Informatik-Fachberichte 258, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 57-66.

Kramer (1986)

Kramer,J.; Weber,J.: Planung optimaler Bearbeitungsreihenfolgen mit Hilfe von Prioritätsregeln; in: Das Wirtschaftsstudium, 15. Jg. (1986), S. 132-138.

Krause,F. (1989b)

Krause,F.-L.; Major,F.; Altmann,C.: Technological Planning of Alternative Processes for Flexible Manufacturing Systems; in: Kochan,D.; Olling,G. (Hrsg.): Software for Manufacturing, Proceedings of the Seventh International IFIP/IFAC Conference on Software for Computer Integrated Manufacturing, PROLAMAT'88, 14.-17.06.1988 in Dresden, Amsterdam - New York - Oxford ... 1989, S. 547-556.

Krautwurst (1988)

Krautwurst,J.: Der Fertigungsauftrag als Schnittstelle zwischen PPS und der Qualitätssicherung in der Fertigung; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 469-487.

Kreikebaum (1979)

Kreikebaum,H.: Organisationstypen der Produktion; in: Kern,W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 1392-1402.

Kreimeier (1988)

Kreimeier,D.: Neue Systeme für werkstatorientierte Programmierverfahren; in: Werkstattstechnik, 78. Jg. (1988), S. 393-396.

Krelle (1968)

Krelle,W.: Präferenz- und Entscheidungstheorie, Tübingen 1968.

Kretschmann (1990)

Kretschmann,J.: Die Diffusion des Kritischen Rationalismus in der Betriebswirtschaftslehre, Dissertation (unter dem Titel "Die Rezeption des Kritischen Rationalismus in der Betriebswirtschaftslehre"), Universität Göttingen 1989, Stuttgart 1990.

Krieg,W. (1971)

Krieg,W.: Kybernetische Grundlagen der Unternehmungsgestaltung, Dissertation, Hochschule St. Gallen, Bern - Stuttgart 1971.

Kripke (1959)

Kripke,S.A.: A Completeness Theorem in Modal Logic; in: The Journal of Symbolic Logic, Vol. 24 (1959), S. 1-14.

Kripke (1987)

Kripke, S.A.: Wittgenstein über Regeln und Privatsprache - Eine elementare Darstellung, Frankfurt 1987.

Kropp (1983)

Kropp, D.H.; Carlson, R.C.; Beckman, S.L.: A Note on Stopping Rules for Rolling Production Scheduling; in: Journal of Operations Research, Vol. 3 (1982/83), No. 3, S. 113-119.

Krüger, W. (1979)

Krüger, W.: Zur methodischen und inhaltlichen Problematik der Analyse von Zielbildungsprämissen; in: Dlugos, G. (Hrsg.): Unternehmungsbezogene Konfliktforschung - Methodologische und forschungsprogrammatische Grundfragen, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V./ Bericht über die Tagung in Berlin, April 1978, Stuttgart 1979, S. 377-395.

Kruschwitz (1990)

Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, 4. Aufl., Berlin - New York 1990.

Krycha (1972)

Krycha, K.-T.: Methoden der Ablaufplanung, Frankfurt - Zürich 1972.

Krycha (1978)

Krycha, K.-T.: Produktionswirtschaft, Bielefeld - Köln 1978.

Kubicek (1975)

Kubicek, H.: Empirische Organisationsforschung- Konzeption und Methodik, Stuttgart 1975.

Kubicek (1977)

Kubicek, H.: Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung; in: Köhler, R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977, S. 3-36.

Küpper, H. (1979)

Küpper, H.-U.: Produktionstypen; in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 1636-1647.

Küpper, H. (1981)

Küpper, H.-U.: Ablauforganisation, Stuttgart - New York 1981.

Küpper, H. (1988)

Küpper, H.-U.: Inverstitutionstheoretische versus kontrolltheoretische Abschreibung: Alternative oder gleichartige Konzepte einer entscheidungsorientierten Kostenrechnung?; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 58. Jg. (1988), S. 397-415.

Küpper, H. (1989a)

Küpper, H.-U.: Gegenstand und Ansätze einer dynamischen Theorie der Kostenrechnung; in: Hax, H.; Kern, W.; Schröder, H.-H. (Hrsg.): Zeitaspekte betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis, 50. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 24.-28.05.1988 in Köln, Stuttgart 1989, S. 43-59.

Küpper, We. (1984)

Küpper, We.: Zinssätze für Kalkulationen bei Geldwertänderungen - Die Bemessung kalkulatorischer Zinssätze bei Preiskalkulationen aufgrund von Selbstkosten unter Berücksichtigung von Geldwertänderungen, Dissertation, Universität Köln, Thun - Frankfurt 1984.

Küttner (1983)

Küttner, M.: Kritik der Theorienkonzeption von Sneed und Stegmüller und ein alternativer Ansatz; in: Fischer-Winkelmann, W.F. (Hrsg.): Paradigmawechsel in der Betriebswirtschaftslehre, Spardorf 1983, S. 348-362.

Kuhlmann (1981)

Kuhlmann, W.: Reflexive Letztbegründung - Zur These von der Unhintergebarkeit der Argumentationssituation; in: Zeitschrift für philosophische Forschung, Bd. 35. (1981), S. 3-26.

Kuhlmann (1985a)

Kuhlmann, W.: Reflexive Letztbegründung - Untersuchungen zur Transzendentalpragmatik, Habilitationsschrift, Universität Frankfurt 1983, Freiburg - München 1985.

Kuhlmann (1989)

Kuhlmann,W.: Ethik der Kommunikation - Lassen sich ethische Normen rational Begründen?, Vortrag, gehalten am 07.12.1989 an der Universität Erlangen-Nürnberg, erschienen als: Diskussionsbeiträge, Heft 57, Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Unternehmensführung, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg o.J. (1989).

Kuhn,A. (1963)

Kuhn,A.: The Study of Society - A Unified Approach, Homewood 1963.

Kuhn,T. (1973a)

Kuhn,T.S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolution, Frankfurt 1973.

Kuhn,T. (1974d)

Kuhn,T.S.: Logic of Discovery or Psychology of Research; in: Schilpp,P.A. (Hrsg.): The Philosophy of Karl Popper, Book II, La Salle 1974, S. 798-819.

Kuhn,T. (1977)

Kuhn,T.: Theory-Change as Structure-Change: Comments on the Sneed Formalism; in: Butts,R.E.; Hintikka,J. (Hrsg.): Historical and Philosophical Dimensions of Logic, Methodology and Philosophy of Science, Part Four of the Proceedings of the Fifth International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, 27.08.-02.09.1975 in London (Ontario), Dordrecht - Boston 1977, S. 289-309.

Kuipers (1975)

Kuipers,B.J.: A Frame for Frames: Representing Knowledge for Recognition; in: Bobrow,D.G.; Collins,A.M. (Hrsg.): Representation and Understanding - Studies in Cognitive Science, New York - San Francisco - London 1975, S. 151-184.

Kupsch (1979)

Kupsch,P.: Unternehmungsziele, Stuttgart - New York 1979.

Kurbel (1988a)

Kurbel,K.; Meynert,J.: Flexibilität in der Fertigungssteuerung durch einen "Elektronischen Leitstand", Arbeitsberichte des Lehrstuhls für Betriebsinformatik, Nr. 14, Universität Dortmund, Dortmund 1988.

Kurbel (1988b)

Kurbel,K.; Meynert,J.: Flexibilität in der Fertigungssteuerung durch Einsatz eines elektronischen Leitstands; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 83. Jg. (1988), S. 581-585.

Kurbel (1989a)

Kurbel,K.: Flexible Konzeptionen für die zeitwirtschaftlichen Funktionen in der Produktionsplanung und -steuerung; in: Hax,H.; Kern,W.; Schröder,H.-H. (Hrsg.): Zeitaspekte betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis, 50. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 24.-28.05.1988 in Köln, Stuttgart 1989, S. 189-202.

Kurbel (1989e)

Kurbel,K.: Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen - Eine anwendungsorientierte Einführung in wissensbasierte Systeme, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989.

Kurbel (1991a)

Kurbel,K.; Eicker,S.; Nietsch,M.; Nietsch,T.; Pietsch,W.; Rautenstrauch,C.: Das technologische Umfeld der Informationsverarbeitung - Ein subjektiver "State of the Art"-Report über Hardware, Software und Paradigmen, Arbeitsbericht Nr. 2, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität Münster, Münster 1991.

Kurras (1984)

Kurras,K.: Arbeitsorientierte Forschung in der Betriebswirtschaftslehre - Eine kritische Analyse methodologischer Grundlagen der neueren Betriebswirtschaftslehre mit einem heuristischen Bezugsrahmen für ein arbeitsorientiertes Forschungsprogramm, Frankfurt - Bern - New York 1984.

Lackes (1989)

Lackes,R.: EDV-orientiertes Kosteninformationssystem - Flexible Plankostenrechnung und neue Technologien, Dissertation, Universität Saarbrücken, Wiesbaden 1989.

Laczkovich (1990)

Laczkovich, R.R.: Expertensysteme zur technischen Fehlerdiagnose - eine betriebswirtschaftlich orientierte Analyse ihrer Leistungs- und Gestaltungspotentiale, Dissertation, Universität Köln 1990, Berlin 1990.

Laird (1983)

Laird, J.E.; Newell, A.: A Universal Weak Method: Summary of Results; in: Bundy, A. (Hrsg.): IJCAI-83, Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 08.-12.08.1983 in Karlsruhe, Los Altos 1983, Vol. 2, S. 771-773.

Lakatos (1974b)

Lakatos, I.: Falsifikation und die Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme; in: Lakatos, I.; Musgrave, A. (Hrsg.): Kritik und Erkenntnisfortschritt, Abhandlungen des Internationalen Kolloquiums über die Philosophie der Wissenschaft, London 1965, Band 4, Braunschweig 1974, S. 89-189.

Lakatos (1974c)

Lakatos, I.: Die Geschichte der Wissenschaft und ihre rationalen Rekonstruktionen; in: Lakatos, I.; Musgrave, A. (Hrsg.): Kritik und Erkenntnisfortschritt, Abhandlungen des Internationalen Kolloquiums über die Philosophie der Wissenschaft, London 1965, Band 4, Braunschweig 1974, S. 271-311. (Auch erschienen in: Diederich, W. (Hrsg.): Theorie-Diskussion: Theorien der Wissenschaftsgeschichte - Beiträge zur diachronen Wissenschaftstheorie, S. 55-119.)

Lakatos (1974d)

Lakatos, I.: The Role of Crucial Experiments in Science; in: Studies in History and Philosophy of Science, Vol. 4 (1973/74), No. 4 (1974), S. 309-325.

Lakatos (1975)

Lakatos, I.: Kritischer Rationalismus und die Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme; in: Weingart, P. (Hrsg.): Wissenschaftsforschung, Frankfurt - New York 1975, S. 91-132.

Lakatos (1982)

Lakatos, I.: Mathematik, empirische Wissenschaft und Erkenntnistheorie, Philosophische Schriften - Band 2, Braunschweig - Wiesbaden 1982.

Lamborghini (1982)

Lamborghini, B.: Die Auswirkungen auf das Unternehmen; in: Friedrichs, G.; Schaff, A. (Hrsg.): Auf Gedeih und Verderb - Mikroelektronik und Gesellschaft, Bericht an den Club of Rome, Wien - München - Zürich 1982, S. 131-167.

Lange, V. (1989)

Lange, V.: Wissenbasierte Konfiguration Flexibler Fertigungssysteme, Dritter Zwischenbericht an die Deutsche Forschungsgemeinschaft zum Forschungsvorhaben TO 56/94-3 im Schwerpunktprogramm "Neue Planungs- und Steuerungsverfahren in indirekten Produktionsbereichen, Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Universität Hannover, Hannover 1989.

Langen (1983)

Langen, H.: Grundlagen einer betriebswirtschaftlichen Dispositions- und Grundrechnung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 53. Jg. (1983), S. 753-773.

Langlotz (1986)

Langlotz, C.P.; Shortliffe, H.; Fagan, L.M.: Using Decision Theory to Justify Heuristics; in: o.V.: Proceedings AAAI-86, Fifth International Conference on Artificial Intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Los Altos 1986, Vol. 1, S. 215-219.

Laßmann (1968)

Laßmann, G.: Die Kosten- und Erlösrechnung als Instrument der Planung und Kontrolle in Industriebetrieben, Düsseldorf 1968.

Laßmann (1969)

Laßmann, G.: Die Kosten- und Erlösrechnung als Grundlage der kurzfristigen Planung in Industriebetrieben; in: Busse von Colbe, W.; Meyer-Dohm, P. (Hrsg.): Unternehmerische Planung und Entscheidung, Bielefeld 1969, S. 113-143.

Laßmann (1973)

Laßmann,G.: Gestaltungsformen der Kosten- und Erlösrechnung im Hinblick auf Planungs- und Kontrollaufgaben; in: Die Wirtschaftsprüfung, 26. Jg. (1973), S. 4-17. (Auch erschienen in: Coenenberg,A.G. (Hrsg.): Unternehmensrechnung - Betriebliche Planungs- und Kontrollrechnungen auf der Basis von Kosten und Leistungen, München 1976, S. 50-71.)

Laßmann (1980a)

Laßmann,G.: Plankostenrechnung auf der Basis von Betriebsmodellen; in: Scheer,A.-W. (Hrsg.): Plankosten- und Deckungsbeitragsrechnung in der Praxis, Anwendungen - offene Probleme - Entwicklungstendenzen, Saarbrücker Arbeitstagung, 07.-08.10.1980 in Saarbrücken, Würzburg - Wien 1980, S. 117-135.

Laßmann (1981)

Laßmann,G.: Einflußgrößenrechnung; in: Kosiol,E.; Chmielewicz,K.; Schweitzer,M. (Hrsg.): Handwörterbuch des Rechnungswesens, 2. Aufl., Stuttgart 1981, Sp. 427-438.

Laßmann (1983)

Laßmann,G.: Betriebsmodelle; in: Chmielewicz,K. (Hrsg.): Entwicklungslinien der Kosten- und Erlösrechnung, Tagung der Kommission Rechnungswesen im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 14.-15.09.1979 in Erfstadt, Stuttgart 1983, S. 87-108.

Laßmann (1989)

Laßmann,G.; Vogt,A.: Periodenbezogene Kosten- und Erlösrechnung; in: Szyperski,N.; Winand, U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 1341-1349.

Lauterbach (1989)

Lauterbach,H.: Moore-Sätze, Regelfolgen und antiskeptische Strategien in Wittgensteins 'Über Gewißheit', ausgearbeitetes Manuskript zum Vortrag "Moore-Sätze und Regelfolgen in 'Über Gewißheit'", gehalten am 16.08.1989 anlässlich: 14. Internationales Wittgenstein-Symposium, 13.-20.08.1989 in Kirchberg. (Erscheint in: Theologie und Philosophie, o.Jg. (1990).)

Lauth (1988)

Lauth,B.: T-Theoretizität und Theorien-Netze im strukturalistischen Theorienkonzept, Paper, präsentiert anlässlich: Dreizehntes Internationales Wittgenstein Symposium, 14.-21.08.1988 in Kirchberg, München 1988.

Laux (1969)

Laux,H.: Flexible Planung des Kapitalbudgets mit Hilfe der linearen Programmierung; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 21. Jg. (1969), S. 728-742.

Laux (1971)

Laux,H.: Flexible Investitionsplanung - Einführung in die Theorie der sequentiellen Entscheidungen bei Unsicherheit, Habilitationsschrift, Universität des Saarlandes 1971, Opladen 1971.

Laux (1982)

Laux,H.: Entscheidungstheorie II - Erweiterung und Vertiefung, Berlin - Heidelberg - New York 1982.

Laux (1990a)

Laux,H.: Risiko, Anreiz und Kontrolle - Principal-Agent-Theorie - Einführung und Verbindung mit dem Delegationswert-Konzept, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Laux (1990b)

Laux,H.; Liermann,F.: Grundlagen der Organisation - Die Steuerung von Entscheidungen als Grundproblem der Betriebswirtschaftslehre, 2. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Laux (1991)

Laux,H.: Entscheidungstheorie I - Grundlagen, 2. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1991.

Lee,R. (1983)

Lee,R.M.: Epistemological Aspects of Knowledge-Based Decision Support Systems; in: Sol.,H.G. (Hrsg.): Processes and Tools for Decision Support, Proceedings of the Joint IFIP WG 8.3 / IASA Working Conference on Processes and Tools for Decision Support, 19.-21.07.1982 in Laxenburg, Amsterdam - New York - Oxford 1983, S. 25-36. (Anmk. des Verf.: Druckfehler in "Support"; gemeint ist wohl: "Support".)

Lee,R. (1988a)

Lee,R.M.: Logic, Semantics and Data Base Modeling: An Ontology; in: Meersman,R.A.; Sernadas,A.C. (Hrsg.): Data and Knowledge (DS-2), Proceedings of the Second IFIP 2.6 Working Conference on Database Semantics, 'Data and Knowledge' (DS-2), 03.-07.11.1986 in Albufeira, Amsterdam - New York - Oxford ... 1988, S. 221-243.

Lee,S. (1988)

Lee,S.; Shin,Y.G.: Automatic Construction of Assembly Partial-Order Graphs; in: o.V.: 1988 International Conference on Computer Integrated Manufacturing, 23.-25.05.1988 in Troy, Washington 1988, S. 383-392.

Lee,Y. (1990)

Lee,Y.R.; Shi,Y.; Yu,P.L.: Linear Optimal Designs and Optimal Contingency Plans; in: Management Science, Vol. 36 (1990), S. 1106-1119.

Lehmann,H. (1976a)

Lehmann,H.; Fuchs,H.: Probleme einer systemtheoretisch-kybernetischen Untersuchung betrieblicher Systeme; in: Grochla,E. (Hrsg.): Organisationstheorie, 2. Teilband, Stuttgart 1976, S. 567-586.

Leikauf (1989)

Leikauf,P.: Konsistenzsicherung durch Verwaltung von Konsistenzverletzungen; in: Härder,T. (Hrsg.): Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft, GI/SI-Fachtagung, 01.-03.03.1989 in Zürich, Proceedings, Informatik-Fachberichte 204, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 135-153.

Leisten (1989)

Leisten,R.: Flowshop Sequencing Problems with Limited Buffer Storage, Diskussionsschriften Nr. 142, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Universität Heidelberg, Heidelberg 1989.

Leitherer (1965)

Leitherer,E.: Die typologische Methode in der Betriebswirtschaftslehre - Versuch einer Übersicht; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 17. Jg. (1965), S. 650-662.

Leiviska (1982)

Leiviska,K.; Uronen,P.; Komokallio,H.; Aurasmaa,H.: Heuristic algorithm for production control of an integrated pulp and paper mill; in: Large Scale Systems, Vol. 3 (1982), No. 1, S. 13-25.

Lenat (1984)

Lenat,D.B.: Software für Künstliche Intelligenz; in: Spektrum der Wissenschaft, o.Jg. (1984), Heft 11, S. 178-189.

Lenk (1973)

Lenk,H.: Metalogik und Sprachanalyse - Studien zur analytischen Philosophie, Freiburg 1973.

Lenz,H. (1991)

Lenz,H.: Moralische Normen und Opportunismus in der neueren Theorie der Unternehmung; in: Schauenberg,B. (Hrsg.): Wirtschaftsethik - Schnittstellen von Ökonomie und Wissenschaftstheorie, Tagung der Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 05.-06.10.1989 in Berlin, Wiesbaden 1991, S. 13-35.

Lesser (1977)

Lesser,V.R.; Erman,L.D.: A Retrospective View of the HEARSAY-II Architecture; in: o.V.: 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-77, Proceedings of the Conference, 22.-25.08.1977 in Cambridge (Massachusetts), o.O. (Pittsburgh) 1977, Vol. 2, S. 790-800.

Lesser (1979a)

Lesser,V.R.; Corkill,D.D.: The Applications of Artificial Intelligence Techniques to Cooperative Distributed Processing; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 1, S. 537-540.

Lesser (1981)

Lesser,V.R.; Corkill,D.D.: Functionally Accurate, Cooperative Distributed Systems; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 81-96.

Levi, G. (1986)

Levi, G.: Logic Programming: The Foundations, the Approach and the Role of Concurrency; in: de Bakker, J.W.; de Roever, W.-P.; Rozenberg, G. (Hrsg.): Current Trends in Concurrency - Overviews and Tutorials, Lecture Notes in Computer Science 224, Berlin - Heidelberg - New York ... 1986, S. 396-441.

Lewis, W. (1987)

Lewis, W.; Barash, M.M.; Solberg, J.J.: Computer Integrated Manufacturing System Control: A Data Flow Approach; in: Journal of Manufacturing Systems, Vol. 6 (1987), S. 177-191.

Lichter (1978)

Lichter, H.: Einführung von Produktionsplanungs- und Produktionssteuerungssystemen in einem Maschinenbauunternehmen; in: Ellinger, T.; Wildemann, H. (Hrsg.): Praktische Fälle zur Produktionssteuerung, Wiesbaden 1978, S. 285-303.

Lieberman, A. (1980)

Lieberman, A.Z.: Mechanized Analysis of Entity-Relationship Design Databases; in: Chen, P.P. (Hrsg.): Entity-Relationship Approach to Systems Analysis and Design, Proceedings of the International Conference on Entity-Relationship Approach to Systems Analysis and Design, 10.-12.12.1979 in Los Angeles, Amsterdam - New York - Oxford 1980, S. 641-652.

Lindblom (1959)

Lindblom, C.E.: The Science of "Muddling Through"; in: Public Administration Review, Vol. 19 (1959), S. 79-88.

Lindblom (1965)

Lindblom, C.E.: The Intelligence of Democracy - Decision Making Through Mutual Adjustment, New York - London 1965.

Lindblom (1976)

Lindblom, C.E.: Die Wissenschaft vom "Durchwursteln"; in: Grochla, E. (Hrsg.): Organisations-
theorie, 2. Teilband, Stuttgart 1976, S. 373-388.

Lindgreen (1987)

Lindgreen, P.: Entities from a Systems Point of View; in: Spaccapietra, S. (Hrsg.): Entity-Relationship Approach: Ten Years of Experience in Information Modeling, Proceedings of the Fifth International Conference on Entity-Relationship Approach, 17.-19.11.1986 in Dijon, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987, S. 119-131.

Lipeck (1989)

Lipeck, U.W.: Dynamische Integrität von Datenbanken - Grundlagen der Spezifikation und Überwachung, Informatik-Fachberichte 209, Berlin - Heidelberg - New York 1989.

Lipp (1991)

Lipp, H.-P.: Einsatz von zeitbewerteten Fuzzy-Petri-Netzen in Expertensystemen zur operativen Führung komplexer Produktionssysteme; in: Hommel, G. (Hrsg.): Prozeßrechnungssysteme'91 - Automatisierungs- und Leitsysteme in den neunziger Jahren, 25.-27.02.1991 in Berlin, Proceedings, Informatik-Fachberichte 269, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 103-112.

Little, J. (1970)

Little, J.D.C.: Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus; in: Management Science, Vol. 16 (1970), S. B-466 - B-485.

Lloyd (1989)

Lloyd, J.W.: Logic as a Foundation for Deductive Database Systems; in: Ritter, G.X. (Hrsg.): Information Processing 89, Proceedings of the IFIP 11th World Computer Congress, 28.08.-01.09.1989 in San Francisco, Amsterdam - New York - Oxford ... 1989, S. 323-324.

Lockemann (1975)

Lockemann, P.C.: Information Systems: A Survey by Examples; in: Mühlbacher, J. (Hrsg.): GI - 5. Jahrestagung, 8.-10.10.1975 in Dortmund, Lecture Notes in Computer Science 34, Berlin - Heidelberg - New York 1975, S. 3-34.

Lodwick (1989)

Lodwick, W.: Constraint Propagation, Relational Arithmetic in AI Systems and Mathematical Programs; in: Glover, F.; Greenberg, H.J. (Hrsg.): Linkages with Artificial Intelligence, zugleich: Annals of Operations Research, Vol. 21 (1989), Basel 1989, S. 143-148.

Loef (1989)

Loef, H.-E.; Ziemes, G.: Zeitinkonsistenz; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 18. Jg. (1989), S. 446-451.

Loitlsberger (1971)

Loitlsberger, E.: Metaökonomische Wertvorstellungen und Rechtsordnungen als Determinanten betriebswirtschaftlicher Theorie; in: von Kortzfleisch, G. (Hrsg.): Wissenschaftsprogramm und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung, 2.-5.06.1971 in St. Gallen, Berlin 1971, S. 79-99.

Lonchamp (1984)

Lonchamp, J.; Dufourd, J.-F.; Crehange, M.: Abstraction Tools for the Logical Specification of an Information System for a Flexible Workshop; in: Doumeingts, G.; Carter, W.A. (Hrsg.): Advances in Production Management Systems - Production Management Systems in the Eighties, Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on Advances in Production Management Systems - APMS'82", 24.-27.08.1982 in Bordeaux, Amsterdam - New York - Oxford 1984, S. 419-427.

Loos, U. (1989)

Loos, U.: Wirtschaftliche Auswirkungen der Fertigungssegmentierung; in: Wildemann, H.; Westkämper, E. (Hrsg.): Fabrikstrukturierung Europa'92, Tagungsbericht, 16.-17.11.1989 in Frankfurt, München 1989, S. 203-222.

Loparic (1988)

Loparic, Z.: System-Problems in Kant; in: Synthese, Vol. 74 (1988), S. 107-140.

Lorch (1990)

Lorch, A.; Borkowski, V.: RATOUREX - Expertensystem zur Steuerung des Werksfernverkehrs, Teil 1: Gesamtkonzept und Aufgabenbereich "Disposition", Arbeitspapier Nr. 3/1990, Abteilung Wirtschaftsinformatik, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg 1990.

Lorenz, Ku. (1984)

Lorenz, Ku.: intensional/Intension; in: Mittelstraß, J. (Hrsg.): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, Band 2: H-O, Mannheim - Wien - Zürich 1984, S. 256-257.

Lorenzen, P. (1955)

Lorenzen, P.: Einführung in die operative Logik und Mathematik, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1955.

Lorenzen, P. (1962)

Lorenzen, P.: Metamathematik, Mannheim 1962.

Lorenzen, P. (1987)

Lorenzen, P.: Lehrbuch der konstruktiven Wissenschaftstheorie, Mannheim - Wien - Zürich 1987.

Lücke (1990)

Lücke, W.: Arbeitsleistung, Arbeitsbewertung, Arbeitsentlohnung; in: Jacob, H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre - Handbuch für Studium und Prüfung, 4. Aufl., Wiesbaden 1990, S. 177-317.

Lüder (1990)

Lüder, K.: Standortwahl - Verfahren zur Planung betrieblicher und innerbetrieblicher Standorte; in: Jacob, H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre, 4. Aufl., Wiesbaden 1990, S. 25-100.

Luft (1989)

Luft, A.L.: Informatik als Technikwissenschaft - Thesen zur Informatik-Entwicklung; in: Informatik-Spektrum, Bd. 12 (1989), S. 267-273.

Luhmann (1968)

Luhmann, N.: Zweckbegriff und Systemrationalität - Über die Funktion von Zwecken in sozialen Systemen, Tübingen (1968).

Luhmann (1980)

Luhmann, N.: Komplexität; in: Grochla, E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation, 2. Aufl., Stuttgart 1980, Sp. 1064-1070.

Luhmann (1988)

Luhmann, N.: Soziale Systeme - Grundriß einer allgemeinen Theorie, 2. Aufl., Frankfurt 1988.

Lusti (1990)

Lusti,M.: Wissensbasierte Systeme - Algorithmen, Datenstrukturen und Werkzeuge, Mannheim - Wien - Zürich 1990.

Lutz,B. (1982)

Lutz,B.: Personalstrukturen bei automatisierter Fertigung; in: Lutz,B.; Schutz-Wild,R. (Hrsg.): Flexible Fertigungssysteme und Personalwirtschaft - Erfahrungen aus Frankreich, Japan, USA und der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt - New York 1982, S. 85-101.

Lux (1991)

Lux,T.: Tatonnement-Prozeß und Cobweb-Theorem; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 20. Jg. (1991), S. 245-248.

Luxemburg (1973)

Luxemburg,W.A.J.: What is Nonstandard Analysis?; in: The American Mathematical Monthly, Vol. 80 (1973), Papers in the Foundation of Mathematica, published as a supplement to the American Mathematical Monthly, S. 38-67.

Mädler (1990)

Mädler,F.; Gust,H.: Über ein Meta-Prinzip zur Explikation von Kontrollwissen; in: Marburger,H. (Hrsg.): GWAI-90, 14th german Workshop on Artificial Intelligence, 10.-14.09.1990 in Eringerfeld, Proceedings, Informatik-Fachberichte 251, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 85-94.

Männel (1967)

Männel,W.: Kann die Vollkostenrechnung durch den Ausweis "gesonderter Fixkostenbeiträge" gerettet werden?; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 37. Jg. (1967), S. 759-782.

Männel (1983a)

Männel,W.: Die Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung - ein Konzept zur Abbildung der Realität durch das Rechnungswesen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 53. Jg. (1983), S. 1187-1196.

Männel (1983b)

Männel,W.: Kostenrechnung 2 - Moderne Verfahren und Systeme, 3. Aufl., Wiesbaden 1983.

Männel (1983c)

Männel,W.: Grundkonzeption einer entscheidungsorientierten Erlösrechnung; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1983), Heft 2, S. 55-70.

Männel (1990)

Männel,W.: Kostenrechnung für anlagenintensive Produktionsstrukturen; in: Kostenrechnungspraxis, 34 Jg. (1990), Heft 2, S. 134-135.

Mag (1988)

Mag,W.: Was ist ökonomisches Denken?; in: Die Betriebswirtschaft, 48. Jg. (1988), S. 761-776.

Mai (1988)

Mai,M.: Neue Technologien und Strukturwandel der Gewerkschaften - Im Wettlauf mit dem Beschäftigungswandel - Die Gewerkschaften nehmen sich der Angestellten an; in: VDI nachrichten, 42. Jg. (1988), Nr. 32, S. 8.

Maier,N. (1970)

Maier,N.R.F.: Problem Solving and Creativity - In Individuals and Groups, Belmont 1970.

Maier,U. (1980)

Maier,U.: Arbeitsgangterminierung mit variabel strukturierten Arbeitsplänen - Ein Beitrag zur Fertigungssteuerung flexibler Fertigungssysteme, Berlin - Heidelberg - New York 1980.

Maier-Rothe (1985)

Maier-Rothe,C.: Wettbewerbsvorteile durch höhere Produktivität und Flexibilität - Strategien für Computer-Integrated Manufacturing; in: Arthur D. Little International (Hrsg.): Management im Zeitalter der strategischen Führung, Wiesbaden 1985, S. 123-161.

Maier-Scheubeck (1991)

Maier-Scheubeck,N.: Prozeßkostenrechnung - Im Westen nichts Neues; in: Die Betriebswirtschaft, 51. Jg. (1991), S. 543-547.

Mainzer (1980a)

Mainzer, K.: Extensionalitätsthese; in: Mittelstraß, J. (Hrsg.): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, Band 1: A-G, Mannheim - Wien - Zürich 1980, S. 627-628.

Mainzer (1980b)

Mainzer, K.: Pragmatische Grundlagen mathematischen Argumentierens; in: Gethmann, C.F. (Hrsg.): Theorie des wissenschaftlichen Argumentierens, Frankfurt 1980, S. 292-312.

Malek (1988)

Malek, M.: KANBAN-gesteuerte Fertigung - Simulative Analyse und Strukturierung eines mehrstufigen Produktionssystems, Dissertation, Universität Paderborn 1987, Frankfurt - Bern - New York - Paris 1988.

Malik (1986)

Malik, F.F.: Strategie des Managements komplexer Systeme - Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme, 2. Aufl., Bern - Stuttgart 1986.

Maluche (1989)

Maluche, C.: Segmentierung und flexible Automatisierung in einem Maschinenbauunternehmen; in: Wildemann, H. (Hrsg.): Einführungsstrategien für neue Technologien, Tagungsband Teil 1, 3. Fertigungswirtschaftliches Kolloquium, 01.-03.03.1989 in Passau, München 1989, S. 361-385.

Manna (1979)

Manna, Z.: The Modal Logic of Programs; in: Maurer, H.A. (Hrsg.): Automata, Languages and Programming, Sixth Colloquium, 16.-20.07.1979 in Graz, Lecture Notes in Computer Science 71, Berlin - Heidelberg - New York 1979, S. 385-409.

Manthey (1991)

Manthey, R.: Integrity and recursion: two key issues for deductive databases; in: Karagiannis, D. (Hrsg.): Information Systems and Artificial Intelligence: Integration Aspects, First Workshop, 19.-21.03.1990 in Ulm, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 474, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 104-126.

March (1990a)

March, J.G.; Shapira, Z.: Risiko und Risikoübernahme aus Sicht des Managements; in: March, J.G. (Hrsg.): Entscheidung und Organisation - Kritische und konstruktive Beiträge, Entwicklungen und Perspektiven, Wiesbaden 1990, S. 89-112.

March (1990b)

March, J.G.: Beschränkte Rationalität, Ungewißheit und die Technik der Auswahl; in: March, J.G. (Hrsg.): Entscheidung und Organisation - Kritische und konstruktive Beiträge, Entwicklungen und Perspektiven, Wiesbaden 1990, S. 297-328.

Martens (1986)

Martens, B.: Reproduzierbarkeit von Ergebnissen vs. heuristischer Gehalt wissenschaftlicher Konzepte - Ein Fallbeispiel aus der Ökologie und allgemeinen Systemtheorie; in: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Bd. 17 (1986), S. 256-264.

Martin, A. (1989)

Martin, A.: Die empirische Forschung in der Betriebswirtschaftslehre - Eine Untersuchung über die Logik der Hypothesenprüfung, die empirische Forschungspraxis und die Möglichkeit einer theoretischen Fundierung realwissenschaftlicher Untersuchungen, Habilitationsschrift, Universität Paderborn 1987, Stuttgart 1989.

Martin, R.K. (1990)

Martin, R.K.; Rardin, R.L.; Campbell, B.A.: Polyhedral Characterization of Discrete Dynamic Programming; in: Operations Research, Vol. 38 (1990), S. 127-138.

Maruyama (1968)

Maruyama, M.: The Second Cybernetics: Deviation-Amplifying Mutual Causal Processes; in: Buckley, W. (Hrsg.): Modern Systems Research for the Behavioral Scientist, Chicago 1968, S. 304-313.

Maser (1990)

Maser, H.: Portalroboter / Automatisieren von Fertigungs- und Montagelinien - Bereichsübergreifende Verkettung möglich - Bindeglied für den betrieblichen Materialfluß; in: Handelsblatt, Ausgabe vom 31.10.1990 (Nr. 211), S. B5.

Mason,R. (1981)

Mason,R.O.; Mitroff,I.I.: Challenging Strategic Planning Assumptions - Theory, Cases, and Techniques, New York - Chichester - Brisbane - Toronto 1981.

Mattern (1989a)

Mattern,F.; Mehl,H.: Diskrete Simulation - Prinzipien und Probleme der Effizienzsteigerung durch Parallelisierung; in: Informatik-Spektrum, Bd. 12 (1989), S. 198-210.

Mattessich (1979)

Mattessich,R.: Konfliktresolution in der Wissenschaft - Zur Anwendung der Methode von Thomas Kuhn, Sneed und Stegmüller in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften; in: Dlugos,G. (Hrsg.): Unternehmungsbezogene Konfliktforschung - Methodologische und forschungsprogrammatische Grundfragen, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V./ Bericht über die Tagung in Berlin, April 1978, Stuttgart 1979, S. 253-272.

Matthes,W. (1972)

Matthes,W.: Grundmodell der Prozeßstruktur der Unternehmung, Berlin 1972.

Matthes,W. (1986a)

Matthes,W.: Zur Beurteilung von Prioritätsregeln zur heuristischen Terminplanung komplexer Produktionsprozesse mithilfe eines lernenden Expertensystems - Eine Einführung in das Forschungsprojekt PUST.; in: Matthes,W.; Weisse,D.: Analyse von Ablaufprioritätsregeln mit Hilfe der Mustererkennungstheorie, Arbeitsbericht Nr. 70, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln 1986, S. I-XXI.

Matthes,W. (1986c)

Matthes,W.: Ein lernendes Expertensystem in der Ablaufplanung - Problematik und Konzeption der Entwicklung einer Wissensbasis, Arbeitsbericht Nr. 78, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln 1986.

Matthes,W. (1988a)

Matthes,W.: Ein lernendes Expertensystem in der Ablaufplanung - Problematik und Konzeption der Entwicklung einer Wissensbasis; in: Wolff,M.R. (Hrsg.): Entscheidungsunterstützende Systeme im Unternehmen, Wirtschafts-Informatik-Symposium der IBM Deutschland GmbH, 26.-28.11.1986 in Bad Neuenahr, München - Wien 1988, S. 73-121. (Anmk. des Verf.: identisch mit Matthes (1986c).)

Matthes,W. (1988b)

Matthes,W.: private Korrespondenz mit dem Verf., Schreiben vom September 1988.

May,E. (1992)

May,E.: Dynamische Produktionstheorie auf der Basis der Aktivitätsanalyse, Dissertation, Fernuniversität Hagen 1991, Heidelberg 1992.

Mayer,R. (1990b)

Mayer,R.: Prozeßkostenrechnung; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1990), S. 307-312.

Mayntz (1975)

Mayntz,R.: Conceptual Models of Organizational Decision-Making and their Application to the Policy Process; in: Hofstede,G.; Kassem,S.M. (Hrsg.): European Contributions to Organization Theory, Assen 1975, S. 114-125.

Mazanec (1975)

Mazanec,J.: Das Konzept des "Decision Calculus" _ Fortschrittsfähiger Ansatz der Modellkonstruktion oder Immunisierungsstrategie; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 4. Jg. (1975), S. 317-324.

McArthur (1982)

McArthur,D.; Steeb,R.; Cammarata,S.: A Framework for Distributed Problem Solving; in: o.V.: Proceedings of the Second Annual National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-82, 18.-20.08.1982 in Pittsburgh, Menlo Park 1982, S. 181-184.

McCarthy,J. (1968)

McCarthy,J.: Programs with Common Sense; in: Minsky,M.L. (Hrsg.): Semantic Information Processing, Cambridge (Massachusetts) - London 1968, S. 403-418.

McDermott (1982a)

McDermott,D.: A Temporal Logic for Reasoning About Processes and Plans; in: Cognitive Science, Vol. 6 (1982), S. 101-155.

McDowell (1984)

McDowell,J.: Wittgenstein on Following a Rule; in: Synthese, Vol. 58 (1984), S. 325-363.

McLean (1987)

McLean,C.R.; Brown,P.F.: The Automated Manufacturing Research Facility at the National Bureau of Standards; in: Yoshikawa,H.; Burbidge,J.L. (Hrsg.): New Technologies for Production Management Systems, Proceedings of the IFIP TC 5/WG 5./ Working Conference on New Technologies for Production Management Systems, 01.-03.10.1986 in Tokyo, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987, S. 177-199.

Meffert (1969)

Meffert,H.: Zum Problem der betriebswirtschaftlichen Flexibilität; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 39. Jg. (1969), S. 779-800.

Meffert (1985)

Meffert,H.: Größere Flexibilität als Unternehmungskonzept; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 37. Jg. (1985), S. 121-137.

Meißner (1978)

Meißner,J.-D.: Heuristische Programmierung, Wiesbaden 1978.

Meldman (1971)

Meldman,J.A.; Holt,A.W.: Petri Nets and Legal Systems; in: Jurimetrics Journal, Vol. 12 (1971), S. 65-75.

Meldman (1977)

Meldman,J.A.: A New Technique for Modeling the Behavior of Man-Machine Information Systems; in: Sloan Management Review; vol. 18 (1977), No. 3, S. 29-46.

Mellerowicz (1973a)

Mellerowicz,K.: Kosten und Kostenrechnung, Bd. I: Theorie der Kosten, 5. Aufl., Berlin - New York 1973.

Mellwig (1972)

Mellwig,W.: Anpassungsfähigkeit und Ungewißheitstheorie - Zur Berücksichtigung der Elastizität des Handelns in der UnternehmenstheorieDissertation, Universität Münster 1970/71, Tübingen 1972.

Mendelson (1964)

Mendelson,E.: Introduction to Mathematical Logic, New York - Cincinnati - Toronto ... 1964.

Menges (1983)

Menges,G.: Unschärfe Konzepte im Operations Research; in: Loeffel,H.; Stähly,P. (Hrsg.): Methods of Operations Research 45, VII. Symposium on Operations Research, 19-21.08.1982 in Sankt Gallen, Tagungsberichte der Sektionen 4-9 (Bd. II), Königstein 1983, S. 353-379.

Menrad (1965)

Menrad,S.: Der Kostenbegriff - Eine Untersuchung über den Gegenstand der Kostenrechnung, Habilitationsschrift, Universität Tübingen, Berlin 1965.

Merkel,P. (1991a)

Merkel,P.: Eine unbemannte Schicht in der Fertigungszelle - Günstiger als Zulieferer; in: Industrie-Anzeiger, 113. Jg. (1991), Nr. 43, S. 27-29.

Merlin,P. (1976a)

Merlin,P.M.: A Methodology for the Design and Implementation of Communication Protocols; in: IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-24 (1976), S. 614-621.

Mertens (1968)

Mertens,P.: Zum Stand der Echtzeit-Fertigungssteuerung; in: Bussmann,K.F.; Mertens,P. (Hrsg.): Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung, Stuttgart 1968, S. 285-289.

Mertens (1979)

Mertens,P.: Automatisierte Produktionsdatenverarbeitung; in: Kern,W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 248-267.

Mertens (1985b)

Mertens,P.: Was können Expertensysteme?; in: manager magazin, 15. Jg. (1985), Heft 7, S. 132-135.

Mertens (1986b)

Mertens,P.; Allgeyer,K.; Däs,H.: Betriebliche Expertensysteme in deutschsprachigen Ländern; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 56 Jg. (1986), S. 905-940.

Mertens (1988a)

Mertens,P.: Industrielle Datenverarbeitung, Band 1: Administrations- und Dispositionsebene, 7. Aufl., Wiesbaden 1988.

Mertens (1988b)

Mertens,P.; Griese,J.: Industrielle Datenverarbeitung, Band 2: Informations-, Planungs- und Kontrollsysteme, 5. Aufl., Wiesbaden 1988. (Anmk. des Verf.: Ausführungen gehen partiell über die 6. Aufl. - Mertens (1991a) - hinaus.)

Mertens (1988c)

Mertens,P.; Haun,P.: Daten- und methodenbankorientiertes Rechnungswesen - eine 3. Generation der Computerunterstützung? Erfahrungen mit einem Laborsystem an der Universität Erlangen-Nürnberg; in: Lücke,W. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Steuerungs- und Kontrollprobleme, Wissenschaftliche Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. an der Universität Göttingen 1987, Wiesbaden 1988, S. 211-230.

Mertens (1988d)

Mertens,P.: Expertensysteme in der Produktion - Eine Bestandsaufnahme, Arbeitspapiere der Informatik-Forschungsgruppe VIII, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen 1988.

Mertens (1988e)

Mertens,P.; Helmer,J.; Rose,H.; Wedel,T.: Ein Ansatz zu kooperierenden Expertensystemen bei der PPS, Skript, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg o.J. (1988).

Mertens (1988g)

Mertens,P.: Wissensbasierte Systeme im Produktionsbereich: Bestandsaufnahme; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 7-38.

Mertens (1989c)

Mertens,P.; Hildebrand,R.J.N.; Kotschenreuther,W.: Verteiltes wissensbasiertes Problemlösen im Fertigungsbereich; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 839-854.

Mertens (1989d)

Mertens,P.; Hildebrand,R.J.N.; Kotschenreuther,W.: Verteiltes wissensbasiertes Problemlösen im Fertigungsbereich, Manuskript, Informatik-Forschungsgruppe VIII, Universität Erlangen-Nürnberg, o.O. (Erlangen) o.J. (1989).

Mertens (1990b)

Mertens,P.; Borkowski,V.; Geis,W.: Betriebliche Expertensystem-Anwendungen, 2. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Mertens (1991a)

Mertens,P.; Griese,J.: Integrierte Informationsverarbeitung 2 - Planungs- und Kontrollsysteme in der Industrie, 6. Aufl., Wiesbaden 1991.

Mertins (1981)

Mertins,K.: Entwicklungsstand flexibler Fertigungssysteme in den USA; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 76. Jg. (1981), S. 81-85.

Mertins (1983)

Mertins,K.: Flexible Fertigungszellen zur Automatisierung der Teilefertigung - Bericht von der 5. EMO in Paris; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 78. Jg. (1983), S. 428-431.

Mertins (1985a)

Mertins,K.: Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme, München - Wien 1985.

Mertins (1985b)

Mertins,K.: Entwicklungsstand flexibler Fertigungssysteme - Linien-, Netz- und Zellenstrukturen; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 80. Jg. (1985), S. 249-264.

Mertins (1991)

Mertins,K.; Ludewig,T.: Leitsystem für die automatisierte Leiterplattenbestückung; in: Pritschow,G.; Spur,G.; Weck,M. (Hrsg.): Leit- und Steuerungstechniken in flexiblen Produktionsanlagen, München - Wien 1991, S. 53-76.

Meschkowski (1967)

Meschkowski,H.: Probleme des Unendlichen - Werk und Leben Georg Cantors, Braunschweig 1967.

Meseguer,P. (1989)

Meseguer,P.: Constraint Satisfaction Problems: An Overview; in: AI Communications, Vol. 2 (1989), No. 1, S. 3-17.

Metzing (1980)

Metzing,D. (Hrsg.): Frame Conception and Text Understanding, Berlin 1980.

Meyer,J.J. (1989)

Meyer,J.-J.; Weigand,H.; Wieringa,R.: A Specification Language for Static, Dynamic and Deontic Integrity Constraints; in: Demetrovics,J.; Thalheim,B. (Hrsg.): 2nd Symposium on Mathematical Fundamentals of Database Systems, 26.-30.06.1989 in Visegrad, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 364, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 343-366.

Meyer,Wi. (1973b)

Meyer,Wi.: Falsifikationslehre und ökonomische Theorie: Anwendungsprobleme des kritischen Rationalismus; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 2. Jg. (1973), S. 501-506. (Auch erschienen in: Raffee,H.; Abel,B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979, S. 44-59.)

Meyer,Wo. (1987)

Meyer,Wo.: ESPRIT 932: Knowledge Based Real-Time Supervision in Computer Integrated Manufacturing; in: Brauer,W.; Wahlster,W. (Hrsg.): Wissensbasierte Systeme, 2. Internationaler GI-Kongreß, Proceedings, 20.-21.10.1987 in München, Informatik-Fachberichte 155, S. 401-412.

Meyer,Wo. (1988a)

Meyer,Wo.: Wissensbasierter Workcell-Controller als CIM-Baustein; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 489-502.

Meyer zu Selhausen (1980a)

Meyer zu Selhausen,H.: Wege zu einer verhaltensorientierten Methodik der Modellbildung und Modell-Implementierung, Teil I: Szenario-bezogenes Management der OR-Aktivität; in: IHS-Journal, Vol. 4 (1980), S. 37-64.

Meyer zu Selhausen (1980b)

Meyer zu Selhausen,H.: Wege zu einer verhaltensorientierten Methodik der Modellbildung und Modell-Implementierung, Teil II: Der szenario-bezogene OR-Prozeß; in: IHS-Journal, Vol. 4 (1980), S. 131-145.

Meyer zu Selhausen (1989)

Meyer zu Selhausen,H.: Inkrementale Planung; in: Szyperski,N.; Winand,U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 746-753.

Michaelsen (1984)

Michaelsen,R.H.: An expert system for federal tax planning; in: Expert Systems, Vol. 1 (1984), No. 2, S. 149-167.

Miller,D. (1988)

Miller,D.P.: A Task and Resource Scheduling System for Automated Planning; in: Annals of Operations Research, Vol. 12 (1988), S. 169-198.

Miller,J. (1985)

Miller,J.G.; Vollmann,T.E.: The hidden factory; in: Harvard Business Review, Vol. 63 (1985), No. September/October, S. 142-150.

Miller, J. (1986)

Miller, J.G.; Vollmann, T.E.: Die verborgene Fabrik; in: Harvard Manager, 8. Jg. (1986), Nr. 1, S. 84-89. (Anmk. des Verf.: Übersetzung von Miller, J. (1985).)

Miller, R.K. (1984)

Miller, R.K.: Artificial Intelligence: A New Tool for Industry and Business, Volume I: Technology and Applications, Fort Lee 1984.

Milling (1981)

Milling, P.: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, Berlin 1981.

Minsky (1963)

Minsky, M.: Steps Toward Artificial Intelligence; in: Feigenbaum, E.A.; Feldman, J. (Hrsg.): Computers and Thought, New York - San Francisco - Toronto - London - Sydney 1963, S. 406-450.

Minsky (1974)

Minsky, M.: A Framework for Representing Knowledge, Memo 306, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts) 1974.

Minsky (1975)

Minsky, M.: A Framework for Representing Knowledge; in: Winston, P.H. (Hrsg.): The Psychology of Computer Vision, New York - St. Louis - San Francisco ... 1975, S. 211-277. (Anmk. des Verf.: Auch erschienen in: Haugeland, J. (Hrsg.): Mind Design - Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence, 2. Druck, Cambridge (Massachusetts) - London 1982, S. 95-128.)

Miriyala (1989)

Miriyala, K.; Viswanadham, N.: Riliability Analysis of Flexible Manufacturing Systems; in: The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 2 (1989), S. 145-162.

Missbauer (1987)

Missbauer, H.: Optimale Werkstattbeauftragung unter dem Aspekt der Bestandsregelung, Linz 1987.

Mitroff (1972)

Mitroff, I.I.; Betz, F.: Dialectical Decision Theory: A Meta-Theory of Decision-Making; in: Management Science, Vol. 19 (1972), S. 11-24.

Mitroff (1973)

Mitroff, I.I.; Blankenship, V.: On the Methodology of the Holistic Experiment: An Approach to the Conceptualization of Large-Scale Social Experiments; in: Technological Forecasting and Social Change, Vol. 4 (1973), S. 339-353.

Mitroff (1974)

Mitroff, I.I.; Featheringham, T.R.: On Systemic Problem Solving and the Error of the Third Kind; in: Behavioral Science, Vol. 19 (1974), S. 383-393.

Mittelstaedt (1983)

Mittelstaedt, P.: Wahrheit, Wirklichkeit und Logik in der Sprache der Physik; in: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Bd. 14 (1983), S. 24-45.

Mittelstraß (1974)

Mittelstraß, J.: Die Möglichkeit von Wissenschaft, Frankfurt 1974.

Mittelstraß (1984a)

Mittelstraß, J.: Forschung, Begründung, Rekonstruktion - Wege aus dem Begründungsstreit; in: Schnädelbach, H. (Hrsg.): Rationalität - Philosophische Beiträge, Frankfurt 1984, S. 117-140.

Mittelstraß (1984b)

Mittelstraß, J.: Gibt es eine Letztbegründung?; in: Janich, P. (Hrsg.): Methodische Philosophie - Beiträge zum Begründungsproblem der exakten Wissenschaften in Auseinandersetzung mit Hugo Dingler, Kolloquium, 2.-3.07.1981 in Marburg, Mannheim - Wien - Zürich 1984, S. 12-35.

Mladineo (1989)

Mladineo, R.H.: Supercomputers and Global Optimization; in: Sharda, R.; Golden, B.L.; Wasil, E.; Balci, O.; Stewart, W. (Hrsg.): Impacts of Recent Computer Advances on Operations Research, New York - Amsterdam - London 1989, S. 92-105.

Moalla (1977)

Moalla, M.; Sifakis, J.: A Design Methodology for Complex Logical Systems; in: o.V.: Proceedings of the 2nd IFAC International Symposium on Discrete Systems, im März 1977 in Dresden, o.O. 1977, S. 89-101.

Möller (1984)

Möller, D.: Realtime and Interrupt-Charakteristika des Prozeßrechners; in: computer magazin, 13. Jg. (1984), Heft 3, S. 26-29.

Moerkotte (1990)

Moerkotte, G.: Inkonsistenzen in deduktiven Datenbanken - Diagnose und Reparatur, Informatik-Fachberichte 248, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Mohnhaupt (1984)

Mohnhaupt, M.: Bildverstehen und Natürlichsprachliche Systeme; in: computer magazin, 13. Jg. (1984), Heft 10, S. 52-54.

Monden (1981a)

Monden, Y.: What Makes The Toyota Production System Really Tick?; in: Industrial Engineering, Vol. 13 (1981), Heft January, S. 36-46.

Monden (1981b)

Monden, Y.: Adaptable Kanban Sysem Helps Toyota Maintain Just-In-Time Production; in: Industrial Engineering, Vol. 13 (1981), Heft May, S. 29-46.

Monden (1981c)

Monden, Y.: Part One Of A Two-Part Series On Toyota's Production Smoothing - Smoothed Production Lets Toyota Adapt To Demand Changes And Reduce Inventory; in: Industrial Engineering, Vol. 13 (1981), Heft August, S. 42-51.

Moravec (1990)

Moravec, H.: Mind Children - Der Wettlauf zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz, Hamburg 1990.

Morris, W.T. (1967)

Morris, W.T.: On the Art of Modeling; in: Management Science, Vol. 13 (1967), S. B-707 - B-717.

Moscarola (1978)

Moscarola, J.: Multicriteria Decision Aid - Two Applications in Education Management; in: Zionts, S. (Hrsg.): Multiple Criteria Problem Solving, Proceedings of a Conference, 22.-26.08.1977 in Buffalo, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 155, Berlin - Heidelberg - New York 1978, S. 402-423.

Mosner (1991)

Mosner, H.-M.; Heeg, G.: Visuelle interaktive Simulation und Modellierung mit dem objektorientierten Programmiersystem Smalltalk-80; in: Biethahn, J.; Hummeltenberg, W.; Schmidt, B. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe, Band 2, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 137-145.

Moulines (1975a)

Moulines, C.-U.: Zur logischen Rekonstruktion der Thermodynamik - Eine wissenschaftstheoretische Analyse, Dissertation, Universität München, München 1975.

Moulines (1975b)

Moulines, C.U.: A Logical Reconstruction of Simple Equilibrium Thermodynamics; in: Erkenntnis, Vol. 9 (1975), S. 101-130.

Moulines (1990)

Moulines, C.U.: Welche Art von Entität ist eine Wissenschaftliche Theorie? - Metatheoretische Überlegungen aufgrund der Ontosemantik Freges; in: Pasternack, G. (Hrsg.): Philosophie und Wissenschaften - Zum Verhältnis von ontologischen, epistemologischen und methodologischen Voraussetzungen der Einzelwissenschaften, Beiträge des Symposiums "Philosophie und Wissenschaften", 04.-07.10.1988 in Bremen, Frankfurt - Bern - New York ... 1990, S. 121-125.

Müller,A. (1987)

Müller,A.: Produktionsplanung und Pufferbildung bei Werkstattfertigung, Dissertation unter dem Titel "Der Pufferbedarf im Rahmen der kurzfristigen Produktionsplanung bei Werkstattfertigung", Technische Hochschule Aachen 1986, Wiesbaden 1987.

Müller,Ar. (1989)

Müller,Ar.: Das totale Management - Mit neuen Denkstrategien in die Zukunft; in: Politik und Wirtschaft, o.Jg. (1989), Heft 5, S. 46-52.

Müller,Be. (1990)

Müller,Be.: Anlagekosten als Basis für kurz- und längerfristige Planungsprobleme; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 60. Jg. (1990), S. 815-836.

Müller,N. (1987b)

Müller,N.: Überlegungen zu einer spezifischen sozialwissenschaftlich-planungstheoretischen Modelltheorie; in: Müller,N.; Stachowiak,H. (Hrsg.): Problemlösungsoperator Sozialwissenschaft - Anwendungsorientierte Modelle der Sozial- und Planungswissenschaften in ihrer Wirkungsproblematik, Band I, Stuttgart 1987, S. 323-347.

Müller,U. (1988b)

Müller,U.; Horbach,J.: Rüstzeiten senken durch gezielte Planung - Maßnahmen in der Arbeitsplanung und -steuerung; in: Arbeitsvorbereitung, 25. Jg. (1988), S. 147-150.

Müller-Merbach (1969)

Müller-Merbach,H.: Die Behandlung von Kapazitätsrestriktionen in der Netzplantechnik; in: Jacob,H. (Hrsg.): Anwendung der Netzplantechnik im Betrieb, Wiesbaden 1969, S. 41-52.

Müller-Merbach (1970b)

Müller-Merbach,H.; Schmidt,W.P.: Teilebedarfsermittlung mit Hilfe des Gozinto-Graphen; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 22. Jg. (1979), S. 727-733.

Müller-Merbach (1973)

Müller-Merbach,H.: Operations Research - Methoden und Modelle der Optimalplanung, 3. Aufl., München 1973.

Müller-Merbach (1978)

Müller-Merbach,H.; Golling,H.-J.: Die Rolle von Wahrscheinlichkeitsverteilungen in Entscheidungsprozessen; in: Helmstädter,E. (Hrsg.): Neuere Entwicklungen in den Wirtschaftswissenschaften, Verhandlungen auf der Arbeitstagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften - Verein für Socialpolitik, 19.-21.09.1977 in Münster, Berlin 1978, S. 413-430.

Müller-Merbach (1981a)

Müller-Merbach,H.: Das Individuum und das Modell; in: Fandel,G.; Fischer,D.; Pfohl,H.-C.; Schuster,K.-P.; Schwarze,J. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1980 - DGOR, Vorträge der Jahrestagung, 24.-26.09.1980 in Essen, Berlin - Heidelberg - New York 1981, S. 144-154.

Müller-Merbach (1984)

Müller-Merbach,H.: The Future of Operational Research - Under the Light of the 5th Generation Computers, Paper presented at the Annual Conference of APDIO, im April 1984 in Portugal, o.O. (Kaiserslautern) 1984.

Müller-Schloer (1990)

Müller-Schloer,C.; Geiger,M.: The Euroworkstation Project and its Future Extensions; in: Commission of the European Communities (Hrsg.): ESPRIT'90, Proceedings of the Annual ESPRIT Conference, 12.-15.11.1990 in Brüssel, Dordrecht - Boston - London 1990, S. 718-731.

Müller-Silva (1984a)

Müller-Silva,K.: Strukturmodellierung - Methoden zur Problemformulierung, Entwurf eines Skriptums, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln o.J. (1984).

Murata,Ta. (1988b)

Murata,Ta.; Zhang,D.: A Predicate-Transition Net Model for Parallel Interpretation of Logic Programs; in: IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. SE-14 (1988), S. 481-497.

Muscati (1967)

Muscati, M.: Die zeitliche Optimierung von Objektfolgen bei kontinuierlichen mehrstufigen Prozessen; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 19. Jg. (1967), S. 297-305.

Muscati (1970)

Muscati, M.: Zur Optimierung der Zeitplanung unter besonderer Berücksichtigung von ablaufhomogenen Prozessen, Dissertation, Universität Köln, Köln 1970.

Musgrave, A. (1976)

Musgrave, A.: Method or Madness? - Can the methodology of research programmes be rescued from epistemological anarchism?; in: Cohen, R.S.; Feyerabend, P.; Wartofsky, M.W. (Hrsg.): Essays in Memory of Imre Lakatos, Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 39, Dordrecht - Boston 1976, S. 457-491.

Mylopoulos (1983)

Mylopoulos, J.; Levesque, H.: An Overview of Knowledge Representation; in: Neumann, B. (Hrsg.): GWAI-83, 7th German Workshop on Artificial Intelligence, 19.-23.09.1983 in Dassel/Solling, Informatik-Fachberichte 76, Berlin - Heidelberg - New York ... 1983, S. 143-157.

Mylopoulos (1990)

Mylopoulos, J.; Borgida, A.; Jarke, M.; Koubarakis, M.: Telos: A Language for Representing Knowledge About Information Systems, Bericht MIP-9011, Fakultät für Mathematik und Informatik, Universität Passau, Passau 1990.

Nagao (1979)

Nagao, M.; Matsuyama, T.; Mori, H.: Structural Analysis of Complex Aerial Photographs - Advanced Applications of Pattern Recognition; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 2, S. 610-616.

Nagel, E. (1964)

Nagel, E.; Newman, J.R.: Der Gödelsche Beweis, Wien - München 1964.

Nagel, E. (1980)

Nagel, E.: Über die Aussage: "Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile"; in: Topitsch, E. (Hrsg.): Logik der Sozialwissenschaften, 10. Aufl., Königstein 1980, S. 241-251.

Nakano, R. (1983)

Nakano, R.: Integrity Checking in a Logic-Oriented ER Model; in: Davis, C.G.; Jajodia, S.; Ng, P.A.-B.; Yeh, R.T. (Hrsg.): Entity-Relationship Approach to Software Engineering, Proceedings of the Third International Conference on Entity-Relationship Approach, 05.-07.10.1983 in Anaheim, Amsterdam - New York - Oxford 1983, S. 551-564.

Nakayama (1989)

Nakayama, Y.: Endpunkte des philosophischen Denkens in Philosophischen Untersuchungen, Paper, präsentiert am 19.08.1989 anlässlich: 14. Internationales Wittgenstein-Symposium, 13.-20.08.1989 in Kirchberg, Berlin o.J. (1989).

Nau, D. (1983)

Nau, D.S.: Expert Computer Systems; in: Computer, Vol. 16 (1983), No. 2, S. 63-85.

Naundorf (1991)

Naundorf, W.; Zeidler, W.: Kostenrechnung für die flexibel automatisierte Fertigung - Neue Anforderungen verlangen neue Ansätze; in: VDI-Z(eitschrift), Bd. 133 (1991), Nr. 5, S. 65-70.

Negoita (1985)

Negoita, C.V.: Expert Systems and Fuzzy Systems, London - Amsterdam 1985.

Nehmer (1984)

Nehmer, J.: Systemarchitektur von Realzeitsystemen; in: Informatik-Spektrum, Bd. 7 (1984), S. 65-72.

Neumann, G. (1991a)

Neumann, G.: Intels Pläne - Die Zukunft hat bereits begonnen; in: PC Magazin, o.Jg. (1991), Nr. 11, S. 140-141.

Neumann, K. (1968)

Neumann, K.: Dynamische Optimierung und PONTRJAGINSches Maximumprinzip; in: Unternehmensforschung, 12. Jg. (1968), S. 55-70.

Neurath (1931a)

Neurath, O.: Soziologie im Physikalismus; in: Erkenntnis, 2. Bd. (1931), S. 393-431.

Neurath (1932)

Neurath, O.: Protokollsätze; in: Erkenntnis, 3. Bd. (1932/33), S. 204-214.

Neurath (1934)

Neurath, O.: Radikaler Physikalismus und "Wirkliche Welt"; in: Erkenntnis, 4. Bd. (1934), S. 346-362.

Neurath (1966)

Neurath, O.: Foundations of the Social Sciences; in: International Encyclopedia of Unified Science, Vol. II: Foundations of the Unity of Science, No. 1, 7. Druck, Chicago - London - Toronto 1966. (Anmk. des Verf.: im Original erschienen Chicago 1944.)

New (1975)

New, C.C.: Job Shop Scheduling: Who Needs a Computer to Sequence Jobs; in: Production and Inventory management, Vol. 16 (1975), No. 4, D. 38-45.

Newell (1965)

Newell, A.: Limitations of the Current Stock of Ideas about Problem Solving; in: Kent, A.; Taubee, D.E. (Hrsg.): Electronic Information Handling, Washington - London 1965, S. 195-208.

Newell (1969)

Newell, A.: Heuristic Programming: Ill-Structured Problems; in: Aronofsky, J.S. (Hrsg.): Progress in Operations Research, Vol. III: Relationship between Operations Research and the Computer, New York - London - Sydney ... 1969, S. 361-414.

Newell (1972)

Newell, A.; Simon, H.: Human Problem Solving, Englewood Cliffs 1972.

Newell (1973)

Newell, A.: Artificial Intelligence and the Concept of Mind; in: Schank, R.C.; Colby, K.M. (Hrsg.): Computer Models of Thought and Language, San Francisco 1973, S. 1-60.

Newell (1976)

Newell, A.; Simon, H.A.: Problemlösung; in: Grochla, E. (Hrsg.): Organisationstheorie, 2. Teilband, Stuttgart 1976, 409-425.

Newell (1982a)

Newell, A.: The Knowledge Level; in: Artificial Intelligence, Vol. 18 (1982), S. 87-127.

Newman, P. (1985)

Newman, P.A.; Kempf, K.G.: Opportunistic Scheduling for Robotic Machine Tending; in: Weisbin, C.R. (Hrsg.): Artificial Intelligence Applications - The Engineering of Knowledge-Based Systems, Proceedings of the Second Conference, 11.-13.12.1985 in Miami Beach, Washington - Amsterdam 1985, S. 168-175.

Nickles (1987)

Nickles, T.: Lakatosian Heuristics and Epistemic Support; in: The British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 38 (1987), S. 181-205.

Nicklisch (1920)

Nicklisch, H.: Der Weg aufwärts! - Organisation - Versuch einer Grundlegung, Stuttgart 1920.

Nicklisch (1932)

Nicklisch, H.: Die Betriebswirtschaft, 7. Aufl., Stuttgart 1932.

Nicklisch (1934)

Nicklisch, H.: Profitlehre?, Berlin 1934.

Niederhausen (1988)

Niederhausen, H.-P.: Realzeit-Expertensysteme zur dynamischen Reihenfolgeplanung für flexible Fertigungszellen; in: Mertens, P.; Wiendahl, H.-P.; Wildemann, H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 399-404.

Niemand (1992a)

Niemand,S.: Prozeßkostenrechnung für den Beschaffungsbereich eines Automobilherstellers; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1992), S. 160-167.

Niemann (1981)

Niemann,H.: Automatische Erkennung zusammenhängend gesprochener Sprache; in: Radig,B. (Hrsg.): Modelle und Strukturen, Informatik-Fachberichte 49, Berlin - Heidelberg - New York 1981, S. 2-25.

Nienhüser (1989)

Nienhüser,W.: Die praktische Nutzung theoretischer Erkenntnisse in der Betriebswirtschaftslehre - Probleme der Entwicklung und Prüfung technologischer Aussagen,Dissertation, Universität Paderborn 1988, Stuttgart 1989.

Nieß (1980)

Nieß,P.S.: Kapazitätsabgleich bei flexiblen Fertigungssystemen, Berlin - Heidelberg - New York 1980.

Nii (1979)

Nii,H.P.; Aiello,N.: AGE (Attempt to Generalize): A Knowledge-Based Program for Building Knowledge-Based Programs; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 2, S. 645-655.

Nilsson,N. (1979)

Nilsson,N.J.: A Production System for Automatic Deduction; in: Hayes,J.E.; Michie,D.; Mikulich,L.I. (Hrsg.): Machine Intelligence 9: Machine Expertise and the Human Interface, New York - Chichester - Brisbane ... 1979, S. 101-126.

Nilsson,N. (1980a)

Nilsson,N.J.: Principles of Artificial Intelligence, Palo Alto 1980.

Nissing (1982b)

Nissing,T.; Virnich,M.: EDV-gestützte Werkstattsteuerung - Wunschkind und Stiefkind zugleich; in: Arbeitsvorbereitung, 19. Jg. (1982), S. 74-78.

Noe (1975a)

Noe,J.D.: Pro-Nets: For Modeling Processes and Processors, Technical Report 75-07-15, Department of Computer Science, University of Washington, Seattle 1975.

Norbis (1986)

Norbis,M.I.; Smith,J.M.: Two level heuristic for the resource constrained scheduling problem; in: International Journal of Production Research, Vol. 24 (1986), S. 1203-1219.

Nührich (1978)

Nührich,K.: Erfahrungsbericht über den Einsatz eines integrierten DV-gestützten Fertigungsregelungsverfahrens in der elektrotechnischen Industrie; in: Ellinger,T.; Wildemann,H. (Hrsg.): Praktische Fälle zur Produktionssteuerung, Wiesbaden 1978, S. 447-472.

Obermeier,G. (1977)

Obermeier,G.: Nutzen-Kosten-Analysen zur Gestaltung computergestützter Informationssysteme, Dissertation, Universität München, München 1977.

Oberquelle (1987b)

Oberquelle,H.: Sprachkonzepte für benutzergerechte Systeme, Habilitationsschrift mit dem Titel "Sprachkonzepte für die kooperative Rollenentwicklung", Universität Hamburg 1986, Informatik-Fachberichte 144, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987.

Oberweis (1988b)

Oberweis,A.: Checking Database Integrity Constraints while Simulating Information System Behaviour; in: o.V.: Application and Theory of Petri Nets - 9th European Workshop, 22.-24.06.1988 in Venedig, o.O. 1988, Vol. I, S. 299-308.

Oberweis (1989b)

Oberweis,A.: Integritätsbewahrendes Prototyping von verteilten Systemen, Interner Bericht, Fakultät für Mathematik und Informatik, Universität Mannheim, Mannheim 1989. (Erscheint in: GI - 19. Jahrestagung, im Oktober 1989 in München.)

Oberweis (1990a)

Oberweis,A.: Zeitstrukturen für Informationssysteme, Dissertation, Universität Mannheim, Mannheim 1990.

Österle (1981)

Österle,H.: Entwurf betrieblicher Informationssysteme, München - Wien 1981.

Olshagen (1991)

Olshagen,C.: Prozeßkostenrechnung - Aufbau und Einsatz, Wiesbaden 1991.

Opitz,H. (1958)

Opitz,H.; Rohs,H.G.: Die Anpassung der Werkzeugmaschine an die Fertigungsaufgabe; in: Industrie-Anzeiger, 80. Jg. (1958), S. 952-960.

Opitz,H. (1967)

Opitz,H.: Teilefamilienfertigung; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 62. Jg. (1967), S. 101-111.

Opitz,H. (1968)

Opitz,H.; Eversheim,W.; Gräßler,D.: Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeiten von Datenverarbeitungsanlagen bei der Fertigungsplanung und -steuerung in Industriebetrieben mit vorwiegender Einzel- und Kleinserienfertigung, Köln - Opladen 1968.

Opp,K. (1976)

Opp,K.-D.: Methodologie der Sozialwissenschaften - Einführung in Probleme ihrer Theoriebildung, Neuausgabe, Reinbek 1976.

Opp,K. (1977)

Opp,K.-D.: Die verhaltenstheoretische Soziologie als sozialwissenschaftliches "Paradigma"; in: Lenk,H. (Hrsg.): Handlungstheorien interdisziplinär IV - Sozialwissenschaftliche Handlungstheorien und spezielle systemwissenschaftliche Ansätze, München 1977, S. 121-156.

Orlicky (1975)

Orlicky,J.: Material Requirements Planning - The New Way of Life in Production and Inventory Management, New York - St. Louis - San Francisco ... 1975.

Osman (1982)

Osman,M.: Untersuchung von Verfahren der Reihenfolgeplanung und ihre Anwendung bei Fertigungszellen, Berlin - Heidelberg - New York 1982.

Oterhals (1988)

Oterhals,O.: Job Shop Production Control; in: Rolstadas,A. (Hrsg.): Computer-Aided Production Management, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 375-384.

o.V. (1981b)

o.V. (The Xerox Learning Research Group): The Smalltalk-80 System; in: Byte, Vol. 6 (1981), Heft August 1981, S. 36-47.

o.V. (1984e)

o.V.: Ergebnisse - Forschungsbereich: Verteilte Systeme und Prozesse; in: Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn: Jahresbericht 1983, Sankt Augustin 1984, S. 115-116.

o.V. (1985f)

o.V.: Project Sampler, Intelligent Systems Laboratory, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh 1985.

o.V. (1986e)

o.V.: Just in Time - Produktion ohne Puffer; in: Wirtschaftswoche, 40. Jg. (1986), Nr. 15, S. 88-92.

o.V. (1988k)

o.V.: Automobilzulieferer in Bewegung - Die Logistik könnte besser sein - Investitionsdruck im Just-in-time-Sog der großen Hersteller; in: VDI nachrichten, 42. Jg. (1988), Nr. 32, S. 1.

o.V. (1988l)

o.V.: CIM-Konzept für die flexible Fertigung - Kunststoffmaschinenbau Just-in-time; in: VDI nachrichten, 42. Jg. (1988), Nr. 35, S. 23.

o.V. (1988m)

o.V.: A Famous Computer Scientist Has Been Awarded the Title "Professor" - Dr. Carl Adam Petri has just been appointed a member of the department 18; in: Special Interest Group on Petri Nets and related System Models, Gesellschaft für Informatik, Newsletter 30 (1988), S. 18.

o.V. (1988n)

o.V.: Sechs Bearbeitungszentren automatisch verknüpft - Mehr Flexibilität, mehr Erfolg - Flexible Fertigungssysteme werden als Basis für eine erfolgreiche Marktpolitik betrachtet; in: VDI nachrichten, 42. Jg. (1988), Nr. 37, S. 25.

o.V. (1988o)

o.V.: Entwicklungstrend von integrierten Schaltungen; in: VDI nachrichten, 42. Jg. (1988), Nr. 32, S. 1.

o.V. (1988p)

o.V.: BMW plant eine zweite Schicht und flexiblere Jahresarbeitszeit; in: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Ausgabe vom 26.10.1988, S. 15.

o.V. (1989j)

o.V.: Neue Techniken verbessern Strukturierung von Programmen - Objekte statt Prozeduren - Datenmodelle erleichtern das Entwickeln neuer Anwendungssysteme; in: VDI nachrichten, 43. Jg. (1989), Nr. 39, S. 29.

o.V. (1990a)

o.V.: 11th International Conference on Application and Theory of Petri Nets, 27.-29.06.1990 in Paris, o.O. 1990.

Ow (1985a)

Ow,P.S.; Smith,S.F.: Towards an Opportunistic Scheduling System, Working paper, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh 1985.

Ow (1986)

Ow,P.S.; Smith,S.F.: Viewing Scheduling as an Opportunistic Problem-Solving Process, Working paper, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh 1986.

Ow (1988a)

Ow,P.S.; Smith,S.F.: Viewing Scheduling as an Opportunistic Problem-Solving Process; in: Annals of Operations Research, Vol. 12 (1988), S. 85-108.

Ownicki-Klewe (1988)

Ownicki-Klewe,B.: Configuration as a Consistency Maintenance Task; in: Hoepfner,W. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz - GWAI-88, 12. Jahrestagung, 19.-23.09.1988 in Eringersfeld, Proceedings, Informatik-Fachberichte 181, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 77-87.

Pabst (1985)

Pabst,H.-J.: Analyse der betriebswirtschaftlichen Effizienz einer computergestützten Fertigungssteuerung mit CAPOSS-E - in einem Maschinenbauunternehmen mit Einzel- und Kleinserienfertigung, Frankfurt - Bern - New York 1985.

Paetz (1990)

Paetz: Das Dispositionssystem Ladis für Aufträge ab Lager; in: Stahl und Eisen, 110. Jg. (1990), Nr. 4, S. 85-88.

Pagnoni (1990)

Pagnoni,A.: Project Engineering - Computer-Oriented Planning and Operational Decision Making, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Panwalkar (1977)

Panwalkar,S.S.; Iskander,W.: A Survey of Scheduling Rules; in: Operations Research, Vol. 25 (1977), S. 45-61.

Papas (o.J.)

Papas,P.N.: ISIS Project in Review, Pittsburgh o.J.

Parker,R. (1982a)

Parker,R.G.; Rardin,R.L.: An Overview of Complexity Theory in Discrete Optimizations: Part I. Concepts; in: AIIE Transactions, Vol. 14 (1982), S. 3-10.

Pascal (1948)

Pascal,B.: Vom Geist der Geometrie, Darmstadt 1948.

Patzig (1988)

Patzig,G.: Hegels Dialektik und Lukasiewicz's dreiwertige Logik; in: Menne,A.; Öffenberg,N. (Hrsg.): Modallogik und Mehrwertigkeit, Hildesheim - Zürich - New York 1988, S. 213-230.

Penrose (1989)

Penrose,R.: The Emperor's New Mind - Concerning Computers, Minds, and The Laws of Physics, Oxford - New York - Melbourne 1989.

Perelman (1971)

Perelman,C.; Olbrechts-Tyteca,L.: The New Rhetoric - A Treatise on Argumentation, 2. Druck, Notre Dame - London 1971.

Perelman (1979)

Perelman,C.: Juristische Logik als Argumentationslehre, Freiburg - München 1979.

Perridon (1991)

Perridon,L.; Steiner,M.: Finanzwirtschaft der Unternehmung, 6. Aufl., München 1991.

Petersen,T. (1989)

Petersen,T.: Optimale Anreizsysteme - Betriebswirtschaftliche Implikationen der Prinzipal-Agenten-Theorie, Dissertation, Universität Bonn 1988, Wiesbaden 1989.

Peterson,J. (1977)

Peterson,J.L.: Petri Nets; in: Computing Surveys, Vol. 9 (1977), S. 223-252.

Peterson,J. (1981)

Peterson,J.L.: Petri Net Theory and the Modeling of Systems, Englewood Cliffs 1981.

Petri,K. (1976)

Petri,K.: Kritische Betriebswirtschaftslehre - Eine Auseinandersetzung mit dem kritischen Rationalismus Karl R. Poppers vor dem Hintergrund der Probleme der betriebswirtschaftlichen Forschungspraxis, Zürich - Frankfurt - Thun 1976.

Pfaff,D. (1989)

Pfaff,D.: Zur allokativen Begründung von Ausschüttungsregelungen - Ein Beitrag zur Diskussion um 58 AktG; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 41. Jg. (1989), S. 1013-1028.

Pferdmenges (1980)

Pferdmenges,R.: Organisation in flexibel automatisierten Fertigungskonzepten - Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rechnergeführten Fertigungseinrichtungen, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Aachen 1980. (Auch erschienen: Düsseldorf 1981.)

Pfohl (1977)

Pfohl,H.-C.: Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, Berlin - New York 1977.

Pfohl (1980)

Pfohl,H.-C.: Problemlösungstechniken; in: Grochla,E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation, 2. Aufl., Stuttgart 1980, Sp. 1917-1923.

Pfohl (1981)

Pfohl,H.-C.; Braun,G.E.: Entscheidungstheorie - Normative und deskriptive Grundlagen des Entscheidens, Landsberg 1981.

Pfohl (1991)

Pfohl,H.-C.; Stölzle,W.: Anwendungsbedingungen, Verfahren und Beurteilung der Prozeßkostenrechnung in industriellen Unternehmen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 61. Jg. (1991), S. 1281-1305.

Picot (1977)

Picot,A.: Bemerkungen zu Standort und Ergänzungsbedürftigkeit von Helmut Kochs "Betriebswirtschaftslehre als Wissenschaft vom Handeln"; in: Köhler,R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977, S. 143-152.

Picot (1979)

Picot,A.; Lange,B.: Synoptische versus inkrementale Gestaltung des strategischen Planungsprozesses - Theoretische Grundlagen und Ergebnisse einer Laborstudie; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 31. Jg. (1979), S. 569-596.

Picot (1988)

Picot,A.; Reichwald,R.; Nippa,M.: Zur Bedeutung der Entwicklungsaufgabe für die Entwicklungszeit - Ansätze für die Entwicklungszeitgestaltung; in: Brockhoff,K.; Picot,A.; Urban,C. (Hrsg.): Zeitmanagement in Forschung und Entwicklung, Sonderheft 23/1988, Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Düsseldorf - Frankfurt 1988.

Picot (1991a)

Picot,A.; Neuburger,R.; Niggel,J.: Ökonomische Perspektiven eines "Electronic Data Interchange"; in: Information Management, 6. Jg. (1991), Heft 2, S. 22-29.

Pitrat (1988)

Pitrat,J.: An Artificial Intelligence Approach to Understanding Natural Language, London 1988.

Pnueli (1979)

Pnueli,A.: The Temporal Semantics of Concurrent Programs; in: Kahn,G. (Hrsg.): Semantics of Concurrent Computation, Proceedings of the International Symposium, 2.-4.07.1979 in Evian, Lecture Notes in Computer Science 70, Berlin - Heidelberg - New York 1979, S. 1-20.

Pohl (1970)

Pohl,I.: Heuristic Search Viewed as Path Finding in a Graph; in: Artificial Intelligence, Vol. 1 (1970), S. 193-204.

Pohl (1977)

Pohl,I.: Practical and Theoretical Considerations in Heuristic Search Algorithms; in: Elcock, E.W.; Micie,D. (Hrsg.): Machine Intelligence 8: Machine Representations of Knowledge, New York - Chichester - Brisbane ... 1977, S. 55-72.

Polanyi (1962)

Polanyi,M.: Personal Knowledge - Towards a Post-Critical Philosophy, 2. Druck, London - Chicago 1962.

Pollack (1984)

Pollack,J.B.; Waltz,D.L.: Parallel Interpretation of Natural Language; in: o.V.: Fifth Generation Computer Systems 1984, Proceedings of the International Conference, 06.-09.11.1984 in Tokyo, Tokyo - Amsterdam 1984, S. 686-694.

Pontrjagin (1967)

Pontrjagin,L.S.; Boltjanskij,V.G.; Gamkrelidze,R.V.; Miscenko,E.F.: Mathematische Theorie optimaler Prozesse, 2. Aufl., München - Wien 1967.

Poole,D. (1988)

Poole,D.: A Logical Framework for Default Reasoning; in: Artificial Intelligence, Vol. 36 (1988), S. 27-47.

Popper (1935a)

Popper,K.: Logik der Forschung - Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft, 1. Aufl., Wien 1935.

Popper (1965a)

Popper,K.R.: Conjectures and Refutations - The Growth of Scientific Knowledge, 2. Aufl., London 1965.

Popper (1965b)

Popper,K.R.: Was ist Dialektik?; in: Topitsch,E. (Hrsg.): Logik der Sozialwissenschaften, Köln - Berlin 1965, S. 262-290.

Popper (1972a)

Popper,K.R.: Die Zielsetzung der Erfahrungswissenschaft; in: Albert,H. (Hrsg.): Theorie und Realität - Ausgewählte Aufsätze zur Wissenschaftslehre der Sozialwissenschaften, 2. Aufl., Tübingen 1972, S. 29-41.

Popper (1974b)

Popper,K.R.: Das Elend des Historizismus, 4. Aufl., Tübingen 1974.

Popper (1982b)

Popper, K.R.; Eccles, J.C.: Das Ich und sein Gehirn, München - Zürich 1982.

Popper (1984a)

Popper, K.R.: Logik der Forschung, 8. Aufl., Tübingen 1984.

Popper (1984b)

Popper, K.R.: Objektive Erkenntnis - Ein evolutionärer Entwurf, 4. Aufl., Hamburg 1984.

Popper (1987)

Popper, K.R.: Das Elend des Historizismus, 6. Aufl., Tübingen 1987.

Popplewell (1987)

Popplewell, K.; Bonney, M.C.: The application of discrete linear control theory to the analysis and simulation of multi-product, multi-level production control systems; in: International Journal of Production Research, Vol. 25 (1987), S. 45-56.

Porter (1986)

Porter, M.E.: Wettbewerbsvorteile - Spitzenleistungen erreichen und behaupten, Frankfurt - New York 1986.

Pospelov, D. (1979)

Pospelov, D.: Semiotic Models in Psychology and Artificial Intelligence Systems; in: Klix, F. (Hrsg.): Human and Artificial Intelligence, 21. Internationaler Kongreß für Psychologie, 18.-25.07.1976 in Paris, Amsterdam - New York - Oxford 1979, S. 45-57.

Poths (1978)

Poths, W.: Erfahrungen der Praxis mit Beschreibungsmodellen (Integrierte Gesamtmodelle) - Vortrag auf der Tagung der Wissenschaftlichen Kommission Betriebsinformatik im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. in Essen am 10./11.2.1978; in: Angewandte Informatik, 20. Jg. (1978), S. 293-298.

Potthoff (1981)

Potthoff, K.: Einführung in die Modelltheorie und ihre Anwendungen, Darmstadt 1981.

Poulain (1987)

Poulain, J.: Die philosophische Logik der Sprache und die Grenzen der Pragmatik; in: Köhler, W.R.; Kuhlmann, W.; Rohs, P. (Hrsg.): Philosophie und Begründung, Frankfurt 1987, S. 334-362.

Pracht (1988)

Pracht, W.E.: An Object-Oriented Approach for Business Problem Modeling; in: Singh, M.G.; Hindi, K.S.; Salassa, D. (Hrsg.): Managerial Decision Support Systems, Proceedings of the First IMACS/IFORS International Colloquium on Managerial Decision Support Systems and Knowledge Based Systems, 23.-25.11.1987 in Manchester, Amsterdam - New York - Oxford ... 1988, S. 143-154.

Preiß (1989)

Preiß, N.: Ein Konzept für die deduktive Erweiterung eines relationalen Datenbanksystems, Dissertation, Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1989.

Pressmar (1982)

Pressmar, D.B.: Zur Akzeptanz von computergestützten Planungssystemen; in: Krallmann, H. (Hrsg.): Unternehmensplanung und -steuerung in den 80er Jahren - Eine Herausforderung an die Informatik, Anwendersgespräch, 24.-25.11.1981 in Hamburg, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 324-348.

Pritschow (1991a)

Pritschow, G.; Spur, G.; Weck, M. (Hrsg.): Leit- und Steuerungstechnik in flexiblen Produktionsanlagen, München - Wien 1991.

Probst (1981)

Probst, G.J.B.: Kybernetische Gesetzhypothesen als Basis für Gestaltungs- und Lenkungsregeln im Management - Eine Methodologie zur Betrachtung von Management-Situationen aus kybernetischer Sicht, Dissertation, Hochschule St. Gallen, Bern 1981.

Probst (1987a)

Probst, G.J.B.: Selbst-Organisation - Ordnungsprozesse in sozialen Systemen aus ganzheitlicher Sicht, Berlin - Hamburg 1987.

Probst (1988)

Probst,G.J.B.; Gomez,P.: Pitfalls of Managerial Thinking; in: Trappl,R. (Hrsg.): Cybernetics and Systems'88, Proceedings of the Ninth European Meeting on Cybernetics and Systems Research, 05.-08.04.1988 in Wien, Dordrecht - Boston - London ... 1988, Part 2, S. 1151-1158.

Pütz,W. (1973)

Pütz,W.: Modifikationen der Netzplantechnik für eine kurzzeitorientierte elastische Ablaufplanung in Druckereibetrieben, Dissertation, Universität Köln, Köln 1973.

Puntel (1978)

Puntel,L.B.: Wahrheitstheorien in der neueren Philosophie - Eine kritisch-systematische Darstellung, Darmstadt 1978.

Puntel (1985)

Puntel,L.B.: Einführung in Nicholas Reschers pragmatische Systemphilosophie; in: Rescher,N.: Die Grenzen der Wissenschaft, Stuttgart 1985, S. 7-47.

Putnam,H. (1982a)

Putnam,H.: Vernunft, Wahrheit und Geschichte, Frankfurt 1982.

Putnam,H. (1982b)

Putnam,H.: Modell und Wirklichkeit; in: Conceptus, 16. Jg. (1982), Nr. 38, S. 9-30.

Pylyshyn (1980)

Pylyshyn,Z.W.; Bledsoe,W.W.; Feigenbaum,E.A.; Newell,A.; Nilsson,N.; Reddy,D.R.; Rosenfeld,A.; Winograd,T.; Winston,P.: Artificial Intelligence; in: Arden,B.W. (Hrsg.): What Can Be Automated? - The Computer Science and Engineering Research Study (COSERS), Cambridge (Massachusetts) - London 1980, S. 421-509.

Quine (1964)

Quine,W.V.O.: From a Logical Point of View - 9 Logico-Philosophical Essays, Cambridge (Massachusetts) 1964.

Quine (1975b)

Quine,W.V.O.: Ontologische Relativität - und andere Schriften, Stuttgart 1975.

Raab (1981)

Raab,H.H.: Handbuch Industrieroboter - Bauweise, Programmierung, Anwendung, Wirtschaftlichkeit, Braunschweig - Wiesbaden 1981.

Rabetge (1991)

Rabetge,C.: Fuzzy Sets in der Netzplantechnik, Dissertation, Universität Göttingen 1990, Wiesbaden 1991.

Rabl (1990)

Rabl,K.: Strukturierung strategischer Planungsprozesse, Dissertation, Universität Regensburg, Wiesbaden 1990.

Raffee (1974)

Raffee,H.: Grundprobleme der Betriebswirtschaftslehre, Göttingen 1974.

Raffee (1979a)

Raffee,H.; Abel,B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979.

Raffee (1979b)

Raffee,H.; Abel,B.: Aufgaben und aktuelle Tendenzen der Wissenschaftstheorie in den Wirtschaftswissenschaften; in: Raffee,H.; Abel,B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979, S. 1-10.

Raiffa (1973)

Raiffa,L.: Einführung in die Entscheidungstheorie, München - Wien 1973.

Rajaram (1983)

Rajaram,N.S.: Design of Intelligent Systems with Cooperating Knowledge Based Components; in: o.V.: Proceedings Trends & Applications 1983 - Automating Intelligent Behavior - Applications and Frontiers, Silver Spring 1983, S. 135-141.

Rajurkar (1987)

Rajurkar, K.P.; Navelkar, V.V.; Kamelian, Y.: Application of Multi-Objective Optimization Techniques to Manufacturing Systems; in: o.V.: Proceedings of the 1987 International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 2, New York 1987, S. 513-516.

Ramakrishna (1986)

Ramakrishna, H.V.; Brightman, H.J.: The Fact-Net Model: A Problem Diagnosis Procedure; in: Interfaces, Vol. 16 (1986), No. 6, S. 96-94.

Raman (1989b)

Raman, N.: Real-Time Scheduling Problems in a General Flexible Manufacturing System, Dissertation, The University of Michigan 1988, Ann Arbor 1989.

Ramsey, F. (1965)

Ramsey, F.P.: The Foundations of Mathematics - and other Logical Essays, hrsg. von R.B. Braithwaite, 4. Druck, London 1965.

Raphael (1976)

Raphael, B.: The Thinking Computer - Mind Inside Matter, San Francisco 1976.

Rardin (1982)

Rardin, R.L.; Lin, B.W.: Test Problems for Computational Experiments -- Issues and Techniques; in: Mulvey, J.M. (Hrsg.): Evaluating Mathematical Programming Techniques, Proceedings of a Conference, 05.-06.01.1981 in Boulder, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 199, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 8-15.

Rathke (1987)

Rathke, C.: Framebasierte Wissensrepräsentation mit Hilfe objektorientierter Programmierung; in: Balzert, H.; Heyer, G.; Lutze, R. (Hrsg.): Expertensysteme'87 - Konzepte und Werkzeuge, Stuttgart 1987, S. 64-87.

Rau (1991a)

Rau, K.-H.; Rüd, M.: Erfahrungen mit der Prozeßkostenrechnung; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1991), S. 13-17.

Rau (1991c)

Rau, K.-H.: Prozeßkostenrechnung - Erste Anwender-Erfahrungen; in: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV, 12. Saarbrücker Arbeitstagung 1991, Heidelberg 1991, S. 201-221.

Rauch-Hindin (1985)

Rauch-Hindin, W.B.: Artificial Intelligence in Business, Science, and Industry, Vol. II: Applications, Englewood Cliffs 1985.

Raulefs (1982a)

Raulefs, P.: Expertensysteme; in: Bibel, W.; Siekmann, J.H. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz, Frühjahrsschule Teisendorf, 15.-24.03.1982 in Teisendorf, Informatik-Fachberichte 59, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 61-98.

Raulefs (1982b)

Raulefs, P.: Methoden der Künstlichen Intelligenz: Übersicht und Anwendungen in Expertensystemen; in: Nehmer, J. (Hrsg.): GI - 12. Jahrestagung, 05.-07.10.1982 in Kaiserslautern, Proceedings, Informatik-Fachberichte 57, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 170-187.

Rausch (1984)

Rausch, J.: Zu welchen zeitwirtschaftlichen Konsequenzen führen veränderte Technologien in der Fertigung? - Benötigen wir z.B. noch personenbezogene Vorgabezeiten?; in: Knebel, H.; Zander, E. (Hrsg.): Neue Entwicklungen bei Arbeit, Entgelt und Führung, Freiburg 1984, S. 58-64.

Rautenberg (1979)

Rautenberg, W.: Klassische und nichtklassische Aussagenlogik, Braunschweig - Wiesbaden 1979.

Reck (1988)

Reck, M.: Von informellen zu formalen Spezifikationen durch Petri-Netze und abstrakte Datentypen, Diplomarbeit, Lehrstuhl 1, Fachbereich Informatik, Universität Dortmund, Dortmund 1988.

REFA (1978)

REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Teil 3: Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung, München 1978.

REFA (1985b)

REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (Hrsg.): Methodenlehre der Planung und Steuerung, Teil 2, 4. Aufl., München 1985.

REFA (1985c)

REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (Hrsg.): Methodenlehre der Planung und Steuerung, Teil 3, 4. Aufl., München 1985.

REFA (1985d)

REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (Hrsg.): Methodenlehre der Planung und Steuerung, Teil 4, 4. Aufl., München 1985.

REFA (1987)

REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation - Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme, München 1987.

Reichenbach (1977)

Reichenbach, H.: Gesammelte Werke in 9 Bänden, Band 1: Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie, hrsg. von Kamlah, A.; Reichenbach, M., Braunschweig 1977.

Reichenbach (1983)

Reichenbach, H.: Gesammelte Werke in 9 Bänden, Band 4: Erfahrung und Prognose - Eine Analyse der Grundlagen und der Struktur der Erkenntnis, hrsg. von Kamlah, A.; Reichenbach, M., Braunschweig - Wiesbaden 1983.

Reichmann (1990a)

Reichmann, T.; Schwellnuß, A.G.; Fröhling, O.: Fixkostenmanagementorientierte Plankostenrechnung - Kostentransparenz und Entscheidungsrelevanz gleichermaßen sicherstellen; in: Controlling, 2. Jg. (1990), S. 60-67.

Reimer (1989)

Reimer, U.: FRM: Ein Frame-Repräsentationsmodell und seine formale Semantik - Zur Integration von Datenbank- und Wissensrepräsentationsansätzen, (erweiterte) Dissertation, Universität Konstanz, Informatik-Fachberichte 198, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989.

Reinfrank (1985b)

Reinfrank, M.: An Introduction to Non-Monotonic Reasoning, MEMO-SEKI-85-02, Fachbereich Informatik, Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern 1985.

Reiß (1989)

Reiß, M.: Prognose und Planung; in: Szyperski, N.; Winand, U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 1628-1637.

Reitman (1964)

Reitman, W.R.: Heuristic decision procedures, open constraints, and the structure of ill-defined problems; in: Shelly, M.W.; Bryan, G. (Hrsg.): Human Judgements and Optimability, New York - London - Sydney 1964, S. 282-315.

Reitman (1965)

Reitman, W.R.: Cognition and Thought - An Information-Processing Approach, New York - London - Sydney 1965.

Rembold (1990)

Rembold, U.; Bien, A.; Fehrle, L.; Fischer, H.; Hörmann, K.; König, H.; Mally, K.; Rohmer, K. (und Mitarbeiter): CAM-Handbuch, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Rempp (1981b)

Rempp, H.; Lay, G.: Werkstattprogrammierung bei CNC-Steuerung als Beitrag zur Aufgabenerweiterung; in: Rationalisierung, 32. Jg. (1981), S. 279-281.

Renner, A. (1991a)

Renner, A.: Kostenorientierte Produktionssteuerung - Anwendung der Prozeßkostenrechnung in einem datenbankgestützten Modell für flexibel automatisierte Produktionssysteme, München 1991.

Rescher (1968a)

Rescher,N.: Recent Developments in Philosophical Logic; in: Klibansky,R. (Hrsg.): Contemporary Philosophy - A Survey, Vol. I: Logic and Foundations of Mathematics, Firenze 1968, S. 31-40.

Rescher (1970)

Rescher,N.; Manor,R.: On Inference from Inconsistent Premises; in: Theory and Decision, Vol. 1 (1970), S. 179-217.

Rescher (1973)

Rescher,N.: The Primacy of Practice - Essays towards a Pragmatically Kantian Theory of Empirical Knowledge, Oxford 1973.

Rescher (1974)

Rescher,N.: Foundationalism, Coherentism, and the Idea of Cognitive Systematization; in: The Journal of Philosophy, Vol. 71 (1974), S. 695-708.

Rescher (1977a)

Rescher,N.: Methodological Pragmatism - A Systems-Theoretic Approach to the Theory of Knowledge, New York 1977.

Rescher (1977b)

Rescher,N.: Dialectics - A Controversy-Oriented Approach to the Theory of Knowledge, Albany 1977.

Rescher (1979)

Rescher,N.: Cognitive Systematization - A systems-theoretic approach to a coherentist theory of knowledge, Oxford 1979.

Rescher (1980a)

Rescher,N.: Scepticism - A critical reappraisal, Oxford 1980.

Rescher (1980b)

Rescher,N.; Brandom,R.: The Logic of Inconsistency - A Study in Non-Standard Possible-World Semantics and Ontology, Oxford 1980.

Rescher (1982a)

Rescher,N.: The Coherence Theory of Truth, Washington 1982. (Nachdruck der Ausgabe Oxford 1973.)

Rescher (1982b)

Rescher,N.: Empirical Inquiry, London 1982.

Rescher (1985a)

Rescher,N.: The Strife of Systems - An Essay on the Grounds and Implications of Philosophical Diversity, Pittsburgh 1985.

Rescher (1985b)

Rescher,N.: Die Grenzen der Wissenschaft, Stuttgart 1985.

Rescher (1987a)

Rescher,N.: Induktion - Zur Rechtfertigung induktiven Schließens, München - Wien 1987.

Rescher (1987c)

Rescher,N.: Wahrheit als ideale Kohärenz; in: Puntel,L.B. (Hrsg.): Der Wahrheitsbegriff - Neue Erklärungsversuche, Darmstadt 1987, S. 284-297.

Reuter (1987)

Reuter,A.: Maßnahmen zur Wahrung von Sicherheits- und Integritätsbedingungen; in: Lockemann,P.C.; Schmidt,J.W. (Hrsg.): Datenbank-Handbuch, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987, S. 337-479.

Rheinwald (1989)

Rheinwald,R.: Zur These der Extensionalität in der Mathematik, Manuskript eines Vortrags anlässlich: 14. Internationales Wittgenstein-Symposium, 13.-20.08.1989 in Kirchberg, o.O. (Bielefeld) o.J. (1989).

Rich (1983)

Rich,E.: Artificial Intelligence, New York - Saint Louis - San Francisco ... 1983.

Richards (1987)

Richards,J.; von Glasersfeld,E.: Die Kontrolle von Wahrnehmung und die Konstruktion von Realität - Erkenntnistheoretische Aspekte des Rückkoppelungs-Kontroll-Systems; in: Schmidt,S.J. (Hrsg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt 1987, S. 192-228.

Richter,M.M. (1978)

Richter,M.(M.): Logikkalküle, Stuttgart 1978.

Richter,M.M. (1988)

Richter,M.M.: Künstliche Intelligenz und Logik; in: Rahmstorf,G. (Hrsg.): Wissensrepräsentation in Expertensystemen, Workshop, 16.-18.03.1987 in Herrenberg, Proceedings, Informatik-Fachberichte 172, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 16-40.

Richter,M.M. (1989b)

Richter,M.(M.): Prinzipien der Künstlichen Intelligenz - Wissensrepräsentation, Inferenz und Expertensysteme, Stuttgart 1989.

Riebel (1956)

Riebel,P.: Die Gestaltung der Kostenrechnung für Zwecke der Betriebskontrolle und Betriebsdisposition; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 26. Jg. (1956), S. 278-289.

Riebel (1959)

Riebel,P.: Das Rechnen mit Einzelkosten und Deckungsbeiträgen; in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung, 11. Jg. (1959), S. 213-238.

Riebel (1963)

Riebel,P.: Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht, Wiesbaden 1963.

Riebel (1964c)

Riebel,P.: Die Preiskalkulation auf Grundlage von "Selbstkosten" oder von relativen Einzelkosten und Deckungsbeiträgen; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 16. Jg. (1964), S. 549-612.

Riebel (1967a)

Riebel,P.: Kurzfristige unternehmerische Entscheidungen im Erzeugnisbereich auf der Grundlage des Rechnens mit relativen Einzelkosten und Deckungsbeiträgen; in: Neue Betriebswirtschaft, 20. Jg. (1967), Heft 8, S. 1-23.

Riebel (1969)

Riebel,P.: Die Fragwürdigkeit des Verursachungsprinzips im Rechnungswesen; in: Layer,M.; Strebel,H. (Hrsg.): Rechnungswesen und Betriebswirtschaftspolitik - Festschrift für Gerhard Krüger zu seinem 65. Geburtstag, Berlin 1969, S. 49-64.

Riebel (1970)

Riebel,P.: Die Bereitschaftskosten in der entscheidungsorientierten Unternehmerrechnung; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 22. Jg. (1970), S. 372-386.

Riebel (1974a)

Riebel,P.: Deckungsbeitrag und Deckungsbeitragsrechnung; in: Grochla,E.; Wittmann,W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Bd. 1, 4. Aufl., Stuttgart 1974, Sp. 1137-1155.

Riebel (1974b)

Riebel,P.: Systemimmanente und anwendungsbedingte Gefahren von Differenzkosten- und Deckungsbeitragsrechnungen; in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 26. Jg. (1974), S. 493-529.

Riebel (1978)

Riebel,P.: Überlegungen zur Formulierung eines entscheidungsorientierten Kostenbegriffs; in: Müller-Merbach,H. (Hrsg.): Quantitative Ansätze in der Betriebswirtschaftslehre, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 01.-03.06.1977 in Darmstadt, S. 127-146.

Riebel (1981a)

Riebel,P.: Teilkostenrechnung (insbesondere Deckungsbeitragsrechnung); in: Kosiol,E.; Chmielewicz,K.; Schweitzer,M. (Hrsg.): Handwörterbuch des Rechnungswesens, 2. Aufl., Stuttgart 1981, Sp. 1547-1570.

Riebel (1981b)

Riebel,P.; Sinzig,W.: Zur Realisierung der Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung mit einer relationalen Datenbank; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 33. Jg. (1981), S. 457-489.

Riebel (1982)

Riebel,P.; Sinzig,W.: Einsatzmöglichkeiten relationaler Datenbanken zur Unterstützung einer entscheidungsorientierten Kosten-, Erlös- und Deckungsbeitragsrechnung; in: Stahlknecht,P. (Hrsg.): EDV-Systeme im Finanz- und Rechnungswesen, Anwendergespräch, 08.-09.06.1982 in Osnabrück, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 93-125.

Riebel (1983)

Riebel,P.: Thesen zur Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung; in: Chmielewicz,K. (Hrsg.): Entwicklungslinien der Kosten- und Erlösrechnung, Tagung der Kommission Rechnungswesen im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 14.-15.09.1979 in Erfstadt, Stuttgart 1983, S. 21-47.

Riebel (1985)

Riebel,P.: Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung, Grundfragen einer markt- und entscheidungsorientierten Unternehmensrechnung, 5. Aufl., Wiesbaden 1985. (Anmk. des Verf.: Vorwort(e) abweichend von der 6. Aufl., Wiesbaden 1990.)

Riebel (1987)

Riebel,P.: Überlegungen zur Integration von Unternehmensplanung und Unternehmensrechnung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 57. Jg. (1987), S. 1154-1168.

Riebel (1988)

Riebel,P.: Sequentielle Entscheidungen in Planungs- und Kontrollrechnungen; in: Lücke,W. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Steuerungs- und Kontrollprobleme, Wissenschaftliche Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 09.06-13.06.1987 in Göttingen, Wiesbaden 1988, S. 257-283.

Riebel (1989a)

Riebel,P.: Wirtschaftsdynamik, Unternehmensführung und Unternehmensrechnung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 247-259.

Riebel (1989b)

Riebel,P.: Probleme der Abbildung zeitlicher Strukturen im Rechnungswesen; in: Hax,H.; Kern,W.; Schröder,H.-H. (Hrsg.): Zeitaspekte in betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis, 50. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 24.-28.05.1988 in Köln, Stuttgart 1989, S. 61-76.

Riebel (1990)

Riebel,P.: Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung, Grundfragen einer markt- und entscheidungsorientierten Unternehmensrechnung, 6. Aufl., Wiesbaden 1990.

Riedlinger (1989)

Riedlinger,P.: Fertigungscontrolling: Lösungsansätze für ein effizientes Produktionsmanagement; in: Wildemann,H.; Westkämper,E. (Hrsg.): Fabrikstrukturierung Europa'92, Tagungsbericht, 16.-17.11.1989 in Frankfurt, München 1989, S. 353-374.

Rieper (1979)

Rieper,B.: Hierarchische betriebliche Systeme - Entwicklung einer Konzeption zur Analyse und Gestaltung des Verhaltens betrieblicher Systeme, Wiesbaden 1979.

Rieper (1981)

Rieper,B.: Die Planung von Produktionsvorgaben - ein hierarchischer Planungsansatz; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 51. Jg. (1981), S. 1183-1203.

Rieper (1982)

Rieper,B.: Neuere Überlegungen zur Produktionsplanung und -steuerung in kleinen und mittleren Unternehmungen; in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 34. Jg. (1982), S. 427-441.

Rilling (1991)

Rilling,G.; Borkowski,V.: RATOUREX - Expertensystem zur Steuerung des Werkfernverkehrs, Teil 2: Aufgabenbereich "Umdisposition", Arbeitspapier Nr. 3/1991, Abteilung Wirtschaftsinformatik, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg 1991.

Rit (1986)

Rit, J.F.: Propagating temporal constraints for scheduling; in: o.V.: proceedings aaai-86, fifth national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Vol. 1: science, Los Altos 1986, S. 383-388.

Ritter (1985)

Ritter, A.: Neue Arbeitszeitformen und deren Beeinflussung durch neue Technologien; in: Zink, K.J. (Hrsg.): Personalwirtschaftliche Aspekte neuer Technologien, Berlin 1985, S. 81-119.

Rivett (1968)

Rivett, P.: An Introduction to Operations Research, New York 1968.

Rivett (1974)

Rivett, P.: Entscheidungsmodelle in Wirtschaft und Verwaltung, Frankfurt - New York 1974.

Rivett (1980)

Rivett, P.: Model Building for Decision Analysis, Chichester - New York - Brisbane ... 1980.

Robbins (1985)

Robbins, J.H.: PEPS: The Prototype Expert Priority Scheduler; in: o.V.: Proceedings Autofact'85, 04.-07.11.1985 in Detroit, Amsterdam 1985, S. 13-10 - 13-34.

Roberts, E.B. (1977)

Roberts, E.B.: Strategies for Effective Implementation of Complex Corporate Models; in: Interfaces, Vol. 8 (1977), No. 1, S. 26-33.

Robson (1981)

Robson, D.: Object-Oriented Software Systems; in: Byte, Vol. 6 (1981), Heft August 1981, S. 74-86.

Roche (1988)

Roche, C.: Object in Expert Systems; in: Demengeot, J.; Herve, T.; Rialle, V.; Roche, C. (Hrsg.): Artificial Intelligence and Cognitive Sciences, Manchester - New York 1988, S. 3-14.

Röseberg (1990)

Röseberg, U.: Zur Dialektik der physikalischen Erkenntnis; in: Pasternack, G. (Hrsg.): Philosophie und Wissenschaften - Zum Verhältnis von ontologischen, epistemologischen und methodologischen Voraussetzungen der Einzelwissenschaften, Beiträge des Symposiums "Philosophie und Wissenschaften", 04.-07.10.1988 in Bremen, Frankfurt - Bern - New York ... 1990, S. 45-67.

Roggenbuck (1989)

Roggenbuck, S.; Gebhardt, R.; Ameling, W.: Prolog als Methodensprache in einer objektorientierten Programmierumgebung; in: Angewandte Informatik, 31. Jg. (1989), S. 181-188.

Rohs (1987)

Rohs, P.: Philosophie als Selbsterhellung von Vernunft; in: Köhler, W.R.; Kuhlmann, W.; Rohs, P. (Hrsg.): Philosophie und Begründung, Frankfurt 1987, S. 363-390.

Romanin-Jacur (1989)

Romanin-Jacur, G.: F.M.S. Queueing Network Models Theory and Applications; in: Archetti, F.; Lucertini, M.; Serafini, P. (Hrsg.): Operations Research Models in Flexible Manufacturing Systems, Wien - New York 1989, S. 213-236.

Ronen (1989)

Ronen, B.; Palley, M.A.; Lucas, H.C.: Spreadsheet analysis and design; in: Communications of the ACM, Vol. 32 (1989), No. 1, S. 84-93.

Ropella (1989)

Ropella, W.: Synergie als strategisches Ziel der Unternehmung, Berlin - New York 1989.

Ropohl (1971)

Ropohl, G.: Flexible Fertigungssysteme - Zur Automatisierung der Serienfertigung, Dissertation unter dem Titel "Die Flexibilität von Fertigungssystemen für die Automatisierung der Serienfertigung. Produktionswirtschaftliche Grundlagen für eine technologische-konstruktive Konzeption", Universität Stuttgart 1970, Mainz 1971.

Ropohl (1975)

Ropohl, G.: Einleitung in die Systemtechnik; in: Ropohl, G. (Hrsg.): Systemtechnik - Grundlagen und Anwendung, München - Wien 1975, S. 1-77.

Ros (1980)

Ros, A.: Zur Methodologie philosophischer Argumentationen; in: Gethmann, C.F. (Hrsg.): Theorie des wissenschaftlichen Argumentierens, Frankfurt 1980, S. 241-291.

Roschmann (1990a)

Roschmann, K.: Betriebsdatenerfassung 1990 - Stand und Entwicklungstendenzen des BDE-Angebots - Überblick; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 39. Jg. (1990), S. 200-247.

Roschmann (1990b)

Roschmann, K.: Stand und Entwicklungstendenzen der Betriebsdatenerfassung im CIM-Konzept; in: Krallmann, H.; Gronau, N.; Scholz-Reiter, B. (Hrsg.): CIM - Expertenwissen für die Praxis, München - Wien 1990, S. 167-178.

Roschmann (1991a)

Roschmann, K.: Betriebsdatenerfassung; in: Geitner, U.W. (Hrsg.): CIM Handbuch, 2. Aufl., Braunschweig 1991, S. 95-109.

Roschmann (1991b)

Roschmann, K.; Geitner, U.W.; Chen, J.: Betriebsdatenerfassung 1991 - Stand und Entwicklungstendenzen des Angebotes mit BDE-Marktübersicht; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 40. (1991), S. 196-236.

Rose, Ha. (1989)

Rose, H.: Computergestützte Störungsbewältigung beim Durchlauf von Produktionsaufträgen unter besonderer Berücksichtigung wissensbasierter Elemente, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen - Nürnberg 1989.

Rosenhead (1972)

Rosenhead, J.; Elton, M.; Gupta, S.K.: Robustness and Optimality as Criteria for Strategic Decisions; in: Operational Research Quarterly, Vol. 23 (1972), S. 413-431.

Rosenhead (1978)

Rosenhead, J.: An Education in Robustness; in: The Journal of the Operational Research Society, Vol. 29 (1978), S. 105-111.

Rosenhead (1980a)

Rosenhead, J.: Planning Under Uncertainty: I. The Inflexibility of Methodologies; in: The Journal of the Operational Research Society, Vol. 31 (1980), S. 209-216.

Rosenhead (1980b)

Rosenhead, J.: Planning Under Uncertainty: II. A Methodology for Robustness Analysis; in: The Journal of the Operational Research Society, Vol. 31 (1980), S. 331-341.

Rosenstengel (1983)

Persönliches Gespräch des Verf. mit Herrn B. Rosenstengel am 10.05.1983 in Köln.

Roski (1984)

Roski, R.: Das Maximumprinzip von Pontrjagin; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 13. Jg. (1984), S. 515-520.

Roski (1985)

Roski, R.: Kontrolltheoretische Modelle; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 14. Jg. (1985), S. 15-20.

Roski (1987)

Roski, R.: Planungsrelevante Aggregatskosten; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 57. Jg. (1987), S. 526-545.

Roth, G. (1987a)

Roth, G.: Erkenntnis und Realität: Das reale Gehirn und seine Wirklichkeit; in: Schmidt, S.J. (Hrsg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt 1987, S. 229-255. (Auch erschienen in: Pasternack, G. (Hrsg.): Erklären - Verstehen - Begründen, Eine Ringvorlesung, hrsg. vom Zentrum Philosophische Grundlagen der Wissenschaften, Bremen o.J. (1985), S. 87-109.)

Rothman (1976)

Rothman, S.; Mosmann, C.: Computers and Society - The Technology and its Social Implications, 2. Aufl., Chicago - Palo Alto - Toronto ... 1976.

Rott (1991)

Rott,H.: Reduktion und Revision - Aspekte des nichtmonotonen Theorienwandels, überarbeitete Dissertation, Universität München 1988, Frankfurt - Bern - New York ... 1991.

Rotthaus (1976)

Rotthaus,D.: Grundsatzfragen bei der Gestaltung von Förder-Steuerungen in flexiblen Fertigungssystemen; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 71. Jg. (1976), S. 138-141.

Roucairol (1982a)

Roucairol,G.: Application of Nets To Real-Time System; in: Girault,C.; Reisig,W. (Hrsg.): Application and Theory of Petri Nets, Selected Papers from the First and the Second European Workshop on Application and Theory of Petri Nets, 23.-26.09.1980 in Strasbourg bzw. 28.-30.09.1981 in Bad Honnef, Informatik-Fachberichte 52, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 1-2.

Routley (1979)

Routley,R.: Dialectical Logic, Semantics and Metamathematics; in: Erkenntnis, Vol. 14 (1979); S. 301-331.

Routley (1980)

Routley,R.: Exploring Meinong's Jungle and Beyond - An investigation of noneism and the theory of items, Department Monograph No. 3, Philosophy Department, Research School of Social Sciences, Australian National University, Canberra 1980.

Roy,A. (1991)

Roy,A.; Mackin,P.: Multicriteria Optimization (Linear and Nonlinear) Using Proxy Value Functions; in: Korhonen,P.; Lewandowski,A.; Wallenius,J. (Hrsg.): Multiple Criteria Decision Support, Proceedings of the International Workshop, 07.-11.08.1989 in Helsinki, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 128-134.

Roy,B. (1968d)

Roy,B.: Classement et choix en presence de points de vue multiples (La methode ELECTRE); in: Revue Francaise d'Automatique, d'Informatique et de Recherche Operationelle, Vol. 2 (1968), No. 8, S. 57-75.

Roy,B. (1971a)

Roy,B.: Problems and methods with multiple objective functions; in: Mathematical Programming, Vol. 1 (1971), S. 239-266.

Roy,B. (1973a)

Roy,B.; Bertier,P.: La methode ELECTRE II - Une appllication au media-planning; in: Ross,M. (Hrsg.): OR'72, Proceedings of the International Conference on Operational Research 1972, Amsterdam 1973, S. 291-302.

Roy,B. (1973b)

Roy,B.: How Outranking Relation Helps Multiple Criteria Decision Making; in: Cochrane,J.L.; Zeleny,M. (Hrsg.): Multiple Criteria Decision Making, Papers presented at a seminar, 26.-17.10.1972 in Columbia, Columbia 1973, S. 179-201.

Roy,B. (1977a)

Roy,B.: A Conceptual Framework for a Prescriptive Theory of "Decision-Aid"; in: Starr,M.K.; Zeleny,M. (Hrsg.): Multiple Criteria Decision Making, Amsterdam - New York - Oxford 1977, S. 179-210.

Roy,B. (1977b)

Roy,B.: Partial Preference Analysis and Decision-Aid: The Fuzzy Outranking Relation Concept; in: Bell,D.E.; Keeney,R.L.; Raiffa,H. (Hrsg.): Conflicting Objectives in Decisions, Chichester - New York - Brisbane ... 1977, S. 40-75.

Roy,B. (1978)

Roy,B.: ELECTRE III: Un algorithme de classements fonde sur une representation floue des preferences en presence de criteres multiples; in: Cahiers du Centre d'Etudes de Recherche Operationelle, Vol. 20 (1978), No. 1, S. 3-24.

Roy,B. (1980)

Roy,B.: Selektieren, Sortieren und Ordnen mit Hilfe von Prävalenzrelationen: Neue Ansätze auf dem Gebiet der Entscheidungshilfe für Multikriterien-Probleme; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Fertigung, 32. Jg. (1980), S. 465-497.

Roy, B. (1982)

Roy, B.; Hugonnard, J.C.: Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method; in: *Transportation Research-A*, Vol. 16A (1982), S. 301-312.

Roy, B. (1984)

Roy, B.; Vincke, P.: Relational Systems of Preference with one or more Pseudo-Criteria: Some New Concepts and Results; in: *Management Science*, Vol. 30 (1984), S. 1323-1335.

Roy, B. (1985)

Roy, B.: *Methodologie Multicritere d'Aide a la Decision*, Paris 1985.

Roy, B. (1986)

Roy, B.; Bouyssou, D.: Comparison of two decision-aid models applied to a nuclear power plant siting example; in: *European Journal of Operational Research*, Vol. 25 (1986), S. 200-215.

Rüger (1974)

Rüger, M.: *Die Berücksichtigung reihenfolgeabhängiger Rüstzeiten bei der Reihenfolgeplanung*, Dissertation, Universität Köln, Köln 1974.

Rühli (1988)

Rühli, E.: Das Corporate-Culture-Konzept als Herausforderung für die Führungslehre; in: Wunderer, R. (Hrsg.): *Betriebswirtschaftslehre als Management- und Führungslehre*, 2. Aufl., Stuttgart 1988, S. 293-306.

Russell, B. (1905)

Russell, B.: On Denoting; in: *Mind*, Vol. 14 (1905), S. 479-493.

Russell, B. (1921)

Russell, B.: Vorwort (zu: Wittgenstein, L.: *Logisch-Philosophische Abhandlung*.); in: *Annalen der Naturphilosophie*, Bd. 14 (1921), S. 186-198.

Russell, B. (1926)

Russell, B.: *Die Probleme der Philosophie*, Erlangen 1926.

Russell, B. (1952)

Russell, B.: *Das menschliche Wissen*, Darmstadt o.J. (1952).

Russell, R.S. (1987)

Russell, R.S.; Dar-El, E.M.; Taylor, B.W.: A comparative analysis of the COVERT job sequencing rule using various shop performance measures; in: *International Journal of Production Research*, Vol. 25 (1987), S. 1523-1540.

Saake (1988)

Saake, G.; Lipeck, U.W.: Foundations of Temporal Integrity Monitoring; in: Rolland, C.; Bodart, F.; Leonard, M. (Hrsg.): *Temporal Aspects in Information Systems*, Proceedings of the IFIP TC 8/WG 8.1 Working Conference on Temporal Aspects in Information Systems, 13.-15.05.1987 in Sophia-Antipolis, Amsterdam - New York - Oxford ... 1988, S. 235-249.

Sacerdoti (1977)

Sacerdoti, E.D.: *A Structure for Plans and Behavior*, New York - Oxford - Amsterdam 1977.

Sacerdoti (1979)

Sacerdoti, E.D.: Problem Solving Tactics; in: o.V.: *IJCAI-79*, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 2, S. 1077-1085.

Sacerdoti (1980)

Sacerdoti, E.D.: *Plan Generation and Execution for Robotics*, Technical Note 209, Artificial Intelligence Center, Stanford Research Institute International Inc., Menlo Park 1980.

Sachsse (1983)

Sachsse, H.: Über die Bildung nicht-anschaulicher Begriffe - Überlegungen zur Logik des "dialektischen Schlusses"; in: Neemann, U.; Walther-Klaus, E. (Hrsg.): *Logisches Philosophieren*, Festschrift für Albert Menne zum 60. Geburtstag, Hildesheim - Zürich - New York 1983, S. 103-119.

Sälter (1989)

Sälter, P.M.: *Externe Effekte: "Marktversagen" oder Systemmerkmal?*, Dissertation, Universität Marburg 1987, Heidelberg 1989.

Sainis (1982)

Sainis, P.: Praxisorientierte Grundprinzipien der Regelung und Steuerung in der Produktion; Krallmann, H. (Hrsg.): Sozio-ökonomische Anwendungen der Kybernetik und Systemtheorie, Berlin 1982, S. 53-62.

Samuelson (1987)

Samuelson, P.A.; Nordhaus, W.D.: Volkswirtschaftslehre - Grundlagen der Makro- und Mikroökonomie, Band 1, 8. Aufl., Köln 1987.

Sanders, M. (1987)

Sanders, M.: Quantitative Analyse Interner Kontrollsysteme - Modellbildung und empirische Anwendung, Berlin 1987.

Sauermann (1962)

Sauermann, H.; Selten, R.: Anspruchsanpassungstheorie der Unternehmung; in: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Bd. 118 (1962), S. 577-597.

Saurenbach (1991)

Saurenbach, B.: Zeitwirtschaft in der Serienfertigung - Entwicklung der Fertigungsvorbereitung und Bedeutung der Zeitwirtschaft im Siemens-Gerätewerk Amberg; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 40. Jg. (1991), S. 8-14.

Savage (1976)

Savage, J.E.: The Complexity of Computing, New York - London - Sydney ... 1976.

Schäfer, E. (1978)

Schäfer, E.: Der Industriebetrieb - Betriebswirtschaftslehre der Industrie auf typologischer Basis, 2. Aufl., Wiesbaden 1978.

Schaefer, F. (1980)

Schaefer, F.-W.: System zur Planung und Nutzung der Flexibilität in der Fertigung - Ein Beitrag zur Verbesserung der Reaktionsfähigkeit von Unternehmen, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Aachen 1980.

Schäfer, H. (1984)

Schäfer, H.: Materialflußsteuerung bei reduzierten Beständen - Voraussetzungen und Lösungswege; in: Baumgarten, H.; Schwarting, C. (Hrsg.): Bestandssenkung in Produktions- und Zulieferunternehmen, Bremen 1984, S. 55-73.

Schaefer, R. (1985)

Schaefer, R.E.: Denken - Informationsverarbeitung, mathematische Modelle und Computersimulation, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985.

Schaffitzel (1982)

Schaffitzel, W.: Das entscheidungstheoretische Rationalitätskonzept in der Praxis - Anspruch und Wirklichkeit. Eine kritische Untersuchung neuerer Programmwürfe für eine angewandte Betriebswirtschaftslehre, Dissertation, Universität Karlsruhe, München 1982.

Schanz (1972)

Schanz, G.: Zum Prinzip der Wertfreiheit in der Betriebswirtschaftslehre: Wissenschaftstheoretische Anmerkungen zu Erich Loitlsbergers Plädoyer für eine normative Wissenschaft; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 24. Jg. (1972), S. 379-392.

Schanz (1973)

Schanz, G.: Pluralismus in der Betriebswirtschaftslehre: Bemerkungen zu gegenwärtigen Forschungsprogrammen; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 25. Jg. (1973), S. 131-154.

Schanz (1975a)

Schanz, G.: Zwei Arten des Empirismus; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 27. Jg. (1975), S. 307-331.

Schanz (1977b)

Schanz, G.: Grundlagen der verhaltenstheoretischen Betriebswirtschaftslehre, Habilitationsschrift, Universität Mannheim, Tübingen 1977.

Schanz (1978)

Schanz,G.: Pluralismus in der Betriebswirtschaftslehre: Bemerkungen zu gegenwärtigen Forschungsprogrammen; in: Schweitzer,M. (Hrsg.): Auffassungen und Wissenschaftsziele der Betriebswirtschaftslehre, Darmstadt 1978, S. 292-335. (Anmk des Verf.: Erweiterte Fassung von Schanz (1973).)

Schanz (1988a)

Schanz,G.: Erkennen und Gestalten - Betriebswirtschaftslehre in kritisch-rationaler Absicht, Stuttgart 1988.

Schanz (1988b)

Schanz,G.: Methodologie für Betriebswirte, 2. Aufl., Stuttgart 1988.

Schanz (1988c)

Schanz,G.: Wissenschaftsprogramme der Betriebswirtschaftslehre; in: Bea,F.X.; Dichtl,E.; Schweitzer,M. (Hrsg.): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1: Grundfragen, 4. Aufl., Stuttgart 1988, S. 49-114.

Schanz (1988d)

Schanz,G.: Von der Metaphysik zur Systemgestaltung - Der logische Aufbau einer verhaltens-theoretisch orientierten Managementwissenschaft; in: Wunderer,R. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als Management- und Führungslehre, 2. Aufl., Stuttgart 1988, S. 217-227.

Schanz (1990a)

Schanz,G.: Die Betriebswirtschaftslehre als Gegenstand kritisch-konstruktiver Betrachtungen - Kommentare und Anregungen, Stuttgart 1990.

Scharf,A. (1987)

Scharf,A.: Expertensysteme - Repräsentation des Wissens; in: Hard and Soft, Ausgabe Mai 1987, S. 22-30.

Scharf,P. (1976)

Scharf,P.: Strukturen flexibler Fertigungssysteme - Gestaltung und Bewertung, Mainz 1976.

Schauenberg (1991)

Schauenberg,B.: Organisationsprobleme bei dauerhafter Kooperation; in: Ordelleide,D.; Rudolph,B.; Büsselmann,E. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre und Ökonomische Theorie, 52. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 05.-09.06.1990 in Frankfurt, Stuttgart 1991, S. 329-356.

Scheer (1976)

Scheer,A.-W.: Produktionsplanung auf der Grundlage einer Datenbank des Fertigungsbereichs, München 1976.

Scheer (1983b)

Scheer,A.-W.: Stand und Trends der computergestützten Produktionsplanung und -steuerung (PPS) in der Bundesrepublik Deutschland; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 53. Jg. (1983), S. 138-155.

Scheer (1984b)

Scheer,A.-W.: Schnittstellen zwischen betriebswirtschaftlicher und technischer Datenverarbeitungen in der Fabrik der Zukunft; in: Ehrich,H.-D. (Hrsg.): GI - 14. Jahrestagung, Proceedings, 02.-04.10.1984 in Braunschweig, Informatik-Fachberichte 88, Berlin - Heidelberg - New York ... 1984, S. 56-79. (Auch erschienen als: Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik der Universität des Saarlandes, Nr. 44, Saarbrücken 1984.)

Scheer (1987a)

Scheer,A.-W.: EDV-orientierte Betriebswirtschaftslehre, 3. Aufl, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987. (Anmk. des Verf.: passagenweise über Scheer (1990c) hinausreichend.)

Scheer (1988a)

Scheer,A.-W.: Wirtschaftsinformatik - Informationssysteme im Industriebetrieb, 2. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1988.

Scheer (1988d)

Scheer,A.-W.: CIM - Computer Integrated Manufacturing - Der computergesteuerte Industriebetrieb, 3. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1988.

Scheer (1988e)

Scheer,A.-W.: Unternehmensdatenmodell (UDM) als Grundlage integrierter Informationssysteme; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 58. Jg. (1988), S. 1091-1114.

Scheer (1988f)

Scheer,A.-W.: Unternehmensdatenmodelle (UDM) als Grundlage des Entwurfs integrierter Informationssysteme; in: o.V.: Wissenschaftliches Forum'88 - Informationsverarbeitung in Lehre und Forschung, 26.-28.10.1988 in München, Dokumentation, München 1988, Vortrag 39.

Scheer (1988g)

Scheer,A.-W.: Entwurf eines Unternehmensdatenmodells; in: Information Management, 3. Jg. (1988), Heft 1, S. 14-23.

Scheer (1989b)

Scheer,A.-W.: Unternehmens-Datenbanken - Der Weg zu bereichsübergreifenden Datenstrukturen, Arbeitsbericht, Nr. 63, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1989.

Scheer (1989c)

Scheer,A.-W.: Enterprise-Wide Data Modelling - Information Systems in Industry, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989.

Scheer (1989d)

Scheer,A.-W.; Kraemer,W.: Wie beeinflusst CIM das Rechnungswesen?; in: io Management Zeitschrift, 58. Jg. (1989), Nr. 6, S. 81-84.

Scheer (1989h)

Scheer,A.-W.: Betriebswirtschaftliche Konsequenzen von CIM; in: Didacticum, o.Jg. (1989), Nr. 7, S. 30-33.

Scheer (1989i)

Scheer,A.-W.; Kraemer,W.: Betriebsübergreifende Vorgangsketten und Informationssysteme; in: CIM Management, 5.Jg. (1989), Heft 3, S. 4-9.

Scheer (1990c)

Scheer,A.-W.: EDV-orientierte Betriebswirtschaftslehre - Grundlagen für ein effizientes Informationsmanagement, 4. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Scheer (1990d)

Scheer,A.-W.: CIM - Computer Integrated Manufacturing - Der computergesteuerte Industriebetrieb, 4. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Scheer (1990e)

Scheer,A.-W.: Prozeßketten und Unternehmensdatenbanken - Herausforderung auch für das Controlling; in: Scheer,A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV, 11. Saarbrücker Arbeitstagung "Wandel der Kalkulationsobjekte", Heidelberg 1990, S. 3-19.

Scheer (1991d)

Scheer,A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme - Grundlagen der Unternehmensmodellierung, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991.

Scheer (1991e)

Scheer,A.-W.: Konsequenzen für die Betriebswirtschaftslehre aus der Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien, Schriftliche Fassung des Abschlußvortrages, gehalten am 24.05.1991 anlässlich der 53. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 21.-25.05.1991 in Linz, Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 79, Saarbrücken 1991.

Scheer (1991f)

Scheer,A.-W.; Berkau,C.; Kruse,C.: Analyse der Umsetzung einer EDI-Konzeption am Beispiel der Beschaffungslogistik in der Automobilzulieferindustrie; in: Information Management, 6. Jg. (1991), Heft 2, S. 30-37.

Schefe (1982)

Schefe,P.: Some fundamental issues in knowledge representation; in: Wahlster,W. (Hrsg.): GWAI-82, 6th German Workshop on Artificial Intelligence, 27.09.-01.10.1982 in Bad Honnef, Informatik-Fachberichte 58, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 42-62.

Scheffler, E. (1989)

Scheffler, E.: Vom Teen-ager zum Man-ager; in: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Ausgabe vom 04.11.1989, S. 17.

Scheibe (1989)

Scheibe, E.: Das Reduktionsproblem und die Einheit der Naturwissenschaften; in: Weingartner, P.; Schurz, G. (Hrsg.): Philosophie der Naturwissenschaften, Akten des 13. Internationalen Wittgenstein Symposiums, 14.-21.08.1988 in Kirchberg, ausgewählte Beiträge, Wien 1989, S. 305-317.

Scherrer (1991)

Scherrer, G.: Kostenrechnung, 2. Aufl., Stuttgart 1991.

Schiemenz (1972a)

Schiemenz, B.: Regelungstheorie und Entscheidungsprozesse - Ein Beitrag zur Betriebskybernetik, Wiesbaden 1972.

Schiemenz (1972b)

Schiemenz, B.: Regelungstheoretische Grundkonzepte und ihre Anwendung zur Gestaltung von Produktions-Lagerhaltungs-Systemen; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 24. Jg. (1972), S. 434-452.

Schiemenz (1982)

Schiemenz, B.: Betriebskybernetik - Aspekte des betrieblichen Managements, Stuttgart 1982.

Schimank (1990)

Schimank, C.: Strategische Entscheidungsunterstützung durch prozeßorientierte Kosteninformationen; in: Horvath, P. (Hrsg.): Strategieunterstützung durch das Controlling: Revolution im Rechnungswesen?, Stuttgart 1990, S. 227-247.

Schittkowski (1980)

Schittkowski, N.: Nonlinear Programming Codes, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 183, Berlin - Heidelberg - New York 1980.

Schiwy (1969)

Schiwy, G.: Der französische Strukturalismus, Mode - Methode - Ideologie, Reinbek 1969.

Schiwy (1973)

Schiwy, G.: Neue Aspekte des Strukturalismus, München 1943.

Schlick (1930a)

Schlick, M.: Die Kausalität in der gegenwärtigen Physik.; in: Die Naturwissenschaften, 19. Jg. (1930), S. 145-162.

Schlingensiepen (1988a)

Schlingensiepen, J.: DNC-Leittechnik aus heutiger Sicht - Brücke zwischen Fertigungsinseln; in: Industrie-Anzeiger, 110. Jg. (1988), Nr. 69, S. 14-16.

Schmalenbach (1919)

Schmalenbach, E.: Selbstkostenrechnung; in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung, 13. Jg. (1919), S. 257-299 u. 321-356.

Schmalenbach (1963)

Schmalenbach, E.: Kostenrechnung und Preispolitik, 8. Aufl., Köln - Opladen 1963.

Schmid, M. (1972)

Schmid, M.: Leerformeln und Ideologiekritik, Dissertation (unter dem Titel "Sprachkritische Betrachtungen zum Leerformelproblem - Versuch einer sprachlogischen Explikation"), Universität Heidelberg 1971, Tübingen 1972.

Schmid, M. (1979a)

Schmid, M.: Handlungsrationalität - Kritik einer dogmatischen Handlungswissenschaft, München 1979.

Schmidt, E. (1989)

Schmidt, E.: Ein effizienter Schritt in Richtung Computer Integrated Manufacturing - Fertigungssegmente vereinfachen das Informationssystem - Die Herstellkosten können um 10% sinken; in: VDI nachrichten, 43. Jg. (1989), Nr. 24, S. 26.

Schmidt,He. (1989)

Schmidt,He.; Wenzel,H.-H.: Maschinenstundensatzrechnung als Alternative zur herkömmlichen Zuschlagskostenrechnung?; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1989), S. 147-158.

Schmidt,Hu. (1989)

Schmidt,Hu.: Konzeption eines Kostenmodells für integrierte Systeme, gezeigt am Beispiel flexibler Fertigungssysteme, Düsseldorf 1989.

Schmidt,J.W. (1987)

Schmidt,J.W.: Datenbankmodelle; in: Lockemann,P.C.; Schmidt,J.W. (Hrsg.): Datenbank-Handbuch, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987, S. 1-83.

Schmidt,K. (1980)

Schmidt,K.-J.: Technisch-wirtschaftliche Aspekte des Mikroprozessor- und Mikrocomputer-einsatzes im Industriebetrieb, Dissertation, Universität Köln 1979, Düsseldorf 1980.

Schmidt,K. (1986)

Schmidt,K.-J.: Logistik im integrierten Produktions- und Zulieferverbund (JIT und EDV); in: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Ausgabe vom 27.10.1986, S. B12.

Schmidt,R. (1987)

Schmidt,R.: Einsatzmöglichkeiten der Simulation in der Werkstattsteuerung; in: Halin,J. (Hrsg.): Simulationstechnik. 4. Symposium Simulationstechnik, Proceedings, 9.-11.09.1987 in Zürich, Informatik-Fachberichte 150, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987, S. 520-538.

Schmidt,R.H. (1972)

Schmidt,R.H.: Einige Überlegungen über die Schwierigkeiten, heute eine "Methodologie der Betriebswirtschaftslehre" zu schreiben; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 24. Jg. (1972), S. 393-410.

Schmidt,R.H. (1983)

Schmidt,R.H.: Lehren, Rationalität und Leitbilder; zu Dieter Schneiders "Geschichte betriebswirtschaftlicher Theorie"; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 35. Jg. (1983), S. 503-525.

Schmidt,R.H. (1987a)

Schmidt,R.H.; Schor,G. (Hrsg.): Modelle in der Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1987.

Schmidt,S. (1987a)

Schmidt,S.J. (Hrsg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt 1987.

Schmidt,S. (1987b)

Schmidt,S.J.: Der Radikale Konstruktivismus: Ein neues Paradigma im interdisziplinären Diskurs; in: Schmidt,S.J. (Hrsg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt 1987, S. 11-88.

Schmidt-Sudhoff (1967)

Schmidt-Sudhoff,U.: Unternehmerziele und unternehmerisches Zielsystem, Wiesbaden 1967.

Schmitt,A. (1992)

Schmitt,A.: Transparenz mit Prozesskostenrechnung; in: io Management Zeitschrift, 61. Jg. (1992), Nr. 7/8, S. 44-48.

Schmitz,L. (1988a)

Schmitz,L.: Objektorientierte Programmierung, Teil 1: Objektorientiert = Gut?; in: PC Magazin, o.Jg. (1988), Nr. 51, S. 46-51 u. 101.

Schmitz,L. (1988b)

Schmitz,L.: Objektorientierte Programmierung, Teil 2: Ein bißchen Smalltalk; in: PC Magazin, o.Jg. (1988), Nr. 52, S. 52-58.

Schmitz,P. (1978)

Schmitz,P.; Szyperski,N.: Organisatorisches Instrument zur Gestaltung von Informations- und Kommunikationssystemen in Unternehmungen; in: Angewandte Informatik, 20. Jg. (1978), S. 281-292.

Schmitz,P. (1981)

Schmitz,P.: Die Entwicklung des ADV-Leistungspotentials und seine Nutzung in Wirtschaft und Verwaltung; in: Frese,E.; Schmitz,P.; Szyperski,N. (Hrsg.): Organisation, Planung, Informationssysteme, Erwin Grochla zu seinem 60. Geburtstag gewidmet, Stuttgart 1981, S. 289-300.

Schmitz,P. (1985)

Schmitz,P.; Seibt,D.: Einführung in die anwendungsorientierte Informatik, Bd. 1: Systemtechnische Grundlagen, 3. Aufl., München 1985.

Schnabel (1982)

Schnabel,R.B.: Comments on Evaluating Algorithms and Codes for Mathematical Programming; in: Mulvey,J.M. (Hrsg.): Evaluating Mathematical Programming Techniques, Proceedings of a Conference, 5.-6.01.1981 in Boulder, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 199, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 166-169.

Schnabl (1985)

Schnabl,H.: Computersimulation und Modellbildung in der Ökonomie; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 14. Jg. (1985), S. 453-460.

Schnädelbach (1982)

Schnädelbach,H.: Bemerkungen über Rationalität und Sprache; in: Kuhlmann,W.; Böhler,D. (Hrsg.): Kommunikation und Reflexion - Zur Diskussion der Transzendentalpragmatik. Antworten auf Karl-Otto Apel, Frankfurt 1982, S. 347-368.

Schneeweiß,C. (1978)

Schneeweiß,C.: Zum Begriff der wertmäßigen Kosten; in: Müller-Merbach,H. (Hrsg.): Quantitative Ansätze in der Betriebswirtschaftslehre, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 1.-3.06.1977 in Darmstadt, München 1978, S. 147-158.

Schneeweiß,C. (1988)

Schneeweiß,C.: Zur Bewältigung von Unsicherheiten in der Produktionsplanung und -steuerung; in: Lücke,W. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Steuerungs- und Kontrollprobleme, Wissenschaftliche Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 9.-13.06.1987 in Göttingen, Wiesbaden 1988, S. 285-302.

Schneeweiß,C. (1989b)

Schneeweiß,C.: Der Zeitaspekt in der Planung; in: Hax,H.; Kern,W.; Schröder,H.-H. (Hrsg.): Zeitaspekte betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis, 50. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 24.-28.05.1988 in Köln, Stuttgart 1989, S. 3-19.

Schneeweiß,C. (1992b)

Schneeweiß,C.: Einführung in die Produktionswirtschaft, 4. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1992.

Schneeweiß,H. (1963)

Schneeweiß,H.: Nutzenaxiomatik und Theorie des Messens; in: Statistische Hefte, 4. Jg. (1963), S. 178-220.

Schneider,A. (1979)

Schneider,A.: Kommunikationsorientiertes EDV-System bei MTU, Teil 10: Zeitwirtschaft und ihre Probleme; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 28. Jg. (1979), S. 355-360.

Schneider,D. (1971)

Schneider,D.: Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewißheit?; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 23. Jg. (1971), S. 831-851.

Schneider,D. (1972)

Schneider,D.: "Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewißheit?" in der Diskussion; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 24. Jg. (1972), S. 456-479.

Schneider,D. (1973)

Schneider,D.: Unternehmungsziele und Unternehmungskoooperation - Ein Beitrag zur Erklärung kooperativ bedingter Zielvariationen, Wiesbaden 1973.

Schneider,D. (1978)

Schneider,D.: Ziele und Mittel der Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1978.

Schneider,D. (1982)

Schneider,D.: Das Versagen der Paradigmavorstellung für die Betriebswirtschaftslehre; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 34. Jg. (1982), S. 849-869. (Auch veröffentlicht in: Fischer-Winkelmann,W.F. (Hrsg.): Paradigmawechsel in der Betriebswirtschaftslehre, Spardorf 1983, S. 502-543.)

Schneider,D. (1987a)

Schneider,D.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 3. Aufl., München - Wien 1987 (Nachdruck 1991).

Schneider,H.-J. (1978)

Schneider,H.-J.: Möglichkeiten und Grenzen normativer Ansätze für die Gestaltung von Informationssystemen; in: Hansen,H.R. (Hrsg.): Entwicklungstendenzen der Systemanalyse, 5. Wirtschaftsinformatik-Symposium der IBM Deutschland GmbH, 10.-12.10.1978 in Bad Neuenahr, München - Wien 1978, S. 31-58.

Schneider,M. (1986)

Schneider,M.: Programmierwerkzeuge - ihre Integration in eine objektorientierte Programmierumgebung; in: Hommel,G.; Schindler,S. (Hrsg.): GI - 16. Jahrestagung I: Informatik-Anwendungen - Trends und Perspektiven, 06.-10.10.1986 in Berlin, Proceedings, Informatik-Fachberichte 126, Berlin - Heidelberg - New York ... 1986, S. 195-211.

Schneider,Ma. (1991)

Schneider,Ma.: Zyklizität von Wissenschaft und Ökonomie - Zur Dialektik von Theorieentwicklung, Innovationsdynamik und ökonomischer Reproduktion, Frankfurt - New York 1991.

Schnitzler (1980)

Schnitzler,G.: Zur "Philosophie" des Wiener Kreises - Neopositivistische Schlüsselbegriffe in der Zeitschrift "Erkenntnis", Dissertation, Universität Freiburg 1979, München 1980.

Schnupp (1989)

Schnupp,P.; Nguyen Huu,C.T.; Bernhard,L.W.: Expert Systems Lab Course, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989.

Schöne,I. (1988)

Schöne,I.: Ökologisches Arbeiten - Zur Theorie und Praxis ökologischen Arbeitens als Weiterentwicklung der marktwirtschaftlich organisierten Arbeit, Dissertation, Gesamthochschule Kassel 1986, Wiesbaden 1988.

Schönpflug (1954)

Schönpflug,F.: Betriebswirtschaftslehre - Methoden und Hauptströmungen, 2. Aufl. von "Das Methodenproblem in der Einzelwirtschaftslehre", Stuttgart 1954.

Scholz-Reiter (1990a)

Scholz-Reiter,B.: CIM - Informations- und Kommunikationssysteme - Darstellung von Methoden und Konzeption eines rechnergestützten Werkzeugs für die Planung, München - Wien 1990.

Scholz-Reiter (1990b)

Scholz-Reiter,B.: Rechnergestützte Ansätze zur Gestaltung von CIM-Informations- und Kommunikationssystemen; in: Krallmann,H.; Gronau,N.; Scholz-Reiter,B. (Hrsg.): CIM - Expertenwissen für die Praxis, München - Wien 1990, S. 494-519.

Schonberger (1982)

Schonberger,R.J.: Japanese Manufacturing Techniques - Nine Hidden Lessons in Simplicity, New York - London 1982.

Schonberger (1988)

Schonberger,R.J.: Produktion auf Weltniveau - Wettbewerbsvorteile durch integrierte Fertigung, Frankfurt - New York 1988.

Schopman (1986)

Schopman,J.: Negative Cross-fertilization; in: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Bd. 17 (1986), S. 59-67.

Schreyögg (1984)

Schreyögg, G.: Unternehmensstrategie - Grundfragen einer Theorie strategischer Unternehmensführung, Berlin - New York 1984.

Schröder, H. (1983)

Schröder, H.-H.; Peters, U.: Standard-Software-Pakete für Mikrocomputer in der Materialwirtschaft industrieller Klein- und Mittelbetriebe; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 32. Jg. (1983), S. 76-90.

Schröder, H. (1989)

Schröder, H.-H.: Entwicklungsstand und -tendenzen bei PPS-Systemen, Arbeitsbericht Nr. 26, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1989.

Schüler (1989)

Schüler, W.: Partial- vs. Totalplanung; in: Szyperski, N.; Winand, U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 1337-1341.

Schulte, J. (1989)

Schulte, J.: Wittgenstein - Eine Einführung, Stuttgart 1989.

Schumacher (1978)

Schumacher, F.: Beschreibung und Auswertung diskreter dynamischer Systeme, Bericht KfK 2635, Institut für Datenverarbeitung in der Technik, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung, Karlsruhe 1978.

Schumann (1988)

Schumann, M.: Neue Produktionskonzepte bieten Chancen für erweitertes Wissen - "Der hochqualifizierte Arbeiter braucht die Konkurrenz der Ingenieure nicht zu fürchten" - Auch in Zukunft könnten in der Industrie die einfachen Tätigkeiten dominieren (Interview mit M. Schumann); in: VDI nachrichten, 42. Jg. (1988), Nr. 41, S. 8.

Schuster, H. (1984)

Schuster, H.G.: Deterministic Chaos - An Introduction, Weinheim 1984.

Schwärtzel (1979)

Schwärtzel, H.G.: Mikroprozessoren in distribuierten Informationssystemen - Stand und Entwicklung -; in: Angewandte Informatik, 21. Jg. (1979), S. 294-302.

Schwaninger (1989)

Schwaninger, M.: Integrale Unternehmensplanung, Frankfurt - New York 1989.

Schwarze, J. (1990)

Schwarze, J.: Netzplantechnik - Eine Einführung in das Projektmanagement, 6. Aufl., Herne - Berlin 1990.

Schweitzer, M. (1964b)

Schweitzer, M.: Die Reihenfolge der Bearbeitung als Problem der Prozeßstrukturierung; in: Grochla, E. (Hrsg.): Organisation und Rechnungswesen, Festschrift für Erich Kosiol zu seinem 65. Geburtstag, Berlin 1964, S. 181-207.

Schweitzer, M. (1966)

Schweitzer, M.: Beitrag zur optimalen Terminierung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 36. Jg. (1966), S. 41-52.

Schweitzer, M. (1967)

Schweitzer, M.: Methodologische und entscheidungstheoretische Grundfragen der betriebswirtschaftlichen Prozeßstrukturierung; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 19. Jg. (1967), S. 279-296.

Schweitzer, M. (1978a)

Schweitzer, M. (Hrsg.): Auffassungen und Wissenschaftsziele der Betriebswirtschaftslehre, Darmstadt 1978.

Schweitzer, M. (1978b)

Schweitzer, M.: Wissenschaftsziele und Auffassungen in der Betriebswirtschaftslehre - Eine Einführung; in: Schweitzer, M. (Hrsg.): Auffassungen und Wissenschaftsziele der Betriebswirtschaftslehre, Darmstadt 1978, S. 1-14.

Schweitzer, M. (1979a)

Schweitzer, M.: Prinzipien der Kostenrechnung; in: Schanz, G. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Gesetze, Effekte und Prinzipien, München 1979, S. 222-234.

Schweitzer, M. (1986)

Schweitzer, M.; Küpper, H.-U.: Systeme der Kostenrechnung, 4. Aufl., Landsberg 1986.

Schweitzer, M. (1990a)

Schweitzer, M.: Gegenstand der Industriebetriebslehre; in: Schweitzer, M. (Hrsg.): Industriebetriebslehre - Das Wirtschaften in Industrieunternehmen, München 1990, S. 1-60.

Schweitzer, M. (1990b)

Schweitzer, M.: Industrielle Fertigungswirtschaft; in: Schweitzer, M. (Hrsg.): Industriebetriebslehre - Das Wirtschaften in Industrieunternehmen, München 1990, S. 561-696.

Schwemmer (1987)

Schwemmer, O.: Handlung und Struktur - Zur Wissenschaftstheorie der Kulturwissenschaften, Frankfurt 1987.

Seel, G. (1983)

Seel, G.: Ist der praktische Begründungsregress abschliessbar?; in: Frey, G.; Zelger, J. (Hrsg.): Der Mensch und die Wissenschaften vom Menschen - Die Beiträge des XII. Deutschen Kongresses für Philosophie, 29.09.-03.10.1981 in Innsbruck, Bd. II: Die kulturellen Werte, Innsbruck 1983, S. 609-619.

Seelbach (1975a)

Seelbach, H.: Ablaufplanung, Würzburg - Wien 1975.

Seelbach (1979)

Seelbach, H.: Ablaufplanung bei Einzel- und Serienproduktion; in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 12-28.

Seifritz (1987)

Seifritz, W.: Wachstum, Rückkopplung und Chaos - Eine Einführung in die Welt der Nichtlinearität und des Chaos, München - Wien 1987.

Seitzer (1988)

Seitzer, D.: Zum Wechselspiel zwischen Mikroelektronik und Informatik; in: Valk, R. (Hrsg.): GI - 18. Jahrestagung (I) - Vernetzte und komplexe Informatik-Systeme, Proceedings, 17.-19.10.1988 in Hamburg, Informatik-Fachberichte 187, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 3-15.

Seliger (1983)

Seliger, G.: Wirtschaftliche Planung automatisierter Fertigungssysteme, München - Wien 1983.

Sell (1988)

Sell, R.: Angewandtes Problemlösungsverhalten - Denken und Handeln in komplexen Zusammenhängen, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988.

Serfling (1992)

Serfling, K.: Controlling, 2. Aufl., Stuttgart - Berlin - Köln 1992.

Serra (1990)

Serra, R.; Zanarini, G.: Complex Systems and Cognitive Processes, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

Seßler (1989)

Seßler, G.-W.; von Pattay, W.: Normung als strategische Aufgabe des Managements; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 18. Jg. (1989), S. 127-132.

Shah (1988)

Shah, R.: Computer Integrated Manufacturing in Stufen - Fertigungsinseln mit CIM-Standard erleichtern Integration - Unterschiedliche Steuerungen erhöhen den Verknüpfungsaufwand; in: VDI nachrichten, 42. Jg. (1988), Nr. 48, S. 26.

Shakun (1972)

Shakun, M.F.: Management Science and Management: Implementing Management Science via Situational Normativism; in: Management Science, Vol. 18 (1972), S. B-367 - B-377.

Shanthikumar (1988)

Shanthikumar, J.G.; Sumita, U.: Approximations for the time spent in a dynamic job shop with applications to due-date assignment; in: *International Journal of Production Research*, Vol. 26 (1988), S. 1329-1352.

Shapiro, S.C. (1979a)

Shapiro, S.C.: *Techniques of Artificial Intelligence*, New York - Cincinnati - Toronto ... 1979.

Shaw, M. (1984)

Shaw, (M.) J.-P.: *The Design of a Distributed Knowledge-Based System for the Intelligent Manufacturing Information System*, Dissertation, Purdue University, Ann Arbor 1984.

Shaw, M. (1985a)

Shaw, M.J.; Whinston, A.B.: Task Bidding and Distributed Planning in Flexible Manufacturing; in: Weisbin, C.R. (Hrsg.): *Artificial Intelligence Applications - The Engineering of Knowledge-Based Systems*, Proceedings of the Second Conference, 11.-13.12.1985 in Miami Beach, Washington - Amsterdam 1985, S. 184-189.

Shaw, M. (1986a)

Shaw, M.J.P.; Whinston, A.B.: Applications of Artificial Intelligence to Planning and Scheduling in Flexible Manufacturing; in: Kusiak, A. (Hrsg.): *Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies*, Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo 1986, S. 223-242.

Shaw, M. (1986b)

Shaw, M.: A Pattern-Directed Approach to FMS Scheduling; in: Stecke, K.E.; Suri, R. (Hrsg.): *Flexible Manufacturing Systems - Operations Research Models and Applications*, Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems, 12.-15.08.1986 in Ann Arbor, Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo 1986, S. 545-554.

Shaw, M. (1988d)

Shaw, M.; Wiegand, G.: Intelligent information processing in FMS - Efficient organisation of information in an FMS can greatly improve its operation speed and effectiveness.; in: *The FMS Magazine*, Vol. 6 (1988), S. 137-140.

Shaw, M. (1988e)

Shaw, M.J.; Whinston, A.B.: A Distributed Knowledge-Based Approach to Flexible Automation: The Contract Net Framework; in: *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 1 (1988), S. 85-104.

Sieben (1990)

Sieben, G.; Schildbach, T.: *Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie*, 3. Aufl., Düsseldorf 1990.

Siebert, H. (1980)

Siebert, H.: Die intertemporale Allokation natürlicher Ressourcen; in: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, 9. Jg. (1980), S. 11-14.

Siebert, H. (1984)

Siebert, H.: Das intertemporale Angebotsverhalten eines ressourcenexportierenden Landes; in: Siebert, H. (Hrsg.): *Intertemporale Allokation*, Symposium, 20.-21.02.1984 in Mannheim, Frankfurt - Bern New York 1984, S. 329-365.

Siebert, H. (1985)

Siebert, H.: Ricardo- und Hotelling-Paradigmen für die Preisbildung natürlicher Ressourcen, *Diskussionsbeiträge, Serie A - Nr. 205*, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und Statistik, Universität Konstanz, Konstanz 1985.

Siegel, T. (1974)

Siegel, T.: *Optimale Maschinenbelegungsplanung - Zweckmäßigkeit der Zielkriterien und Verfahren zur Lösung des Reihenfolgeproblems*, Berlin 1974.

Siegwart (1989)

Siegwart, H.; Raas, F.: Anpassung der Kosten- und Leistungsrechnung an moderne Fertigungstechnologien; in: *Kostenrechnungspraxis*, o.Jg. (1989), Nr. 1, S. 7-14.

Sifakis (1982)

Sifakis, J.: A Unified Approach for Studying the Properties of Transition Systems; in: *Theoretical Computer Science*, Vol. 18 (1982), S. 227-258.

Sikora,K. (1984b)

Sikora,K.: Grundannahmen des analytischen Ansatzes (des Paradigmas des rationalen kollektiven Aktors), Arbeitspapier, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln o.J. (ca. 1984).

Sikora,K. (1984c)

Sikora,K.: Theorie des Handelns, Argumentationstheorie und Unternehmungsplanung. Kommentare zu den Referaten von Reinhard H. Schmidt, Helmut Rübmann und Richard Münch., Arbeitspapier, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln o.J. (1984).

Sikora,K. (1986)

Sikora,K.: Systemgrenzen und Planung, Arbeitsbericht Nr. 71, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln 1986.

Sikora,K. (1989)

Sikora,K.: Systemgrenzen und Planung; in: Szyperski,N.; Winand,U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 1953-1970.

Simon,H. (1955)

Simon,H.A.: A Behavioral Model of Rational Choice; in: Quarterly Journal of Economics, Vol. 69 (1955), S. 99-118.

Simon,H. (1957a)

Simon,H.A.: Models of Man - Social and Rational, New York - London - Sydney 1957.

Simon,H. (1958a)

Simon,H.A.: Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research; in: Operations Research, Vol. 6 (1958), S. 1-10.

Simon,H. (1959)

Simon,H.A.: Theories of Decision-Making in Economics and Behavioral Science; in: The American Economic Review, Vol. 49 (1959), S. 253-283.

Simon,H. (1966)

Simon,H.A.: Perspektiven der Automation für Entscheider, Quickborn 1966.

Simon,H. (1972)

Simon,H.A.: Theories of Bounded Rationality; in: McGuire,C.B.; Radner,R. (Hrsg.): Decision and Organization - A Volume in Honor of Jacob Marschak, Amsterdam - London 1972, S. 161-176.

Simon,H. (1973a)

Simon,H.A.: The Structure of Ill Structured Problems; in: Artificial Intelligence, Vol. 4 (1973), S. 181-201.

Simon,H. (1976a)

Simon,H.A.: From substantive to procedural rationality; in: Latsis,S.J. (Hrsg.): Method and Appraisal in Economics, Cambridge - London - New York ... 1976, S. 129-148.

Simon,H. (1978a)

Simon,H.A.: Rationality as Process and as Product of Thought; in: The American Economic Review, Vol. 68 (1978), No 2: Papers and Proceedings of the Ninetieth Annual Meeting of the American Economic Association, 28.-30.12.1977 in New York, S. 1-16.

Simon,H. (1978b)

Simon,H.A.: On how to decide what to do; in: The Bell Journal of Economics, Vol. 9 (1978), S. 494-507.

Simon,H. (1980a)

Simon,H.A.: Grenzen der Rationalität in Entscheidungsprozessen; in: Journal für Betriebswirtschaft, 30. Jg. (1980), Heft 1, S. 2-17.

Simon,H. (1980b)

Simon,H.A.: Wie lösen wir schlecht-strukturierte Probleme?; in: Die Betriebswirtschaft, 40. Jg. (1980), S. 337-345.

Simon,H. (1983a)

Simon,H.A.: Search and Reasoning in Problem Solving; in: Pearl,J. (Hrsg.): Search and Heuristics, Reprinted from the Journal of Artificial Intelligence, Volume 21, Numbers 1,2 ; Amsterdam - New York - Oxford 1983, S. 7-29.

Simon,H. (1990)

Simon,H.A.: Prediction and Prescription in Systems Modeling; in: Operations Research, Vol. 38 (1990), S. 7-14.

Sinzig (1983)

Sinzig,W.: Datenbankorientiertes Rechnungswesen - Grundzüge einer EDV-gestützten Realisierung der Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung, Berlin - Heidelberg - New York ... 1983.

Siskos (1983)

Siskos,J.; Wäscher,G.; Winkels,H.-M.: A Bibliography on Outranking Approaches (1966-1982), Arbeitsberichte der Oekonomathematik, Bochum 1983. (Auch erschienen als: Cahier du LAMSADE 45, Universite Paris-Dauphine, Paris 1983.)

Skinner (1974)

Skinner,W.: The focused factory; in: Harvard Business Review, o.Jg. (1974), No. 3, S. 113-121.

Skinner (1978)

Skinner,W.: Manufacturing in the Corporate Strategy, New York - Chichester - Brisbane ... 1978.

Skinner (1985)

Skinner,W.: Manufacturing - The Formidable Competitive Weapon, New York - Chichester - Brisbane ... 1985.

Slahor (1988)

Slahor,L.: Categorical Properties of Frame Structures; in: Appelrath,H.-J.; Cremers,A.B.; Schiltknecht,H. (Hrsg.): Prolog Tools for Building Expert Systems: First Work Shop, 12.-14.09.1988 in Morcote, Basel 1988, S. 29-55.

Smith,J.M. (1977)

Smith,J.M.; Smith,D.C.P.: Database Abstractions: Aggregation and Generalization; in: ACM Transactions on Database Systems, Vol. 2 (1977), No. 2, S. 105-133.

Smith,R. (1979b)

Smith,R.G.: A Framework for Distributed Problem Solving; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 2, S. 836-841.

Smith,R. (1980)

Smith,R.G.: The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver; in: IEEE Transactions on Computers, Vol. C-29 (1980), S. 1104-1113.

Smith,R. (1981a)

Smith,R.G.; Davis,R.: Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 61-70.

Smith,S. (1983)

Smith,S.F.: Exploiting Temporal Knowledge to Organize Constraints, Report CMU-RI-TR-83-12, Intelligent Systems Laboratory, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh 1983.

Smith,S. (1985)

Smith,S.F.; Ow,P.S.: The Use of Multiple Problem Decomposition in Time Constrained Planning Tasks; in: o.V.: Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-85, 19.-23.09.1985 in Los Angeles, Los Altos 1985, Vol. 2, S. 1013-1015. (Auch erschienen als: Report CMU-RI-TR-85-11, Intelligent Systems Laboratory, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh 1985.)

Smith,S. (1986a)

Smith,S.F.; Fox,M.S.; Ow,P.S.: Constructing and Maintaining Detailed Production Plans: Investigations into the Development of Knowledge-Based Factory Scheduling Systems; in: AI Magazine, Vol. 7 (1986), No. 4, S. 45-61.

Smith,S. (1986b)

Smith,S.F.; Ow,P.S.; Lepape,C.; McLaren,B.; Muscettola,N.: Integrating Multiple Scheduling Perspectives to Generate Detailed Production Plans; in: o.V.: Proceedings 1986 SME Conference on Artificial Intelligence in Manufacturing, 1986 in Long Beach, o.O. 1986, S. 2-123 - 2-137.

Smith,S. (1988a)

Smith,S.F.: A Constraint-Based Framework for Reactive Management of Factory Schedules; in: Oliff,M.D. (Hrsg.): Intelligent Manufacturing, Proceedings of the First International Conference on Expert Systems and the Leading Edge in Production Planning and Control, 11.-13.05.1987 in Charleston, Menlo Park - Reading - Don Mills ... 1988, S. 113-130.

Smokler (1983)

Smokler,H.: Institutional Rationality: The Complex Norms of Science; in: Synthese, Vol. 57 (1983), S. 129-138.

Smullyan (1968)

Smullyan,R.M.: First-Order Logic, Berlin - Heidelberg - New York 1968.

Smullyan (1989)

Smullyan,R.: Logik-Ritter und andere Schurken - Diabolische Rätsel, interplanetarische Verwicklungen und Gödelsche Systeme, Frankfurt 1989.

Sneed (1977)

Sneed,J.D.: Describing Revolutionary Scientific Change: A Formal Approach; in: Butts,R.E.; Hintikka,J. (Hrsg.): Historical and Philosophical Dimensions of Logic, Methodology and Philosophy of Science, Part Four of the Proceedings of the Fifth International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, 27.08.-02.09.1975 in London (Ontario), Dordrecht - Boston 1977, S. 245-268.

Sneed (1979a)

Sneed,J.D.: The Logical Structure of Mathematical Physics, 2. Aufl., Dordrecht - Boston - London 1979.

Soom (1986)

Soom,E.: Die neue Produktionsphilosophie: Just-in-time-Production, 1. Teil: Ein Methodenpaket zur Steigerung der Flexibilität und zur Senkung der Bestände; in: io Management-Zeitschrift, 55. Jg. (1986), S. 362-365.

Sosa (1988)

Sosa,E.: Methodology and Apt Belief; in: Synthese, Vol. 74 (1988), S. 415-426.

Sowa (1984)

Sowa,J.F.: Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine, Reading - Menlo Park - London ... 1984.

Specht,D. (1989)

Specht,D.: Wissensbasierte Systeme im Produktionsbetrieb, Habilitationsschrift, Technische Universität Berlin 1988, München - Wien 1989.

Spinner,H. (1968)

Spinner,H.F.: Theoretischer Pluralismus - Prolegomena zu einer kritizistischen Methodologie und Theorie des Erkenntnisfortschritts; in: Kommunikation, Vol. IV (1968), S. 181-203.

Spinner,H. (1971)

Spinner,H.F.: Theoretischer Pluralismus - Prolegomena zu einer kritizistischen Methodologie und Theorie des Erkenntnisfortschritts; in: Albert,H. (Hrsg.): Sozialtheorie und soziale Praxis, Eduard Baumgarten zum 70. Geburtstag, Meisenheim 1971, S. 17-41. (Anmk. des Verf.: erweiterte und überarbeitete Fassung von Spinner,H. (1968).)

Spinner,H. (1974)

Spinner,H.F.: Pluralismus als Erkenntnismodell, Frankfurt 1974.

Spinner,H. (1977)

Spinner,H.F.: Begründung, Kritik und Rationalität - Zur philosophischen Grundlagenproblematik des Rechtfertigungsmodells der Erkenntnis und der kritizistischen Alternative, Bd. 1: Die Entstehung des Erkenntnisproblems im griechischen Denken und seine klassische Rechtfertigungslösung aus dem Geiste des Rechts, Braunschweig 1977.

Spinner, H. (1987)

Spinner, H.F.: Vereinzeln, verbinden, begründen, widerlegen - Zur philosophischen Stellung von Begründungs- und Kritikoptionen im Rahmen einer Systematik der Erkenntnisstile und Typologie der Rationalitätsformen; in: Köhler, W.R.; Kuhlmann, W.; Rohs, P. (Hrsg.): Philosophie und Begründung, Frankfurt 1987, S. 13-66.

Spizig (1985)

Spizig, J.S.: Demonstration für die Automatische Fabrik - Forschungsstadt Tsukuba: In Japan wird der "Flexible Manufacturing Complex" erprobt; in: VDI nachrichten, 39. Jg. (1985), Nr. 6, S. 9.

Spur (1967)

Spur, G.: Betrachtungen zur Optimierung des Fertigungssystems Werkzeugmaschine; in: Werkstattstechnik, 57. Jg. (1967), S. 411-417.

Spur (1975c)

Spur, G.: Die automatische Fabrik, eine Utopie?; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 70. Jg. (1975), S. 272-274.

Spur (1977)

Spur, G.; Stute, G.; Weck, M. (Hrsg.): Rechnergeführte Fertigung, München - Wien 1977.

Spur (1979)

Spur, G. (Hrsg.); Auer, B.H.; Sinning, H.: Industrieroboter - Steuerung, Programmierung und Daten von flexiblen Handhabungseinrichtungen, München - Wien 1979.

Spur (1980)

Spur, G.; Albrecht, R.; Armbruster, N.; Badur, K.; Göhren, H.; Junike, W.; Kruska, J.; Mattle, H.-P.; Popken, W.; Prehn, W.; Rall, K.; Rittinghausen, H.; Seliger, G.; Sinnig, H.; Viehweger, B.: Realisierung eines modularen, flexiblen Fertigungssystem mit automatischer Informationsverarbeitung, Forschungsbericht KfK-PDV 195, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe 1980.

Spur (1981a)

Spur, G.; Albrecht, R.; Rittinghausen, H.: Strategien zur Online-Fertigungsoptimierung; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 76. Jg. (1981), S. 114-118.

Spur (1982c)

Spur, G.: ZwF-Lehrblätter 003 - Fertigungstechnik: 3 Fertigungssysteme; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 77. Jg. (1982), S. 136-137.

Spur (1985b)

Spur, G.; Albrecht, R.; Kang, M.: Dispositive Steuerung für eine automatisierte Kommissionieranlage; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 80. Jg. (1985), S. 219-222.

Spur (1985c)

Spur, G.: Neue Technologie und Arbeitsorganisation; in: REFA-Nachrichten, 38. Jg. (1985), Heft 3, S. 10-13.

Spur (1988b)

Spur, G.; Mertins, K.; Süssenguth, W.: Wege zu einem unternehmensspezifischen Referenzmodell der rechnerintegrierten Fertigung; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 83. Jg. (1988), S. 481-485.

Sridharan, V. (1987)

Sridharan, V.; Berry, W.L.; Udayabhanu, V.: Freezing the Master Production Schedule under Rolling Planning Horizons; in: Management Science, Vol. 33 (1987), S. 1137-1149.

Stachowiak (1973)

Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie, Wien - New York 1973.

Stachowiak (1987a)

Stachowiak, H.: Gegenwärtige Theorieprobleme der Sozialwissenschaften aus pragmatologischer Sicht; in: Müller, N.; Stachowiak, H. (Hrsg.): Problemlösungsoperator Sozialwissenschaft - Anwendungsorientierte Modelle der Sozial- und Planungswissenschaften in ihrer Wirksamkeitsproblematik, Band I, Stuttgart 1987, S. 49-229.

Stachowiak (1988)

Stachowiak, H.: Erkenntnis als Semiose, Paper, präsentiert anlässlich: Dreizehntes Internationales Wittgenstein Symposium, 14.-21.08.1988 in Kirchberg, Paderborn 1988.

Stadtler (1983a)

Stadtler,H.: Interaktive Lösung schlecht-strukturierter Entscheidungsprobleme - Methoden und Erkenntnisse bei der Stauung von Chemikalientankern, Dissertation, Universität Hamburg, München 1983.

Stadtler (1986)

Stadtler,H.: Hierarchical Production Planning: Tuning Aggregate Planning with Sequencing and Scheduling; in: Axsäter,S.; Schneeweiss,C.; Silver,E. (Hrsg.): Multistage Planning and Inventory Control, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 266, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1986, S. 197-226.

Stadtler (1988a)

Stadtler,H.: Hierarchische Produktionsplanung bei losweiser Fertigung, Heidelberg 1988.

Stahle (1973)

Stahle,W.H.: Plädoyer für die Einbeziehung normativer Aussagen in die Betriebswirtschaftslehre; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 25. Jg. (1973), S. 184-197.

Stahle (1975)

Stahle,W.: Die Stellung des Menschen in neueren betriebswirtschaftlichen Theoriesystemen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 45. Jg. (1975), S. 713-724.

Stahle (1977)

Stahle,W.H.: Empirische Analyse von Handlungssituationen; in: Köhler,R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977, S. 103-116.

Stahle (1979)

Stahle,W.: Arbeit; in: Kern,W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 70-83.

Stählin (1973)

Stählin,W.: Theoretische und technologische Forschung in der Betriebswirtschaftslehre, Stuttgart 1973.

Stahl (1990)

Stahl,P.: Logistische Konzepte für Produktionsplanung und -steuerung in der Stahlindustrie; in: Stahl und Eisen, 110. Jg. (1990), Nr. 4, S. 55-56.

Stallman (1977)

Stallman,R.M.; Sussman,G.J.: Forward Reasoning and Dependency-Directed Backtracking in a System for Computer-Aided Circuit Analysis; in: Artificial Intelligence, Vol. 9 (1977), S. 135-196.

Staudt (1979a)

Staudt,E.: Planung als "Stückwerktechnologie" - Demonstriert am Beispiel arbeitsorganisatorischer Experimente im Industriebetrieb - Zugleich eine Kritik entscheidungsorientierter Ansätze in der Betriebswirtschaftslehre, Göttingen 1979.

Staudt (1982a)

Staudt,E.: Entkopplung im Mensch-Maschine-System durch neue Technologien als Grundlage einer Flexibilisierung von Arbeitsverhältnissen; in: Meyer-Abich,K.M.; Steger,U. (Hrsg.): Mikroelektronik und Dezentralisierung, Berlin 1982, S. 53-68.

Staudt (1982b)

Staudt,E.: Entkopplung in Mensch-Maschine-Systemen - Flexibilisierung von Arbeitsverhältnissen durch neue Technologien; in: Zeitschrift Führung + Organisation, 51. Jg. (1982), S. 181-189.

Staudt (1983)

Staudt,Innovation, Qualifikation und Organisationsentwicklung: Die Folgen der Microcomputertechnik für Ausbildung und Personalwirtschaft; in: Der Bundesminister für Forschung und Technologie (Hrsg.): Technischer Wandel, Personalplanung und Personalwirtschaft, Beiträge und Materialien zum Symposium der Sozialakademie Dortmund, 2.-4.11.1982 in Dortmund, Düsseldorf - Wien 1983, S. 155-197.

Staudt (1984a)

Staudt,E.: Neue Technologien und deren Auswirkungen auf die Arbeitsplätze im Dienstleistungssektor; in: Biethahn,J.; Staudt,E. (Hrsg.): Datenverarbeitung in der praktischen Bewährung in privaten und öffentlichen Betrieben, München - Wien 1984, S. 89-119.

Staudt (1984b)

Staudt,E.: Die Führungsrolle der Personalplanung im Technischen Wandel; in: Zeitschrift Führung ; Organisation, 53. Jg. (1984), S. 395-399 u. 402-405.

Staudt (1985)

Staudt,E.: Technik dient dem sozialen Fortschritt - Visionen über grundlegend veränderte Beziehungen zwischen Arbeit und technischer Umwelt; in: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Ausgabe vom 27.04.1985, S. 15.

Stecke (1983a)

Stecke,K.E.: Formulation and Solution of Nonlinear Integer Production Planning Problems for Flexible Manufacturing Systems; in: Management Science, Vol. 29 (1983), S. 273-288.

Stecke (1985a)

Stecke,K.E.; Talbot,F.B.: Heuristics for Loading Flexible Manufacturing Systems; in: Raouf,A.; Ahmad,S.I. (Hrsg.): Flexible Manufacturing - Recent Developments in FMS, Robotics, CAD/CAM, CIM, Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo 1985, S. 73-85.

Stecke (1985b)

Stecke,K.E.; Solberg,J.J.: The Optimality of Unbalancing Both Workloads and Machine Group Sizes in Closed Queueing Networks of Multiserver Queues; in: Operations Research, Vol. 33 (1985), S. 882-910.

Steckhan (1989)

Steckhan,H.: Prioritätsregelsteuerung für eine flexible Fertigungszelle mit zentralem Transportroboter; in: Pressmar,D.; Jäger,K.E.; Krallmann,H.; Schellhaas,H.; Streitferdt,L. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1988 - DGOR, Vorträge der 17. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 550.

Stede (1983)

Stede,M.: Einführung in die Künstliche Intelligenz, Bd. 1: Methodische Grundlagen, Sprendlingen 1983.

Steeb (1981)

Steeb,R.; Cammarata,S.; Hayes-Roth,F.A.; Thorndyke,P.W.; Wesson,R.B.: Distributed Intelligence for Air Fleet Control, Report R-2728-ARPA, Rand Corporation, Santa Monica 1981.

Steel (1987)

Steel,S.: On Trying to Do Dependency-Directed Backtracking by Searching Transformed State Spaces (and Failing); in: Hallam,J.; Mellish,C. (Hrsg.): Advances in Artificial Intelligence, Proceedings of the 1987 AISB Conference, 06.-10.04.1987 in Edinburgh, Chichester - New York - Brisbane ... 1987, S. 207-221.

Steffen (1978)

Steffen,R.: Die Berücksichtigung von Job Rotation und teilautonomen Arbeitsgruppen in der betriebswirtschaftlichen Produktions- und Kostentheorie; in: Die Betriebswirtschaft, 38. Jg. (1978), S. 421-433.

Steffens (1969)

Steffens,F.: Struktur und Strukturmaß; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 39. Jg. (1969), Ergänzungsheft 2, S. 25-59.

Stefik (1981)

Stefik,M.: Planning with Constraints (MOLGEN: Part 1); in: Artificial Intelligence, Vol. 16 (1981), S. 111-139.

Stefik (1982)

Stefik,M.; Aikins,J.; Balzer,R.; Benoit,J.; Birnbaum,L.; Hayes-Roth,F.; Sacerdoti,E.: The Organization of Expert Systems, A Tutorial; in: Artificial Intelligence, Vol. 18 (1982), S. 135-173.

Stefik (1983b)

Stefik, M.; Aikins, J.; Balzer, R.; Benoit, J.; Birnbaum, L.; Hayes-Roth, F.; Sacherdoti, E.: The Architecture of Expert Systems; in: Hayes-Roth, F.; Waterman, D.A.; Lenat, D.B. (Hrsg.): Building Expert Systems, Teknowledge Series in Knowledge Engineering, Vol. 1, Reading - London - Amsterdam ... 1983, S. 89-126.

Stegmüller (1968)

Stegmüller, W.: Das Wahrheitsproblem und die Idee der Semantik - Eine Einführung in die Theorien von A. Tarski und R. Carnap, 2. Aufl., Wien - New York 1968.

Stegmüller (1969)

Stegmüller, W.: Metaphysik - Skepsis - Wissenschaft, 2. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York 1969.

Stegmüller (1970a)

Stegmüller, W.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Bd. II: Theorie und Erfahrung (Erster Halbband), Berlin - Heidelberg - New York 1970.

Stegmüller (1973a)

Stegmüller, W.: Unvollständigkeit und Unentscheidbarkeit - Die metamathematischen Resultate von Gödel, Church, Kleene, Rosser und ihre erkenntnistheoretische Bedeutung, 3. Aufl., Wien - New York 1973.

Stegmüller (1973b)

Stegmüller, W.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Bd. 2: Theorie und Erfahrung, 2. Halbband: Theorienstrukturen und Theoriendynamik, Berlin - Heidelberg 1973.

Stegmüller (1974)

Stegmüller, W.: Theoriendynamik und logisches Verständnis; in: Diederich, W. (Hrsg.): Theorie-Diskussion: Theorien der Wissenschaftsgeschichte - Beiträge zur diachronen Wissenschaftstheorie, Stuttgart 1974, S. 167-209.

Stegmüller (1975)

Stegmüller, W.: Structures and Dynamics of Theories - Some Reflections on J.D. Sneed and T.S. Kuhn; in: Erkenntnis, Vol. 9 (1975), S. 75-100.

Stegmüller (1976b)

Stegmüller, W.: Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie - Eine kritische Einführung, Bd. 1, 6. Aufl., Stuttgart 1976.

Stegmüller (1977)

Stegmüller, W.: Accidental ('Non-Substantial') Theory Change and Theory Dislodgment; in: Butts, R.E.; Hintikka, J. (Hrsg.): Historical and Philosophical Dimensions of Logic, Methodology and Philosophy of Science, Part Four of the Proceedings of the Fifth International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, 27.08.-02.09.1975 in London (Ontario), Dordrecht - Boston 1977, S. 269-288.

Stegmüller (1978)

Stegmüller, W.: A Combined Approach to the Dynamics of Theories - How to Improve Historical Interpretations of Theory Change by Applying Set Theoretical Structures; in: Theory and Decision, Vol. 9 (1978), S. 39-76. (Auch veröffentlicht in: Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 59 (1979), S. 151-186.).

Stegmüller (1979a)

Stegmüller, W.: Rationale Rekonstruktion von Wissenschaft und ihrem Wandel, Stuttgart 1979.

Stegmüller (1979b)

Stegmüller, W.: The Structuralist View of Theories - A Possible Analogue of the Bourbaki Programme in Physical Science, Berlin - Heidelberg - New York 1979.

Stegmüller (1980)

Stegmüller, W.: Neue Wege der Wissenschaftsphilosophie, Berlin - Heidelberg - New York 1980.

Stegmüller (1983)

Stegmüller, W.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Bd. I: Erklärung - Begründung - Kausalität, 2. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York 1983.

Stegmüller (1984b)

Stegmüller, W.; von Kibed, M.V.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Bd. III: Strukturtypen der Logik, Berlin - Heidelberg - New York ... 1984.

Stegmüller (1986a)

Stegmüller, W.: Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie - Eine kritische Einführung, Bd. II, 7. Aufl., Stuttgart 1986.

Stegmüller (1986b)

Stegmüller, W.: Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie - Eine kritische Einführung, Bd. III, 7. Aufl., Stuttgart 1986.

Stegmüller (1986d)

Stegmüller, W.: Kripkes Deutung der Spätphilosophie Wittgensteins - Kommentarversuch über einen versuchten Kommentar, Stuttgart 1986.

Steinberg (1980)

Steinberg, E.; Lee, W.B.; Khumawala, B.M.: A Requirements Planning System For The Space Shuttle Operations Schedule; in: Journal of Operations Management, Vol. 1 (1980), No. 2, S. 69-76.

Steinberg (1990)

Steinberg, E.S.: Entwicklungsschwerpunkte zur Verbesserung der Produktionsplanung und -steuerung; in: Stahl und Eisen, 110. Jg. (1990), Nr. 4, S. 77-81.

Steinke (1980)

Steinke, D.: Standard-Anwender-Software, Darstellung und Beurteilung kommerzieller Datenverarbeitungsprogramme aus organisatorischer Sicht, 2. Aufl., Münster 1980.

Steinle (1982)

Steinle, C.: Organisationsforschung und Mehr-Ebenen-Analyse (MEA); in: Die Betriebswirtschaft, 42. Jg. (1982), S. 85-106.

Steinle (1988)

Steinle, C.: Betriebswirtschaftslehre als Führungslehre? - Mehrebenenanalytische Skizze zur führungsorientierten Betriebswirtschaftslehre; in: Wunderer, R. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als Management- und Führungslehre, 2. Aufl., Stuttgart 1988, S. 243-264.

Steinmann, H. (1972)

Steinmann, H.; Matthes, W.: Wissenschaftstheoretische Überlegungen zum System Gutenbergs; in: Dlugos, G.; Eberlein, G.; Steinmann, H. (Hrsg.): Wissenschaftstheorie und Betriebswirtschaftslehre - Eine methodologische Kontroverse, Düsseldorf 1972, S. 119-151.

Steinmann, H. (1978b)

Steinmann, H.: Die Betriebswirtschaftslehre als normative Handlungswissenschaft; in: Steinmann, H. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als normative Handlungswissenschaft - Zur Bedeutung der Konstruktiven Wissenschaftstheorie für die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1978, S. 73-102.

Steinmann, H. (1979)

Steinmann, H.; Braun, W.: Zum Prinzip der Wertfreiheit in der Betriebswirtschaftslehre; in: Raffée, H.; Abel, B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979, S. 191-204.

Stepan (1977)

Stepan, A.: Die Anwendung der Kontrolltheorie auf betriebswirtschaftliche Problemstellungen - Mit einer Einführung in die Kontrolltheorie, Meisenheim 1977.

Stepan (1988)

Stepan, A.; Fischer, E.O.: Betriebswirtschaftliche Optimierung - Einführung in die quantitative Betriebswirtschaftslehre, München - Wien 1988.

Steusloff (1984)

Steusloff, H.U.: Realzeit-Programmiersprachen; in: Informatik-Spektrum, Bd. 7 (1984), S. 81-93.

Stich (1988)

Stich, S.: Reflective Equilibrium, Analytic Epistemology and the Problem of Cognitive Diversity; in: Synthese, Vol. 74 (1988), S. 391-413.

Stoll (1983)

Stoll,E.: Paradigmalosigkeit als Paradigma der Betriebswirtschaftslehre. Zur Begründung des vorparadigmatischen Theoriestatus der Betriebswirtschaftslehre; in: Fischer-Winkelmann,W.F. (Hrsg.): Paradigmawechsel in der Betriebswirtschaftslehre, Spardorf 1983, S. 544-578.

Storr (1991a)

Storr,A; Brantner,K.: Das adaptierbare Leitsteuerungssystem ALSYS; in: Pritschow,G.; Spur,G.; Weck,M. (Hrsg.): Leit- und Steuerungstechniken in flexiblen Produktionsanlagen, München - Wien 1991, S. 32-52.

Storr (1991b)

Storr,A.; Hake,U.: Rechnerunterstützte Fertigungshilfsmittelbereitstellung; in: Pritschow,G.; Spur,G.; Weck,M. (Hrsg.): Leit- und Steuerungstechniken in flexiblen Produktionsanlagen, München - Wien 1991, S. 77-91.

Strebel (1972)

Strebel,H.: Zur Gewichtung von Urteilkriterien bei mehrdimensionalen Zielsystemen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 42. Jg. (1972), S. 89-128.

Strebel (1975)

Strebel,H.: Forschungsplanung mit Scoring-Modellen, Baden-Baden 1975.

Strecker (1991)

Strecker,A.: Prozeßkostenrechnung in Forschung und Entwicklung, München 1991.

Striening (1989)

Striening,H.-D.: Prozeßmanagement im indirekten Bereich - Neue Herausforderungen an die Controller; in: Controlling, 1. Jg. (1989), S. 324-331.

Ströker (1984a)

Ströker,E.: Normenfragen der Wissenschaftstheorie; in: Ströker,E. (Hrsg.): Ethik der Wissenschaften? - Philosophische Fragen, München - Paderborn - Wien ... 1984, S. 43-62.

Stüdemann (1988)

Stüdemann,K.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München - Wien 1988.

Stute (1967)

Stute,G.: Über die Steuerung von Werkzeugmaschinen; in: Maschinenmarkt, 73. Jg. (1967), S. 942-948.

Stute (1976b)

Stute,G.; Döttling,W.; Firnau,J.; Wörn,H.: Informationsverarbeitung in flexiblen Fertigungssystemen; in: Proceedings of the CIRP Seminars on manufacturing systems, Vol. 5 (1976), S. 183-202.

Stute (1978a)

Stute,G.; Storr,A.; Döttling,W.; Schwager,J.; Wörn,H.: Prozeßüberwachung in flexiblen Fertigungssystemen, Forschungsbericht KfK-PDV 148, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Universität Stuttgart, o.O. (Stuttgart) 1978.

Subramanyam (1986)

Subramanyam,S.; Askin,R.G.: An Expert Systems Approach to Scheduling in Flexible Manufacturing Systems; in: Kusiak,A. (Hrsg.): Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies, Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo 1986, S. 243-256.

Sugimori (1977)

Sugimori,Y.; Kusunoki,K.; Cho,F.; Uchikawa,S.: Toyota production system and Kanban system - Materialization of just-in-time and respect-for-human system; in: International Journal of Production Research, Vol. 15 (1977), S. 553-564.

Sussman (1980)

Sussman,G.J.; Steele,G.L.: CONSTRAINTS - A Language for Expressing Almost-Hierarchical Descriptions; in: Artificial Intelligence, Vol. 14 (1980), S. 1-39.

Suzaki (1987)

Suzaki,K.: The New Manufacturing Challenge - Techniques for Continuous Improvement, New York - London 1987.

Switalski (1988b)

Switalski,M.; Kistner,K.-P.: Produktionstypen und die Struktur des Produktionsprozesses; in: Das Wirtschaftsstudium, 17. Jg. (1988), S. 332-337.

Syrbe (1984)

Syrbe,M.: Zuverlässigkeit von Realzeitsystemen: Fehlermanagement; in: Informatik-Spektrum, Bd. 7 (1984), S. 94-101.

Szlanco (1978)

Szlanco,J.: Petri nets For Proving Some Correctness Properties of Parallel Programs; in: Smedema,C.H. (Hrsg.): Real Time Programming, Proceedings of the IFAC/IFIP Workshop, 20.-22.06.1977 in Eindhoven, Oxford - New York - Toronto ... 1978, S. 75-83.

Szyperski (1964)

Szyperski,N.: Zur Anwendung des Terminus 'pagatorisch' - Mit einigen grundsätzlichen Bemerkungen zu der Kritik an einer Terminologie und den Methoden der Extensionsvariation; in: Grochla,E. (Hrsg.): Organisation und Rechnungswesen, Festschrift für Erich Kosiol zu seinem 65. Geburtstag, Berlin 1964, S. 351-383.

Szyperski (1974)

Szyperski,N.; Winand,U.: Entscheidungstheorie - Eine Einführung unter besonderer Berücksichtigung spieltheoretischer Konzepte, Stuttgart 1974.

Szyperski (1980a)

Szyperski,N.; Winand,U.: Grundbegriffe der Unternehmensplanung, Stuttgart 1980.

Szyperski (1981)

Szyperski,N.: Handhabung schlecht-definierter Situationen im Planungsprozeß - Die Gestaltung von Task Force Support Systems (TFSS) als planungswissenschaftlicher Auftrag, Arbeitsbericht Nr. 33, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln 1981.

Szyperski (1983)

Szyperski,N.; Eul-Bischoff,M.: Interpretative Strukturmodellierung (ISM) - Stand der Forschung und Entwicklungsmöglichkeiten, Braunschweig - Wiesbaden 1983.

Tabourier (1983a)

Tabourier,Y.; Nanci,D.: The Occurences Structure Concept - An Approach to Structural Integrity Constraints in the Entity Relationship (ER) Model, with Applications to Relationship Decomposition and Metamodel Achievement; in: Chen,P.P. (Hrsg.): Entity-Relationship Approach to Information Modeling and Analysis, Proceedings of the Second International Conference on Entity-Relationship Approach, 12.-14.10.1981 in Washington, Amsterdam - New York - Oxford 1983, S. 73-108.

Tabourier (1983b)

Tabourier,Y.: Further Development of the Occurences Structure Concept: The EROS Approach; in: Davis,C.G.; Jajodia,S.; Ng,P.A.-B.; Yeh,R.T. (Hrsg.): Entity-Relationship Approach to Software Engineering, Proceedings of the Third International Conference on Entity-Relationship Approach, 05.-07.10.1983 in Anaheim, Amsterdam - New York - Oxford 1983, S. 565-583.

Tait (1986)

Tait,W.W.: Wittgenstein and the "Skeptical Paradox"; in: The Journal of Philosophy, Vol. 83 (1986), S. 475-488.

Tarski (1930)

Tarski,A.: Fundamentale Begriffe des Methodologie der deduktiven Wissenschaften. I.; in: Monatshefte für Mathematik und Physik, Bd. 37 (1930), S. 361-404.

Taylor,C. (1986)

Taylor,C.: Sprache und Gesellschaft; in: Honneth,A.; Joas,H. (Hrsg.): Kommunikatives Handeln - Beiträge zu Jürgen Habermas' "Theorie des kommunikativen Handelns", Frankfurt 1986, S. 35-52.

Teichmann (1972)

Teichmann,H.: Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 24. Jg. (1972), S. 519-539.

Tempelmeier,H. (1989a)

Tempelmeier,H.: Simulation mit SIMAN, 6. Aufl., Institut für Betriebswirtschaftslehre, Fachgebiet Fertigungs- und Materialwirtschaft, Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt 1989.

Tempelmeier,T. (1990)

Tempelmeier,T.: Eine Übersicht über die Software-Entwurfsmethode HOOD; in: Gerth,W.; Baacke,P. (Hrsg.): PEARL 90 - Workshop über Realzeitsysteme, 11. Fachtagung des PEARL-Vereins e.V., 29.-30.11.1990 in Boppard, Proceedings, Informatik-Fachberichte 262, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 34-43.

Thesen (1986)

Thesen,A.; Lei,L.: An "Expert" System for Scheduling Robots in Flexible Electroplating System with Dynamically Changing Workloads; in: Steckel,K.E.; Suri,R. (Hrsg.): Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems - Operations Research Models and Applications, 12.-15.08.1986 in Ann Arbor, Amsterdam - Oxford - New York ... 1986, S. 555-566.

Thiel,C. (1980a)

Thiel,C.: extensional/Extension; in: Mittelstraß,J. (Hrsg.): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, Band 1: A-G, Mannheim - Wien - Zürich 1980, S. 626.

Thiel,C. (1980c)

Thiel,C.: Über Ursprung und Problemlage des argumentationstheoretischen Aufbaus der Logik; in: Gethmann,C.F. (Hrsg.): Theorie des wissenschaftlichen Argumentierens, Frankfurt 1980, S. 117-135.

Thiel,W. (1988c)

Thiel,W.: Ein flexibles Fertigungssystem mit alternativen NC-Spannmaschinen im Vergleich zu einem flexiblen Fertigungssystem mit Paletten-Pool in 1,2,3 Schichten mit und ohne Wochenenddurcharbeiten; in: Tuffentsammer,K.; Storr,A.; Lange,K.; Pritschow,G.; Warnecke,H.-J. (Hrsg.): Flexibles Fertigungssystem - Beiträge zur Entwicklung des Produktionsprinzips, Ergebnisse aus dem Sonderforschungsbereich "Fertigungstechnik" der Universität Stuttgart (Deutsche Forschungsgemeinschaft: Sonderforschungsbereich 155), Weinheim 1988, S. 321-332.

Thom (1980)

Thom,N.: Grundlagen des betrieblichen Innovationsmanagements, 2. Aufl., Dissertation (unter dem Titel: Zur Effizienz betrieblicher Innovationsprozesse - Vorstudie zu einer empirisch begründeten Theorie des betrieblichen Innovationsmanagements), Universität Köln 1976, Königstein 1980.

Thom (1987)

Thom,N.: Personalentwicklung als Instrument der Unternehmensführung - Konzeptionelle Grundlagen und empirische Studien, Habilitationsschrift, Universität Köln 1984, Stuttgart 1987.

Thome,R. (1976)

Thome,R.: Produktionskybernetik - Informationsfluß zur Steuerung und Regelung von Produktionsprozessen, Berlin 1976.

Thome,R. (1979)

Thome,R.: Informationssysteme, Fertigungs-; in: Kern,W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 774-783.

Thome,R. (1990)

Thome,R.: Wirtschaftliche Informationsverarbeitung, München 1990.

Thorndyke (1981)

Thorndyke,P.W.; McArthur,D.; Cammarata,S.: AUTOPILOT: A Distributed Planner for Air Fleet Control; in: Drinan,A. (Hrsg.): Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-81, 24.-28.08.1981 in Vancouver, o.O. (Menlo Park) 1981, Vol. 1, S. 171-177.

Thrun (1989)

Thrun,S.; Möller,K.; Linden,A.: Adaptive Look-Ahead Planning; in: Dorffner,G. (Hrsg.): Konnektionismus in Artificial Intelligence und Kognitionsforschung, 6. Österreichische Artificial-Intelligence-Tagung (KONNAI), 18.-21.09.1990 in Salzburg, Proceedings, Informatik-Fachberichte 252, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 238-246.

Thuy (1989)

Thuy,N.H.C.; Schnupp,P.: Wissensverarbeitung und Expertensysteme, München - Wien 1989.

Topitsch (1978)

Topitsch,E.: Zur Kritik der "dialektischen Vernunft"; in: Acham,K. (Hrsg.): Methodologische Probleme der Sozialwissenschaften, Darmstadt 1978, S. 353-375.

Toulmin (1975)

Toulmin,S.: Der Gebrauch von Argumenten, Kronberg 1975.

Toulmin (1978)

Toulmin,S.: Kritik der kollektiven Vernunft, Frankfurt 1978.

Toulmin (1979)

Toulmin,S.; Rieke,R.; Janik,A.: An introduction to reasoning, New York - London 1979.

Toussaint,S. (1984)

Toussaint,S.: Notwendige Optimalitätsbedingungen in der Kontrolltheorie; in: Siebert,H. (Hrsg.): Intertemporale Allokation, Symposium, 20.-21.02.1984 in Mannheim, Frankfurt - Bern New York 1984, S. 651-686.

Trautmann (1981)

Trautmann,S.: Koordination dynamischer Planungssysteme, Dissertation 1979, Universität Karlsruhe, Wiesbaden 1981.

Trede (1990)

Trede,N.: Prinzipien guter Softwarespezifikation; in: Jähnichen,S.; Bieler,F.; Burghardt,J. (Hrsg.): Seminar Spezifikationstechniken, Sommersemester 1989, GMD-Studien Nr. 176, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn, Sankt Augustin 1990, S. 7-21.

Treuling (1990)

Treuling,W.: Formalismen versus Heuristik - Vorbereitung der Managemententscheidung; in: Information Management, 5. Jg. (1990), Heft 4, S. 42-52.

Trischler (1982)

Trischler,J.: Modellkomplexität und Ungewißheitsbewältigung - Zur Formulierung von Programmplanungsmodellen bei Ungewißheit, Dissertation (unter dem Titel "Zur Formulierung von Programmplanungsmodellen bei Ungewißheit"), Universität Frankfurt 1981, Thun - Frankfurt 1982.

Troßmann (1990)

Troßmann,E.: Finanzplanung mit Netzwerken - Konzeption eines Netzwerkmodells und einer Datenbank für die betriebliche Finanzplanung, Habilitationsschrift, Universität Tübingen 1988, Berlin 1990.

Tsang (1987a)

Tsang,E.P.K.: TLP - A Temporal Planner; in: Hallam,J.; Mellish,C. (Hrsg.): Advances in Artificial Intelligence, Proceedings of the 1987 AISB Conference, 06.-10.04.1987 in Edinburgh, Chichester - New York - Brisbane ... 1987, S. 63-78.

Tschörtner (1984)

Tschörtner,K.-A.: Integration von Aufgabengebieten durch neue Informationstechnologien - Informationstechnologische Auswirkungen auf die Produktion; in: Zeitschrift Führung + Organisation, 53. Jg. (1984), S. 317-328.

Tuffentsammer (1975)

Tuffentsammer,K.; Meerkamm,H.: Spannvorrichtungssysteme für das Bearbeiten von Werkstücken in flexiblen Fertigungssystemen; in: Werkstattstechnik, 65. Jg. (1975), S. 1-7.

Twellmann (1979)

Twellmann,W.: Beitrag zur rechnerunterstützten Planung von Fertigungssystemen der Serienfertigung, Dissertation, Universität Hannover, Hannover 1979.

Uhr (1979)

Uhr,L.M.: Parallel-Serial Production Systems; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 2, S. 911-916.

Ulich (1973)

Ulich,E.; Groskurth,P.; Bruggemann,A.: Neue Formen der Arbeitsgestaltung - Möglichkeiten und Probleme einer Verbesserung der Qualität des Arbeitslebens, Frankfurt 1973.

Ulich (1984)

Ulich,E.: Arbeitspsychologische Konzepte und neue Technologien; in: Zink,K.J. (Hrsg.): Personalwirtschaftliche Aspekte neuer Technologien, Berlin 1985, S. 145-159.

Ullmann (1988)

Ullmann,W.: Bereitstellen von Fertigungshilfsmitteln als Engpaß in der Just-in-Time-Produktion; in: Arbeitsvorbereitung, 25. Jg. (1988), S. 140-143.

Ullrich (1976)

Ullrich,G.: Der Entwurf von Steuerstrukturen für parallele Abläufe mit Hilfe von Petri-Netzen, Dissertation an der Universität Hamburg, Hamburg 1976. (Auch veröffentlicht als: Bericht Nr. 36, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg, Hamburg 1977.)

Ulrich,H. (1970)

Ulrich,H.: Die Unternehmung als produktives soziales System - Grundlagen der allgemeinen Unternehmungslehre, 2. Aufl., Bern - Stuttgart 1970.

Ulrich,H. (1971)

Ulrich,H.: Der systemorientierte Ansatz in der Betriebswirtschaftslehre; in: von Kortzfleisch,G. (Hrsg.): Wissenschaftsprogramm und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung, 2.-5.06.1971 in St. Gallen, Berlin 1971, S. 43-60.

Ulrich,H. (1975)

Ulrich,H.: Unternehmensplanung - Einleitende Bemerkungen zum Tagungsthema; in: Ulrich,H. (Hrsg.): Bericht von der wissenschaftlichen Tagung der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft, 12.-16.06.1973 in Augsburg, Wiesbaden 1975, S. 13-27.

Ulrich,H. (1988a)

Ulrich,H.; Probst,G.J.B.: Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln - Ein Brevier für Führungskräfte, Bern - Stuttgart 1988.

Ulrich,H. (1988b)

Ulrich,H.: Von der Betriebswirtschaftslehre zur systemorientierten Managementlehre; in: Wunderer,R. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als Management- und Führungslehre, 2. Aufl., Stuttgart 1988, S. 173-190.

Ulrich,H. (1989a)

Ulrich,H.: Management/2: Hans Ulrich über ganzheitliches Denken - "Die Grenzen des Denkens weiter stecken"; in: Politik und Wirtschaft, o.Jg. (1989), Heft 5, S. 52-54.

Ulrich,P. (1979)

Ulrich,P.; Hill,W.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre; in: Raffée,H.; Abel,B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979, S. 161-190.

Ulrich,P. (1988)

Ulrich,P.: Betriebswirtschaftslehre als praktische Sozialökonomie - Programmatische Überlegungen; in: Wunderer,R. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als Management- und Führungslehre, 2. Aufl., Stuttgart 1988, S. 191-215.

Ulrich,W. (1983)

Ulrich,W.: Critical Heuristics of Social Planning - A New Approach to Practical Philosophy, Bern - Stuttgart 1983.

Urban (1988)

Urban,G.: Nutzenaspekte für Investitionen in Planungs- und Steuerungssystemen; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 353-363.

Ursprung (1982)

Ursprung,H.W.: Die elementare Katastrophentheorie: Eine Darstellung aus der Sicht der Ökonomie, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 195, Berlin - Heidelberg - New York 1982.

Valette (1977b)

Valette,R.: An Analysis Oriented Description of Parallel Systems Allowing Timing Considerations; in: o.V.: Proceedings of the 2nd IFAC International Symposium on Discrete Systems, im März 1977 in Dresden, o.O. (1977), S. 102-111.

Valette (1978a)

Valette,R.: etude comparative de deux outils de representation: Grafacet et reseaux de Petri; in: le nouvel Automatisme, Tome 23 (1978), S. 377-382.

Valette (1978b)

Valette,R.; Diaz,M.: Top-Down Formal Specification and Verification of Parallel Control Systems; in: Digital Processes, Vol. 4 (1978), S. 181-199.

Valette (1979b)

Valette,R.; Diaz,M.: A Methodology for Easily Provable Implementation of Synchronization Mechanisms; in: Syre,H.J. (Hrsg.): 1st European Conference on Parallel and Distributed Processing, 14.-16.02.1979 in Toulouse, Toulouse 1979, S. 156-162.

Valette (1982c)

Valette,R.: Verification des Specification d'un Automatisme; in: o.V.: Les Methodes Modernes d'Etudes et de Realisation des Automatismes, 2.-3.02.1978 in Gif-sur-Yvette, o.O. 1982, o.S.

van Ackere (1990)

van Ackere,A.: Conflicting Interests in the Timing of Jobs; in: Management Science, Vol. 36 (1990), S. 970-984.

van Benthem (1979)

van Benthem,J.F.A.K.: What is Dialectical Logic?; in: Erkenntnis, Vol. 14 (1979), S. 333-347.

Vanberg (1984a)

Vanberg,V.: Evolution und spontane Ordnung - Anmerkungen zu F.A. von Hayeks Theorie der kulturellen Evolution; in: Albert,H. (Hrsg.): Ökonomisches Denken und soziale Ordnung, Festschrift für Erik Boettcher, Tübingen 1984, S. 83-112.

Van Dyke Parunak (1985)

Van Dyke Parunak,H.; Irish,B.W.; Kindrick,J.; Lozo,P.W.: Fractal Actors for Distributed Manufacturing Control; in: Weisbin,C.R. (Hrsg.): Artificial Intelligence Applications - The Engineering of Knowledge-Based Systems, Proceedings of the Second Conference, 11.-13.12.1985 in Miami Beach, Washington - Amsterdam 1985, S. 653-660.

Van Dyke Parunak (1987)

Van Dyke Parunak,H.: Manufacturing Experience with the Contract Net; in: Huhns,M.N. (Hrsg.): Distributed Artificial Intelligence, London - Los Altos 1987, S. 285-310.

van Fraassen (1983)

van Fraassen,B.C.: Über die Erweiterung der Beth-Semantik für physikalische Theorien; in: Balzer,W.; Heidelberger,M. (Hrsg.): Zur Logik empirischer Theorien, Berlin - New York 1983, S. 97-116.

Van Gundy (1981)

Van Gundy,A.B.: Techniques of Structured Problem Solving, New York - Cincinnati - Atlanta ... 1981.

van Lith (1980)

van Lith,U.: Die ceteris-paribus-Klausel; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 9. Jg. (1980), S. 339-342.

van Looveren (1986)

van Looveren,A.J.; Gelders,I.F.; van Wassenhove,L.N.: A Review of FMS Planning Models; in: Kusiak,A. (Hrsg.): Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems, Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo 1986, S. 3-31.

van Zeeland (1986b)

van Zeeland,D.: Grenzen der Simulation; in: Maschinen und Methoden, o.Jg. (1986), Heft 5, S. 10-11.

VDI (1990)

VDI-Gemeinschaftsausschuß CIM, VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (Hrsg.): Rechnerintegrierte Konstruktion und Produktion, Band 4: Flexible Fertigung (FFS), Düsseldorf 1990.

Vepsalainen (1987)

Vepsalainen,A.P.J.; Morton,T.E.: Priority Rules for Job Shops with Weighted Tardiness Costs; in: Management Science, Vol. 33 (1987), S. 1035-1047.

Vetschera (1991a)

Vetschera,R.: GDSS-X: An Experimental Group Decision Support System for Program Planning; in: Korhonen,P.; Lewandowski,A.; Wallenius,J. (Hrsg.): Multiple Criteria Decision Support, Proceedings of the International Workshop, 07.-11.08.1989 in Helsinki, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 369-376.

Vickson (1986)

Vickson,R.G.: A Single Product Cycling Problem under Brownian Motion Demand; in: Management Science, Vol. 32 (1986), S. 1336-1345.

Viefhues (1982)

Viefhues,D.: Mehrzielorientierte Projektplanung, Methodologie und Entscheidungskalküle zur Projektablauf- und -anpassungsplanung, Dissertation, Universität Köln 1980, Frankfurt - Bern 1982.

Vikas (1991)

Vikas,K.: Neuere Konzepte für das Kostenmanagement - Controllingorientierte Modelle für Industrie- und Dienstleistungsunternehmen, Wiesbaden 1991.

Villa (1988c)

Villa,A.: Distributed Architecture for Production Planning and Control in Discrete Manufacturing; in: o.V.: 1988 International Conference on Computer Integrated Manufacturing, 23.-25.05.1988 in Troy, Washington 1988, S. 357-366.

Villa (1989a)

Villa,A.: Hierarchical Architectures for Production Planning and Control; in: Archetti,F.; Lucertini,M.; Serafini,P. (Hrsg.): Operations Research Models in Flexible Manufacturing Systems, Wien - New York 1989, S. 261-288.

Vincke (1986)

Vincke,P.: Analysis of multicriteria decision aid in Europe; in: European Journal of Operational Research, Vol. 25 (1986), S. 160-168.

Voigt,J. (1990)

Voigt,J.-P.: Veränderte Markt- und Verbraucheranforderungen an die Stahlerzeuger; in: Stahl und Eisen, 110. Jg. (1990), Nr. 4, S. 59-63.

Vollmann (1984)

Vollmann,T.E.; Berry,W.L.; Whybark,D.C.: Manufacturing Planning and Control Systems, Homewood 1984.

Vollrath (1989a)

Vollrath,E.: Überlegungen zur neueren Diskussion über das Verhältnis von Praxis und Poiesis; in: Allgemeine Zeitschrift für Philosophie, Jg. 14. (1989), Heft 1, S. 1-26.

von Brentano (1978)

von Brentano,M.: Wissenschaftspluralismus - Zur Funktion, Genese und Kritik eines Kampfbegriffs; in: Acham,K. (Hrsg.): Methodologische Probleme der Sozialwissenschaften, Darmstadt 1978, S. 329-352.

von der Herberg (1986)

von der Herberg,H.; Schneider,M.: Benutzerhilfen in einer objektorientierten Arbeitsumgebung, Forschungsbericht FB-INF-86-23, Forschungsgruppe INFORM im WISDOM-Verbundprojekt, Universität Stuttgart, o.O. (Stuttgart) 1986.

von Eckardstein (1991)

v. Eckardstein,D.: Von der anforderungsabhängigen zur qualifikationsorientierten Entlohnung?; in: Schanz,G. (Hrsg.): Handbuch Anreizsysteme, Stuttgart 1991, S. 215-232.

von Falkenhausen (1966)

von Falkenhausen,H.: Arbeitsverteilung mit Vorrangregeln; in: o.V.: Fertigungsorganisation im Wandel - Methoden und Mittel heute und morgen, Vorträge der VDI-Tagung, 11.-12.11.1965 in Wiesbaden, VDI-Bericht Nr. 101, Düsseldorf 1966, S. 97-103.

von Foerster (1987)

von Foerster, H.: Erkenntnistheorien und Selbstorganisation; in: Schmidt, S.J. (Hrsg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt 1987, S. 133-158.

von Freyend (1988)

von Freyend, C.J.: Realisierung von Just-in-Time - Anwendungsfälle in der Automobilindustrie am Beispiel BMW; in: Schmidt, K.J. (Hrsg.): Handbuch Logistik und Produktionsmanagement - Strategien, Konzepte und Lösungen für die JIT-Beschaffung, -Produktion und -Distribution, Stand: 2. Nachlieferung, Landsberg 1988, Punkt 3.1.7.

von Glasersfeld (1987)

von Glasersfeld, E.: Siegener Gespräche über Radikalen Konstruktivismus - Ernst von Glasersfeld im Gespräch mit NIKOL (1982, 1984); in: Schmidt, S.J. (Hrsg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt 1987, S. 401-440.

von Hayek (1969)

von Hayek, F.A.: Freiburger Studien - Gesammelte Aufsätze, Tübingen 1969.

von Hayek (1980)

von Hayek, F.A.: Recht, Gesetzgebung und Freiheit, Band 1: Regeln und Ordnung - Eine neue Darstellung der liberalen Prinzipien der Gerechtigkeit und der politischen Ökonomie, München 1980.

von Humboldt (1963)

von Humboldt, W.: Werke in fünf Bänden, Bd. III: Schriften zur Sprachphilosophie, Darmstadt 1963.

von Kortzfleisch (1971)

von Kortzfleisch, G. (Hrsg.): Wissenschaftsprogramm und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung, 02.-05.06.1971 in St. Gallen, Berlin 1971.

von Kutschera (1975)

von Kutschera, F.: Sprachphilosophie, 2. Aufl., München 1975.

von Kutschera (1982)

von Kutschera, F.: Grundfragen der Erkenntnistheorie, Berlin - New York 1982.

von Neumann (1931)

v. Neumann, J.: Die formalistische Grundlegung der Mathematik; in: Erkenntnis, 2. Bd. (1931), S. 116-121.

von Neumann-Cosel (1983)

von Neumann-Cosel, R.: Verfahren zur Lösung von Problemen mit mehrfacher Zielsetzung, Frankfurt - New York 1983.

von Weizsäcker (1985)

von Weizsäcker, C.F.: Aufbau der Physik, München - Wien 1985.

von Zimmermann (1990)

von Zimmermann, P.: Einsatz von objektorientierter Softwaretechnologie im Rechnungswesen; in: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV, 11. Saarbrücker Arbeitstagung 1990, Heidelberg 1990, S. 235-264.

Voß, A. (1989a)

Voß, A.; Voß, H.: Formalizing Local Constraint Propagation; in: Christaller, T. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz, 5. Frühjahrsschule, KIFS-87, 28.03.-05.04.1987 in Günne, Informatik-Fachberichte 202, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 218-259.

Wacker, H. (1989)

Wacker, H.: Lineare Kontrolltheorie - mit Anwendung auf ein Werbungsproblem; in: Das Wirtschaftsstudium, 18. Jg. (1989), S. 226-231.

Wacker, H.M. (1992)

Wacker, H.-M.: Evolution und Perspektiven der Supercomputer; in: Informationstechnik, 34. Jg. (1992), S. 3-6.

Wacker, J. (1985)

Wacker, J.G.; Lucht, D.M.: Effective Dispatch Rules to Improve Performance in Job Shops; in: Production and Inventory Management, Vol. 26 (1985), No. 3 (Third Quarter), S. 77-87.

Wäscher (1987)

Wäscher, D.: Gemeinkosten-Management im Material- und Logistik-Bereich; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 57. Jg. (1987), S. 297-315.

Wäscher (1991a)

Wäscher, D.: Prozeßorientiertes Gemeinkosten-Management im Material- und Logistik-Bereich am Beispiel eines Maschinenbau-Unternehmens; in: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV, 12. Saarbrücker Arbeitstagung 1991, Heidelberg 1991, S. 190-200.

Wäscher (1992)

Wäscher, D.: Prozeßkostenrechnung als Instrument zur Reduzierung von Beständen, Logistikkosten und Durchlaufzeiten; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1992), Sonderheft 1/92, S. 51-57.

Wagner, D. (1991)

Wagner, D.: Anreizpotentiale und Gestaltungsmöglichkeiten von Cafeteria-Modellen; in: Schanz, G. (Hrsg.): Handbuch Anreizsysteme, Stuttgart 1991, S. 91-109.

Wahlster (1981)

Wahlster, W.: Natürlichsprachliche Argumentation in Dialogsystemen - KI-Verfahren zur Rekonstruktion und Erklärung approximativer Inferenzprozesse, Informatik-Fachberichte 48, Berlin - Heidelberg - New York 1981.

Wahlster (1982)

Wahlster, W.: Natürlichsprachliche Systeme - Eine Einführung in die sprachorientierte KI-Forschung; in: Bibel, W.; Siekmann, J.H. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz, Frühjahrsschule Teisendorf, 15.-24.03.1982 in Teisendorf, Informatik-Fachberichte 59, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 203-283.

Waismann (1938)

Waismann, F.: Ist die Logik eine deduktive Theorie?; in: Erkenntnis, 7. Bd. (1937/38), S. 274-281.

Walenda (1989)

Walenda, H.: Branch-and-Bound Methoden zur Freigabe von Aufträgen in der automatischen Montage; in: Industrie-Anzeiger, 111. Jg. (1989), Nr. 73, S. 34-35.

Waller (1983)

Waller, S.: Entwicklungstendenzen zur automatischen Fabrik; in: Jünemann, R. (Hrsg.): Logistik - Herausforderung der Zukunft!, 4. Internationaler Logistik Kongreß, Kongreßbuch II, 07.-09.12.1983 in Dortmund, Dortmund o.J. (1983), S. 256-262.

Walter-Busch (1977a)

Walter-Busch, E.: Labyrinth der Humanwissenschaften, Bern - Stuttgart 1977.

Walther, E. (1979)

Walther, E.: Allgemeine Zeichenlehre - Einführung in die Grundlagen der Semiotik, 2. Aufl., Stuttgart 1979.

Wand (1989)

Wand, Y.: A Proposal for a Formal Model of Objects; in: Kim, W.; Lachovsky, F.H. (Hrsg.): Object-Oriented Concepts, Databases, and Applications, New York - Reading - Menlo Park ... 1989, S. 537-559.

Wandschneider (1974)

Wandschneider, D.: Zum Antinomienproblem der Logik; in: Ratio, Bd. 16 (1974), S. 74-91.

Wang, Ha. (1965)

Wang, Ha.: Russel und seine Logik; in: Ratio, 7. Bd. (1965), S. 24-54.

Wang, He. (1986)

Wang, He.: Analysis of an FMS Design Problem by Power Approximation; in: Kusiak, A. (Hrsg.): Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems, Amsterdam - Oxford - New York ... 1986, S. 301-308.

Warman (1984)

Warman,E.A.: Manufacturing and Artificial Intelligence; in: Ponomaryov,V.M. (Hrsg.): Artificial Intelligence, Proceedings of the IFAC Symposium, 04.-06.10.1983 in Leningrad, Oxford - New York - Toronto ... 1984, S. 59-63.

Warnecke,G. (1988)

Warnecke,G.: Produktionsfaktor Wissen; in: VDI-Z(eitschrift), Bd. 130 (1988), Nr. 11, S. 12-16.

Warnecke,H. (1980a)

Warnecke,H.-J.; Osman,M.; Weber,G.: Gruppentechnologie; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 29. Jg. (1980), S. 5-12.

Warnecke,H. (1980b)

Warnecke,H.J.; Zippe,B.-H.: Arbeits- und Ablaufgestaltung in der Fertigung; in: Werkstattstechnik, 70. Jg. (1980), S. 191-204.

Warnecke,H. (1980c)

Warnecke,H.-J.; Kölle,J.H.: Verfahren zur Montagesteuerung bei neuen Arbeitsstrukturen; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 29. Jg. (1980), S. 163-168.

Warnecke,H. (1984d)

Warnecke,H.J.: Der Produktionsbetrieb - Eine Industriebetriebslehre für Ingenieure, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984.

Warnecke,H. (1989a)

Warnecke,H.-J.; Fuchs,R.-M.: Fertigungsinseln prägen die JiT-Strukturen der Fabrik mit Zukunft; in: io Management Zeitschrift, 58. Jg. (1989), Nr. 6, S. 53-57.

Warnick (1991a)

Warnick,B.: Dezentrale Datenverarbeitung für Kostenrechnung und Controlling, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg 1990, Wiesbaden 1991.

Warnick (1991b)

Warnick,B.: Simulation langfristiger Entscheidungswirkungen auf Basis prozeßorientierter Ergebnisrechnungen; in: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1991), Heft 6, S. 319-323.

Wartmann,N. (1990)

Wartmann,N.; Lanz,R.; Lüscher,B.: Hat unser Management die Informatik im Griff?; in: io Management Zeitschrift, 59. Jg. (1990), Nr. 9, S. 27-30.

Wartmann,R. (1963)

Wartmann,R.: Rechnerische Erfassung der Vorgänge im Hochofen zur Planung und Steuerung der Betriebsweise sowie der Erzauswahl; in: Stahl und Eisen, 83. Jg. (1963), S. 1414-1425.

Wayson (1965)

Wayson,R.D.: The effect of alternative machines on two priority dispatching disciplines in the general job shop, Master of Science Thesis, Cornell University, o.O. 1965. (Anmk. des Verf.: Quelle war nicht zugänglich.)

Weber,E. (1990)

Weber,E.; Kotschenreuther,W.; Mertens,P.: Ein Verhandlungsmechanismus zwischen drei einfachen Wissensbasierten Systemen; in: Wirtschaftsinformatik, 32. Jg. (1990), S. 59-70.

Weber,J. (1990a)

Weber,J.: Einführung in das Rechnungswesen: Kostenrechnung, Stuttgart 1990.

Weber,M. (1985)

Weber,M.: Wirtschaft und Gesellschaft - Grundriß der verstehenden Soziologie, 5. Aufl., Studienausgabe, Tübingen 1985.

Weber,N. (1983)

Weber,N.: Eine ökonomische Produktionstheorie im Ansatz von Sneed - Stegmüller und das Problem theoretischer Terme; in: Fischer-Winkelmann,W.F. (Hrsg.): Paradigmawechsel in der Betriebswirtschaftslehre, Spardorf 1983, S. 610-636.

Weck (1982)

Weck,M.: Werkzeugmaschinen, Bd. 3: Automatisierung und Steuerungstechnik, 2. Aufl., Düsseldorf 1982.

Weck (1988c)

Weck, M.: Werkzeugmaschinen, Bd. 1: Maschinenarten, Bauformen und Anwendungsbereiche, 3. Aufl. Düsseldorf 1988.

Weck (1991d)

Weck, M.; Lange, N.: COSMOS 2000, die modulare, offene Steuerungsarchitektur für flexible Fertigungssysteme; in: Pritschow, G.; Spur, G.; Weck, M. (Hrsg.): Leit- und Steuerungstechniken in flexiblen Produktionsanlagen, München - Wien 1991, S. 3-31.

Weck (1991e)

Weck, M.; Lopez, M.: Konfigurierbare Bedienoberflächen im Fertigungsbereich; in: Pritschow, G.; Spur, G.; Weck, M. (Hrsg.): Leit- und Steuerungstechniken in flexiblen Produktionsanlagen, München - Wien 1991, S. 115-130.

Weck (1991f)

Weck, M.; Pauls, A.: Datenbanken in Fertigungsleitsystemen; in: Pritschow, G.; Spur, G.; Weck, M. (Hrsg.): Leit- und Steuerungstechniken in flexiblen Produktionsanlagen, München - Wien 1991, S. 131-160.

Wedekind (1979a)

Wedekind, H.: Die Objekttypen-Methode beim Datenbankentwurf - dargestellt am Beispiel von Buchungs- und Abrechnungssystemen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 49. Jg. (1979), S. 367-387.

Wedekind (1980)

Wedekind, H.: Strukturveränderung im Rechnungswesen unter dem Einfluß der Datenbanktechnologie; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 50. Jg. (1980), S. 662-677.

Wedekind (1986a)

Wedekind, H.: Integrierte Fertigungsdatenbanken; in: Hommel, G.; Schindler, S. (Hrsg.): GI - 16. Jahrestagung I, Informatik-Anwendungen - Trends und Perspektiven, Proceedings, 6.-10.10.1986 in Berlin, Informatik-Fachberichte 126, Berlin - Heidelberg - New York - London - Paris - Tokyo 1986, S. 90-108.

Wedekind (1986b)

Wedekind, H.: Eine konzeptionelle Basis für den Einsatz von Datenbanken in Flexiblen Fertigungssystemen, Paper, Informatik VI, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen o.J. (1986).

Wedekind (1987a)

Wedekind, H.; Zörntlein, G.: Eine konzeptionelle Basis für den Einsatz von Datenbanken in Flexiblen Fertigungssystemen; in: Informatik Forschung und Entwicklung, 2. Jg. (1987), S. 83-96.

Wedekind (1987b)

Wedekind, H.: Fertigungsdatenbanken; in: Informatik-Spektrum, Bd. 10 (1987), S. 40-41.

Wedekind (1988a)

Wedekind, H.: Die Problematik des Computer Integrated Manufacturing (CIM) - Zu den Grundlagen eines strapazierten Begriffes; in: Informatik-Spektrum, Bd. 11 (1988), S. 29-39.

Wedekind (1989c)

Wedekind, H.: Eine logische Analyse des Verhältnisses von Anwendungs- und Datenbanksystemen; in: Härder, T. (Hrsg.): Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft, GI/SI-Fachtagung, 01.-03.03.1989 in Zürich, Proceedings, Informatik-Fachberichte 204, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 19-42.

Wegner, N. (1978)

Wegner, N.: Simulation von Einplanungs- und Abfertigungs-Strategien bei Werkstattfertigung, Dissertation, Universität Hannover, Hannover 1978.

Weinrich (1985)

Weinrich, H.: Wege der Sprachkultur, Stuttgart 1985.

Weisgerber (1962)

Weisgerber, L.: Die sprachliche Gestaltung der Welt, 3. Aufl., Düsseldorf 1962.

Weisgerber (1971)

Weisgerber, L.: Die geistige Seite der Sprache und ihre Erforschung, Düsseldorf 1971.

Weisgerber (1975)

Weisgerber, L.: Die anthropologische Tragweite der energetischen Sprachbetrachtung; in: Gadamer, H.-G.; Vogler, P. (Hrsg.): Neue Anthropologie, Bd. 7: Philosophische Anthropologie, Zweiter Teil, Stuttgart 1975, S. 168-203.

Weisse (1986)

Weisse, D.: Zur Anwendung der Mustererkennungstheorie bei der Analyse von Ablaufprioritätsregeln; in: Matthes, W.; Weisse, D.: Analyse von Ablaufprioritätsregeln mit Hilfe der Mustererkennungstheorie, Arbeitsbericht Nr. 70, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln 1986, S. 1-168.

Weissenseel (1988)

Weissenseel, H.: KANBAN - eine Teilfunktion in einem integrierten System zur Fertigungsplanung und -steuerung; in: CIM Management, 4. Jg. (1988), Heft 2, S. 48-55.

Welge (1987)

Welge, M.K.; Kubicek, H. (Mitarbeit): Unternehmungsführung, Bd. 2: Organisation, Stuttgart 1987.

Wellmer (1986)

Wellmer, A.: Ethik im Dialog - Elemente des moralischen Urteils bei Kant und in der Diskursethik, Frankfurt 1986.

Wendel (1988)

Wendel, H.J.: Wie erfunden ist die Wirklichkeit?, Vortrag am 18.08.1988 anlässlich: Dreizehntes Internationales Wittgenstein Symposium, 14.-21.08.1988 in Kirchberg, Paper, o.O. (Mannheim) o.J. (1988).

Wenkel (1988)

Wenkel, C.: Strategisches Management in zersplitterten Branchen - Eine Anwendung der wettbewerbsstrategischen Absatzmarkttheorie von Michael E. Porter in metakritischer Absicht, Diplomarbeit, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln 1988.

Werhahn (1980)

Werhahn, P.H.: Menschenbild, Gesellschaftsbild und Wissenschaftsbegriff in der neueren Betriebswirtschaftslehre - Faktortheoretischer Ansatz, entscheidungsorientierter Ansatz und Systemansatz im Vergleich, Bern - Stuttgart 1980.

Wesson (1981)

Wesson, R.; Hayes-Roth, F.; Burge, J.W.; Stasz, C.; Sunshine, C.A.: Network Structures for Distributed Situation Assessment; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 5-23.

Westmeyer (1979)

Westmeyer, H.: Die rationale Rekonstruktion einiger Aspekte psychologischer Praxis; in: Albert, H.; Stapf, K.H. (Hrsg.): Theorie und Erfahrung - Beiträge zur Grundlagenproblematik der Sozialwissenschaften, Stuttgart 1979, S. 139-161.

White, D. (1973)

White, D.J.: Robustness and Optimality as Criteria for Decisions; in: Operational Research Quarterly, Vol. 24 (1973), S. 311-313.

Whitehead (1925)

Whitehead, A.N.; Russell, B.: Principia Mathematica, Vol. 1, 2. Aufl., Cambridge (Massachusetts) 1925.

Wicharz (1983)

Wicharz, R.E.: Die Flexibilität industrieller Produktionsplanung und -steuerung, Dissertation, Universität Köln, Düsseldorf 1983.

Wiebach (1986)

Wiebach, H.; Bachmann, P.: Echtzeitsteuerung für integrierte Fertigungen; in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt, Nr. 28 (1986), S. 743-748.

Wiendahl (1984)

Wiendahl, H.-P.; Lorenz, W.: Analyse von Warteschlangenmodellen mit realen Betriebsdaten einer Werkstattfertigung; in: Werkstatttechnik, 74. Jg. (1984), S. 619-623.

Wiendahl (1986b)

Wiendahl,H.-P.; Mende,R.: Bestimmung der Maschinenanordnung unter Berücksichtigung der Stabilität und Flexibilität der Fertigung; in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt, Nr. 28 (1986), S. 750-764.

Wiendahl (1987a)

Wiendahl,H.-P.: Belastungsorientierte Fertigungssteuerung - Grundlagen, Verfahrensaufbau, Realisierung, München - Wien 1987.

Wiendahl (1987e)

Wiendahl,H.P.; Ludwig,E.: Grundlagen eines modellorientierten Expertensystems zur kurzfristigen Fertigungsablaufdiagnose; in: Wildemann,H. (Hrsg.): Expertensysteme in der Produktion, München 1987, S. 297-322.

Wiendahl (1988b)

Wiendahl,H.-P.; Walenda,H.: Wissensbasierte Nutzungssteigerung flexibler Montageanlagen in Planung und Betrieb; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 97-116.

Wiendahl (1989a)

Wiendahl,H.-P.; Lüssenhop,T.: Wirkung von Prioritätsregeln - Eine kritische Betrachtung; in: VDI-Z(eitschrift), Bd. 131 (1989), Nr. 1, S. 36-41.

Wiener,N. (1948)

Wiener,N.: Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine, Paris - Cambridge (Massachusetts) - New York 1948.

Wieringa (1989)

Wieringa,R.; Meyer,J.-J.; Weigand,H.: Specifying dynamic and deontic integrity constraints; in: Data and Knowledge Engineering, Vol. 4 (1989), S. 157-189.

Wiesen (1978)

Wiesen,B.: Das Problem der empirischen Wahrheit in der Analytischen Philosophie, Dissertation, Universität Düsseldorf, Düsseldorf 1978.

Wiest (1973)

Wiest,J.D.: Toward a Man-Machine Interactive System for Project Scheduling; in: Elmaghraby, S.E. (Hrsg.): Symposium on the Theory of Scheduling and Its Applications, 15.-17.05.1972 in Raleigh, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 86, Berlin - Heidelberg - New York 1973, S. 109-126.

Wild (1966)

Wild,J.: Grundlagen und Probleme der betriebswirtschaftlichen Organisationslehre - Entwurf eines Wissenschaftsprogramms, Berlin 1966.

Wild (1969)

Wild,J.: Unternehmerische Entscheidungen, Prognosen und Wahrscheinlichkeit; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 39. Jg. (1969), Ergänzungsheft 2, S. 60-89.

Wild (1971)

Wild,J.: Zur Problematik der Nutzenbewertung von Informationen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 41. Jg. (1971), S. 315-334.

Wild (1974)

Wild,J.: Grundlagen der Unternehmungsplanung, Reinbek 1974.

Wildemann (1983e)

Wildemann,H.: Flexible Werkstattsteuerung nach japanischen KANBAN-Prinzipien, Funktionsweise - Einsatzmöglichkeiten - Wirtschaftlichkeit; in: Wildemann,H.: Flexible Werkstattsteuerung durch Integration von japanischen KANBAN-Prinzipien in deutschen Unternehmen, Teil 1, Passau 1983.

Wildemann (1984a)

Wildemann,H.: Materialflußorientierte Logistik; in: Baumgarten,H.; Schwarting,C. (Hrsg.): Bestandssenkung in Produktions- und Zulieferunternehmen, Bremen 1984, S. 16-53.

Wildemann (1987a)

Wildemann,H.: Investitionsplanung und Wirtschaftlichkeitsrechnung für flexible Fertigungssysteme (FFS), Stuttgart 1987.

Wildemann (1987c)

Wildemann,H.: Betriebswirtschaftliche Wirkungen einer flexibel automatisierten Fertigung; in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 39. Jg. (1987), S. 209-224.

Wildemann (1988a)

Wildemann,H.: Einführungsstrategien für "Just-in-Time"-Produktion und -Beschaffung; in: io Management Zeitschrift, 57. Jg. (1988), S. 371-374.

Wildemann (1988b)

Wildemann,H.: Produktion / Rationalisierungspotential in der Fertigung ausschöpfen und die Wettbewerbskraft stärken - Flexible Fabriken durch Fertigungssegmente; in: Handelsblatt, Nr. 149 (1988), S. 12.

Wildemann (1988c)

Wildemann,H.: Methodenintegration in Modularprogrammen zur Realisierung von CIM und JIT; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 39-96.

Wildemann (1988d)

Wildemann,H.: Produktionssteuerung nach KANBAN-Prinzipien; in: Adam,D. (Schriftleitung): Fertigungssteuerung II - Systeme zur Fertigungssteuerung, Schriften zur Unternehmensführung 39, Wiesbaden 1988, S. 33-50.

Wildemann (1988f)

Wildemann,H.: Die modulare Fabrik: Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung, München 1988.

Wildemann (1988i)

Wildemann,H.: Just-in-Time Planspiel "Pyramidenbau" - Der andere Weg; in: Mertens,P.; Wiendahl,H.-P.; Wildemann,H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 343-363.

Wildemann (1989a)

Wildemann,H.: Fabrikorganisation: Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 27-54.

Wildemann (1989b)

Wildemann,H.: Fabrik in der Fabrik durch Fertigungssegmentierung; in: Wildemann,H. (Hrsg.): Fabrikplanung - Neue Wege - aufgezeigt von Experten aus Wissenschaft und Praxis, Frankfurt 1989, S. 14-77.

Wildemann (1989c)

Wildemann,H.: Flexible Fabrik: Lieferzeiten um 54% reduziert!; in: io Management Zeitschrift, 58. Jg. (1989), Nr. 5, S. 51-54.

Wildemann (1989e)

Wildemann,H.: Kundennahe computerintegrierte Produktion durch Fertigungssegmentierung; in: Wildemann,H. (Hrsg.): Gestaltung CIM-fähiger Unternehmen, München o.J. (1989), S. 223-263.

Wildemann (1989f)

Wildemann,H.: Fertigungsstrategien für Produktion und Zulieferung im Europa'92; in: Wildemann,H.; Westkämper,E. (Hrsg.): Fabrikstrukturierung Europa'92, Tagungsbericht, 16.-17.11. 1989 in Frankfurt, München 1989, S. 9-42.

Wildemann (1990a)

Wildemann,H.: Die Fabrik als Labor; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 60. Jg. (1990), S. 611-630.

Wildemann (1990b)

Wildemann,H.: Integrierte Produktentwicklung XI / Höhere Zeiteffizienz von F+E, Produktion und Zulieferung - Neben Kosten und Qualität kann der Faktor Zeit im Wettbewerb zum entscheidenden Element werden; in: Handelsblatt, Nr. 195 (Ausgabe vom 09.10.1990), S. 26.

Wildemann (1991a)

Wildemann,H.: Fabrikorganisation II/Segmentierung als Fabrikstrukturierungskonzept - Leitmotiv ist Kundenorientierung - Weitgehende Entflechtung der Kapazitäten - Die Kosten- und Produktivitätsvorteile der Fließfertigung mit der hohen Flexibilität der Werkstattfertigung vereinigen; in: Handelsblatt, Ausgabe vom 17.06.1991 (Nr. 113), S. 19.

Wilkins (1984)

Wilkins,D.E.: Domain-independent Planning: Representation and Plan Generation; in: Artificial Intelligence, Vol. 22 (1984), S. 269-301.

Wilkins (1987)

Wilkins,D.E.: Hierarchical Planning: Definition and Implementation; in: du Boulay,B.; Hogg,D.; Steels,L. (Hrsg.): Advances in Artificial Intelligence - II, Seventh European Conference on Artificial Intelligence, ECAI-86, 20.-25.07.1986 in Brighton, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987, S. 659-671.

Wilks (1977)

Wilks,Y.: Sprachverstehende Systeme in der künstlichen Intelligenz. Überblick und Vergleich; in: Eisenberg,P. (Hrsg.): Semantik und künstliche Intelligenz - Beiträge zur automatischen Sprachverarbeitung II, Berlin - New York 1977, S. 180-230.

Willenbacher (1991)

Willenbacher,K.: Was erwarten die Betriebe von der Zeitwirtschaft? - die Zeit als Wettbewerbsfaktor in den Unternehmen; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 40. Jg. (1991), S. 4-7.

Willi (1988)

Willi,J.T.: Die Überwindung von Orientierungskrisen und Innovationsschwächen - Eine Auseinandersetzung mit grundlagentheoretischen Problemstellungen zur Erarbeitung von Lösungskonzepten, Dissertation, Universität Zürich, Bern - Frankfurt - New York ... 1988.

Williams,B. (1986)

Williams,B.C.: Doing Time: Putting Qualitative Reasoning on Firmer Ground; in: o.V.: proceedings aaai-86, fifth national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Vol. 1: science, Los Altos 1986, S. 105-112.

Williams,H. (1985)

Williams,H.P.: Model Building in Mathematical Programming, 2. Aufl., Chichester - New York - Brisbane - Toronto - Singapore 1985.

Williamson,O. (1990)

Williamson,O.E.: Die ökonomischen Institutionen des Kapitalismus - Unternehmen, Märkte, Kooperationen, Tübingen 1990.

Willke (1991)

Willke,H.: Systemtheorie - Eine Einführung in die Grundprobleme der Theorie sozialer Systeme, 3. Aufl., Stuttgart - New York 1991.

Wilson,H. (1983)

Wilson,H.G.; Mardis,B.J.: Modifying Job Sequencing Rules for Work-in-Process Inventory Reduction; in: IEE Transactions, Vol. 15 (1983), No. 4, S. 320-323.

Winand (1980)

Winand,U.; Rosenstengel,B.: Interaktive Improvisation von Flugplänen auf der Basis der Petri-Netztheorie; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 50. Jg. (1980), S. 1229-1256.

Winslett (1986)

Winslett,M.: Is Belief Revision Harder than You Thought?; in: o.V.: proceedings aaai-86, fifth national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Los Altos 1986, S. 421-427.

Winston (1977)

Winston,P.H.: Artificial Intelligence, Reading - Menlo Park - London ... 1977.

Winston (1979)

Winston,P.H.; Brown,R.H. (Hrsg.): Artificial Intelligence: An MIT Perspective, Vol. 1: Expert Problem Solving - Natural Language Understanding - Intelligent Computer Coaches - Representation and Learning, Cambridge (Massachusetts) - London 1979.

Winter,Ro. (1989a)

Winter,Ro.: Hierarchie- und Abstraktionskonzepte für die datenbankorientierte Planung der Produktion; in: Pressmar,D.; Jäger,K.E.; Krallmann,H.; Schellhaas,H.; Streitferdt,L. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1988 - DGOR, Vorträge der 17. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 492-497.

Winter,Ro. (1991)

Winter,Ro.: Mehrstufige Produktionsplanung in Abstraktionshierarchien auf der Basis relationaler Informationsstrukturen, Dissertation, Universität Frankfurt 1989, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991.

Wisdom (1974a)

Wisdom,J.O.: The Nature of 'Normal' Science; in: Schilpp,P.A. (Hrsg.): The Philosophy of Karl Popper, Book II, La Salle 1974, S. 820-842.

Witt,F. (1990)

Witt,F.-J.; Witt,K.: Aktivitäts-Controlling und Prozesskostenrechnung; in: controller magazin, 15. Jg. (1990), Heft 1, S. 35-42.

Witte,E. (1989)

Witte,E.: Aspekte der Zeit: Ein Schlußwort; in: Hax,H.; Kern,W.; Schröder,H.-H. (Hrsg.): Zeitaspekte betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis, 50. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 24.-28.05.1988 in Köln, Stuttgart 1989, S. 351-354.

Witte,T. (1979a)

Witte,T.: Heuristisches Planen - Vorgehensweise zur Strukturierung betrieblicher Planungsprobleme, Wiesbaden 1979.

Witte,T. (1979b)

Witte,T.: Planungsüberlegungen in lösungsdefekten Problemsituationen (I); in: Das Wirtschaftsstudium, 8. Jg. (1979), S. 437-440.

Witte,T. (1979c)

Witte,T.: Planungsüberlegungen in lösungsdefekten Problemsituationen (II); in: Das Wirtschaftsstudium, 8. Jg. (1979), S. 490-492.

Witte,T. (1988a)

Witte,T.: Fallstudie zur Fertigungssteuerung mit Prioritätsregeln; in: Adam,D. (Schriftleitung): Fertigungssteuerung II - Systeme zur Fertigungssteuerung, Schriften zur Unternehmensführung 39, Wiesbaden 1988, S. 107-120.

Wittmann (1985)

Wittmann,N.: Produktionsplanung mit verdichteten Daten, Dissertation, Universität des Saarlandes in Saarbrücken, Berlin - Heidelberg - New York ... 1985.

Wittenbrink (1975)

Wittenbrink,H.: Kurzfristige Erfolgsplanung und Erfolgskontrolle mit Betriebsmodellen, Wiesbaden 1975.

Wittgenstein (1921)

Wittgenstein,L.: Logisch-Philosophische Abhandlung.; in: Annalen der Naturphilosophie, Bd. 14. (1921), S. 185-262.

Wittgenstein (1977)

Wittgenstein,L.: Philosophische Untersuchungen, Frankfurt 1977.

Wittmann (1959)

Wittmann,W.: Unternehmung und unvollkommene Information / Unternehmerische Voraussicht - Ungewißheit und Planung, Köln - Opladen 1959.

Wittmann (1968)

Wittmann,W.: Produktionstheorie, Berlin - Heidelberg - New York 1968.

Wittmann (1979)

Wittmann,W.: Aktivitätsanalytische Ansätze dynamischer Produktionstheorie und ihre Beziehungen zur Planung; in: Mellwig,W.; Kuhn,A.; Standop,D.; Strobel,W. (Hrsg.): Unternehmens- theorie und Unternehmensplanung, Helmut Koch zum 60. Geburtstag, Wiesbaden 1979, S. 273-304.

Wörn (1977)

Wörn,H.; Dötting,W.: Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten eines Eingriffssensors; in: Werkstatttechnik, 67. Jg. (1977), S. 293-295.

Wohlgemuth (1989a)

Wohlgemuth, A.C.: Die klippenreiche Suche nach den Erfolgsfaktoren - Vorschläge zur Meisterrung der methodischen Herausforderungen; in: Die Unternehmung, 43. Jg. (1989), S. 89-111.

Wolf, J. (1989)

Wolf, J.: Investitionsplanung zur Flexibilisierung der Produktion, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, Wiesbaden 1989.

Wolfram (1990)

Wolfram, G.: Organisatorische Gestaltung des Informations-Managements - Konzeption und aufbauorganisatorische Aspekte, Dissertation, Universität Köln, Bergisch Gladbach - Köln 1990.

Wollnik (1976)

Wollnik, M.; Kubicek, H.: Einflußfaktoren der Koordination in Unternehmungen - Eine Neuformulierung der empirischen Ergebnisse von Pugh et al. und Child; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 28. Jg. (1976), S. 502-524.

Wollnik (1977)

Wollnik, M.: Die explorative Verwendung systematischen Erfahrungswissens - Plädoyer für einen aufgeklärten Empirismus in der Betriebswirtschaftslehre; in: Köhler, R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976, Stuttgart 1977, S. 37-64.

Wollnik (1986)

Wollnik, M.: Implementierung computergestützter Informationssysteme - Perspektive und Politik informationstechnologischer Gestaltung, Dissertation, Universität Köln, Berlin - New York 1986.

Wollschläger (1984)

Wollschläger, B.: Flexible Fertigungssysteme (FMS) - Ein Instrument zur Bestandsoptimierung; in: Baumgarten, H.; Schwarting, C. (Hrsg.): Bestandssenkung in Produktions- und Zulieferunternehmen, Bremen 1984, S. 184-208.

Womack (1990)

Womack, J.P.; Jones, D.T.; Roos, D.: The Machine that Changed the World, New York - Toronto - Oxford ... 1990.

Wong, D. (1981)

Wong, D.: Language Comprehension in a Problem Solver; in: Drinan, A. (Hrsg.): Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-81, 24.-28.08.1981 in Vancouver, Vol. 1, o.O. (Menlo Park) 1981, S. 7-12.

Wossidlo (1976)

Wossidlo, P.R.: Realtheorien in der Betriebswirtschaftslehre - gegen die Helotistischen Symptome erkenntnistheoretischen Diskussionen unseres Faches -; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 28. Jg. (1976), S. 465-484.

Wuchterl (1987)

Wuchterl, K.: Methoden der Gegenwartsphilosophie, 2. Aufl., Bern - Stuttgart 1987.

Wunderer (1988)

Wunderer, R. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre als Management- und Führungslehre, 2. Aufl., Stuttgart 1988.

Yoeli (1982b)

Yoeli, M.: Behavioral Specifications of Control Structures, Interim Scientific Report No. 1, Computer Science Department, Technion - Israel Institute of Technology, Haifa 1982.

Yoeli (1983)

Yoeli, M.; Etzion, T.: Behavioral Equivalence of Concurrent Systems; in: Pagnoni, A.; Rozenberg, G. (Hrsg.): Applications and Theory of Petri Nets, Selected Papers from the 3rd European Workshop on Applications and Theory of Petri Nets, 27.-30.09.1982 in Varenna, Informatik-Fachberichte 66, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1983, S. 292-305.

Young,R.L. (1987)

Young,R.L.; O'Neill,D.M.; Mullarkey,P.W.; Gingrich,P.C.; Jain,A.; Sardana,S.: An Object-Based Architecture For Manufactured Parts Routing; in: o.V.: Artificial Intelligence Applications, 3rd Conference on Artificial Intelligence Applications, 23.-27.02.1987 in Kissimee, Proceedings, Washington 1987, S. 50-57.

Zachariades (1977)

Zachariades,M.: MAS. Realisation d'un langage d'aide a la description et a la conception des systemes logiques, Dissertation, Universität Grenoble, Grenoble 1977.

Zacharias (1988)

Zacharias,C.: Struktur und Nutzen einer Argumentationslehre für die Betriebswirtschaftslehre, Arbeitsbericht Nr. 80, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und betriebswirtschaftliche Planung, Universität Köln, Köln 1988.

Zäpfel (1978)

Zäpfel,G.: Überlegungen zum Inhalt des Fachs "Produktionswirtschaftslehre" - gezeigt an einem punktuellen Vergleich Industrie- und Krankenhausbetrieb; in: Die Betriebswirtschaft, 38. Jg. (1978), S. 403-420.

Zäpfel (1982)

Zäpfel,G.: Produktionswirtschaft - Operatives Produktions-Management, Berlin - New York 1982.

Zäpfel (1984)

Zäpfel,G.; Gfrerer,H.: Sukzessive Produktionsplanung; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 13. Jg. (1984), S. 235-241.

Zäpfel (1989b)

Zäpfel,G.: Taktisches Produktions-Management, Berlin - New York 1989.

Zäpfel (1989c)

Zäpfel,G.: Dezentrale PPS-Systeme - Konzepte und theoretische Fundierung, Skript zum Vortrag "Dezentrale PPS-Systeme und ihre theoretische Fundierung", gehalten am 30.09.1988 anlässlich: Sitzung der wissenschaftlichen Kommission "Produktionswirtschaft" im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 30.09.-01.10.1988 in Linz, o.O. (Linz) o.J. (1989).

Zäpfel (1992)

Zäpfel,G.: Grobplanung zur Optimierung von Produktionsaufgaben im Rahmen eines dezentralen PPS-Systems, Beschreibung des Einzelprojekts im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Betriebswirtschaftliche Gestaltung von Planung und Steuerung moderner Produktion", interner Entwurf eines Projektantrags, Linz 1992.

Zahn,E. (1982)

Zahn,E.: Diskontinuitäten im Verhalten sozio-technischer Systeme - Betriebswirtschaftliche Interpretationen und Anwendungen von Theoremen der mathematischen Katastrophentheorie; in: Die Betriebswirtschaft, 39. Jg. (1979), S. 119-141.

Zahn,E. (1984)

Zahn,E.: Diskontinuitätentheorie - Stand der Entwicklung und betriebswirtschaftliche Anwendungen; in: Macharzina,K. (Hrsg.): Diskontinuitätenmanagement - Strategische Bewältigung von Strukturbrüchen bei internationaler Unternehmenstätigkeit, Berlin 1984, S. 19-75.

Zahn,M. (1974)

Zahn,M.: System; in: Krings,H.; Baumgartner,H.M.; Wild,C. (Hrsg.): Handbuch philosophischer Grundbegriffe, Bd. 5, München 1974, S. 1458-1475.

Zave (1976)

Zave,P.: On the Formal Definition of Processes; in: o.V.: Proceedings of the International Conference on Parallel Processing, 24.-27.08.1976 in Waldenwoods, Waldenwoods 1976, S. 35-42.

Zeh (1988a)

meh,K.-P.: Planung eines Leittechniksystems mit Hilfe von Funktionsmodellen; in: o.V.: Praxis der FFS: Der wirtschaftliche Weg zur rechnergeführten Fertigung, Fachtagung, 13.-14.04.1988 in Fellbach, Düsseldorf 1988, S. 205-217.

Zelewski (1984)

Zelewski, S.: Entscheidungsmodelle zur Verschrottung von Fertigungshilfsmitteln, Arbeitsbericht Nr. 1, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, 2. Aufl. des Arbeitsberichts Nr. 1/1984, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Fertigungswirtschaft, Universität Köln, Köln 1984.

Zelewski (1986a)

Zelewski, S.: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz - Eine informationstechnisch-betriebswirtschaftliche Analyse, Band 1, 2 und 3, Dissertation (unter dem Titel: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz - Bestandsaufnahme und Bewertungsansätze aus informationstechnisch-betriebswirtschaftlicher Perspektive unter besonderer Berücksichtigung produktionswirtschaftlicher Aspekte -), Universität Köln 1985, Witterschlick (Bonn) 1986.

Zelewski (1986b)

Zelewski, S.: Netztheoretische Ansätze zur Konstruktion und Auswertung von logisch fundierten Problembeschreibungen, Arbeitsbericht Nr. 11 (2. Aufl. des Arbeitsberichts 8/1986), Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1986.

Zelewski (1986c)

Zelewski, S.: Netztheoretische Fundierung von parallelen Algorithmen für die Lösung linear-ganzzahliger OR-Modelle, Arbeitsbericht Nr. 12 (2. Aufl. des Arbeitsberichts 9/1986), Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1986.

Zelewski (1988b)

Zelewski, S.: Netztheoretische Fundierung von parallelen Algorithmen zur Bestimmung von Lösungen für linear-ganzzahlige OR-Modelle ohne Extremalziele; in: Angewandte Informatik, 30. Jg. (1988), S. 352-362.

Zelewski (1988c)

Zelewski, S.: Expertensysteme für Prozeßplanung und -steuerung in der Fabrik der Zukunft - Ein Überblick über Konzepte und erste Prototypen, Arbeitsbericht Nr. 22, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1988.

Zelewski (1988d)

Zelewski, S.: Expertensysteme zur Sicherung der Betriebsbereitschaft in der Fabrik der Zukunft, Arbeitsbericht Nr. 23, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1988.

Zelewski (1988e)

Zelewski, S.: The Concept of Fuzzy Sets with Special Regard to their Linguistic Interpretation - a Solution for Fuzzy Problems?; in: Zeitschrift für Operations Research, Vol. 32 (1988), S. 47-68.

Zelewski (1988f)

Zelewski, S.: Soziale Verantwortbarkeit des Einsatzes von "Künstlicher Intelligenz"; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 17. Jg. (1988), S. 18-22.

Zelewski (1989a)

Zelewski, S.: Komplexitätstheorie - als Instrument zur Klassifizierung und Beurteilung von Problemen des Operations Research, Braunschweig - Wiesbaden 1989.

Zelewski (1989b)

Zelewski, S.: Eine Metakritik an der Kritik konventioneller Rationalitätsauffassungen durch kulturwissenschaftlich fundierte Konzepte praktischer und prozeduraler Rationalität, Arbeitsbericht Nr. 27, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1989.

Zelewski (1989c)

Zelewski, S.: Petrinetze für die Konstruktion und Konsistenzanalyse von logisch orientierten Problembeschreibungen, Arbeitsbericht Nr. 28, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1989.

Zelewski (1990a)

Zelewski, S.: PPS-Expertensysteme für die Terminfeinplanung und -steuerung - Teil 1: Konzepte; in: Information Management, 5. Jg. (1990), Heft 1, S. 56-65.

Zelewski (1990b)

Zelewski,S.: PPS-Expertensysteme für die Terminfeinplanung und -steuerung, Teil 2: Prototypen; in: Information Management, 5. Jg. (1990), Heft 2, S. 68-74.

Zelewski (1990c)

Zelewski,S.: Enterprise-Wide Data Modelling Information Systems in Industry (Buchbesprechung); in: Information management, 5. Jg. (1990), Heft 2, S. 78-80.

Zelewski (1990d)

Zelewski,S.: Schwache Argumente gegen die starke KI-These - Ein Beitrag zur Diskussion über Searle's chinesisches Zimmer, Arbeitsbericht Nr. 32, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1990.

Zelewski (1991a)

Zelewski,S.: Expertensysteme im CAP; in Geitner,U.W. (Hrsg.): CIM Handbuch, 2. Aufl., Braunschweig 1991, S. 307-321.

Zelewski (1991b)

Zelewski,S.: Kritische Faktoren beim Einsatz von Expertensystemen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 61. Jg. (1991), S. 237-258.

Zelewski (1991d)

Zelewski,S.: ATMS-Systeme, Arbeitsbericht Nr. 37, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1991.

Zelewski (1991h)

Zelewski,S.: PPS-Expertensysteme; in: Spang,S.; Kraemer,W. (Hrsg.): Expertensysteme - Entscheidungsgrundlage für das Management, Wiesbaden 1991, S. 251-283.

Zelewski (1993)

Zelewski,S.: Strukturalistische Produktionstheorie - Konstruktion und Analyse aus der Perspektive des "non statement view", Habilitationsschrift (unter dem Titel "Strukturalistische Produktionstheorie - Ein Vorschlag für Formulierung und Leistungsvergleich produktionswirtschaftlicher Theorien), Universität Köln 1992, Wiesbaden 1993.

Zentes (1976)

Zentes,J.: Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen - Ein Beitrag zur betriebswirtschaftlichen Meta-Entscheidungstheorie, Dissertation, Universität Saarbrücken 1976, Köln - Berlin - Bonn ... 1976.

Zhan (1989)

Zhan,J.: Kalendrierung der Terminplanung in MPM-Netzplänen; in: Pressmar,D.; Jäger,K.E.; Krallmann,H.; Schellhaas,H.; Streitferdt,L. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1988 - DGOR, Vorträge der 17. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 506-507.

Zhang,S. (1989)

Zhang,S.; Wei,H.: Produktionsressourcennutzung und Wertfluß für Fertigungssysteme; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 84. Jg. (1989), S. 97-100.

Ziegler,J. (1988)

Ziegler,J.: Aufgabenanalyse und Funktionsentwurf; in: Balzert,H.; Hoppe,H.U.; Oppermann,R.; Peschke,H.; Rohr,G.; Streitz,N.A. (Hrsg.): Einführung in die Software-Ergonomie, Berlin - New York 1988, S. 231-252.

Ziman (1982)

Ziman,J.: Wie zuverlässig ist wissenschaftliche Erkenntnis?, Braunschweig - Wiesbaden 1982.

Zimmermann,G. (1984)

Zimmermann,G.: Quantifizierung der Bestimmungsfaktoren von Durchlaufzeiten und Werkstattbeständen; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 54. Jg. (1984), S. 1016-1032.

Zimmermann,G. (1987)

Zimmermann,G.: PPS-Methoden auf dem Prüfstand: was leisten sie, wann versagen sie?, Landsberg 1987.

Zimmermann,G. (1988)

Zimmermann,G.: Produktionsplanung variantenreicher Erzeugnisse mit EDV, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988.

Zimmermann,Geb. (1988)

Zimmermann,Geb.: Produktionsplanung, Verfügungsrechte und Transaktionskosten; in: Budäus, D.; Gerum,E.; Zimmermann,Geb. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre und Theorie der Verfügungsrechte, Wiesbaden 1988, S. 197-218.

Zimmermann,H. (1987a)

Zimmermann,H.-J.: Methoden und Modelle des Operations Research, Braunschweig - Wiesbaden 1987.

Zimmermann,H. (1987b)

Zimmermann,H.-J.: Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems, Boston - Dordrecht - Lancaster 1987.

Zimmermann,J. (1979)

Zimmermann,J.P.: The Costs and Benefits of Cost Allocations; in: The Accounting Review, Vol. 54 (1979), S. 504-521.

Zink (1984)

Zink,K.J.: Implikationen des Roboter-Einsatzes; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 13. Jg. (1984), S. 177-182.

Zionts (1991)

Zionts,S.: Negotiations and MCDM: their Interrelationships; in: Korhonen,P.; Lewandowski,A.; Wallenius,J. (Hrsg.): Multiple Criteria Decision Support, Proceedings of the International Workshop, 07.-11.08.1989 in Helsinki, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 377-386.

Zwicker (1988)

Zwicker,E.: INZPLA - Ein Konzept der computergestützten Unternehmensgesamtplanung; in: Lücke,W. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Steuerungs- und Kontrollprobleme, Wissenschaftliche Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 09.-13.06.1987 in Göttingen, Wiesbaden 1988, S. 341-354.

**Institut für Produktionswirtschaft und Industrielle Informationswirtschaft
der Universität Leipzig**

Verzeichnis der Arbeitsberichte

- Nr. 1: ZELEWSKI, STEPHAN: Das Konzept technologischer Theorietransformationen - eine Analyse aus produktionswirtschaftlicher Perspektive, Leipzig 1994.
- Nr. 2: SIEDENTOPF, JUKKA: Anwendung und Beurteilung heuristischer Verbesserungsverfahren für die Maschinenbelegungsplanung - Ein exemplarischer Vergleich zwischen Neuronalen Netzen, Simulated Annealing und genetischen Algorithmen, Leipzig 1994.
- Nr. 3: ZELEWSKI, STEPHAN: Unternehmenskrisen und Konzepte zu ihrer Bewältigung, Leipzig 1994.
- Nr. 4: SIEDENTOPF, JUKKA: Ein effizienter Scheduling-Algorithmus auf Basis des Threshold Accepting, Leipzig 1995.
- Nr. 5: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 1: Exposition, Leipzig 1995.
- Nr. 6: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 2: Bezugsrahmen, Leipzig 1995.
- Nr. 7: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 3: Einführung in Stelle/Transition-Netze, Leipzig 1995.
- Nr. 8: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 4: Verfeinerungen von Stelle/Transition-Netzen, Leipzig 1995.
- Nr. 9: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 5: Einführung in Synthetische Netze, Teilband 5.1: Darstellung des Kernkonzepts, Leipzig 1995.
- Nr. 10: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 5: Einführung in Synthetische Netze, Teilband 5.2: Auswertungsmöglichkeiten, Leipzig 1995.
- Nr. 11: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 6: Erweiterungen von Synthetischen Netzen, Leipzig 1995.
- Nr. 12: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 7: Fallstudie, Leipzig 1995.
- Nr. 13: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 8: Charakterisierung des Petrinetz-Konzepts, Leipzig 1995.
- Nr. 14: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 9: Beurteilung des Petrinetz-Konzepts, Leipzig 1995.
- Nr. 15: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 10: Petrinetz-Literatur, Leipzig 1995.

Verzeichnis der Arbeitsberichte

- Nr. 16: SIEDENTOPF, JUKKA: An Efficient Scheduling Algorithm Based upon Threshold Accepting, Leipzig 1995.
- Nr. 17: SIEDENTOPF, JUKKA: The Threshold Waving Algorithm for Job Shop Scheduling, Leipzig 1995.
- Nr. 18: ZELEWSKI, STEPHAN: Diskussionspapier zum Text "Zur wirtschaftlichen und sozialen Lage in Deutschland" einer evangelisch-katholischen Arbeitsgruppe, Leipzig 1995.
- Nr. 19: SCHIMMEL, KATRIN; ZELEWSKI, STEPHAN: Untersuchung alternativer Auktionsformen hinsichtlich ihrer Eignung zur Koordination verteilter Agenten auf Elektronischen Märkten, Leipzig 1996.
- Nr. 20: SIEDENTOPF, JUKKA: Feinterminierung unter restriktiven Laufzeitanforderungen - Ein exemplarischer Vergleich lokaler Suchverfahren (Teil I), Leipzig 1996.
- Nr. 21: ZELEWSKI, STEPHAN: Strukturalistische Rekonstruktion von ökologisch induzierten Entwicklungen der produktionswirtschaftlichen Theoriebildung, Leipzig 1996.
- Nr. 22: RÖBLER, HENRIK; SCHIMMEL, KATRIN: Zur Animation und Simulation hierarchischer Petrinetze., Leipzig 1996.
- Nr. 23: RÖBLER, HENRIK; WURCH, MAIK: Implementierung des Modells eines Flexiblen Fertigungssystems, Teilbände 1-3, Leipzig 1996.
- Nr. 24: SCHIMMEL, KATRIN: Abstimmung der Implementierungssoftware INCOME/STAR. Bericht zu Phase 1 des Projekts PEMVEK, Leipzig 1996/ 2. Auflage 1997.
- Nr. 25: WURCH, MAIK: Modellierung eines Flexiblen Fertigungssystems sowie von Produktionsaufträgen. Bericht zu den Phasen 2 und 3 des Projekts PEMVEK, Leipzig 1996.
- Nr. 26: SCHIMMEL, KATRIN: Der Einsatz elektronischer Märkte zur Koordination in Flexiblen Fertigungssystemen, Leipzig 1996.
- Nr. 27: TÖPFER, ANDREAS: Vergleichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Windkraftanlagen im Raum Halle/Leipzig - Ergebniszusammenfassung, Leipzig 1996.
- Nr. 28: WURCH, MAIK: Implementierung von Vickrey-Auktionen mit Hilfe von Petrinetzen, Leipzig 1996.
- Nr. 29: WURCH, MAIK: Coordinating Electronic Markets by Auctions, Leipzig 1996.
- Nr. 30: SCHIMMEL, KATRIN; WURCH, MAIK: Simulation eines Koordinations-Moduls in einem Flexiblen Fertigungssystem, Leipzig 1996.
- Nr. 31: RÖBLER, HENRIK: XPNC - Auswahltool für parallele Schaltentscheidungen bei der Simulation von Petrinetzen, Leipzig 1997.
- Nr. 32: ZELEWSKI, STEPHAN: Handelsinformationssysteme - erweiterte Fassung einer Rezension, Leipzig 1997.

Verzeichnis der Arbeitsberichte

- Nr. 33: ZELEWSKI, STEPHAN: Erfahrungen mit Höheren Petrinetzen bei der Modellierung von Prozeßkoordinierungen in komplexen Produktionssystemen. Bericht zu Phase 7 des Projekts PEMVEK, Leipzig 1997. [in Arbeit]
- Nr. 34: ZELEWSKI, STEPHAN: Optimierung in Petrinetz-Modellen - eine Analyse aus betriebswirtschaftlicher Sicht, Leipzig 1997. [in Arbeit]
- Nr. 35: WURCH, MAIK: Simulation von Koordinations-Modulen unter Berücksichtigung strategischen Agentenverhaltens, Leipzig 1997. [in Arbeit]
- Nr. 36: SCHIMMEL, KATRIN: Komponente für Erreichbarkeitsanalysen. Bericht zu Phase 6 des Projekts PEMVEK, Leipzig 1997.
- Nr. 37: WURCH, MAIK: Modellierung der Prozeßkoordinierung. Bericht zu Phase 4 des Projekts PEMVEK, Leipzig 1997. [in Arbeit]
- Nr. 38: BODE, JÜRGEN; FUNG, RICHARD Y.K.: Integrating Cost Considerations in Quality Function Deployment, Leipzig 1997.