

# **Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement**

Universität GH Essen  
Fachbereich 5: Wirtschaftswissenschaften  
Universitätsstraße 9, D – 45141 Essen  
Tel.: ++49 (0) 201 / 183 - 4007  
Fax: ++49 (0) 201 / 183 - 4017

Arbeitsbericht Nr. 2

## **Flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen**

Univ.-Prof. Dr. Stephan Zelewski



E-Mail: [stephan.zelewski@pim.uni-essen.de](mailto:stephan.zelewski@pim.uni-essen.de)

Internet: <http://www.pim.uni-essen.de/mitarbeiter/person.cfm?name=pimstze>

Essen 1999

Alle Rechte vorbehalten.

## **Inhaltsüberblick:**

Seite

<b>1</b>	<b>Konzeptioneller Rahmen für die flexibilitätsorientierte Planung und Steuerung von Produktionsprozessen</b> .....	<b>1</b>
1.1	Überblick .....	1
1.2	Flexibilität von Produktionssystemen .....	2
1.3	Flexibilitätspotentiale für die kurzfristige Prozeßkoordinierung .....	4
1.4	Kriterien für die Beurteilung der Koordinierungsflexibilität .....	8
1.4.1	Organisatorische Koordinierungsflexibilität .....	8
1.4.2	Dispositive Koordinierungsflexibilität .....	11
<b>2</b>	<b>Flexibilitätsorientierte Koordinierungskonzepte</b> .....	<b>16</b>
2.1	Flexible Planung .....	16
2.2	Agile Manufacturing .....	21
2.3	Opportunistische Prozeßkoordinierung .....	24
2.3.1	Überblick .....	24
2.3.2	Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit .....	27
2.3.3	Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung .....	38
2.3.4	Entwicklungsperspektiven .....	46
<b>3</b>	<b>Ausblick auf Flexibilisierungsbeiträge dezentraler Koordinierungskonzepte</b> .....	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>50</b>

# 1 Konzeptioneller Rahmen für die flexibilitätsorientierte Planung und Steuerung von Produktionsprozessen

## 1.1 Überblick

Flexibilität ist ein schillernder Begriff, der in vielfältigen und oftmals unscharf definierten Varianten verwendet wird<sup>1</sup>. Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive wurde er bislang vornehmlich im Zusammenhang mit langfristig wirksamen, zumeist als strategisch oder konstitutiv deklarierten Entscheidungen thematisiert. Dabei bestand ein „natürliches“ Spannungsverhältnis zwischen zwei Aspekten: einerseits den Festlegungen, die aus den langfristigen Entscheidungswirkungen resultieren, und andererseits dem immerwährenden Bedarf zur Anpassung an Veränderungen in der Unternehmensumwelt. Im Bereich operativer Entscheidungen, die hinsichtlich der Planung und Steuerung von Produktionsprozessen zu treffen sind, spielten Flexibilitätsüberlegungen hingegen bis vor kurzem keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Statt dessen standen Zeit-, Mengen- und allenfalls Kostengesichtspunkte im Vordergrund der operativen Prozeßplanung und -steuerung.

Erst in jüngerer Zeit wenden sich betriebs-, insbesondere produktionswirtschaftliche Untersuchungen verstärkt der Flexibilität von Produktionsprozessen zu. Da die *prozeßspezifische* Sicht in der betriebswirtschaftlichen Flexibilitätsdiskussion bisher nur rudimentär ausgeprägt ist, widmet sich dieser Beitrag zunächst ausführlicher der Aufgabe, einen konzeptionellen Rahmen für die flexibilitätsorientierte Planung und Steuerung von Produktionsprozessen zu entfalten. Dabei wird zunächst von einem konventionell definierten Flexibilitätsbegriff ausgegangen, der lediglich auf die hier interessierenden Produktionssysteme zugeschnitten ist. Später wird eine Reihe terminologischer Konkretisierungen eingeführt, die speziell darauf abzielen, die Flexibilität von Konzepten zur Prozeßplanung und -steuerung beurteilen – und auf dieser Grundlage auch entsprechend gestalten – zu können.

In der hier gebotenen Kürze ist es nicht möglich, flexibilitätsorientierte Prozeßplanungs- und -steuerungskonzepte detailliert zu behandeln. Statt dessen beschränkt sich der vorliegende Beitrag darauf, die Fruchtbarkeit des prozeßorientierten Flexibilitätsverständnisses anhand von drei exemplarischen Prozeßplanungs- und -steuerungskonzepten skizzenhaft zu verdeutlichen. Es handelt sich um die Konzepte der Flexiblen Planung, des Agile Manufacturing sowie der opportunistischen Prozeßkoordinierung. Sie wurden ausgewählt, weil sie nach Einschätzung des Verfassers – zumindest ihrem Anspruch nach – die größte inhaltliche Affinität zu einer flexibilitätsorientierten Planung und Steuerung von Produktionsprozessen aufweisen. In anderen Studien wäre die Tragfähigkeit des hier präsentierten prozeßspezifischen Flexibilitätsverständnisses ausführlicher zu untersuchen. Erste Ansätze in dieser Richtung liegen bereits vor, insbesondere zwei jüngst veröffentlichte, detail- und inhaltsreiche Analysen von CORSTEN und GÖSSINGER<sup>2</sup>, auf die später noch mehrfach eingegangen wird.

---

1 Vgl. KALUZA (1994), S. 62.

2 Vgl. CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), und CORSTEN/GÖSSINGER (1997b); vgl. daneben auch die Vorstudien in ZELEWSKI (1995), Band 2, S. 199ff., insb. S. 230ff.

## 1.2 Flexibilität von Produktionssystemen

Unter *Flexibilität* wird im folgenden aus produktionswirtschaftlicher Perspektive die Fähigkeit eines Produktionssystems zur Anpassung<sup>3</sup> an variierende Produktionssituationen verstanden<sup>4</sup>. Diese Arbeitsdefinition bedarf einiger Erläuterungen, bevor auf prozeßorientierte Flexibilitätspotentiale näher eingegangen werden kann.

Der Begriff des Produktionssystems wird bewußt inhaltlich offengehalten, um keine unnötigen Erkenntnissschranken zu präjudizieren. Er läßt sich einerseits auf ein reales Produktionssystem (Produktionssystem i.e.S.) beziehen. Darunter wird ein produktives *Realsystem* beliebiger Ausdehnung – von einzelnen Arbeitsplätzen über Maschinengruppen, Werkstattbereiche und Fabriken bis hin zu räumlich dislozierten Produktionsnetzwerken – verstanden. Andererseits kann er sich ebenso auf ein Produktionssystem i.w.S. erstrecken, das neben einem Realsystem auf der Objektebene auch noch ein *Dispositionssystem* auf der Metaebene einschließt. Mit der Hilfe dieses Dispositionssystems lassen sich diejenigen Produktionsprozesse koordinieren, die auf der Objektebene innerhalb des zugrunde liegenden Realsystems ausgeführt werden sollen.

Da in diesem Beitrag die kurzfristige – oder hier als Synonym verwendet: operative – *Koordinierung* von Produktionsprozessen im Vordergrund des Interesses steht, wird fortan das weit gefaßte Verständnis von Produktionssystemen vorausgesetzt, das die Dispositionssysteme zur Prozeßkoordination einschließt. Auf die flexibilitätsorientierte Gestaltung dieser Dispositionssysteme werden sich die nachfolgenden Ausführungen fokussieren. Die zugrunde liegenden Realsysteme, in denen die Produktionsprozesse auszuführen sind, werden dagegen als fest vorgegeben betrachtet.

Darüber hinaus wird zwischen der Planung und der Steuerung von Produktionsprozessen nicht scharf unterschieden; statt dessen werden beide Aspekte – wie im voranstehenden Abschnitt bereits implizit vorweggenommen – unter den Begriff der *Prozeßkoordination* subsumiert. Dies läuft zwar der oftmals üblichen Differenzierung zuwider, von einer Phase der Produktionsplanung zu

---

3 Aus der flexibilitätsorientierten Perspektive dieses Beitrags werden grundsätzlich nur *Anpassungshandlungen* im jeweils zugrunde liegenden realen Produktionssystem thematisiert. Gesonderte „autonome“ Entscheidungshandlungen werden nicht betrachtet, da auch solche Handlungen im Realsystem immer im Kontext einer jeweils vorliegenden Produktionssituation erfolgen. Daher sind auch solche Handlungen niemals „autonom“, sondern stets situationsspezifisch. Darüber hinaus vereinfacht es die Diktion erheblich, nur einen Handlungstyp berücksichtigen zu müssen. Daher wird hier der Unterscheidung von CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 17ff., zwischen Handlungen („Prozessen“), die entweder Anpassungsmaßnahmen darstellen oder nicht darstellen, nicht gefolgt. Diese Differenzierung wird übrigens in CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 6ff., insb. S. 9, auch nicht weiterverfolgt, sondern zugunsten nur eines Handlungstyps („Handlungsalternative“) revidiert.

4 Vgl. zu ähnlichen, aber oftmals inhaltlich weiter ausdifferenzierteren Flexibilitätsauffassungen aus allgemeiner betriebswirtschaftlicher oder spezieller produktionswirtschaftlicher Perspektive HAX (1966), S. 451; MEFFERT (1969), S. 779ff., insbesondere S. 784, 786 u. 790; SCHNEIDER (1971), S. 831f. u. 840; ROPOHL (1971), S. 13ff., 107 u. 197ff.; MELLWIG (1972), S. 12ff. (dort als "Elastizität"); JACOB (1974), S. 322ff.; SCHARF (1976), S. 109ff.; SCHAEFER (1980), S. 5ff.; MAIER (1980), S. 32ff.; WARNECKE (1980), S. 200f.; ROSENHEAD (1980), S. 332; WICHARZ (1983), S. 135ff. u. 383ff.; AWF (1984), S. 18ff. u. 131f.; MERTINS (1985), S. 17ff.; HANSSMANN (1987), S. 74f. u. 227ff., insbesondere S. 229; HELBERG (1987), S. 40ff.; ENDELL (1987), S. 32ff.; WILDEMANN (1987), S. 20f. und – mit weiterführenden Hinweisen – S. 43; HORVATH (1987), S. ; 93; BÖTZOW (1988), S. 18ff. u. 140ff. (mit einer detaillierten historischen Betrachtung auf S. 18ff.); WILDEMANN (1988), S. 112ff.; HORVATH (1988), S. 116ff.; CORSTEN (1988), o.S.; SWARNIDASS (1988), S. 2ff.; SCHNEEWEIß (1989), S. 14ff.; MIRIYALA (1989), S. 147f.; SIEGWART (1989), S. 8; WOLF (1989), S. 51, Fn. 1; HANSSMANN (1990), S. 259f. u. 337, insbesondere S. 260; JACOB (1990), S. 397f.; KLEINER (1991), S. 10f. u. 13f.; KERN (1992), S. 23f. u. 136; SCHWEITZER (1994), S. 706 u. 720ff.; KALUZA (1994), S. 62ff.; SCHWEITZER (1994), S. 721ff.; SCHNEEWEIß (1996), Sp. 489ff.

sprechen, solange Produktionsaufträge „geplant“, aber noch nicht zur konkreten Ausführung freigegeben sind. Die Koordinierungsaktivitäten, die nach der Freigabe die Auftragsdurchführung begleiten, werden hingegen zumeist als Phase der Produktionssteuerung bezeichnet. Doch diese begriffliche Unterscheidung erweist sich in mehrfacher Hinsicht als problematisch. Erstens widerspricht sie der etablierten kybernetischen Terminologie, der zufolge es sich bei der Produktionsplanung um Aktivitäten mit Steuerungscharakter handelt, während die Aktivitäten der Produktionssteuerung einen Regelungscharakter aufweisen. Zweitens beinhaltet auch die Produktionssteuerung vielfältige Planungshandlungen im Sinne der geistigen Vorwegnahme von Sachverhalten, die zukünftig für möglich erachtet werden<sup>5</sup>. Dies manifestiert sich beispielsweise in der Maschinenbelegungsplanung bei klassischer Werkstattfertigung nach Freigabe der einzulastenden Produktionsaufträge. Drittens hat sich in der einschlägigen angloamerikanischen Literatur, in der das pragmatische Zweiphasenkonzept der Unterscheidung zwischen Aktivitäten vor und nach der Auftragsfreigabe ebenso dominiert, die sprachlich transparentere Differenzierung zwischen „offline planning/scheduling“ bzw. „online planning/scheduling“ durchgesetzt, der hier gefolgt wird. Schließlich – und viertens – verwischt insbesondere aus der hier interessierenden Flexibilitätsperspektive die künstlich anmutende Unterscheidung zwischen Planungs- und Steuerungshandlungen zuweilen so stark, daß sie im folgenden zugunsten des übergreifenden Koordinierungsbegriffs nicht mehr aufrechterhalten wird. Dies wird vor allem anlässlich des Konzepts opportunistischer Prozeßkoordinierung deutlich werden, das strenggenommen die Phase der Produktionsplanung ignoriert und statt dessen alle Planungshandlungen in die Phase der Produktionssteuerung verlagert. Darauf wird später ausführlicher zurückgekommen.

Unter einer *Produktionssituation* wird die zeitpunktbezogene Gesamtheit der Ausprägungen aller realen Einflußgrößen verstanden, die sich auf die Ausführung von Produktionsprozessen in einem Produktionssystem auszuwirken vermögen. Ob eine solche Einflußgröße zum jeweils betrachteten Produktionssystem gehört oder aus dessen Umsystem („Produktionsumwelt“) stammt, bleibt unerheblich. Mit Flexibilität ist daher nicht nur die Anpassungsfähigkeit an Variationen in der Produktionsumwelt – wie z.B. der Ausfall eines Materiallieferanten – gemeint, sondern ebenso die Fähigkeit, sich an Situationsveränderungen innerhalb eines Produktionssystems – wie etwa Maschinenausfälle oder Veränderungen der Arbeitsintensität an einer Bearbeitungsstation – anzupassen.

---

5 Da sowohl die Phase der Produktionsplanung als auch die Phase der Produktionssteuerung Planungshandlungen im o.a. Sinne umfassen, wird fortan – solange nicht die konventionelle Differenzierung zwischen diesen zwei Phasen zur Diskussion steht – der Planungsbegriff auf beide Phasen bezogen. Hinzu kommt, daß die beiden Phasen unter den Oberbegriff der Prozeßkoordinierung subsumiert werden. Daher lassen sich die Planung und die Koordinierung von Produktionsprozessen als synonyme Begriffe verwenden (sofern die vorgenannte Phasendifferenzierung außer acht bleiben kann).

### 1.3 Flexibilitätspotentiale für die kurzfristige Prozeßkoordinierung

Der Begriff des *Flexibilitätspotentials* hat sich in der betriebswirtschaftlichen, insbesondere produktionswirtschaftlichen Literatur eingebürgert<sup>6</sup>. Auf den ersten Blick bereitet er semantische Probleme, da er zu einer Verdopplung des potentiellen Charakters von Flexibilität führt. Denn Flexibilität als *Fähigkeit* von Produktionssystemen, sich an variierende Produktionssituationen anzupassen, besitzt bereits die Qualität eines *Potentials*. Dieses Potential wird aktualisiert (realisiert), wenn die Anpassung an eine konkret eingetretene Situationsveränderung tatsächlich erfolgt. Daher erscheint es prima facie schwer verständlich, was mit einem „Flexibilitätspotential“ gemeint sein könnte, das hinsichtlich des bereits (auf der Objektebene) als Flexibilität thematisierten Anpassungspotentials noch einmal (auf der Metaebene) zwischen Potentialität und Aktualität differenziert.

Im hier speziell interessierenden Kontext der kurzfristigen Koordinierung von Produktionsprozessen in fest vorgegebenen Produktionssystemen läßt sich jedoch die semantische Eigentümlichkeit des Begriffs „Flexibilitätspotential“ fruchtbar machen, um zwischen zwei Flexibilitätsebenen zu unterscheiden: die technische und die organisatorische Ebene der Flexibilität von Produktionssystemen.

Auf der Ebene der *technischen* Flexibilität sind alle Determinanten der Anpassungsfähigkeit an variierende Produktionssituationen angesiedelt, die sich aus der Struktur eines realen Produktionssystems ergeben. Sie kommen einem Produktionssystem „an sich“ zu, ohne von speziellen Konzepten der Systemnutzung für die Ausführung von Produktionsprozessen abzuhängen. Daher wird auch von einer immanenten Flexibilität der betroffenen realen Produktionssysteme – oder kurz: der technischen Systemflexibilität<sup>7</sup> – gesprochen. Sie erstreckt sich vornehmlich auf folgende Flexibilitätsfacetten<sup>8</sup>:

---

6 Vgl. DELFMANN (1989), S. 222 u. 225; SCHNEEWEIB (1989), S. 15f.; KOHEN (1989), S. 40; KERN (1990), S. 228 u. 230; WOLFRAM (1990), S. 153.

7 Die technische Systemflexibilität betont z.B. auch SCHMIDT (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 (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 (1978), S. 75 u. 82f., hebt Freiheitsgrade bei der Steuerung flexibler Fertigungssysteme hervor.

8 Ähnliche Kataloge von Flexibilitätsaspekten wurden in der produktionswirtschaftlichen Literatur in vielfältigen Varianten erarbeitet; vgl. z.B. SCHARF (1976), S. 109ff.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK (1982), S. 106f.; WARNECKE (1984), S. 456, Abb. 6/17; MERTINS (1985), S. 17f. u. 20; KOCHAN (1986), S. 27 u. 30; BÜHNER (1986), S. 8f.; WILDEMANN (1987), S. 5f. u. 21; HELBERG (1987), S. 40ff.; HINTZ (1987), S. 23f. u. 29; BÖTZOW (1988), S. 24ff.; SWARNIDASS (1988), S. 6ff.; WILDEMANN (1988), S. 113f.; HORVATH (1988), S. S. 116.

- *Artenflexibilität*: Es ist möglich, ein großes Spektrum unterschiedlicher Produktarten herzustellen<sup>9</sup>.
- *Kombinationsflexibilität*: Endprodukte lassen sich aus standardisierten Bausteinen im Rahmen von Baukastensystemen kombinieren. Diese Flexibilitätsfacette kann als ein endproduktbezogener Spezialfall der Artenflexibilität aufgefaßt werden.
- *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 „Eins“ – lassen sich wirtschaftlich vorteilhaft herstellen. Dieser Vereinzelungsaspekt kann auch als Kombination von Arten- und Rüstflexibilität aufgefaßt werden.
- *Durchlaufflexibilität* (Durchlauffreizügigkeit, Routenfreiheit): Es ist möglich, zwischen mehreren Alternativen zu wählen, um einen Auftrag durch ein Produktionssystem zu schleusen.
- *Ordinierungsflexibilität* (Ausführflexibilität, Einsatzflexibilität): Die Arbeitsgänge, die zur Abwicklung von Aufträgen 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 Produktionsstufen.
- *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 Möglichkeiten, ein Produktionssystem in ein Umsystem anderer Produktionssysteme einzubetten.

Die vorgenannten Facetten der technischen Systemflexibilität bilden den produktionstechnischen Rahmen für eine flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen. Sie werden im folgenden nicht näher diskutiert, weil aus der Perspektive der kurzfristigen Prozeßkoordinierung – wie eingangs erläutert – die zugrunde liegenden realen Produktionssysteme als vorgegeben betrachtet werden. Die technische Systemflexibilität steht daher für die hier entfaltete flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen als Gestaltungsobjekt nicht zur Verfügung.

---

9 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.

Darüber hinaus werden alle Aspekte der *Entwicklungsflexibilität*<sup>10</sup>, die sich auf Anpassungen an variierende Produktionssituationen durch strukturelle Veränderungen der betroffenen realen Produktionssysteme (oder enger: der systemkonstituierenden Potentialfaktorbestände) erstrecken, fortan ausgeklammert. Statt dessen interessieren aus dem Blickwinkel der kurzfristigen Prozeßkoordinierung nur noch die Aspekte der *Bestandsflexibilität*<sup>11</sup>. Die Bestandsflexibilität eines Produktionssystems gestattet lediglich solche Anpassungen an variierende Produktionssituationen, die in einem strukturell unveränderten realen Produktionssystem (bzw. bei konstantem Potentialfaktorbestand) geschehen<sup>12</sup>. Dies entspricht der produktionswirtschaftlich etablierten, hierarchisch-sequentiellen Planungspraxis, bei der kurzfristigen Prozeßkoordinierung stets die Struktur des realen Produktionssystems, in dem die Produktionsprozesse ausgeführt werden sollen, als konstant vorauszusetzen (Strukturkonstanz-Prämisse).

Die Bestandsflexibilität eines fest vorgegebenen realen Produktionssystems steckt jedoch nur den *maximalen* Spielraum ab, innerhalb dessen Anpassungen an variierende Produktionssituationen mittels einer kurzfristigen Prozeßkoordinierung erfolgen können. Dieser Spielraum wird durch die technischen Eigenarten des betrachteten Produktionssystems und durch die konzeptuelle Prämisse des Außerachtlassens von Veränderungen des Produktionssystems bestimmt. Er stellt dasjenige „Flexibilitätpotential“ dar, das sich für Zwecke der kurzfristigen Prozeßkoordinierung ausschöpfen läßt. Der Begriff des Flexibilitätpotentials wird daher fortan im Sinne der Bestandsflexibilität von realen Produktionssystemen verwendet.

Das Ausmaß, in dem der maximale Anpassungsspielraum eines realen Produktionssystems – also dessen Flexibilitätpotential – für Entscheidungen über kurzfristige Anpassungsmaßnahmen tatsächlich ausgeschöpft werden kann, hängt darüber hinaus von den *organisatorischen Nutzungskonzepten* für das betroffene Produktionssystem ab. Diese organisatorischen Nutzungskonzepte umfassen alle generellen, d.h. vom Einzelfall eines konkreten Produktionsauftrags unabhängigen Regelungen, die vorschreiben, in welcher Weise die technischen Produktionsmöglichkeiten eines Produktionssystems genutzt werden dürfen. Beispielsweise stellt ein Arbeitsplan für die Herstellung einer bestimmten Zwischen- oder Endproduktart ein solches organisatorisches Nutzungskonzept dar. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und der Planungsvereinfachung herrschen in der betrieblichen Praxis lineare Arbeitspläne vor, die weder Prozeßverzweigungen für alternative Bearbeitungsmaschinen („Ausweichmaschinen“) noch Prozeßverzweigungen für nebenläufig ausführbare Arbeitsgänge („Parallelarbeit“) gestatten. Auf diese Weise wird eine Vielfalt von Anpassungsmöglichkeiten ausgegrenzt, die in einem realen Produktionssystem im Rahmen seiner Bestandsflexibilität bestehen können. So scheidet im Falle von Betriebsstörungen ein Ausweichen auf funktionsgleiche Bearbeitungsmaschinen aus, während im Falle von Auftragsstörungen – wie etwa bei einem nachträglich verkürzten Liefertermin – die Beschleunigung der Auftragsabwicklung durch paralleles Ausführen von Arbeitsgängen unterbleibt (sofern im jeweiligen Störungsfall für die Planung der Anpassungsmaßnahmen nur auf das in den

---

10 Vgl. ALTROGGE (1984), Sp. 605f. u. 615ff.; CORSTEN (1988), o.S.

11 Vgl. ALTROGGE (1984), Sp. 605 u. 610ff.; CORSTEN (1988), o.S.

12 Die Facetten der technischen Systemflexibilität, die kurz zuvor aufgelistet wurden, lassen sich nicht eindeutig entweder nur der Entwicklungs- oder aber nur der Bestandsflexibilität zurechnen. So gehören beispielsweise die Kapazitätsflexibilität i.w.S. und die Integrationsflexibilität zur Entwicklungsflexibilität, weil sie Veränderungen der jeweils betroffenen realen Produktionssysteme implizieren. Die Kapazitätsflexibilität i.e.S. sowie die – emplarisch genannten – Arten-, Mengen- und Rüstflexibilitäten beziehen sich hingegen auf unveränderte reale Produktionssysteme und stellen daher Spezialfälle der Bestandsflexibilität dar.

Anpassungsmaßnahmen nur auf das in den Arbeitsplänen codierte Prozeßwissen zurückgegriffen wird).

Die organisatorischen Nutzungskonzepte für ein reales Produktionssystem können also den *effektiven* Spielraum, der für Entscheidungen über Anpassungen an veränderte Produktionssituationen zur kurzfristigen Koordinierung von Produktionsprozessen tatsächlich zur Verfügung steht, gegenüber dem maximalen, durch die Bestandsflexibilität des Produktionssystems vorgegebenen Spielraum einschränken. Dieser effektive Spielraum für Koordinierungsentscheidungen, den die organisatorischen Nutzungskonzepte für ein reales Produktionssystem zulassen, wird als *organisatorische Systemflexibilität*<sup>13</sup> bezeichnet. Sie umfaßt alle Optionen zur Anpassung eines Produktionssystems an variierende Produktionssituationen, die nicht nur im Rahmen seiner Bestandsflexibilität technisch möglich, sondern darüber hinaus auch organisatorisch zulässig sind.

Zusammenfassend lassen sich als wesentliche Determinanten einer flexibilitätsorientierten Koordinierung von Produktionsprozessen vorläufig festhalten: Der *maximale* Spielraum, der für Entscheidungen der kurzfristigen Prozeßkoordinierung in einem Produktionssystem (i.w.S.) offensteht, wird durch die *technische* Systemflexibilität bei konstanter Systemstruktur (Bestandsflexibilität) konstituiert. Er stellt das *Flexibilitätspotential* des zugrunde liegenden realen Produktionssystems dar. Der *effektive* Spielraum, der in diesem Produktionssystem für kurzfristige Koordinierungsentscheidungen als *organisatorische Systemflexibilität* tatsächlich zur Verfügung steht, kommt hingegen durch die Überlagerung der technischen Systemflexibilität mit organisatorischen Nutzungskonzepten für das reale Produktionssystem<sup>14</sup> zustande. Er drückt das Ausmaß aus, in dem das technisch bedingte Flexibilitätspotential eines realen Produktionssystems mittels organisatorischer Nutzungskonzepte für Zwecke der kurzfristigen Koordinierung von Produktionsprozessen aktuell erschlossen ist. Nur dieses *aktualisierte* Flexibilitätspotential kommt als effektiver Entscheidungsspielraum für die kurzfristige<sup>15</sup> Prozeßkoordinierung in Betracht.

---

13 Vgl. zum Begriff organisatorischer (System-)Flexibilität MAIER (1980), S. 20f. Vgl. am Rande auch KNOOP (1986), S. 67. Er spricht von einem substitutiven Betriebsmodus Flexibler Fertigungssysteme, der die Nutzung von Ausweichmaschinen und Ausweicarbeitsgängen erlaubt.

14 Auch die Strukturkonstanz-Prämisse, das zugrunde liegende reale Produktionssystem für Zwecke der kurzfristigen Prozeßkoordinierung strukturell nicht zu verändern, läßt sich als ein solches organisatorisches Nutzungskonzept für das betrachtete Produktionssystem auffassen. Denn es legt in ablauforganisatorischer Weise fest, im Rahmen der Koordinierung von Produktionsprozessen auf jegliche Veränderung der Struktur des betroffenen Produktionssystems zu verzichten, obwohl dies technisch durchaus möglich und unter Umständen auch ökonomisch vorteilhaft sein kann. Beispielsweise würde eine quantitative Anpassung der Betriebsmittelkapazitäten durch Zukauf neuer Betriebsmittel einen Engpaß bei der Prozeßkoordinierung überwinden helfen. Diese Option wird jedoch im Rahmen der Bestandsflexibilität grundsätzlich nicht in Betracht gezogen. Über die Berechtigung dieser eingeschränkten Betrachtungsweise ließe sich zwar trefflich diskutieren; dies liegt jedoch außerhalb des Erkenntnisinteresses des hier vorgelegten Beitrags zur kurzfristigen Koordinierung von Produktionsprozessen.

15 Auf das Attribut „kurzfristig“ wird im folgenden der Einfachheit halber verzichtet, da hinreichend verdeutlicht wurde, daß in diesem Beitrag nur kurzfristige Prozeßkoordinierungen unter der Prämisse konstanter Produktionssystemstrukturen thematisiert werden.

## 1.4 Kriterien für die Beurteilung der Koordinierungsflexibilität

### 1.4.1 Organisatorische Koordinierungsflexibilität

Ein erster Ansatz zur Beurteilung der *Güte* einer Konzepts für die flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionssystemen läßt sich direkt aus der bisherigen Betrachtung von Spielräumen für Koordinierungsentscheidungen gewinnen: Ein Koordinierungskonzept ist bei jeweils gleichen zugrunde liegenden realen Produktionssystemen um so *flexibler*, je *größer* die *effektiven Spielräume* für Koordinierungsentscheidungen zur Anpassung an variierende Produktionssituationen ausfallen (absolute Variante der Koordinierungsflexibilität 1. Art<sup>16</sup>). Diese Koordinierungsflexibilität 1. Art korrespondiert unmittelbar mit der organisatorischen Systemflexibilität. Daher wird sie hier auch als organisatorische Koordinierungsflexibilität bezeichnet.

Zunächst wird davon ausgegangen, daß die maximalen Spielräume für Koordinierungsentscheidungen wegen der vorgegebenen technischen Systemflexibilität bekannt und – aufgrund der Prämisse unveränderter Systemstrukturen – auch konstant sind. Unter diesen Voraussetzungen erweist sich ein Koordinierungskonzept um so flexibler, je *kleiner* die *Diskrepanzen* zwischen den jeweils situationsspezifischen *maximalen* und *effektiven* Spielräumen für Koordinierungsentscheidungen<sup>17</sup> sind (relative Variante der Koordinierungsflexibilität 1. Art<sup>18</sup>). Diese Variante der Koordinierungsflexibilität 1. Art entspricht dem Ausmaß, in dem es gelingt, das Flexibilitätspotential der technischen Systemflexibilität durch organisatorische Nutzungskonzepte zu aktualisieren und hierbei in tatsächlich nutzbare organisatorische Systemflexibilität umzusetzen. Sie vermittelt hierdurch dem Evaluator eine zusätzliche Einschätzung desjenigen Betrags, um den sich die Flexibilität eines Koordinierungskonzepts bei vorgegebener technischer Systemflexibilität theoretisch noch verbessern läßt. Aber selbst dann, wenn die situationsspezifischen maximalen und effektiven Spielräumen für Koordinierungsentscheidungen nicht exakt bekannt sind, gestattet die relative Variante Koordinierungsflexibilität 1. Art noch praktisch aussagekräftige Flexibilitätsurteile. Das gilt für alle Fälle, in denen für jeweils zwei Koordinierungskonzepte bei ihrer Anwendung auf gleiche reale Produktionssysteme gezeigt werden kann, daß das eine Konzept die maximalen Entscheidungsspielräume

---

16 Von einer absoluten Variante wird hier – in Abgrenzung zu einer nachfolgenden relativen Variante – gesprochen, weil dieses Flexibilitätskriterium nur auf die effektiven Entscheidungsspielräume Bezug nimmt und diese nicht in Relation zu einer anderen Spielraumgröße setzt.

17 In äquivalenter Weise könnte dieses Gütemaß auch auf die Diskrepanz zwischen technischer und organisatorischer Systemflexibilität (bei konstanten Produktionssystemstrukturen) oder ebenso auf die Diskrepanz zwischen Flexibilitätspotential und aktualisiertem Flexibilitätspotential bezogen werden. Denn zuvor wurden einerseits maximaler Entscheidungsspielraum, technische Systemflexibilität (bei konstanten Produktionssystemstrukturen) und Flexibilitätspotential sowie andererseits effektiver Entscheidungsspielraum, organisatorische Systemflexibilität und aktualisierter Flexibilitätspotential jeweils inhaltlich miteinander identifiziert.

18 Es liegt eine relative Variante der Koordinierungsflexibilität vor, weil das Flexibilitätskriterium auf einer Relation zwischen effektiven und maximalen Entscheidungsspielräumen beruht.

besser ausschöpft als das jeweils andere Konzept<sup>19</sup>. Darauf wird in späteren Ausführungen zur opportunistischen Prozeßkoordinierung noch zurückgekommen.

Darüber hinaus wird die *Größe* von Entscheidungsspielräumen – bzw. die „Kleinheit“ der Diskrepanzen zwischen Entscheidungsspielräumen – *nicht* durch skalare *Anzahlen* von Entscheidungsalternativen gemessen<sup>20</sup>. Solche Anzahlen hätten zwar den Vorzug, die Flexibilitätsmaße aller Entscheidungssituationen auf einfache Weise aggregieren und in einer eindimensionalen Flexibilitätskennzahl transparent zusammenfassen zu können. Jedoch steht dieser Einfachheit und Transparenz ein gravierender Nachteil gegenüber. Denn es kann nicht zwangsläufig gefolgert werden, daß ein Entscheidungsspielraum mit einer größeren Anzahl von Entscheidungsalternativen gegenüber einem Referenzspielraum wirtschaftlich vorteilhaft ist. Vielmehr kommt es aus wirtschaftlicher Perspektive auf die *ökonomische Bewertung* derjenigen Konsequenzen an, die mit den Entscheidungsalternativen verknüpft sind.

Die Bewertung der Alternativenkonsequenzen kann jedoch nicht in ein allgemeines Flexibilitätsmaß eingehen, weil die Bewertung von denjenigen speziellen ökonomischen Zielen einschließlich der zugehörigen Höhen-, Arten-, Risiko- sowie Zeitpräferenzen abhängt, die ein Entscheidungsträger individuell – und gegebenenfalls auch situationsspezifisch – verfolgt. Diese Schwierigkeiten lassen sich jedoch vermeiden, indem die Größe von Entscheidungsspielräumen (bzw. die Kleinheit der Diskrepanz zwischen Entscheidungsspielräumen) anhand einer mengentheoretisch definierten Inklusionsbeziehung<sup>21</sup> beurteilt wird: Demzufolge ist ein Entscheidungsspielraum genau dann *größer* als ein Referenzspielraum, wenn die Menge der Entscheidungsalternativen des betrachteten Entscheidungsspielraums eine echte *Obermenge* zur Menge der Entscheidungsalternativen des Referenzspielraums ist. Dies ist genau dann der Fall, wenn der Entscheidungsspielraum alle Entscheidungsalternativen des Referenzspielraums ebenso umfaßt und mindestens eine zusätzliche Entscheidungsalternative enthält, die im Referenzspielraum nicht vorkommt. Diese Inklusionsbeziehung läßt sich mittels des Konzepts der Vektordominanz ohne Schwierigkeiten auf den Vergleich der Größe von Entscheidungsspielräumen in unterschiedlichen Produktionssituationen ausweiten.

Aus dem Beurteilungskriterium der Koordinierungsflexibilität 1. Art folgt unmittelbar eine erste Anforderung, die von Konzepten für eine flexibilitätsorientierte Prozeßkoordinierung erfüllt werden soll:

---

19 Das trifft genau dann zu, wenn das erste Koordinierungskonzept alle Entscheidungsalternativen umfaßt, die auch im zweiten Koordinierungskonzept enthalten sind, aber das erstgenannte Konzept mindestens eine zusätzliche Koordinierungsalternative aufweist, die im letztgenannten Konzept nicht vorkommt (vgl. dazu auch die nachfolgende Erläuterung zur Messung der Größe von Entscheidungsspielräumen). Dieses „bessere Ausschöpfen“ von Entscheidungsspielräumen ließe sich theoretisch ebenso durch die absolute Variante der Koordinierungsflexibilität 1. Art erfassen. Allerdings bietet die relative Variante den praktischen Vorzug, durch das konkrete Wissen oder zumindest eine intuitive Vorstellung über die Gestalt der maximalen Entscheidungsspielräume die *Richtung* zu kennen, in der nach Entscheidungsalternativen zu suchen ist, die nur in einem von zwei miteinander verglichenen Entscheidungsspielräumen vorkommen.

20 In dieser Hinsicht wird bewußt von skalaren, an Alternativenanzahlen ausgerichteten Flexibilitätsmaßen abgewichen, die sich bei FOX (1987), S. 234 (natürlichsprachlich angedeutet), und CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 19 (formalsprachlich präzisiert), finden.

21 Diese Inklusionsbeziehung ist analog zu den Teil- und Obermengenrelationen konstruiert, die im strukturalistischen Theorienkonzept für den Vergleich der Fortschrittlichkeit von Theorien entwickelt wurde; vgl. ZELEWSKI (1993c), S. 377ff. in Verbindung mit S. 160ff.

- Gemäß dem *Gebot umfassender Potentialerkenntnis* soll ein Koordinierungskonzept in der Lage sein, möglichst große effektive Entscheidungsspielräume für die Anpassung an variierende Produktionssituationen zu identifizieren. Hierzu ist es erforderlich, alle Möglichkeiten, die ein reales Produktionssystem zur Anpassung an Situationsveränderungen als technische Systemflexibilität bietet, zu erkennen und für die Prozeßkoordinierung zu erschließen<sup>22</sup>. Denn das Flexibilitätspotential eines gegebenen realen Produktionssystems läßt sich innerhalb eines Dispositionssystems für die Koordinierung von Produktionsprozessen nur in dem Ausmaß nutzen, in dem die technisch vorhandenen Anpassungspotentiale (technische Systemflexibilität) seitens der eingesetzten Koordinierungskonzepte auch als solche identifiziert werden.

Dieses Gebot umfassender Potentialerkenntnis stellt eine erste konkrete Gestaltungsempfehlung für Konzepte zur flexibilitätsorientierten Koordinierung von Produktionsprozessen dar. Sie operationalisiert intuitive Vorstellungen über die prozeßspezifische Koordinierungsflexibilität auf positive Weise<sup>23</sup>. Ihr tritt eine zweite konkrete Gestaltungsempfehlung zur Seite, die im anschließenden Kapitel erläutert wird, um die prozeßspezifische Koordinierungsflexibilität auf komplementäre, negative Weise<sup>24</sup> zu operationalisieren.

- 
- 22 Die möglichst umfassende Erkenntnis aller tatsächlich vorhandenen Anpassungsmöglichkeiten wird auch im Rahmen des produktionswirtschaftlichen Störungsmanagements des öfteren hervorgehoben. So stellt z.B. HELBERG (1987), S. 195, fest: „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. Weniger deutlich, aber in die gleiche Argumentationsrichtung zielend, beklagt ADAM (1990), 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.
  - 23 Durch das Gebot umfassender Potentialerkenntnis wird das *Ergreifen* von Aktivitäten empfohlen, die innerhalb des Dispositionssystems erfolgen sollen, um die „an sich“ vorhandene Anpassungsfähigkeit des zugrunde liegenden realen Produktionssystems (technische Systemflexibilität) möglichst vollständig zu identifizieren und so für die Koordinierung von Produktionsprozessen nutzbar zu machen (organisatorische Systemflexibilität).
  - 24 Das Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung, das nachfolgend vorgestellt wird, empfiehlt das *Vermeiden* von Aktivitäten, die zur Folge hätten, die bereits identifizierte Anpassungsfähigkeit des zugrunde liegenden realen Produktionssystems durch vorzeitige Festlegungen zu vergeuden. Zwar könnte erwogen werden, die später vorgestellte Operationalisierung des Verbots, der Entscheidungszeitpunkt für die Ausführung einer Anpassungshandlung solle niemals vor dem frühestens Ausführungszeitpunkt im Realsystem liegen, als ein positiv gewendetes Gebot zu interpretieren, als Entscheidungszeitpunkt jeweils den frühestmöglichen Ausführungszeitpunkt zu wählen. Eine solche Interpretation wäre jedoch verfehlt. Denn das Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung läßt sich ebenso mit Entscheidungszeitpunkten vereinbaren, die nach dem frühesten Ausführungszeitpunkt liegen. (Dies wird im nächsten Kapitel ausführlicher begründet). Folglich gestattet das Verbot keine Umdeutung in ein eindeutig bestimmtes Gebot.

### 1.4.2 Dispositive Koordinierungsflexibilität

Die organisatorische Koordinierungsflexibilität läßt noch eine naheliegende Vorstellung außer acht, die mit der Flexibilität von Prozeßkoordinierungen zumeist intuitiv verknüpft wird. Diese konzeptionelle Lücke betrifft das Verhältnis zwischen drei charakteristischen Zeitpunkten, die sich jeweils auf dieselbe Handlung zur Anpassung an eine veränderte Produktionssituation beziehen<sup>25</sup>:

- der Zeitpunkt, in dem erstmals das subjektive Wissen vorliegt, daß ein Anpassungsbedarf aufgrund einer Situationsveränderung im realen Produktionssystem besteht und dieser Bedarf durch die betrachtete Anpassungshandlung grundsätzlich erfüllt werden kann (Bedarfszeitpunkt),
- der Zeitpunkt, in dem es frühestens möglich ist, mit dem Ausführen der Anpassungshandlung im realen Produktionssystem zu beginnen (frühester Ausführungszeitpunkt), sowie
- der Zeitpunkt, in dem über das Ausführen oder Nichtausführen der Anpassungshandlung als Entscheidungsalternative innerhalb des zugehörigen Dispositionssystems beschlossen wird (Entscheidungszeitpunkt).

Der Entscheidungszeitpunkt kann offensichtlich nicht vor dem Bedarfszeitpunkt liegen, da Anpassungsentscheidungen ohne das Wissen über einen entsprechenden Anpassungsbedarf und über dessen prinzipielle Erfüllbarkeit jeglicher rationalen Grundlage entbehren. Jeder spätere Entscheidungszeitpunkt ist dagegen aus sachlogischen Gründen zulässig. Dabei muß jedoch die „Dynamik“ des involvierten mehrstufigen Entscheidungsproblems beachtet werden: Je weiter der Entscheidungszeitpunkt in die Zukunft verlagert wird, desto mehr Spielräume für Koordinierungsentscheidungen werden einerseits ab dem Bedarfszeitpunkt bis unmittelbar vor dem Entscheidungszeitpunkt verkleinert, weil die jeweils betrachtete Anpassungshandlung aus den vorgenannten Spielräumen als wählbare Entscheidungsalternative eliminiert wird. Andererseits wird aber der Spielraum, der im Entscheidungszeitpunkt für Koordinierungsentscheidungen offensteht, um die Entscheidungsalternative des Ausführens oder Nichtausführens der Anpassungshandlung vergrößert, weil diese Alternative andernfalls – also bei einer früheren Entscheidung – im jetzt betrachteten Entscheidungszeitpunkt nicht mehr zur Auswahl gestanden hätte.

Bei einem reinen Abzählen der Entscheidungsalternativen, die in den Spielräumen der verschiedenen Zeitpunkte für Koordinierungsentscheidungen offenstehen, dürfte aufgrund des Vorhergesagten der Entscheidungszeitpunkt höchstens um einen Zeitpunkt gegenüber dem Bedarfszeitpunkt in die Zukunft verschoben sein<sup>26</sup>. Denn sonst würde die verschiebungsbedingte Verringerung der Alternativenanzahlen von Spielräumen, die zu Zeitpunkten zwischen dem Bedarfs- und dem Entscheidungszeitpunkt liegen, in der Summe immer größer ausfallen als die Erhöhung der Alternativenan-

---

25 Vgl. dazu die analoge Terminologie bei DINKELBACH (1989), Sp. 507, der im Kontext Flexibler Planung ebenso zwischen Entscheidungs- und Ausführungszeitpunkten differenziert.

26 Diese Feststellung läßt sich allerdings nur unter der Präsupposition eines *diskreten* Zeitrasters treffen, in dem nur endlich viele koordinierungsrelevante Zeitpunkte existieren. Andernfalls – bei Zugrundelegung eines zeitlichen *Kontinuums* – ließe sich ein Entscheidungszeitpunkt nach dem Bedarfszeitpunkt bei der hier angestellten Betrachtungsweise überhaupt nicht rechtfertigen, weil dann in *unendlich vielen* dazwischen liegenden Zeitpunkten die Anzahlen der Entscheidungsalternativen in den zugehörigen Spielräumen jeweils um die eine in die Zukunft verschobene Alternative reduziert würden. In diesem letztgenannten Fall müßte der Entscheidungszeitpunkt also stets mit dem Bedarfszeitpunkt zusammenfallen.

zahl des Spielraums im Entscheidungszeitpunkt um genau eine Entscheidungsalternative. Folglich würde die Anzahl aller Entscheidungsalternativen, die in den betrachteten Spielräumen zur Anpassung an variierende Produktionssituationen in Betracht kommen, insgesamt kleiner werden und damit die Flexibilität der Prozeßkoordinierung abnehmen<sup>27</sup>.

Eine solche Betrachtungsweise würde jedoch wegen ihrer einseitigen Fixierung auf Alternativenanzahlen außer acht lassen, daß sich unter Berücksichtigung der ökonomischen Konsequenzen einer zukunftsgerichteten Verlagerung von Entscheidungszeitpunkten ein ganz anderes Bild ergeben kann. Dies ist hier unter recht allgemeinen Annahmen<sup>28</sup> tatsächlich der Fall. Denn die Verschiebung des Entscheidungszeitpunkts in die Zukunft tangiert die Konsequenzen der Anpassungshandlung im zugrundeliegenden realen Produktionssystem in keiner Weise, solange der Entscheidungszeitpunkt nicht über den frühesten Ausführungszeitpunkt der Handlung hinaus verschoben wird<sup>29</sup>, weil hierdurch die reale Ausführung der Anpassungshandlung unverändert bleibt. A fortiori kann sich auch die ökonomische Bewertung der Konsequenzen dieser Anpassungshandlung weder verbessern noch verschlechtern.

Allerdings bedeutet das Verschieben des Entscheidungszeitpunkts bis zum frühesten Ausführungszeitpunkt, daß in der Zwischenzeit zusätzliche Informationen über die tatsächliche Produktionssituation im frühesten Ausführungszeitpunkt gewonnen und hierdurch eventuelle Fehler früherer Situationsprognosen korrigiert werden können. Unter der Prämisse, daß zusätzliche Informationen niemals zu einer Verschlechterung, des öfteren jedoch zu einer Verbesserung von Entscheidungen führen, bewirkt daher das Verschieben des Entscheidungszeitpunkts bis zum frühesten Ausführungszeitpunkt, daß die Qualität von Koordinierungsentscheidungen tendenziell ansteigt und mit Sicherheit nicht abfällt. Folglich ist es aus der hier entfalteten, flexibilitätsorientierten Koordinierungsper-

---

27 Dies trifft natürlich nur unter der hier hypothetisch durchgespielten Annahme zu, daß – im Gegensatz zur oben eingeführten *mengen*-orientierten Messung der Spielraumgröße – die Größe eines Spielraums zur Anpassung an Situationsveränderungen anhand der *Anzahl* von Entscheidungsalternativen gemessen wird, die zu einem solchen Spielraum gehören.

28 Erstens wird davon ausgegangen, daß Prognosen über zukünftig erwartete Produktionssituationen immer fehlerbehaftet sein können. Zweitens wird angenommen, daß es grundsätzlich möglich ist, zwischen dem Bedarfs- und dem Entscheidungszeitpunkt zusätzliche Informationen über zukünftige Produktionssituationen zu erlangen. Drittens wird unterstellt, daß zusätzliche Informationen die Qualität von Koordinierungsentscheidungen niemals verringern, jedoch manchmal vergrößern können. Hinsichtlich der ersten beiden Prämissen vermag sich der Verfasser keine ernsthaften Gegenargumente vorzustellen. (Aber er läßt sich gern vom Gegenteil überzeugen.) Die dritte Prämisse ließe sich aus informationsökonomischer Perspektive durchaus mit rationalen Argumenten in Zweifel ziehen. Denn unter Berücksichtigung des Ressourcenbedarfs von Informationsverarbeitungsprozessen und angesichts nur begrenzt verfügbarer Informationsverarbeitungsressourcen mit Knappheitspreisen kann der Fall eintreten, daß die Verarbeitung zusätzlicher Informationen zusätzliche direkte oder indirekte Informationsverarbeitungskosten verursacht (indirekte Informationsverarbeitungskosten fallen als Opportunitätskosten an, wenn wegen der Verarbeitung zusätzlicher Informationen aufgrund von Ressourcenengpässen die Qualität anderer Entscheidungsprozesse sinkt). Übersteigen diese zusätzlichen Informationsverarbeitungskosten den (Brutto-)Nutzen aus der erhöhten – oder sogar nur konstanten – Qualität von Koordinierungsentscheidungen, so sinkt der Netto-Nutzen aus der Verarbeitung zusätzlicher Informationen. Von dieser denkmöglichen – und unter Umständen auch praxisrelevanten – Komplikation wird in diesem Beitrag jedoch abgesehen, weil die Erwägungen zur Gestaltung von flexibilitätsorientierten Koordinierungskonzepten hierdurch nicht grundsätzlich beeinträchtigt, sondern allenfalls tendenziell abgeschwächt werden.

29 Dabei wird der Einfachheit halber von endlichen Zeitdauern abstrahiert, die zwischen dem Zeitpunkt, in dem die Ausführung einer Anpassungsbehandlung im Dispositionssystem beschlossen wird, und dem Zeitpunkt, in dem mit der Handlungsausführung im Realsystem begonnen wird, verstreichen können. Sollten hingegen solche Zeitdauern praktisch relevant werden, müßte der oben angesprochene maximale Zeitraum für die unschädliche Verschiebung des Entscheidungszeitpunkts um jene Zeitdauer verkürzt werden.

spektive rational, grundsätzlich alle Entscheidungen über Anpassungshandlungen mindestens so weit in die Zukunft zu verschieben, bis mit der Ausführung der betroffenen Anpassungshandlung im zugrunde liegenden realen Produktionssystem frühestens begonnen werden kann. Auf diese Weise wird ausgeschlossen, daß Koordinierungsentscheidungen unnötig früh getroffen werden. Denn sie würden nur zu solchen Festlegungen von Anpassungshandlungen vor den jeweils frühesten Ausführungszeitpunkten führen, von denen bestenfalls keine Erhöhung der Entscheidungsqualität zu erwarten ist. Widrigenfalls sinkt hingegen die Entscheidungsqualität aufgrund solcher vorzeitigen Festlegungen, weil auf die Chance verzichtet wird, erst später verfügbares Wissen über anpassungsrelevante Produktionssituationen in die Entscheidungsfindung qualitätssteigernd einzubeziehen.

Aufgrund dieses Befunds läßt sich ein zweites Kriterium für die flexibilitätsorientierte Beurteilung der Güte von Koordinierungskonzepten einführen: Ein Koordinierungskonzept ist bei jeweils gleichen zugrunde liegenden realen Produktionssystemen um so *flexibler*, je *kleiner* der Abstand des Entscheidungszeitpunkts, in dem über das Ausführen oder Nichtausführen einer Anpassungshandlung im realen Produktionssystem beschlossen wird, von demjenigen Zeitpunkt ist, in dem mit der Handlungsausführung im realen Produktionssystem frühestens begonnen werden kann, *sofern* der Entscheidungszeitpunkt nicht zeitlich nach dem frühesten Ausführungszeitpunkt liegt (Koordinierungsflexibilität 2. Art). Diese Koordinierungsflexibilität 2. Art läßt sich nicht mehr auf die zuvor erläuterten technischen und organisatorischen Systemflexibilitäten zurückführen, sondern stellt eine Flexibilitätsfacette sui generis dar. Da sie maßgeblich auf die Lokalisierung von Entscheidungszeitpunkten innerhalb des Dispositionssystems Bezug nimmt, wird die Koordinierungsflexibilität 2. Art hier auch als dispositive Koordinierungsflexibilität bezeichnet.

Aus dem Beurteilungskriterium der Koordinierungsflexibilität 2. Art folgt eine zweite Anforderung an Konzepte für eine flexibilitätsorientierte Prozeßkoordinierung:

- Gemäß dem *Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung* soll ein Koordinierungskonzept eine Entscheidung über eine Anpassungshandlung im Dispositionssystem mindestens so lange in die Zukunft verschieben, bis im zugrunde liegenden realen Produktionssystem mit der Ausführung dieser Handlung frühestens begonnen werden kann. Denn auf diese Weise wird verhindert, die identifizierten Anpassungspotentiale des realen Produktionssystems vorzeitig einzuschränken, ohne hierdurch die Qualität der Koordinierungsentscheidungen erhöhen zu können.

Die Koordinierungsflexibilität 2. Art und das hieraus abgeleitete Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung ist im Gegensatz zur Koordinierungsflexibilität 1. Art und dem daraus gefolgerten Gebot umfassender Potentialerkennnis unvollständig formuliert. Im Falle der Koordinierungsflexibilität 1. Art markieren die maximalen Spielräume für Koordinierungsentscheidungen bei vorgegebener technischer Systemflexibilität noch jeweils eine *unbedingte* Obergrenze für die beurteilungsrelevanten effektiven Entscheidungsspielräume. Bei der Koordinierungsflexibilität 2. Art bilden die frühesten Ausführungszeitpunkte für Anpassungshandlungen jedoch nur jeweils eine *bedingte* Obergrenze für die Verschiebung der Entscheidungszeitpunkte, in denen über jene Anpassungshandlungen beschlossen wird. Denn diese maximale Verschiebung steht unter dem *Vorbehalt*, daß die Entscheidungszeitpunkte nicht zeitlich nach den jeweils zugehörigen frühesten Ausführungszeitpunkten liegen. Damit ist noch keine Aussage darüber getroffen, ob eine weiterreichende Verschiebung von Entscheidungszeitpunkten die Flexibilität eines Koordinierungskonzepts positiv oder negativ beeinflussen würde. Es klafft also eine Beurteilungslücke hinsichtlich der Verschiebung von Koordinie-

rungsentscheidungen auf Entscheidungszeitpunkte, die jenseits der frühestmöglichen Ausführungszeitpunkte liegen.

In allgemeiner Weise kann diese Beurteilungslücke nicht geschlossen werden<sup>30</sup>. Denn es konkurrieren mehrere gegenläufige Effekte miteinander, die sich nicht miteinander verrechnen lassen, solange die spezifischen Ziele und Präferenzen der Entscheidungsträger unbekannt sind: Einerseits zieht die Verschiebung des Entscheidungszeitpunkts einer Anpassungshandlung über deren frühestens Ausführungszeitpunkt hinaus den bereits erläuterten positiven Effekt nach sich, daß durch diese Verzögerung der Entscheidungsfindung zusätzliche Informationen gewonnen werden können, welche die Entscheidungsqualität bezüglich zukünftiger Produktionssituationen tendenziell erhöhen und auf keinen Fall erniedrigen. Andererseits bedeutet eine solche Verschiebung des Entscheidungszeitpunkts aber auch, daß die betroffene Anpassungshandlung im realen Produktionssystem nicht mehr zu ihrem frühestmöglichen Zeitpunkt begonnen werden kann. Dadurch werden auch die Handlungskonsequenzen, die von der Anpassungshandlung im realen Produktionssystem bewirkt werden, und deren ökonomische Bewertungen erstmals tangiert. Diese erstmals im Realsystem wirksame zeitliche Verschiebung von Entscheidungen und davon abhängigen Anpassungshandlungen, Handlungskonsequenzen sowie Konsequenzbewertungen kann sich auf vielfältige, hinsichtlich des Gesamteffekts nicht allgemein beurteilbare Weise auswirken.

Beispielsweise können die effektiven Entscheidungsspielräume in zukünftigen Produktionssituationen dadurch anwachsen (und die Koordinierungsflexibilität 1. Art entsprechend ansteigen), daß durch das zusätzliche Abwarten über den frühesten Ausführungszeitpunkt hinaus nachträglich Entscheidungsalternativen bekannt werden, die bis zum frühesten Ausführungszeitpunkt noch nicht zur Diskussion standen. Dies ist u.a. dann der Fall, wenn ein früherer Produktionsauftrag vom Kunden storniert wird und somit die Belegung ehemals reservierter Maschinenkapazität als zusätzliche Entscheidungsalternative die effektiven Spielräume für Koordinierungsentscheidungen zunächst vergrößert. Allerdings ist es zugleich möglich, daß die effektiven Entscheidungsspielräume in zukünftigen Produktionssituationen infolge des zusätzlichen Abwartens verkleinert werden (und die Koordinierungsflexibilität 1. Art entsprechend sinkt). Dieser entgegengesetzte Fall tritt z.B. bei fest vorgegebenen Lieferterminen ein, wenn die Verschiebung einer Anpassungshandlung im Realsystem Zeit verbraucht, die für eventuell noch erforderliche Anpassungshandlungen in späteren Produktionssituationen nicht mehr zur Verfügung steht. Dann stellen jene potentiellen Anpassungshandlungen keine zulässigen Entscheidungsalternativen mehr dar, so daß die effektiven Entscheidungsspielräume der späteren Produktionssituationen entsprechend schrumpfen.

Aufgrund der zuvor lediglich exemplarisch verdeutlichten Effekte ist es im allgemeinen unmöglich festzustellen, ob die Verschiebung des Entscheidungszeitpunkts bezüglich einer Anpassungshandlung über deren frühesten Ausführungszeitpunkt hinaus zu einer Vergrößerung oder Verringerung der Koordinierungsflexibilität 1. Art führt. Darüber hinaus läßt sich noch nicht einmal beurteilen, ob die tendenzielle Vergrößerung der Entscheidungsqualität, die von einer solchen Entscheidungsverzögerung aufgrund zusätzlicher Informationen zu erwarten ist, durch die mögliche Verringerung der Koordinierungsflexibilität 1. Art überkompensiert werden könnte. Es ist noch nicht einmal klar, wie der Effekt einer tendenziell vergrößerten Entscheidungsqualität gegen den Effekt einer u.U. verrin-

---

30 Vgl. dazu auch die ausführlicheren Erläuterungen von CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 24f.; CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 7f.

gerten Koordinierungsflexibilität 1. Art aufgerechnet werden sollte, weil beide Effekte auf unterschiedlichen, inkompatiblen Skalen erfaßt werden (Entscheidungsnutzen versus Spielraumgröße).

Aus den vorgenannten Gründen läßt sich die Koordinierungsflexibilität 2. Art nur unter der einschränkenden Bedingung beurteilen, daß im Dispositionssystem Entscheidungen über Anpassungshandlungen nicht später getroffen werden, als im Realsystem mit der Handlungsausführung frühestens begonnen werden kann. Dies wurde in der oben vorgestellten Definition der Koordinierungsflexibilität 2. Art bereits berücksichtigt. Das schließt jedoch keineswegs aus, daß die resultierende – und *theoretisch* unvermeidbare – Beurteilungslücke hinsichtlich der Koordinierungsflexibilität 2. Art durch heuristische Annahmen geschlossen wird. Solche Annahmen sind spätestens dann erforderlich, wenn im Interesse der *praktischen* Anwendung eines flexibilitätsorientierten Koordinierungskonzepts eindeutige Empfehlungen darüber angestrebt werden, wie groß die „optimale“<sup>31</sup> Verzögerung von Koordinierungsentscheidungen ausfallen solle. Darauf wird im Zusammenhang mit dem opportunistischen Koordinierungskonzept noch zurückgekommen.

---

31 Aufgrund der dargelegten Beurteilungslücke ist es im *strengen* betriebswirtschaftlichen Sinn ausgeschlossen, eine *optimale* Verzögerungsdauer für die Entscheidung über eine Anpassungshandlung bestimmen zu können, ohne nähere Kenntnisse über die Ziele und Präferenzen der betroffenen Entscheidungsträger zu verfügen. Wenn hier dennoch von „optimalen“ Entscheidungsverzögerungen die Rede ist, so ist nur eine „praktische Optimalität“ in bezug auf die jeweils zugrunde gelegten heuristischen Ausfüllungen der Beurteilungslücke gemeint.

## 2 Flexibilitätsorientierte Koordinierungskonzepte

### 2.1 Flexible Planung

Das Konzept der Flexiblen Planung wurde in der Betriebswirtschaftslehre seit den sechziger Jahren intensiv diskutiert<sup>32</sup> und kann daher hier in seinen Grundzügen als bekannt vorausgesetzt werden. Bislang wurde es vornehmlich zur Unterstützung langfristig wirksamer Strukturentscheidungen, und zwar insbesondere im Bereich der Investitionsplanung, herangezogen. Aber seine „Planungsphilosophie“ läßt sich durchaus auf die kurzfristige Koordinierung von Produktionsprozessen übertragen<sup>33</sup>. Nur in dieser speziellen, produktionswirtschaftlich ausgerichteten und prozeßspezifischen Perspektive wird das Konzept der Flexiblen Planung hier aufgegriffen.

Die Flexible Planung zeichnet sich dadurch aus, daß das Flexibilitätspotential eines realen Produktionssystems – d.h. seine Fähigkeit, sich an variierende Produktionssituationen anzupassen, – in den Planungsprozeß integriert wird. Dies geschieht auf der Grundlage von vier charakteristischen Prämissen:

- Alle gegenwärtig<sup>34</sup> und zukünftig für möglich gehaltenen Produktionssituationen lassen sich von vornherein als diskrete und endlich viele „Umweltzustände“ erfassen (Zustandsprämisse).
- Jedem Umweltzustand kann von vornherein eine konstante Eintrittswahrscheinlichkeit<sup>35</sup> zugeordnet werden (Wahrscheinlichkeitsprämisse)<sup>36</sup>.

---

32 Vgl. zu ausführlicheren Darstellungen der Flexiblen Planung HART (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 (1972), S. 318ff.; HAX (1974), S. 82ff.; WILD (1974), S. 77ff. u. 145; HAX (1985), S. 165ff.; HAX (1988), S. 217ff.; BLOHM (1988), S. 304ff.; KERN (1988), S. 163 (dort als Alternativ- oder Eventualplanung); DINKELBACH (1989), Sp. 510f.; HELLWIG (1989), S. 404ff.; KRUSCHWITZ (1990), S. 285ff.; LAUX (1991), S. 249ff. u. 322ff.; CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 2ff. u. 15ff. Vgl. auch – allerdings in kritischer Auseinandersetzung – SCHNEIDER (1971), S. 831ff.; SCHNEIDER (1972), S. 456ff.

33 Vgl. dazu das instruktive Beispiel bei CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 3ff. u. 15ff. Es untersucht die Anwendbarkeit der Flexiblen Planung für ein sehr einfaches, aber infolgedessen auch transparentes Problem aus dem Bereich der Auftragsausführungsplanung. Dabei gilt es, einen idealisierten Produktionsauftrag mit der Hilfe von 5 teilweise ergänzenden, zum Teil aber auch ersetzenden Arbeitsgängen zu realisieren.

34 Die gegenwärtige Produktionssituation wird nach Kenntnis des Verfassers seitens der Flexiblen Planung immer eindeutig dargestellt. Prinzipiell spricht jedoch nichts dagegen, Unsicherheit bezüglich der aktuellen Produktionssituation durch eine mehrdeutige Situationsrepräsentation einzubeziehen. Dafür könnte beispielsweise auf eine „fuzyfierte“ Darstellung der gegenwärtigen Produktionssituation zurückgegriffen werden.

35 Für den Umweltzustand der gegenwärtigen Produktionssituation wird im allgemeinen die Eintrittswahrscheinlichkeit 1,0 angesetzt (und zumeist nicht explizit ausgewiesen). Falls jedoch – wie in der voranstehenden Fußnote dargestellt wurde – Unsicherheit bezüglich der aktuellen Produktionssituation besteht, fallen die Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Umweltzustände derjenigen Produktionssituationen, die in der Gegenwart für möglich gehalten werden, jeweils kleiner als 1,0 aus.

- Alle Anpassungshandlungen, die in einer Produktionssituation erstmals ausgeführt werden können, lassen sich von vornherein als diskrete und endlich viele situationsspezifische „Aktivitäten“ darstellen (Aktivitätsprämisse).
- Jede Aktivität kann von vornherein mit demjenigen konstanten Beitrag bewertet werden, den ihre Ausführung zur Erreichung des Zielsystems des Entscheidungsträgers leisten würde (Bewertungsprämisse).

Sofern diese Prämissen erfüllt sind, lassen sich die Entscheidungstechniken der Flexiblen Planung – dazu gehören vor allem die Entscheidungsbaumtechnik und die Roll-back-Technik zur regressiven Auswertung von endlichen Entscheidungsbäumen – einsetzen, um eine optimale<sup>37</sup> Menge von *Eventualplänen* zu ermitteln. Jeder Eventualplan empfiehlt für genau eine Produktionssituation eine situationsspezifische, optimale Anpassungshandlung unter dem Vorbehalt, daß jene Produktionssituation auch tatsächlich realisiert wird. Die Eventualpläne zeichnen sich dadurch aus, daß sie für *zukünftig* mögliche Produktionssituationen *heute* noch keine Anpassungshandlungen festlegen<sup>38</sup>.

- 
- 36 Vgl. zur üblichen Verknüpfung der Flexiblen Planung mit Eintrittswahrscheinlichkeiten für Umweltzustände LAUX (1971), S. 18; JACOB (1974), S. 303 u. 404; DINKELBACH (1989), 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.“); SCHNEEWEIß (1989), S. 9 (er identifiziert Flexible Planung mit „stochastischer Dynamischer Optimierung“), S. 11 (Abschwächung durch BAYES-Schätzungen), S. 13 u. 15f.; SCHEER (1990), S. 60f.; KISTNER/STEVEN (1990), 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 Wahrscheinlichkeitsprämisse dadurch bestätigt, daß die o.a. Entscheidungsbäume in der Regel durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen überlagert werden; vgl. SCHWARZE (1990), S. 240; GÖTZE (1991), S. 329; PERRIDON (1991), S. 127.
- 37 Als Optimierungskriterium dient in der Regel die Maximierung des Erwartungswerts der Zielsystembeiträge aller Aktivitäten, die in der jeweils betrachteten Menge von Eventualplänen enthalten sind.
- 38 In dem Ausmaß, in dem das zukünftige Verhalten eines Produktionssystems noch nicht feststeht, erfolgen also in der Gegenwart keine Festlegungen bezüglich zukünftig auszuwählender Anpassungshandlungen. Daher werden seitens der Flexiblen Planung keine zukünftigen Handlungsweisen geistig vorweggenommen und präjudiziert. Statt dessen plant sie nur die *gegenwärtige* Handlungsweise im Angesicht zukünftiger Situations- und Handlungsmöglichkeiten. Diesen ausschließlichen Gegenwartsbezug der Planfixierung stellen z.B. heraus: 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); HELLWIG (1989), S. 404; LAUX (1991), S. 252, 256 u. 279. Deshalb fällt die Flexible Planung nicht mit dem oben angeführten konventionellen Planungsverständnis zusammen. Folglich kann der Verfasser auch nicht den Einwendungen von SCHNEIDER folgen, die Flexible Planung unterscheidet sich in keiner Weise von der gewöhnlichen – „starren“ – Planung. Insbesondere trifft das Argument von SCHNEIDER (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, welche von mehreren zukünftig möglichen Situationen tatsächlich eingetreten ist. Allerdings drücken Vertreter der Flexiblen Planung das Offenhalten von Spielräumen für Entscheidungen über zukünftigen Anpassungshandlungen oftmals weniger präzise in der Weise aus, daß es gelte, Entscheidungen so weit wie möglich aufzuschieben. Vgl. zu dieser Formulierung insbesondere HART (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 (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 maxi-

Vielmehr handelt es sich um *bedingte* Pläne, die eine situationsspezifische Anpassungshandlung nur für den *hypothetischen* Fall auswählen, daß die mögliche Produktionssituation in Zukunft auch tatsächlich eintritt. Ob diese Produktionssituation eintreten wird, bleibt im Planungszeitpunkt jedoch offen. Statt dessen wird die Ausführung einer situationsspezifischen Anpassungshandlung, die von einem Eventualplan empfohlen wird, erst dann beschlossen, wenn in späterer Zeit die Kenntnis erlangt wird, daß diejenige Produktionssituation, die dem Eventualplan zugrunde liegt, auch tatsächlich vorliegt.

Die Flexible Planung stellt keine einmalige Planungsaktivität dar, sondern einen zukunftsffenen Planungsprozeß: Er ist so angelegt, daß in der Gegenwart keine Festlegungen durch Entscheidungen über Anpassungshandlungen in zukünftig möglichen Produktionssituationen getroffen werden. Vielmehr wird im Planungsprozeß von vornherein berücksichtigt, daß in späteren Zeitpunkten zu-

---

mal zu verzögernde Entscheidung für die Belegung von Bearbeitungsstationen dar.“) u. 388; MERTINS (1985), S. 139; WINTER (1991), S. 4.

SCHNEIDER (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 spätestzulässige 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. Denn bei Formulierungen der vorgenannten Art handelt es sich nur um unglückliche Umschreibungen eines ähnlich anmutenden, aber inhaltlich grundverschiedenen Ansatzes der Flexiblen Planung: Es sollen nur solche Koordinierungsentscheidungen getroffen werden, die in der jeweils aktuellen Produktionssituation aus den dort zulässigen Anpassungsmaßnahmen genau eine auswählen. Dies schließt die Unterlassungsalternative ein. Daher stellt auch das „Abwarten“ eine wohldefinierte Koordinierungsentscheidung dar. Dadurch wird die aktuelle Produktionssituation beibehalten, sofern sie nicht von selbst durch autonome, von Entscheidungen unabhängige Ereignisgeschehnisse in eine Folgesituation übergeht. Diese Unterlassungsalternative stellt aber nur eine von vielen zulässigen Handlungsalternativen 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 Koordinierungsentscheidungen, die sich auf die Auswahl von Handlungsalternativen erstrecken, die *nicht* zum Spielraum der jeweils *aktuellen* Produktionssituation gehören, sollen so lange hinausgezögert werden, bis diejenige Produktionssituation tatsächlich eingetreten ist, aus deren Spielraum die betrachteten Handlungsalternativen stammen. Dies hat bereits HAX (1972), S. 324, bezüglich einer mißverständlichen Sentenz bei HART (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 Verfasser das abschließende „müssen“ zu einem „dürfen“ inhaltlich verschärfen). Vgl. dazu auch die erhellende, bereits zu Beginn dieser Anmerkung zitierte Äußerung von HART (1951), S. 60. Vgl. darüber hinaus die deutliche Stellungnahme von LAUX (1990), 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 Verfasser).

Ein konkretes Beispiel für diese Haltung findet sich bei MERTINS (1985), S. 139. Er empfiehlt, aus einer Menge von Aufträgen, die vor einer Maschine auf Bearbeitung warten, erst so spät wie möglich einen bestimmten Bearbeitungsauftrag 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 Einlastungsentscheidung erst dann zu treffen, wenn sie zum Spielraum der aktuellen Produktionssituation 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 Festlegungen von Anpassungshandlungen, wenn die Auftragsauswahl an der Maschine so lange hinausgezögert wird, bis der vorgenannte Fall eingetreten ist.

sätzliche Informationen darüber vorliegen werden, welche der früher für möglich erachteten Produktionssituationen tatsächlich eingetreten sind. Erst dann, wenn diese Situationsinformationen zur Verfügung stehen, wird der situationsspezifische Eventualplan durch die Ausführung seiner Handlungsempfehlung realisiert.

Aufgrund dieser zukunfts-offenen Planungscharakteristik scheint die Flexible Planung für eine flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen prädestiniert zu sein. Eine genauere Analyse zeigt jedoch, daß dies nur zur Hälfte zutrifft.

Einerseits wird das Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung durch die Flexible Planung exakt erfüllt. Denn die Ausführung einer Anpassungshandlung wird genau dann beschlossen, wenn diejenige Produktionssituation eingetreten ist, in der die Anpassungshandlung erstmals ausgeführt kann und deren Eventualplan die Anpassungshandlung empfohlen hatte. Daher stimmen Entscheidungszeitpunkt und frühester Ausführungszeitpunkt für die betroffene Anpassungshandlung überein.

Andererseits läßt sich aber das Gebot umfassender Potentialerkenntnis *nicht* erfüllen. Dies liegt in der konzeptionellen Eigenart der Flexiblen Planung begründet, daß sich ihre Planungstechniken nur auf solche Produktionssituationen (Umweltzustände) und Anpassungshandlungen (Aktivitäten) anwenden lassen, die zwei typischen Anforderungen gerecht werden:

- Die Produktionssituationen und Anpassungshandlungen müssen von vornherein für möglich gehalten und explizit modelliert werden.
- Für die Produktionssituationen und Anpassungshandlungen müssen von vornherein Eintrittswahrscheinlichkeiten bzw. Zielsystembeiträge bekannt sein.

Aufgrund der ersten Anforderung läßt sich die Flexible Planung nur zur Anpassung an Situationsveränderungen einsetzen, die bereits in der Gegenwart als zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten vorhergesehen und als solche explizit modelliert werden. Insofern erlaubt die Flexible Planung nur *Anpassungen an (explizit) Vorhergesehenes*. Dies bedeutet eine erhebliche Einschränkung der Koordinierungsflexibilität. Denn alle Anpassungsmöglichkeiten, die ein reales Produktionssystem im Rahmen seiner technischen Systemflexibilität zur Reaktion auf *unvorhergesehene* Situationsveränderungen bietet, werden aus dem Planungsprozeß ausgeklammert.

Infolge der mannigfaltigen Freiheitsgrade, über die moderne Produktionssysteme – wie etwa Flexible Fertigungsnetze oder Flexible Fertigungslinien – verfügen, wäre es unrealistisch anzunehmen, ein reales Produktionssystem ließe sich so modellieren, daß *alle* in ihm ausführbaren Handlungen zur Anpassung an *alle* denkmöglichen Produktionssituationen *vollständig* und *explizit* erfaßt würden. Das Flexibilitätpotential eines realen Produktionssystems kann daher mittels expliziter Modellierungstechniken nicht vollständig repräsentiert werden<sup>39</sup>. Das Gebot umfassender

lierungstechniken nicht vollständig repräsentiert werden<sup>39</sup>. Das Gebot umfassender Potentialerkennnis wird folglich verletzt<sup>40</sup>.

Diese Gebotsverletzung fällt in der Planungspraxis sogar besonders kraß aus, weil sich Flexible Planungen nur so lange pragmatisch handhaben lassen, wie lediglich wenige – in der Größenordnung von einigen Dutzend oder allenfalls einigen Hundert – Produktionssituationen und Anpassungshandlungen explizit berücksichtigt werden. Dies liegt nicht nur daran, daß die typischen Entscheidungsbäume für größere Knoten- und Kantenanzahlen rasch unhandlich groß werden (mittels Automatischer Informationsverarbeitung ließen sich solche Größenprobleme noch in den Griff bekommen). Vielmehr wirken sich die Wahrscheinlichkeits- und die Bewertungsprämisse prohibitiv aus. Denn die Informationsgewinnungskosten zur Ermittlung realistischer Eintrittswahrscheinlichkeiten für alle denkmöglichen Produktionssituationen und zur zielsystemkonformen Bewertung aller vorstellbaren Anpassungshandlungen ufern angesichts der kombinatorischen Explosion des Möglichkeitsraums so rasch aus, daß sie sich in Relation zum Planungsnutzen nur für eine geringe Situations- und Handlungsanzahl praktisch rechtfertigen lassen. Darüber hinaus können noch Wirkungs- und Bewertungsdefekte erschwerend hinzukommen, die aus der Diskussion schlechtstrukturierter Entscheidungsprobleme hinreichend bekannt sind und auch im Bereich der Koordinierung von Produktionsprozessen eine Rolle spielen können. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf Eintrittswahrscheinlichkeiten, die sich in komplexen Produktionssystemen nur selten mit der planungstechnisch erforderlichen Präzision bestimmen lassen. Aufgrund der zuvor skizzierten Schwierigkeiten überrascht es nicht, daß sich die Flexible Planung in der betrieblichen Planungspraxis bislang nicht durchzusetzen vermochte<sup>41</sup>. Es besteht auch keine begründete Aussicht, daß sich dies in Zukunft wesentlich verändern wird<sup>42</sup>.

---

39 Zwar besteht ein denkmöglicher Ausweg darin, das Flexibilitätspotential eines realen Produktionssystems mittels *impliziter* Modellierung vollständig zu erfassen. Dies wäre beispielsweise bei einer Systemmodellierung mittels Petrinetzen der Fall. In solchen Petrinetzmodellen werden zunächst nur die kausalen Abhängigkeiten zwischen Ereignissen und Zuständen innerhalb eines Produktionssystems repräsentiert. Erst durch die „Entfaltung“ eines Petrinetzmodells auf seinen Erreichbarkeitsgraphen wird die Gesamtheit aller Produktionssituationen (als Markierungsknoten des Erreichbarkeitsgraphen) und aller situationsspezifisch zulässigen Anpassungshandlungen (als Schrittkanten, die von einem Markierungsknoten ausgehen) expliziert. Dieser Ausweg wird seitens der Flexiblen Planung jedoch grundsätzlich ausgeschlossen, weil ihre Planungstechniken – wie etwa die Entscheidungsbaumtechnik – die *explizite* Repräsentation aller relevanten Produktionssituationen und Anpassungshandlungen voraussetzen.

40 Dies klingt auch bei WOLF (1989), S. 88f., an. Dabei unterscheidet er deutlich die „Planung von Flexibilität“ (S. 88), die auf die Ausgestaltung der Größe von Spielräumen von Entscheidungen über Anpassungshandlungen abzielt, von der Flexiblen Planung, die sich lediglich mit der Handhabung von fest vorgegebenen Anpassungsspielräumen befaßt. LAUX (1990), S. 54, spricht sich im Rahmen der Flexiblen Planung sogar explizit gegen (anpassungs-)maximale Spielräume aus.

41 Darauf scheint beispielsweise DELFMANN (1989), S. 222, abzielen, wenn er auf die „mangelnde Operationalität“ der Flexiblen Planung angesichts ihrer „hohen informatorischen Anordnungen“ verweist. In ähnlicher Weise wird in KISTNER/STEVEN (1990), S. 17, vom Scheitern der flexiblen Planung in „komplizierteren Fällen“ gesprochen. BLOHM (1988), S. 305, kritisiert, die Demonstrationsbeispiele Flexibler Planung seien allzu simpel strukturiert, und läßt damit indirekt eine mangelnde Tauglichkeit für komplexe Praxisprobleme anklingen. Vgl. auch ZELEWSKI (1995), Band 2, S. 274f. Am Rande weist SCHEER (1990), S. 61, darauf hin, daß sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Umweltsituationen im Zeitablauf verändern können und damit die Wahrscheinlichkeitsprämisse Flexibler Planung ungültig werden lassen.

42 Dies unterstreicht DINKELBACH (1989), Sp. 511. Seiner Ansicht nach „muß flexible Planung mehr als ein Planungskonzept, d.h. eine Idee, ein Planungsproblem strukturell zu durchdringen, denn als ein ausgereiftes, jederzeit einsetzbares Planungsinstrument gesehen werden.“

Aufgrund des Vorhergesagten ist die Flexible Planung – entgegen dem ersten Anschein – kein aussichtsreicher Kandidat für eine flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen. Angesichts ihres planungstechnisch inhärenten Zwangs, das Flexibilitätpotential eines realen Produktionssystems nur in dem Ausmaß berücksichtigen zu können, in dem zukünftig mögliche Produktionssituationen und Anpassungshandlungen explizit vorhergesehen werden, scheitert sie zumindest<sup>43</sup> am Gebot umfassender Potentialerkenntnis.

## 2.2 Agile Manufacturing

Das Konzept Flexibler Planung ist außerstande, das Gebot umfassender Potentialerkenntnis zu erfüllen, weil sie auf die Planung von *Anpassungen an (explizit) Vorhergesehenes* beschränkt bleibt. Um diesen Defekt zu heilen, ist nach einem Koordinierungskonzept Ausschau zu halten, das es auch gestattet, auf *unvorhergesehene* Veränderungen von Produktionssituationen mit Anpassungshandlungen zu reagieren. Ein erster aussichtsreicher Kandidat hierfür ist das Konzept des Agile Manufacturing<sup>44</sup>.

Beim Agile Manufacturing handelt es sich um ein breit angelegtes Konzept für die Gestaltung von Produktionssystemen und Produktionsstrategien, das erst zu Beginn der neunziger Jahre zunehmende Aufmerksamkeit erlangt hat. In jüngster Zeit ist es zu einer Art „Modethema“ produktionswirtschaftlicher und industrieökonomischer Abhandlungen geworden. Zu dieser Beliebtheit mag beigetragen haben, daß unter dem Etikett „Agile Manufacturing“ nahezu alle Aspekte wiederkehren<sup>45</sup>,

---

43 Darüber hinaus leidet die Flexible Planung an einem weiteren Defekt, der im hier erörterten Kontext jedoch von geringerer Bedeutung ist. Sie setzt eine *azyklische* dynamische Struktur derjenigen Modelle voraus, mit denen die Aufgaben der Prozeßkoordinierung repräsentiert und bewältigt werden sollen. Diese Koordinierungsmodelle müssen sich als Entscheidungsbäume darstellen lassen, um die Lösungstechniken der Flexiblen Planung anwenden zu können. Diese Modellierungsprämisse wird jedoch mehreren Sachverhalten nicht gerecht, die bei der Koordinierung von Produktionsprozessen Bedeutung erlangen können. Dazu gehören z.B. zyklische Produktionspläne, Untersuchungen der Reversibilität des Verhaltens von Produktionssystemen sowie die Frage, ob sich Produktionsprozesse in unerwünschten Endlosschleifen (Livelocks) verfangen können. Solche Aspekte der Prozeßkoordinierung lassen sich mit der Hilfe von Entscheidungsbäumen, die von den Lösungstechniken der Flexiblen Planung präsupponiert werden, grundsätzlich nicht erfassen.

Allerdings räumt der Verfasser ein, daß das voranstehende Argument nicht generell gegen die Flexiblen Planung spricht. Es wendet sich nur gegen die – allgemein übliche – Verknüpfung der Flexiblen Planung mit Modellierungstechniken, die auf dem Konzept der Entscheidungsbäume basieren. So könnte durchaus die Ansicht vertreten werden, daß die Flexible Planung auch ohne Entscheidungsbäume auskommt. Dann wäre allerdings eine alternative Modellierungstechnik nachzuweisen, die nicht auf Baumstrukturen zurückgreifen muß. Die Technik der Linearen Programmierung, die im Rahmen der Flexiblen Planung des öfteren eingesetzt wird, kommt hierfür nicht in Betracht. Denn sie greift ebenso auf eine baumartige Modellierungsweise zurück, die in der Gestalt von Zustandsbäumen vorausgesetzt wird; vgl. LAUX (1971), S. 51ff., insbesondere S. 58; HAX (1985), S. 172ff. u. 188ff.; HAX (1988), S. 219ff.; KRUSCHWITZ (1990), S. 291; MARTIN (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 (1990), S. 128f. u. 133ff. (Theorem 1 und Corollary 1).

44 Vgl. zu „Agile Manufacturing“ und „Agility“ im Produktionsbereich SHERIDAN (1993), S. 30ff.; NAGEL/BHARGAVA (1994); DOVE (1994); NOAKER (1994); GOLDMAN/NAGEL/PREIS (1995); DOVE (1995a); DOVE (1995b); GOLDMAN u.a. (1996); GUNNESON (1997); DOVE (1999).

45 Vgl. dazu beispielsweise die – je nach Betrachtungsweise „ganzheitlichen“ (positiv gewürdigt) bis „diffusen“ (negativ beleuchtet) – Aufzählungen der tatsächlichen oder vermeintlichen Charakteristika von Agile Manufacturing bei GOLDMAN u.a. (1996), S. XII, 3, 34f. (ein Paradebeispiel für eine diffuse bis nahezu inhaltsleere „Arbeitsdefinition“) u. 60ff.

die in den vergangenen ca. zwei Jahrzehnten aus den Blickwinkeln von Lean Produktion / Lean Management, Total Quality Management und Fraktalen Fabriken bereits ausführlich gewürdigt wurden. So kann sich jeder in eklektizistischer Weise das herausgreifen, was in sein „produktionswirtschaftliches Weltbild“ paßt, und infolge des Mangels einer klaren Konzeptdefinition all jenes ausblenden, das als irritierender Ballast empfunden wird.

In diesem Beitrag interessiert aber nur der Beitrag des Agile Manufacturing für eine flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen. Aus dieser speziellen Perspektive erweist sich als bemerkenswert, daß führende Vertreter des Agile Manufacturing hervorheben<sup>46</sup>, das Charakteristikum von *Agilität* bestehe in der Fähigkeit, sich an *unvorhergesehene*<sup>47</sup> Veränderungen von Produktionssituationen<sup>48</sup> erfolgreich anzupassen<sup>49</sup>. Ihrer Ansicht nach stellt Agilität keineswegs eine besonders „volatile“ Variante von Flexibilität dar. Vielmehr handele es sich um einen Gegensatz zur konventionellen Flexibilität<sup>50</sup>, die durch Agilität als „ultimativer“ Fortentwicklung<sup>51</sup> zeitgenössischer strategischer Produktionskonzepte überwunden werde. Dieser Gegensatz beruhe darauf, daß Flexibilität sich nur auf die Anpassungsfähigkeit an *vorhergesehene* (und kontrollierbare) Situationsveränderungen erstreckt, während erst durch Agilität die Fähigkeit erreicht werde, sich auch an *unvorhergesehene* Veränderungen von Produktionssituationen anzupassen<sup>52</sup>.

Es sei hier nur am Rande erwähnt, daß die zuvor skizzierte Argumentationsweise die beliebte Argumentationsfigur verwendet, zunächst einen „Popanz“ aufzubauen, auf den sich alsdann zur Empfehlung der eigenen Position um so trefflicher „einschlagen“ läßt. Den Popanz bildet hier ein künstlich verengtes Flexibilitätsverständnis, das Flexibilität auf die Anpassungsfähigkeit gegenüber vor-

- 
- 46 Die nachfolgende Charakterisierung von Agilität folgt maßgeblich den Ausführungen von DOVE (1994), S. 1, 3, 5 u. 11. DOVE gehört zur Führungsgruppe des „Agility Forum“ in Bethlehem/U.S.A. und zählt neben GOLDMAN, NAGEL und PREISS zu den herausragenden Apologeten von Agile Manufacturing.
- 47 Zumeist wird der noch stärkere Anspruch erhoben, Agilität erlaube die erfolgreiche Anpassung an *unvorhersehbar*e Situationsveränderungen. Vgl. DOVE (1994), S. 1 („The Agile paradigm is concerned principally with unpredictable change. ... Our interest of course is "unpredictable" change ...“). Die prinzipielle Unvorhersehbarkeit von Zukunftsentwicklungen stellt aber strenggenommen ein Dispositionsprädikat dar, das sich einer kritisch-rationalen Überprüfung entzieht. Denn es ist unmöglich nachzuweisen, daß etwas grundsätzlich niemals – auch nicht zufällig – vorgesehen könnte. Wegen dieser epistemischen Problematik wird hier die schwächere Formulierung verwendet, daß sich Agilität lediglich auf die faktische – jedoch nicht grundsätzliche – Feststellung bezieht, zukünftige Situationsveränderungen seien nicht vorhergesehen worden.
- 48 Anhänger des Agile Manufacturing beziehen sich in der Regel nur auf Veränderungen in der Umwelt von Produktionssystemen, insbesondere auf den relevanten Beschaffungs- und Absatzmärkten. Diese enge, lediglich umweltbezogene Sichtweise ist in der oben angeführten Formulierung als Unterfall enthalten, weil sich der Begriff der Produktionssituation – wie eingangs erläutert – sowohl auf interne Zustände eines Produktionssystems als auch auf die Verfassung seiner Umwelt bezieht.
- 49 Vgl. DOVE (1994), S. 1 („... working definition of agility as: the ability to thrive in an environment of continuous and *unpredictable* change. The focal point here is "*change*" ... "Thrive" is a key word because it implies ... long term *success*“; kursive Hervorhebungen durch den Verfasser).
- 50 Vgl. DOVE (1994), S. 1 („"Continuous and unpredictable" ... distinguishes agility from mere flexibility ...“), 5 u. 11.
- 51 Vgl. DOVE (1994), S. 11 („Knowing that the ultimate goal is Agile [Manufacturing] ...“; Zusatz [...] durch den Verfasser) sowie Figure 5 auf derselben Seite.
- 52 Vgl. DOVE (1994), S. 3 („Scope is the *principal difference* between flexibility and agility. *Flexibility* ... is the planned response to *anticipated* contingencies. *Agility*, on the other hand, repostures the fundamental approach in order to minimize the inhibitions to change *in any direction*. ... At the heart of scope is the architectural issue: rather than build something that *anticipates* a defined range of requirements, or ten or twelve contingencies, build it so it can be deconstructed and reconstructed as needed.“; kursive Hervorhebungen durch den Verfasser).

hergesehenen (und kontrollierbaren) Situationsveränderungen reduziert. Dies entspricht in keiner Weise dem betriebswirtschaftlich üblichen Flexibilitätsbegriff, der im einleitenden Kapitel anhand einer Arbeitsdefinition umrissen wurde.

Viel interessanter erscheint hingegen der Umstand, daß sich Agile Manufacturing mit seiner Reduzierung des Flexibilitätsbegriffs auf vorhergesehene Veränderungen der Produktionssituation exakt gegen jenes Planungskonzept wendet, das kurz zuvor als Charakteristik der Flexiblen Planung herausgearbeitet wurde. Da die Untauglichkeit der Flexiblen Planung für eine flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen in der Beschränkung auf *vorhergesehene* Situationsveränderungen verwurzelt war und zugleich seitens des Agile Manufacturing die erfolgreiche Anpassung an *unvorhergesehene* Situationsveränderungen in Aussicht gestellt wird, erscheint Agile Manufacturing als *der* Hoffnungsträger für eine flexibilitätsorientierte Prozeßkoordinierung.

Dieser Anschein trügt jedoch. Denn alle „Elemente“, „Schlüsselfaktoren“ und ähnlich titulierte Aspekte des Agile Manufacturing, die von seinen Apologeten ins Feld geführt werden<sup>53</sup>, lassen nach Einschätzung des Verfassers bislang keinen *operationalen* Ansatz erkennen, um die charakteristischen Postulate einer flexibilitätsorientierten Prozeßkoordinierung – das Gebot umfassender Potentialerkenntnis und das Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung – zu erfüllen und in *konkrete* Gestaltungsempfehlungen für entsprechende Koordinierungskonzepte umzusetzen. Solche Ansätze scheitern bislang daran, daß Agile Manufacturing nur auf der Ebene des strategischen Produktionsmanagements thematisiert wird, ohne sich mit möglichen Konsequenzen für die Ebene der operativen Koordinierung von Produktionsprozessen näher zu befassen. Daher bleibt Agile Manufacturing zur Zeit – bestenfalls – ein Hoffnungsträger für zukünftige Beiträge zu einer flexibilitätsorientierten Prozeßkoordinierung.

---

53 Vgl. beispielsweise die Darstellungen der wesentlichen Aspekte von Agile Manufacturing bei DOVE (1994), S. 4ff., insb. S. 5 u. 9; GOLDMAN u.a. (1996), S. 60ff. u. 277ff.

## 2.3 Opportunistische Prozeßkoordinierung

### 2.3.1 Überblick

Die opportunistische<sup>54</sup> Prozeßkoordinierung<sup>55</sup> wurde im Bereich der Erforschung Künstlicher Intelligenz (KI) als ein allgemeines Konzept für die Ablaufplanung komplexer Prozesse entwickelt. Sie fokussiert ihre Koordinierungsbemühungen auf die *Möglichkeiten*, die für die Ausführung von Produktionsprozessen in einer Produktionssituation *aktuell* zur Verfügung stehen, in den Vordergrund. Dieser Bezug auf aktuelle Produktionsmöglichkeiten, die jeweils „Optionen“ für die Fortsetzung der Prozeßausführung darstellen, läßt sich als eine erste, tentative Ausdeutung der Bezeichnung „opportunistische“ Koordinierung begreifen. Die eigentümliche Konzentration auf das Entfalten und Ausfüllen gegenwärtiger Koordinierungsspielräume führt dazu, daß seitens der opportunistischen Prozeßkoordinierung keine vorausschauende Produktionsplanung wie bei konventionellen

---

54 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. Allerdings läßt sich eine inhaltliche Verknüpfung zwischen beiden Opportunismusauffassungen herstellen, wenn die opportunistische Prozeßkoordinierung mit dem Konzept der Multi-Agenten-Systeme kombiniert wird. Vgl. dazu ZELEWSKI (1995), Band 2, S. 299.

55 Vgl. zur opportunistischen Prozeßkoordinierung („opportunistic scheduling“) FOX/KEMPF (1985a), S. 488ff.; FOX/KEMPF (1985b), S. 882ff.; NEWMAN/KEMPF (1985), S. 168ff.; FOX (1987), S. 231ff.; PARUNAK (1987), S. 304; ZELEWSKI (1988), S. 56ff.; ZELEWSKI (1990), S. 62f.; ZELEWSKI (1991a), S. 263ff.; ZELEWSKI (1994), S. 797f.; CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 12ff. u. 19ff.; CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 5ff. u. 18ff.

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 treten die beiden opportunistischen Koordinierungsprinzipien größtmöglicher Auswahlfreiheit und kleinstmöglicher Entscheidungsbindung bei SCHMIDT (1989), S. 16, hervor: „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 (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 eine flexibilitätsorientierte Prozeßkoordinierung eignen.

Schließlich wird auf „opportunistische“ Strategien der Prozeßkoordinierung vereinzelt Bezug genommen, ohne daß aus den knappen Andeutungen klar wird, ob die hier betrachtete opportunistische Koordinierungsweise inhaltlich gemeint ist. Denn die Andeutungen lassen es offen, ob ihnen die beiden opportunistischen Prinzipien größtmöglicher Auswahlfreiheit und kleinstmöglicher Entscheidungsbindung tatsächlich zugrunde liegen. Solche kurzen Hinweise auf opportunistische Koordinierungsstrategien finden sich bei ROSE (1989), S. 83, und RILLING (1991), S. 17, Fn. 35 (dort immerhin mit klarem Bezug auf das Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit).

PPS-Konzepten betrieben wird<sup>56</sup>. Statt dessen widmet sie sich nur der gegenwartsbezogenen, hochflexiblen *Steuerung* von Produktionsprozessen.

Aus der Perspektive einer flexibilitätsorientierten Koordinierung von Produktionsprozessen erweist sich die opportunistische Prozeßkoordinierung als besonders interessant. Denn sie harmoniert auf vorzügliche Weise mit den beiden Koordinierungspostulaten, die im ersten Abschnitt dieses Beitrags als Gebot umfassender Potentialerkenntnis und als Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung herausgearbeitet wurden. Diese konzeptionelle Übereinstimmung beruht auf zwei Prinzipien, mit denen sich die „Essenz“ der opportunistischen Prozeßkoordinierung charakterisieren läßt<sup>57</sup>:

- Das *Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit* („principle of opportunism“)<sup>58</sup> postuliert, in jeder Produktionssituation bei den Entscheidungen über Ausführungen von Produktionsprozessen *alle* Freiheitsgrade zu berücksichtigen, die im aktuellen Zustand des Produktionssystems für situationsbezogene Anpassungshandlungen offenstehen. Daher fällt dieses erste Koordinierungsprinzip inhaltlich mit dem Gebot umfassender Potentialerkenntnis zusammen.

---

56 Diese Feststellung trifft allerdings nur in einer ersten, groben Annäherung zu. Denn tatsächlich wird im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung zumeist eine verfeinerte, zweistufige Koordinierungsweise verfolgt (vgl. FOX/KEMPF (1985a), S. 489f.; CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 16f.): Sie unterscheidet zwischen einem „off-line“ und einem „online scheduling“. Auf der ersten Stufe sollen von einem „off-line scheduler“ (FOX/KEMPF (1985a), S. 489) 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, auf der ein „on-line scheduler“ (FOX/KEMPF (1985a), S. 490) aktiv wird. Erst auf dieser zweiten Koordinierungsstufe findet das opportunistische Koordinierungskonzept so, wie es in dem hier vorgelegten Beitrag skizziert wird, als kurzfristige Prozeßkoordinierung Anwendung. Diese zweistufige Verfeinerungsperspektive ist jedoch bislang von den „Vätern“ der opportunistischen Prozeßkoordinierung – wie FOX und KEMPF – noch 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 Produktionsplanungs- und -steuerungskonzept zu integrieren. Denn das „online scheduling“ der opportunistischen Koordinierung entspricht der tiefsten Ebene der Planungs- und Steuerungshierarchie von PPS-Systemen. Insbesondere läßt es sich der Ebene der Realzeitsteuerung („real-time scheduling“) zuordnen. Das „offline scheduling“ 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 Offline- und einer Online-Steuerung bei BÜHNER (1986), S. 21f. Eine ähnliche Aufteilung in eine „off-line“ und in eine „on-line“-Planungskomponente findet sich bei KRAUSE (1989), S. 547f., für die Arbeitsplanung und Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen.

57 Die beiden Koordinierungsprinzipien werden in der Primärliteratur zur opportunistischen Prozeßkoordinierung zwar mehrfach angeführt, aber nirgends präzise definiert. Allenfalls werden sie sporadisch inhaltlich umschrieben. Daher nimmt sich der Verfasser die definitorische Freiheit, die beiden Prinzipien des „opportunism“ und des „least commitment“ so auszulegen, daß sie sich auf die beiden früher definierten Anforderungen an flexibilitätsorientierte Prozeßkoordinierungen – das Gebot umfassender Potentialerkenntnis und das Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung – in transparenter Weise zurückführen lassen.

58 Vgl. FOX/KEMPF (1985a), S. 489; FOX (1987), S. 232. 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. Dieses Koordinierungsprinzip klingt auch – und zwar in überraschend deutlicher Explizierung – 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“. Allerdings bezieht sich SPUR dabei nicht auf die opportunistische Prozeßkoordinierung.

- Das *Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung* („principle of least commitment“)<sup>59</sup> fordert, alle vorzeitigen Festlegungen im Planungsprozeß zu unterlassen, die Entscheidungen über Anpassungshandlungen in erst später erwarteten Produktionssituationen unnötig präjudizieren würden. Damit entspricht es unmittelbar dem Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung.

Diese beiden Koordinierungsprinzipien sind noch so allgemein formuliert, daß sie allein noch nicht ausreichen, um konkrete Gestaltungsempfehlungen für ein flexibilitätsorientiertes Konzept zur Koordinierung von Produktionsprozessen zu unterbreiten. Insofern handelt es sich bei der opportunistischen Prozeßkoordinierung in ihrer bisher skizzierten Form strenggenommen noch nicht um ein tragfähiges Konzept für die Prozeßkoordinierung, sondern nur um ein Rahmen- oder Metakonzept<sup>60</sup>.

Aber die Exploration der inhaltlichen Konsequenzen seiner zwei charakteristischen Koordinierungsprinzipien hat sich seit etwa Mitte der achtziger Jahre als überaus fruchtbar erwiesen. Es liegt bereits eine Fülle von Anregungen für die inhaltliche Konkretisierung der Prinzipien größtmöglicher Auswahlfreiheit und kleinstmöglicher Entscheidungsbindung vor<sup>61</sup>. Diese Vorschläge begründen die fundierte Erwartung, mittels dieses neuartigen Koordinierungskonzepts erstmals eine flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen entwickeln zu können, die den – an frü-

---

59 Vgl. FOX/KEMPF (1985a), S. 489; FOX (1987), S. 232 u. 234. Am klarsten wird das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung von FOX (1987), 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 Verfasser).

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 (1951), S. 55 („many decisions can be postponed“); GUPTA (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 (1988), S. 144 („Postponing actions until they can be proven essential“); KRALLMANN (1990), S. 61 („Least-Commitment-Strategie“ für die Strukturierung von Produktionssystemmodellen); HEIN (1991), S. 712 u. 714 (S. 712: „Least-commitment-Strategie“).

60 Dieses Metakonzept umfaßt alle Koordinierungskonzepte, die den beiden vorgenannten Prinzipien gerecht werden. So läßt sich beispielsweise das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindungen mit (mindestens) zwei verschiedenen Strategien für die Festlegung jener Zeitpunkte vereinbaren, in denen Arbeitsgänge und Bearbeitungsstationen einander zugeordnet werden. Daher stellt die opportunistische Prozeßkoordinierung kein inhaltlich eindeutig bestimmtes 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 Metakonzept 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 in diesem Beitrag 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 anderen, umfangreicheren Untersuchungen vorbehalten. Vgl. dazu vor allem die ideenreichen, innovativen Beiträge von CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 19ff., und CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 18ff. Da solche Fortentwicklungen in diesem Beitrag keine ausführlichere Würdigung erfahren, wird der Metakonzeptcharakter der opportunistischen Prozeßkoordinierung im folgenden nicht weiter herausgestellt. Statt dessen wird sie der Einfachheit halber kurz als Koordinierungskonzept thematisiert.

61 Vgl. dazu die Quellen, die zu Beginn dieses Kapitels als Belege für die opportunistische Prozeßkoordinierung angeführt wurden.

herer Stelle bereits erläuterten – Anforderungen an eine solche Prozeßkoordinierung tatsächlich gerecht wird.

In der hier gebotenen Kürze ist es nicht möglich, die mannigfaltigen Konkretisierungsangebote für die Koordinierungsprinzipien der größtmöglichen Auswahlfreiheit und der kleinstmöglichen Entscheidungsbindung umfassend darzustellen. Statt dessen werden im folgenden nur einige wenige, besonders plastische oder besonders radikal anmutende Beispiele zur Verdeutlichung angeführt. Lesern, die an einer Vertiefung und Ergänzung dieser Beispiele interessiert sind, wird vor allem die überaus gehaltreiche und zukunftsweisende, jüngst publizierte Studie von CORSTEN und GÖSSINGER empfohlen<sup>62</sup>.

### 2.3.2 Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit

Das Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit wird in der Primärliteratur zur opportunistischen Prozeßkoordinierung nicht konkret expliziert. Statt dessen wird nur in plakativer Rede das „principle of opportunism“ referenziert, ohne es klar zu definieren. Aus den Beispielen, die von den Vertretern dieses Koordinierungskonzepts zur Verdeutlichung ihrer Vorstellungen angeführt werden, läßt sich jedoch der Inhalt des „principle of opportunism“ auf folgende Weise rekonstruieren<sup>63</sup>: In jeder Produktionssituation soll der Spielraum für Koordinierungsentscheidungen *alle* Anpassungshandlungen umfassen, die aufgrund des Flexibilitätspotentials des zugrunde liegenden realen Produktionssystems als Reaktion auf eine Situationsveränderung technisch möglich sind. Dies entspricht genau dem Gebot umfassender Potentialerkenntnis für flexibilitätsorientierte Prozeßkoordinierungen.

Besonders deutlich wird diese inhaltliche Übereinstimmung, wenn die Konzeptualisierung der Ablaufstruktur von Produktionsaufträgen betrachtet wird, wie sie im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung üblich ist. Das betrifft vor allem die Verwendung von *Arbeitsplänen*. Arbeitspläne dienen in der Stückgütererfertigung dazu, sowohl die Aufbau-<sup>64</sup> als auch die Ablaufstruktur<sup>65</sup> von Produktionsaufträgen zu spezifizieren<sup>66</sup>. Im folgenden interessiert aber nur der Ablaufaspekt.

---

62 Vgl. CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), insb. S. 13ff. u. 19ff. Vgl. daneben auch die Übertragung einiger Ideen aus der vorgenannten Quelle auf ein übersichtliches Demonstrationsbeispiel in CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 18ff. Von besonderem Interesse erweist sich aus der Perspektive flexibilitätsorientierter Konzepte für Prozeßkoordinierungen, daß jenes Demonstrationsbeispiel ebenso herangezogen wird, um die Flexible Planung als alternatives Koordinierungskonzept anzuwenden (S. 15ff.) und beide Konzepte – sowohl die opportunistische Prozeßkoordinierung als auch die Flexible Planung – hinsichtlich ihrer Eigenarten und Leistungspotentiale unmittelbar miteinander zu vergleichen (S. 20ff.).

63 Vgl. ZELEWSKI (1995), Band 2, S. 246ff. Dort werden Maßnahmen zur Realisierung des Prinzips größtmöglicher Auswahlfreiheit ausführlicher thematisiert, allerdings aus der speziellen Perspektive eines Postulats „anpassungsmaximaler Spielraumidentifizierung“. Dieses Postulat stimmt inhaltlich mit dem Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit überein. Es wurde in der vorgenannten Quelle lediglich in einem anderen Kontext eingebettet, der auf eine system- und entscheidungstheoretische Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen abzielt (vgl. dort S. 49ff. bzw. 137ff.).

64 Als Aufbaustruktur eines Produktionsauftrags wird 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.

Konventionelle Arbeitspläne<sup>67</sup> besitzen eine *lineare* Ablaufstruktur<sup>68</sup>. In ihnen werden die Ausführungen aller Arbeitsgänge, die zur Abwicklung eines Auftrags erforderlich sind, in einer zeitlich wohlbestimmten Sequenz<sup>69</sup> angeordnet. Dadurch wird die Arbeitsgangmenge<sup>70</sup> eines linearen Ar-

- 
- 65 Die Ablaufstruktur eines Produktionsauftrags umfaßt alle Arbeitsgänge, die zur Auftragsabwicklung ausgeführt werden müssen, sowie die Gesamtheit der Abhängigkeitsbeziehungen, die zwischen den einzelnen Arbeitsgängen bestehen. Diese Abhängigkeitsbeziehungen, die oftmals auch als Präzedenzbeziehungen oder Restriktionen thematisiert werden, können entweder kausaler Art und somit produktionstechnisch fest vorgegeben sein oder aber auf wahlfreien (Vor-)Entscheidungen der Arbeitsvorbereitung beruhen. Entsprechend wird von technischen bzw. dispositiven Abhängigkeitsbeziehungen geredet.
- 66 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 (1992), S. 286. Die Techniken zur Erstellung von Arbeitsplänen werden hier als bekannt vorausgesetzt; vgl. z.B. KERN (1992), S. 285ff., und REMBOLD (1990), S. 47ff.
- 67 Vgl. zu konventionellen (linearen) Arbeitsplänen FORSCHBACH (1978), Abb. 3 zwischen S. 272 u. 273; SPUR (1980), S. 37; REFA (1985), S. 147ff., insbesondere S. 166ff. (REFA-Lehrarbeitsplan); WIENDAHL (1986), S. 754; ARNING (1987), S. 38; KERN (1992), S. 286ff., insbesondere Abb. 90 auf S. 288; HEBBELER (1991), S. 275.
- 68 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 Fußnote aufgeführt wurden. Vgl. darüber hinaus die linearen Präzedenzgraphen bei WIENDAHL (1986), 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.
- 69 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 im Kontext linearer Arbeitspläne oftmals 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 (1988), S. 230f.; EVERSHEIM (1989), S. S. 28 i.V.m. Abb. 2 auf S. 27; KRAUSE (1989), S. 547; KLEINER (1991), S. 51f. Sogar bei der Prozeßkoordinierung 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 lediglich 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 hier in Kürze näher eingegangen wird.

beitsplans vollständig geordnet. Die sequentielle Anordnung aller Arbeitsgangausführungen verletzt jedoch im allgemeinen das Gebot, Flexibilitätspotentiale von Produktionssystemen möglichst umfassend zu identifizieren. Denn Spielräume für Entscheidungen über Anpassungshandlungen, die in einer Produktionssituation für Arbeitsgangausführungen offenstehen, werden durch die lineare Anordnung aller Arbeitsgänge unterdrückt<sup>71</sup> (Näheres dazu in Kürze). Daher können bei Entscheidungen über Prozeßkoordinierungen die entsprechenden Anpassungsmöglichkeiten, die aufgrund der technischen Eigenschaften eines Produktionssystems existieren, überhaupt nicht wahrgenommen werden<sup>72</sup>.

- 
- 70 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 angesprochen. 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 – vorstellen 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 (vgl. ZELEWSKI (1995), Band 4, S. 256ff.) ist jedoch im produktionswirtschaftlichen Bereich so unvertraut, daß es den Lesern dieses Beitrags für Zwecke der Arbeitsplanung nicht zugemutet wird. Daher werden hier stets Arbeitsgangausführungsmengen vorausgesetzt. Dies gilt auch dann, wenn zwecks Diktionsvereinfachung nur kurz von Arbeitsgangmengen die Rede ist.
- 71 Es wird hier von der Möglichkeit abgesehen, Anpassungsoptionen trotz linearer Arbeitspläne dadurch offenzuhalten, daß jeder denkmöglichen Kombination von Anpassungshandlungen ein kombinationsspezifischer linearer Arbeitsplan zugeordnet wird. Dann wird das Flexibilitätspotential, 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 (1980), S. 58; REFA (1985), S. 154 u. 156f.; KRAUSE (1989), 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 technische Flexibilität moderner Produktionssysteme im allgemeinen zu einer „kombinatorischen Explosion“ der denkmöglichen linearen Arbeitspläne. Der Verfasser erachtet daher diesen Weg, das Flexibilitätspotential eines Produktionssystems 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 (1980), S. 58, und REFA (1985), 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 Verfasser schließt sich diesen Argumenten vorbehaltlos an. Vgl. des weiteren HENNICKE (1991), S. 66 u. 69. Er betont die mangelhafte Praktikabilität alternativer Netzpläne infolge kombinatorischer Explosion. 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.
- 72 So beklagt 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 Verfasser). Ob KOHEN diese Mängel ebenso auf lineare Arbeitspläne zurückführt, läßt sich der vorgenannten Quelle zwar nicht präzise entnehmen. Aber die nachfolgenden Erläuterungen zu linearen Arbeitsplänen begründen den Verdacht, daß sie zumindest maßgeblich zu jenen Unzulänglichkeiten beitragen, die von KOHEN kritisiert werden.

Existenz und Berücksichtigung von Spielräumen für Entscheidungen über Anpassungshandlungen sind notwendige Bedingungen der Möglichkeit, durch ablauforganisatorische Maßnahmen ein flexibles Reagieren auf unerwartete Veränderungen der Produktionssituation vorzubereiten<sup>73</sup>. Erst wenn diese Bedingungen erfüllt sind, wird die technische Systemflexibilität in einer entsprechenden organisatorischen Systemflexibilität reflektiert. Bei konventionellen Konzeptualisierungen der Ablaufstruktur von Produktionsaufträgen durch lineare Arbeitspläne wird der Fülle technisch möglicher Anpassungshandlungen jedoch keine – oder nur rudimentäre – Aufmerksamkeit gewidmet. Zu den nicht beachteten Spielräumen für Anpassungsentscheidungen gehören vor allem:

- *Ordinierungsspielraum*: Unterschiedliche Arbeitsgänge können sowohl in beliebigen Reihenfolgen nacheinander als auch nebenläufig ausgeführt werden<sup>74</sup>, weil sie kausal voneinander unabhängig sind.
- *Lokalisierungsspielraum*: Derselbe Arbeitsgang läßt sich auf alternativen Bearbeitungsstationen („Maschinen“)<sup>75</sup> – oder auch Werkzeugen<sup>76</sup> – ausführen.

---

73 Vgl. MAIER (1980), S. 51f. u. 57f., zu der erheblichen Bedeutung, die der Berücksichtigung von Ablaufalternativen für die Anpassungsfähigkeit Flexibler Fertigungssysteme bei variierenden Produktionssituationen zukommt.

74 Vgl. zur Option, unterschiedliche Reihenfolgen der Arbeitsgangausführung zu verwirklichen, STUTE (1978), S. 73 u. 89; BORMANN (1978), S. 106; MAIER (1980), S. 52f. u. 57f.; NIEB (1980), S. 20f.; DÖTTLING (1981), S. 25, 37ff. u. 45; SELIGER (1983), S. 39; FOX (1983), S. 4; AWF (1984), S. 16, Abb. 7; REFA (1985), S. 156; KNOOP (1986), S. 20; HINTZ (1987), S. 85; KOHEN (1989), S. 41; LANGE (1989), S. 26; SCHMIDT (1989), S. 16; KRAUSE (1989), S. 547; KERN (1992), S. 286; HENNICKE (1991), S. 64f.

75 Vgl. zur Option, für die Ausführung desselben Arbeitsgangs alternative Bearbeitungsstationen zu nutzen, OPITZ (1967), S. 108; HORMANN (1973), S. 12, 52f. u. 111; STUTE (1978), S. 5, 76 u. 96; MAIER (1980), S. 52f. u. 57f.; NIEB (1980), S. 20f., 35 u. 42; DÖTTLING (1981), S. 25, 32f., 83f. u. 90; FOX (1983), S. 4; REFA (1985), S. 156; KNOOP (1986), S. 67 u. 201ff.; MÜLLER (1987), S. 258f. (bei Werkstattfertigung); HELBERG (1987), S. 160, 194ff. u. 199f.; HINTZ (1987), S. 59 u. 85; BEIER (1988), S. 238f.; SCHMIDT (1989), S. 16; KRAUSE (1989), S. 547 u. 554; KOHEN (1989), S. 41; KLEINER (1991), S. 67f., 98 u. 130. Der Spielraum, den gleichen Arbeitsgang auf verschiedenen Bearbeitungsstationen ausführen zu können, schlägt sich mittelbar auch in den weit verbreiteten Maschinen-Einplanungsregeln oder Routing-Regeln nieder. Sie dienen dazu, Lokalisierungsspielräume zu schließen.

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. Beispielsweise berichtet NIEB (1980), S. 41, 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. 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

- *Verfahrensspielraum*: Derselbe Produktionsauftrag läßt sich mit der Hilfe von verschiedenen Produktionsverfahren<sup>77</sup> abwickeln. Daher gilt es, genau einen verfahrensspezifischen Arbeitsgang für die Fortsetzung der Auftragsabwicklung auszuwählen<sup>78</sup>.

---

Zeitablauf verändern kann (Kapazitätsflexibilität i.w.S.). 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. Daher wurde die Betrachtung kurzfristiger Prozeßkoordinierungen eingangs auf die Bestandsflexibilität von Produktionssystemen eingeschränkt. Die Konzeptualisierungsalternative läßt aber erkennen, daß die Identifizierung von Spielräumen für Entscheidungen über Anpassungshandlungen stets vom jeweils gewählten Bezugsrahmen abhängt.

NIEB (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 (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 (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 (1985), 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 (1979), S. 358; HELBERG (1987), S. 160; KRALLMANN (1989), S. 1; KERN (1992), S. 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.

- 76 Beispielsweise können 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.
- 77 Als ein Produktionsverfahren – oder kurz: Verfahren – wird hier jede nicht-leere Menge aus Arbeitsgängen verstanden, mit deren Hilfe es möglich ist, eine Produktionsaufgabe vollständig 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 Ausweicherarbeitsgänge 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 Verfasser teilt diesen Standpunkt jedoch nicht), kann auch von alternativen, jeweils verfahrensspezifischen Arbeitsgangfolgen gesprochen werden.

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 Ordinierungsspielraum. 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 aber nicht weiter verfolgt.

Diese drei Spielraumarten, die eine Fülle von Entscheidungsalternativen zur Anpassung an variierende Produktionssituationen eröffnen, werden durch das Konzept linearer Arbeitspläne eliminiert<sup>79</sup>:

- 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<sup>80</sup>.
- Alternative Bearbeitungsstationen werden übersehen<sup>81</sup>. Denn sie würden zu Verzweigungen bei der Arbeitsgangausführung führen<sup>82</sup>, die wegen der sequentiellen Anordnung aller Arbeitsgangausführungen in einem linearen Arbeitsplan grundsätzlich nicht zugelassen sind.

78 Vgl. zu alternativen Arbeitsgängen, Ausweicharbeitsgängen, alternativen Produktionsverfahren und alternativen verfahrensspezifischen Arbeitsgangfolgen OPITZ (1967), S. 108; STUTE (1978), S. 73 u. 89; MAIER (1980), S. 52f. u. 57f.; NIEB (1980), S. 20f.; DÖTTLING (1981), S. 45 und – mit konkreten Beispielen für Arbeitsgangalternativen – S. 50f.; REFA (1985), S. 156; KNOOP (1986), S. 20, 27, 67, 140 u. 201ff.; HELBERG (1987), S. 195ff.; KRAUSE (1989), S. 547 u. 553f.; GROß (1991), S. 98f.

79 Vgl. dazu auch die Kritik von MAIER (1980), S. 20 u. 103, an der mangelhafter Erfassung von Alternativen bei der konventionellen Arbeitsablaufplanung. Zusätzlich wendet er sich auf S. 52, 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.

Die mangelhafte Identifizierung von Spielräumen für Entscheidungen über Anpassungshandlungen stellt keineswegs eine Besonderheit linearer Arbeitspläne dar. Sie werden hier nur als *pars pro toto* angeführt. Statt dessen wohnt zahlreichen Konzepten eine Tendenz inne, Spielräume für Koordinierungsentscheidungen künstlich zu verengen. So findet sich die nachfolgend herausgearbeitete künstliche Sequentialisierung von kausal unabhängigen Ereignissen, die grundsätzlich sowohl in beliebigen Reihenfolgen als auch nebenläufig geschehen können, in zahlreichen Koordinierungskonzepten. Vgl. FIDELAK (1988), S. 16ff., der dies für Koordinierungskonzepte aus der Erforschung Künstlicher Intelligenz herausarbeitet. Im Hinblick auf einen weiter entfernten Koordinierungsbereich – die strategische Unternehmensplanung – weist HANSSMANN (1990), S. 332, pointiert auf die mangelhafte Berücksichtigung von alternativen Entscheidungsoptionen hin. Vgl. schließlich auch BYRN (1974), S. III-40, hinsichtlich der Implementierung artifizierlicher Sequentialisierungen in einem Betriebssystem der Automatischen Informationsverarbeitung.

80 Die Option *nebenläufiger* Arbeitsgangausführungen wird übrigens von CORSTEN/GÖSSINGER (1997b) in ihrem Beispiel auf S. 11 (Abb. 5) übersehen, obwohl sie sich im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung dort mit nichtlinearen Arbeitsplänen befassen.

81 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 (1991), S. 60. Sogar bei der Prozeßkoordinierung flexibler Fertigungssysteme werden alternative Bearbeitungsstationen für die Ausführung eines Arbeitsgangs des öfteren ausgeklammert; vgl. z.B. SPUR (1980), S. 376. Vgl. dazu auch die vorherrschende Praxis, bei konventioneller Arbeitsplanung für jeden Arbeitsgang nur jeweils eine Bearbeitungsstation vorzusehen, NIEB (1980), S. 33; HELBERG (1987), S. 161; HINTZ (1987), S. 58f.; MÜLLER (1987), S. 259f. u. 358 (mit Schwergewicht nicht auf der Arbeits-, sondern auf der Ablaufplanung); EVERSHEIM (1989), S. 27.

- Alternative Arbeitsgänge, die im selben Abwicklungszustand eines Produktionsauftrags aufgrund verschiedener Produktionsverfahren ausgeführt werden könnten, verursachen eine gleichartige Ausführungsverzweigung. Daher finden sie ebensowenig Berücksichtigung.

Folglich werden alle Entscheidungsspielräume, die durch nebenläufige oder alternative Arbeitsgangausführungen zur Anpassung an variierende Produktionssituationen eröffnet werden, in einem linearen Arbeitsplan nicht erfaßt<sup>83</sup>. Statt dessen wird auf Anpassungsmöglichkeiten, die durch das Ausschöpfen solcher Spielräume eröffnet würden, von vornherein verzichtet. Deshalb stehen für Entscheidungen der Prozeßkoordinierung nur noch erheblich reduzierte Spielräume zur Verfügung.

82 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 desselben Arbeitsgangs notwendig eine Verzweigung in der zeitlichen oder kausalen Anordnung der Arbeitsgangausführungen dar.

83 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 bei flexiblen Fertigungssystemen kaum angemessene Anpassungsmaßnahme. Denn sie erschöpft sich im schlichten „Aussetzen“ 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 (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 Systemflexibilität 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.

Die Spielraumverengung wird durch zusätzliche Präzedenzbeziehungen zwischen den Start- und Schlußereignissen von Arbeitsgängen verursacht<sup>84</sup>. Diese artifiziellen Präzedenzbeziehungen sorgen dafür, daß die Arbeitsgänge eines Produktionsauftrags in einer wohlbestimmten Sequenz angeordnet sind. Die resultierenden linearen Arbeitspläne spiegeln daher eine *künstliche Sequentialisierung*<sup>85</sup> der Arbeitsgangausführungen wider, die in der Arbeitsvorbereitung der Ablaufstruktur eines Produktionsauftrags aufgeprägt wurde.

Um die zuvor erläuterten Schwierigkeiten zu vermeiden, muß auf jede artifizielle Sequentialisierung von Arbeitsgängen von vornherein verzichtet werden<sup>86</sup>. Nur dann sind im Arbeitsplan eines

---

84 Es handelt sich um zusätzliche Präzedenzbeziehungen, weil sie durch keine produktionstechnischen Restriktionen kausal vorgegeben sind. Die Präzedenzbeziehungen, die in linearen Arbeitsplänen neben solchen Kausalrestriktionen eingeführt werden, um eine Sequenz von Arbeitsgangausführungen zu erzwingen, besitzen dagegen keine produktionstechnische Rechtfertigung. Statt dessen bilden sie ein *Artefakt* der Arbeitsplanung. Sie werden daher hier als artifizielle Präzedenzbeziehungen bezeichnet. Sie gehören zu den dispositiven Restriktionen, die bereits an früherer Stelle angesprochen wurden. Denn sie resultieren aus *Sequentialisierungs(vor)entscheidungen*, die im Rahmen der Arbeitsplanung erfolgt sind. 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. Auf S. III-38ff. thematisiert er die Schwierigkeiten, die solche artifiziellen Präzedenzbeziehungen bei der Koordinierung von komplexen Prozessen bereiten können. Allerdings argumentiert er nicht im Kontext der Arbeitsplanung. Vgl. zu solchen artifiziellen Restriktionen auch FOX/KEMPF (1985a), S. 489.

85 Von einer Sequentialisierung wird genau dann gesprochen, wenn in einem Arbeitsplan, dessen Arbeitsgangausführungen zunächst noch nicht vollständig geordnet waren, zusätzlich zu den kausal fundierten Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Arbeitsgängen *weitere*, nicht mehr kausal fundierte Präzedenzbeziehungen mit der Zielsetzung eingeführt werden, daß danach die Ausführungen aller Arbeitsgänge des Arbeitsplans eine zeitlich vollständig geordnete Sequenz bilden. Da hierbei zusätzliche – „artifizielle“ – Präzedenzbeziehungen ergänzt werden, besitzt jede Sequentialisierung künstlichen Charakter. Die Ausdrucksweise „künstliche Sequentialisierung“ stellt daher strenggenommen einen – zwecks Verdeutlichung durchaus 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 Arbeitsgänge (präziser: aller Arbeitsgangausführungen) 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. Mittels der künstlichen Sequentialisierung von Arbeitsgangausführungen wird auf der Menge aller Arbeitsgangausführungen, die aufgrund kausaler Abhängigkeitsbeziehungen in der Regel nur halbgeordnet ist, eine zeitliche Vollordnung eingeführt. Dies ist im Rahmen konventioneller, linearer Arbeitspläne durchaus beabsichtigt. Die Intention, durch künstliche Sequentialisierungen zeitliche Vollordnungen zu errichten, wurde schon von SCHWEITZER (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 Verfasser). Mit Strukturregeln meint SCHWEITZER Entscheidungsregeln, die lokale Entscheidungsspielräume durch Ordnen der dort ausführbaren Arbeitsgänge schließen. Bemerkenswert ist, daß diese Vernichtungen von Spielräumen für Entscheidungen über Anpassungshandlungen nicht etwa als ein Defekt, sondern im Gegenteil als ein zentrales Desiderat der Ablaufplanung dargestellt werden. Dies unterstreicht die bereits mehrfach angeklungene These, daß von konventionellen Konzepten für die Planung und Steuerung von Produktionsprozessen das flexibilitäts erhöhende Offenhalten von Anpassungsspielräumen nicht hinreichend reflektiert wird.

86 Die Forderung, auf alle künstlichen Sequentialisierungen durch zusätzliche Präzedenzbeziehungen zu verzichten, findet sich bereits – allerdings in einem anderen Argumentationskontext – bei BYRN (1974), S. III-38. Ein Sequentialisierungsverzicht liegt ebenso den Ausführungen von FIDELAK (1988), 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 (1991), S. 159f. Allerdings erfolgt kein vollkommener Sequentialisierungsverzicht. Denn es wird nach der Maßgabe von Heuristiken lediglich darüber befunden, ob eine Sequentialisierung der Operationenausführung ange raten oder vermeidenswert erscheint; vgl. WILKINS (1984), S. 288f.; WINTER (1991), S. 159f. Vgl. zu ausführliche-

Produktionsauftrags *alle* Ablaufalternativen enthalten („identifiziert“), die durch das Flexibilitätspotential eines realen Produktionssystems zur Anpassung an variierende Produktionssituationen bereitgestellt werden.

Die Forderung nach vollständigem Verzicht auf künstliche Sequentialisierungen läßt sich durch „nonlineare“ Arbeitspläne<sup>87</sup> erfüllen. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß ihre Arbeitsgangmengen

---

ren Beschreibungen des Expertensystems SIPE WILKINS (1984), S. 271ff.; WILKINS (1987), S. WINTER (1991), S. 157ff.

- 87 Nonlineare Arbeitspläne stellen eine bereichsspezifische Ausprägung des allgemeinen Konzepts nonlinearer Pläne dar, das vor allem im Rahmen der KI-Forschung behandelt wird. Ein nonlinearer Plan liegt vor, wenn die Menge aller eingeplanten Ausführungen von atomaren Aktivitäten (hier: Arbeitsgängen) nicht vollständig geordnet ist, sondern nur einer – zeitlichen oder kausalen – Halbordnung unterliegt. Es wird dann auch oftmals von prozeduralen „Netzen“ gesprochen. Vgl. zu nonlinearen Plänen und der halbgeordneten Mengen ihrer eingeplanten Aktionsausführungen SACERDOTI (1975), S. 206ff.; SACERDOTI (1977), S. 76ff.; DANIEL (1984), S. 446ff.; WILKINS (1984), S. 272 u. 289ff.; FOX/KEMPF (1985a), Fig. 2 auf S. 492; ZELEWSKI (1986), S. 240 u. 670; MCLEAN (1987), S. 192 (er bezieht die nonlinearen Pläne von Sacerdoti als „procedural network concepts“ sogar explizit auf die Erstellung von Arbeitsplänen); BELL (1988), S. 136ff.; MILLER (1988), S. 172f.; DORN (1989), S. 39ff.; ZELEWSKI (1989), S. 15ff.; CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 10f.

Nonlineare Arbeitspläne werden in der produktionswirtschaftlichen Literatur kaum behandelt. Zu den seltenen Ausnahmen gehören die „modifizierten Arbeitspläne“ von STUTE (1978), S. 73. Vgl. ebenso die „Strukturarbeitspläne“ bei MAIER (1980), S. 59ff.; NIEB (1980), S. 20, und HELBERG (1987), S. 195ff., sowie die „Assembly Partial-Order Graphs“ bei LEE (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 (1991b), 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 (1980), S. 59; DÖTLING (1981), S. 46f. u. 51f.; FOX/KEMPF (1985a), S. 489 u. 491f., insbesondere Abb. 2 auf S. 492; FOX (1987), S. 232 i.V.m. Abb. 3 auf S. 236; WIENDAHL (1986), 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 (1988), 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 nonlinearen Arbeitsplänen fortentwickeln. Dazu brauchen ihre Arbeitsgänge (Aktionen u.ä.) lediglich durch arbeitsplantypische Informationen, wie z.B. Angaben über Ausführungsdauern und Bearbeitungsstationen, ergänzt zu werden. Daher lassen sie sich als vereinfachte Variante von nonlinearen Arbeitsplänen auffassen. Eine weitere konzeptionelle Vorstufe nonlinearer Arbeitspläne präsentiert SANDERS (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 (1987) 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 erwähnen z.B. auch PÜTZ (1973), S. 54ff.; AQUILANO (1980), S. 57ff.; HEIZER (1988), S. 675ff. Allerdings behandeln die vorgenannten Quellen keine Koordinierungsprobleme, wie sie für die industrielle Stückgüterproduktion 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 interessiert. Eine beispielhafte Anwendung der Netzplantechnik auf einen typischen Produktionsauftrag bei Werkstattfertigung findet sich dagegen bei KERN (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 der Kombination von Instrumenten der Netzplantechnik mit Aufgaben der Prozeßkoordinierung widmet, findet sich bei STEINBERG (1980), S. 69ff. Zwar behandelt er nicht die Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen, sondern die Missionsplanung des US-

ausschließlich durch die produktionstechnisch unvermeidlichen, kausal fundierten Abhängigkeitsbeziehungen zwischen den Start- und Endereignissen von Arbeitsgängen geordnet sind. Daraus resultieren Arbeitspläne, die – je nach Betrachtungsperspektive – entweder minimal geordnete<sup>88</sup> oder aber maximal halbgeordnete<sup>89</sup> Arbeitsgangmengen<sup>90</sup> aufweisen<sup>91</sup>. Mittels solcher nonlinearer Arbeitspläne unterbleibt jegliche vorzeitige Entscheidung über Anpassungshandlungen, die bei der späteren Ausführung eines zugehörigen Produktionsauftrags erforderlich werden könnten<sup>92</sup>. Statt dessen gestatten sie, bei der Abwicklung eines Produktionsauftrags die Freiheitsgrade der techni-

---

amerikanischen „Space Shuttle“. 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.

- 88 Vgl. zur minimalen Ordnung der Mengen auszuführender Arbeitsgänge im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung z.B. FOX (1987), S. 232. Eine Arbeitsgangmenge heißt minimal geordnet, wenn für jede Anordnungsbeziehung zwischen den Start- oder Schlußereignissen ihrer zugehörigen Arbeitsgänge gilt: Falls eine solche Anordnungsbeziehung vernachlässigt würde, ließe sich mindestens ein Arbeitsplan erstellen, 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 Ausführungen von Arbeitsgängen bei der Auftragsabwicklung kausal 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/KEMPF (1985a), S. 489; FOX (1987), S. 232.
- 89 Vgl. zur maximalen Halbordnung der Mengen auszuführender Arbeitsgänge im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung z.B. FOX/KEMPF (1985a), S. 491f. Eine Arbeitsgangmenge heißt maximal halbgeordnet, wenn jede Vergrößerung der Halbordnung durch Außerachtlassen 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 Fußnote. Im eng verwandten Kontext nonlinearer Pläne empfiehlt BELL (1988), S. 136, maximal halbgeordnete Aktivitätsmengen („as much parallelism as possible“). Ebenso wird bei LEE (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 Verfasser). Allerdings schränkt LEE (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.
- 90 Strenggenommen handelt es sich um Mengen aus Ausführungen von Arbeitsgängen, die für die Abwicklung der Aufträge jeweils erforderlich sind. Es wurde aber schon an früherer Stelle vereinbart, die Arbeitsgangausführungsmengen verkürzt als Arbeitsgangmengen anzusprechen.
- 91 Die Anforderung, es müsse sich um Arbeitspläne mit minimal geordneten (bzw. maximal halbgeordneten) 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. Erst wenn zusätzlich gefordert wird, die Anpassungsmöglichkeiten, die ein reales 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.
- 92 Daher lassen sich nonlineare Arbeitspläne grundsätzlich auch als ein Beitrag zur Erfüllung des Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindungen auffassen. Daran zeigt sich, daß die beiden Prinzipien der opportunistischen Prozeßkoordinierung im Einzelfall nicht vollkommen trennscharf sind.

schen Flexibilität eines realen Produktionssystems<sup>93</sup> durch eine entsprechende ablauforganisatorische Flexibilität, die sich in den nonlinearen Arbeitsplänen manifestiert, vollständig auszuschöpfen<sup>94</sup>. Daher bieten diese Arbeitspläne eine größtmögliche ablauforganisatorische Flexibilität. Dadurch wird das Flexibilitätspotential eines realen Produktionssystems – zumindest im Rahmen der Arbeitsplanung – für Zwecke der Prozeßkoordinierung umfassend erschlossen. Zugleich wird auf diese Weise das Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit vorzüglich unterstützt.

Über die Verwendung nonlinearer Arbeitspläne hinaus lassen sich weitere Maßnahmen zur Explikation des Prinzips größtmöglicher Auswahlfreiheit vorstellen, die im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung dazu beitragen, das Gebot umfassender Potentialerkenntnis erfüllen. In der hier gebotenen Kürze sei nur auf eine – zumindest aus der Perspektive konventioneller PPS-Konzepte – besonders radikal anmutende Gestaltungsempfehlung hingewiesen: Für Produktionsaufträge, die sich auf die Herstellung mehrerer Endprodukteinheiten erstrecken, ist grundsätzlich darauf zu verzichten, vor der Auftragseinlastung eine bestimmte *Losgröße* zu fixieren<sup>95</sup>. Dadurch läßt sich erreichen, daß die Werkstücke, die zur Herstellung je einer Endprodukteinheit bearbeitet werden müssen, weder mit gleichen Bearbeitungsstationen oder Produktionsverfahren noch zeitlich zusammenhängend bearbeitet zu werden brauchen<sup>96</sup>. Auf diese Weise wird die „Durchlauffreizügigkeit“ eines Produktionsauftrags signifikant erhöht. Lossplitting und überlappende Losfertigung bedürfen keiner gesonderten Betrachtung mehr, weil jedes Werkstück „individuell“ durch das zugrun-

---

93 Die technische Systemflexibilität wird hier mit den Freiheitsgraden gleichgesetzt, die ein Produktionssystem aufgrund der oben aufgezeigten Ordinerungs-, Lokalisierungs- und Verfahrensspielräume für die Abwicklung eines Produktionsauftrags besitzt. Vgl. zu der unmittelbaren Verknüpfung zwischen der technischen Systemflexibilität und solchen Spielräumen auch STUTE (1978), S. 5.

94 Damit wird eine programmatische Forderung von KRAUSE (1989), 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 (1989), S. 555].

Der Gedanke, die technische Systemflexibilität durch eine entsprechende (ablauf)organisatorische Systemflexibilität 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 (1978), S. 75 u. 82f. Die dort vorgetragene Unterscheidung zwischen „natürlichen“ (S. 82) und „planerischen Freiheitsgraden“ (S. 83) vermag der Verf. allerdings inhaltlich nicht nachzuvollziehen.

95 Produktionslose können allenfalls als Seiteneffekt von Koordinierungsentscheidungen entstehen. Dies ist der Fall, wenn so entschieden wird, daß mehrere Werkstücke 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.

96 Falls mehrere Werkstücke 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.

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.

de liegende reale Produktionssystem gesteuert werden kann. Es resultiert eine hochflexible Prozeßkoordinierung, bei der die „Losgröße 1“ von vornherein verwirklicht ist.

Diese knappen Ausführungen dieses Kapitels vermitteln immerhin einen Eindruck in die *heuristische Kraft* des Prinzips größtmöglicher Auswahlfreiheit: Es regt an, immer wieder darüber nachzudenken, ob an sich vorhandene Spielräume für Entscheidungen über Anpassungen an veränderte Produktionssituationen durch „eingespielte“ Usancen der Prozeßkoordinierung partiell vernichtet wurden. Sobald dies durch Identifizierung entsprechender Flexibilitätpotentiale erkannt wird, lassen sich solche unnötigen Artefakte – wie die hier angesprochenen Sequentialisierungen und Losgrößen – aufheben (destruktiver Aspekt). An ihre Stelle treten modifizierte Instrumente (konstruktiver Aspekt), die im Interesse einer flexibilitätsorientierten Prozeßkoordinierung das Gebot umfassender Potentialerkenntnis nicht mehr verletzen. Dazu gehören nonlineare Arbeitspläne und der Verzicht auf eine Fixierung von Losgrößen.

### 2.3.3 Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung

Das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung wird in der Primärliteratur zur opportunistischen Prozeßkoordinierung – anders als beim Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit – inhaltlich konkretisiert. In einer ersten, schwächeren Variante fordert dieses Koordinierungsprinzip<sup>97</sup>:

- In jeder Produktionssituation sollen nur Entscheidungen über solche Anpassungshandlungen getroffen werden, die sich in der betroffenen Situation unmittelbar ausführen lassen. Damit werden alle vorzeitigen – und somit unnötigen – Entscheidungen über Anpassungshandlungen, die erst in zukünftigen Produktionssituationen ausgeführt werden können, von vornherein ausgeschlossen. Es unterbleiben also alle unnötigen und vorzeitigen Entscheidungsbindungen<sup>98</sup>.

In dieser Formulierungsvariante erfüllt das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung unmittelbar das Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung, das an früherer Stelle für flexibilitätsorientierte Prozeßkoordinierungen eingeführt worden war. Denn jede vorzeitige Entscheidungsbindung würde das Flexibilitätpotential, das in zukünftigen Produktionssituationen noch zur Verfügung steht, unnötig einschränken und somit einen Teil dieses Anpassungsvermögens vernichten<sup>99</sup>.

---

97 Zwar findet sich das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung nicht so in der Primärliteratur zur opportunistischen Prozeßkoordinierung, wie es nachfolgend formuliert wird. Doch bietet diese erste Formulierungsvariante zwei Vorzüge. Erstens handelt es sich um eine Auslegung, die sich mit den expliziten Literaturmeinungen zum „principle of least commitment“ konsistent vereinbaren läßt. Zweitens stimmt sie mit dem Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung, das früher zur Charakterisierung flexibilitätsorientierter Prozeßkoordinierungen aufgestellt wurde, inhaltliche überein. Daher wahrt diese Formulierungsvariante unmittelbar Anschluß an die Erläuterungen flexibilitätsorientierter Prozeßkoordinierungen.

98 Das Verbot aller unnötigen und vorzeitigen Entscheidungsbindungen wird in der Primärliteratur zur opportunistischen Prozeßkoordinierung im allgemeinen auf affirmatorische Weise reformuliert und dann als Gebot (Prinzip) kleinstmöglicher Entscheidungsbindungen („principle of least commitment“) thematisiert. Vgl. FOX/KEMPF (1985a), S. 489; FOX (1987), S. S. 232 u. 234. Vgl. daneben auch BELL (1988), S. 135 u. 141ff., insbesondere S. 144 („Postponing actions until they can be proven essential“) HERTZBERG (1989), S. 167; WINTER (1991), S. 159.

99 Jede Entscheidungsbindung verletzt also 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 Entscheidungsbindungen.

Allerdings findet sich in der einschlägigen Literatur noch eine zweite, inhaltlich stärkere Variante für das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung. Es handelt sich dabei um das Selektionskriterium für Arbeitsgänge, das von FOX aufgestellt wurde:

- In jeder Produktionssituation soll derjenige Arbeitsgang als nächster zur Ausführung selektiert werden, der in Zukunft die größte Anzahl von Auswahlmöglichkeiten für die vollständige Abwicklung des Produktionsauftrags garantiert<sup>100</sup>. Auf diese Weise werden Spielräume für zukünftige Entscheidungen über Anpassungshandlungen, die im Falle von nachträglichen Veränderungen der Produktionssituation zur Fertigstellung des jeweils betroffenen Produktionsauftrags erforderlich werden können, in größtmöglichem Ausmaß offengehalten<sup>101</sup>.

Dieses charakteristische, größtmögliche Offenhalten zukünftiger Entscheidungsspielräume<sup>102</sup> entspricht abermals – zumindest in einer ersten, auf Arbeitsgangausführungen beschränkten Annäherung – dem Verbot vorzeitiger Potentialvernichtung. Zugleich läßt sich dieses Offenhalten von Spielräumen so ausdeuten, daß vorzeitige Entscheidungsbindungen im Hinblick auf Anpassungen an veränderte Produktionssituationen, die unter Umständen zukünftig erforderlich werden, so weit wie möglich vermieden werden. Daher stimmen die erste und die zweite Formulierungsvariante für das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung inhaltlich weitgehend überein. Ein Unterschied besteht allenfalls insofern, als die zweite Variante die *Größtmöglichkeit* der offenzuhaltenden Entscheidungsspielräume in den Vordergrund rückt, während dieser Aspekt in der ersten Variante noch nicht enthalten war. Daher wurde die zweite Formulierungsvariante als die inhaltlich stärkere von beiden bezeichnet.

---

100 FOX (1987), S. 234, drückt das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung auf folgende Weise aus: „... 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 Verfasser).

101 In diesem *Offenhalten* manifestiert sich ein deutlicher Unterschied zum Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit: Das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung läßt sich *erst dann* anwenden, *wenn zuvor* schon Spielräume für Entscheidungen über zukünftig mögliche Anpassungshandlungen identifiziert wurden. Daher geht das zum Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit dem Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung sachlogisch voran: Es können nur solche Spielräume durch das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung „offengehalten“ werden, die zuvor durch Anwendung des Prinzips größtmöglicher Auswahlfreiheit „geöffnet“ wurden. Daher muß im Rahmen der opportunistischen Prozeßkoordinierung mitunter sorgfältig untersucht werden, ob ein konzeptioneller Baustein entweder zum vorangehenden *Öffnen* oder aber zum nachfolgenden *Offenhalten* von Entscheidungsspielräumen dienen soll. Eine solche Einordnungsproblematik klang schon einmal an früherer Stelle an, als es darum ging, ob der Verzicht auf künstliche Sequentialisierungen in nonlinearen Arbeitsplänen eher dem Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit oder aber eher dem Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung zuzurechnen sei. Aufgrund des Vorhergesagten dürfte die frühere Einordnungsentscheidung transparenter geworden sein: In nonlinearen Arbeitsplänen werden hinsichtlich der kurzfristigen Koordinierung von Produktionsprozessen überhaupt noch keine Entscheidungen getroffen, a fortiori können dort auch noch keine koordinierungsrelevanten Entscheidungsbindungen erfolgen. Statt dessen werden dort – im Rahmen der Arbeitsplanung – erst die Spielräume *eröffnet*, die es in der späteren Phase der Prozeßkoordinierung durch entsprechende Koordinierungsentscheidungen auszufüllen gilt. Daher wurden im voranstehenden Kapitel nonlineare Arbeitspläne dem Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit zugeordnet.

102 Die Einstellung, zukünftige (Entscheidungs-)Spielräume offenzuhalten, findet sich übrigens auch im Konzept der Flexiblen Planung wieder. Vgl. z.B. HART (1951), S. 60: „... uncertainty ... will plainly increase ... the inducements to lay plans so as *to leave room for changes* ...“ (kursive Hervorhebung durch den Verfasser); WITTMANN (1959), S. 158 u. 180; HAX (1972), S. 320f. (Beispiel), 321f. u. 326; LAUX (1990), S. 54. Allerdings wird dort die intendierte Größtmöglichkeit der offengehaltenen Spielräume nicht derart betont, wie es bei der opportunistischen Prozeßkoordinierung der Fall ist.

Das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung besitzt in der stärkeren Formulierungsweise, die zuletzt präsentiert wurde, sowohl Licht- als auch Schattenseiten. Zunächst irritiert seine *Inoperationalität*. Denn in der Primärliteratur zur opportunistischen Prozeßkoordinierung wird kein Meßkonzept für die Anzahl von Auswahlmöglichkeiten für eine Auftragsfertigstellung spezifiziert. Darüber hinaus wird an keiner Stelle erläutert, wie angesichts einer indeterminierten, von unvorhergesehenen Störungen abhängigen Zukunft die „Garantie“ numerisch größter Auswahlmöglichkeiten geleistet werden könnte. Hinzu kommt noch der Mangel, daß sich das Koordinierungsprinzip nur auf jeweils einen Produktionsauftrag bezieht<sup>103</sup>. Daher bleibt zunächst völlig offen, wie „trade offs“ zwischen den Anzahlen zukünftiger Auswahlmöglichkeiten für *unterschiedliche* Produktionsaufträge behandelt werden sollen, wenn in derselben Produktionssituation Arbeitsgänge von mindestens zwei Produktionsaufträgen zur Ausführung anstehen, aber infolge ihrer Konkurrenz um eine gemeinsam benötigte, knappe Ressource nicht zur selben Zeit ausgeführt werden können.

Diese Operationalitätslücken haben zwischenzeitlich CORSTEN und GÖSSINGER geschlossen. In einem präzisen, formalsprachlich verfaßten Modell<sup>104</sup> haben sie die Entscheidungsspielräume, die einer flexibilitätsorientierten Prozeßkoordinierung für Anpassungshandlungen<sup>105</sup> offenstehen, vollständig erfaßt. Da sie in ihrer Spielraummodellierung nicht zwischen Produktionsaufträgen unterscheiden, sondern von vornherein die Gesamtheit aller technisch möglichen Anpassungshandlungen erfassen, entfällt auf elegante Weise die zuvor angesprochene Trade-off-Problematik. Insbesondere gelingt es ihnen aber, ein exaktes Maß für die Anzahl zukünftiger Auswahlmöglichkeiten anzugeben<sup>106</sup>. Mit Hilfe eines entscheidungstechnisch simplen Maximierungsoperators läßt sich auch jene gegenwärtige Anpassungshandlung selektieren, welche die größtmögliche Anzahl zukünftiger Auswahlmöglichkeiten garantiert. Dadurch wird das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung vollständig operationalisiert. Das Entscheidungsmodell ist sogar so leistungsfähig, ebenso eine operationale Formulierung für das Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit anzubieten<sup>107</sup>.

Gegenüber den früheren, lediglich natürlichsprachlich und infolgedessen sehr vage verfaßten Formulierungen des Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindung stellt das Entscheidungsmodell von CORSTEN und GÖSSINGER einen richtungsweisenden Fortschritt dar. Dennoch erweist es sich in dreifacher Hinsicht als diskussionswürdig.

Erstens werden Abhängigkeitsbeziehungen zwischen einzelnen Anpassungshandlungen überhaupt nicht explizit modelliert, sondern aufgrund eines recht abstrakten Modelldesigns in die implizite Definition der „vorgegebenen“ Alternativenmengen verbannt. Die immanente Komplexität realer

---

103 Zwar ließe sich darüber streiten, ob sich die „task“, die von FOX (1987), S. 234, *expressis verbis* angesprochen wird, entweder auf einen isolierten Produktionsauftrag oder aber auf ein Produktionsprogramm mit mehreren Aufträgen bezieht. Aber das Studium der frühen Quellen zur opportunistischen Prozeßkoordinierung verdeutlicht rasch, daß ursprünglich immer nur ein isolierter Produktionsauftrag gemeint war. Vgl. beispielsweise das „Paradebeispiel“ für opportunistische Prozeßkoordinierung, das in FOX/KEMPF (1985a), S. 490ff., vorgestellt wird.

104 Vgl. CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 17ff.; CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 6ff.

105 CORSTEN und GÖSSINGER unterscheiden in ihrer Modellierung strenggenommen zwischen einerseits Startereignissen von Prozessen, die zur Anpassung an unerwartet veränderte Produktionssituationen ergriffen werden können, und andererseits Startereignissen von Prozessen, die keine Anpassungsmaßnahmen darstellen (sondern von Entscheidungsträgern autonom initiiert werden können). Vgl. CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 17. Von diesen Besonderheiten hängen die hier referierten Ergebnisse der Modellierung jedoch nicht ab, so daß sie in diesem Beitrag nicht weiter beachtet zu werden brauchen.

106 Vgl. CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 19; CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 9.

107 Vgl. CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 19.

Koordinierungsprobleme, die insbesondere von den vielfältigen Handlungsinterdependenzen verursacht wird, kann hierdurch (noch) nicht erfaßt werden. Daher besitzt das vorgelegte Modell eher den Charakter einer grundsätzlichen Prinzipklärung, als für konkrete Gestaltungsempfehlungen zur Koordinierung von Produktionsprozessen herangezogen werden zu können. Aber letztes wird von den beiden Autoren auch an keiner Stelle in Anspruch genommen.

Zweitens beruht die Berechnungsformel zur Ermittlung der größtmöglichen Anzahl zukünftiger Auswahlmöglichkeiten auf der Präsupposition, die Mengen möglicher Anpassungshandlungen – also die Entscheidungsspielräume – für alle zukünftigen Produktionssituationen (innerhalb eines endlichen Vorausschauhorizonts) bereits in der Gegenwart vollständig zu kennen. Der Verfasser bezweifelt jedoch, daß sich diese implizite Prämisse in der betrieblichen Praxis jemals erfüllen läßt<sup>108</sup>. Allerdings könnte gegen diesen Zweifel der überzeugende Einwand erhoben werden, daß es keineswegs darum gehe, alle zukünftigen Handlungsmöglichkeiten bereits in der Gegenwart kennen zu müssen. Statt dessen wäre es ebenso vorstellbar, die Ermittlung der größtmöglichen Anzahl zukünftiger Auswahlmöglichkeiten nur auf jene Anpassungshandlungen zu beziehen, die dem Entscheidungsträger schon heute als Anpassungsoptionen bekannt sind. In bezug auf dieses subjektive Wissen widersteht das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung in seiner Operationalisierung durch CORSTEN und GÖSSINGER erfolgreich der vorgenannten Kritik. Aus dieser Perspektive wäre es vorteilhaft, wenn die epistemische Qualität der Anpassungshandlungen – entweder handelt es sich um „objektive“ gegebene Anpassungsmöglichkeiten oder „nur“ um subjektives Wissen darüber – in dem Entscheidungsmodell noch geklärt würde. Im Zweifelsfall ist die letztgenannte Alternative vorzuziehen.

Schließlich – und drittens – wird das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung nur anhand einer Anzahl von Auswahlmöglichkeiten operationalisiert. Seine Bedenken gegenüber einer solchen skalaren Maßzahl für Entscheidungsspielräume hat der Verfasser bereits in der einleitenden Rahmenlegung erläutert. Es braucht daher hier nicht noch einmal darauf eingegangen zu werden. Allerdings ist einzuräumen, daß die Kritik an einer skalaren Spielraummessung wohlfeil erscheint, solange keine besserstellende Alternative unterbreitet wird. Dies bleibt eine Forschungsaufgabe für die nähere Zukunft.

Die besondere Bedeutung der eingangs vorgestellten Formulierung für das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung liegt nach Einschätzung des Verfassers in ihrem befruchtenden Anstoß<sup>109</sup>, das Offenhalten von größtmöglichen Spielräumen für zukünftig erforderliche Anpassungsentscheidungen inhaltlich zu präzisieren. Die modellgestützte Operationalisierung dieses Koordinierungsprinzips durch CORSTEN und GÖSSINGER wurde soeben thematisiert. Darüber hinaus ist zwischenzeitlich aber eine breite Palette weiterer Vorschläge zur inhaltlichen Konkretisierung des Prinzips

---

108 Vgl. dazu die ausführliche Begründung in ZELEWSKI (1995), Band 2, S. 263ff., im Kontext der dort herausgearbeiteten Kritik am konventionellen Planungsverständnis der Betriebswirtschaftslehre vor dem Hintergrund einer flexibilitätsorientierten Prozeßkoordinierung.

109 Darin gründet die „Lichtseite“ der Formulierung des Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindung, die zu Beginn dieses Kapitels erwähnt wurde.

kleinstmöglicher Entscheidungsbindung präsentiert worden<sup>110</sup>. In der hier gebotenen Kürze wird zur Verdeutlichung nur auf einige wenige, aber aussagekräftige Beispiele hingewiesen:

- Bei der Abwicklung eines Produktionsauftrags wird in jeder Produktionssituation, in der mit der Ausführung mindestens eines Arbeitsgangs begonnen werden kann, nur darüber entschieden, welche Arbeitsgangausführungen in dieser aktuellen Situation tatsächlich gestartet werden sollen<sup>111</sup>. Hinsichtlich der Arbeitsgangausführungen in allen späteren Produktionssituationen erfolgt dagegen keine Festlegung<sup>112</sup>. Daher wird für einen Produktionsauftrag keine Arbeitsgangfolge fixiert. Ebenso wird darauf verzichtet, zukünftige Arbeitsgangausführungen im voraus auf Bearbeitungsstationen zu verteilen<sup>113</sup>. Deshalb wird auch keine Maschinenfolge festgelegt<sup>114</sup>.
- Falls mehrere Werkstücke im Eingangspuffer einer Bearbeitungsstation auf Bearbeitung warten, wird in Produktionssituationen, 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 Arbeitsgangfolge<sup>115</sup>. Sofern die Werkstücke zu unterschiedlichen Aufträgen gehören<sup>116</sup>, gilt ebenso: Für eine Bearbeitungsstation wird keine Auftragsfolge festgelegt.

---

110 Vgl. zum folgenden auch ZELEWSKI (1995), Band 2, S. 261ff. Dort werden Konkretisierungen des Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindung ausführlicher thematisiert, allerdings aus der speziellen Perspektive eines Postulats „wirkungsminimaler Spielraumschließung“. Dieses Postulat stimmt inhaltlich mit dem Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung überein. Es wurde in der vorgenannten Quelle lediglich in einem anderen Kontext eingebettet, der – wie bereits im Kontext des Prinzips größtmöglicher Auswahlfreiheit erwähnt – auf eine system- und entscheidungstheoretische Konzeptualisierung von Prozeßkoordinierungen abzielt (vgl. dort S. 49ff. bzw. 137ff.).

111 Es kann sich dabei um mehrere Arbeitsgangausführungen handeln, die entweder zum selben Produktionsauftrag gehören (kausal voneinander unabhängige Arbeitsgänge oder Ausführungen desselben Arbeitsgangs an unterschiedlichen Werkstücken, wie etwa beim Lossplitting) oder aber aus den Arbeitsgangmengen verschiedenen Produktionsaufträgen stammen.

112 Im hier erörterten Kontext sind nur solche Festlegungen gemeint, die durch Entscheidungen *während der Auftragsabwicklung* herbeigeführt werden. Die Festlegungen, die während der *zeitlich vorgelagerten* Arbeitsplanung mittels künstlicher Sequentialisierungen zur Aufstellung linearer Arbeitspläne erfolgt sein können, sind hiervon in keiner Weise betroffen.

113 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.

114 Voraussetzung ist allerdings, 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.

115 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 (1985), 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 minimale Rüstkosten oder -zeiten erwartet werden können.

- 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 wird<sup>117</sup>. 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 festgelegt. Statt dessen kann an jeder Verzweigung von Transportwegen in der jeweils aktuellen Produktionssituation neu entschieden werden, welche Fortsetzung der Transportroute gewählt wird<sup>118</sup>.

Die voranstehenden Beispiele unterstreichen die ausgeprägte *Reihenfolge- oder Ordinerungsphobie* der opportunistischen Prozeßkoordinierung. Diese Charakteristik manifestierte sich bereits als Verzicht auf alle artifiziellen Sequentialisierungen, der anlässlich der Vorstellung nonlinearer Arbeitspläne im Zusammenhang mit dem Prinzip größtmöglicher Auswahlfreiheit erläutert wurde. Dort war aber „nur“ die Arbeitsplanung betroffen, die der Ausführung von Produktionsaufträgen im realen Produktionssystem zeitlich vorgelagert ist<sup>119</sup>. Jetzt wird der konsequente Verzicht auf alle nicht notwendigen Reihenfolgebildungen anhand des Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindung auf die Prozeßkoordinierung im engeren Sinne, also auf die konkrete Auftragsabwicklung im Produktionssystem<sup>120</sup>, ausgedehnt.

Die Bemühungen zur Konkretisierung des Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindung sind in jüngster Zeit durch die bereits mehrfach erwähnte Studie von CORSTEN und GÖSSINGER noch ein beträchtliches Stück vorangetrieben worden. Sie greifen zur weiterführenden Operationalisierung dieses Koordinierungsprinzips auf das Konzept der Interaktionsregeln von ROSENBERG, ZIEGLER

---

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 Auftrageinlastung an derselben Maschine vorzeitig geschlossen. Da solche unnötigen Entscheidungsbindungen verboten werden, muß die Strategie vorausschauender Einlastungsentscheidungen bei der opportunistischen Prozeßkoordinierung ausgeklammert werden. Gleiches gilt für alle ähnlich gelagerten Anregungen, optimale oder zumindest besserstellende Reihenfolgen dadurch zu bilden, daß reihenfolgeabhängige Formalzielbeiträge von Umrüstungen berücksichtigt werden. Vgl. zu solchen Anregungen KERN (1967), S. 120f.; RÜGER (1974), S. 28ff., 34ff. u. 157ff.; ALDINGER (1985), S. 55; MÜLLER (1987), S. 325 (die allerdings auf die mangelhafte Eignung reihenfolgeabhängiger Optimierungen für praktische Planungsprobleme hinweist); MÜLLER/HORBACH (1988), S. 149f.; KERN (1992), S. 308.

116 Dies muß nicht der Fall sein. Denn derselbe Auftrag kann sich auch auf die Bearbeitung mehrerer Werkstücke erstrecken. Diese auftragszugehörigen Werkstücke können sich in derselben Produktionssituation – zufällig oder geplant – im Eingangspuffer derselben Bearbeitungsstation befinden.

117 Gleiches gilt für Werkstücke, die im Eingangslager des Produktionssystems oder im Ausgangspuffer einer Lagerstation auf Abtransport warten.

118 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.

119 Davon ist die Ebene des „offline scheduling“ betroffen, die bereits an früherer Stelle erwähnt wurde.

120 Dies betrifft die Ebene des „online scheduling“, die ebenso schon angesprochen wurde.

und HOLTHAUS<sup>121</sup> zurück<sup>122</sup>. Dabei bereiten CORSTEN und GÖSSINGER eine breite Palette von Interaktionsregeln so auf, daß sie unmittelbar darüber Auskunft erteilen, welche Anpassungshandlung in einer aktuellen Produktionssituation im Interesse einer kleinstmöglichen Entscheidungsbindung ausgewählt werden sollte<sup>123</sup>.

Die begrüßenswerte Operationalität dieser Interaktionsregeln zieht zwei sehr unterschiedliche Konsequenzen nach sich. Einerseits erweisen sie sich gegenüber der betrieblichen Praxis industrieller Stückgüterproduktion als erstaunlich „anschlußfähig“. Denn die Interaktionsregeln muten auf den ersten Blick wie „gewöhnliche“ Prioritätsregeln an, die z.B. bei Werkstattfertigung und zur Prozeßkoordinierung in Flexiblen Fertigungssystemen weit verbreitet sind<sup>124</sup>. Daher wird mit diesen Regeln erstmals eine Brücke zwischen dem neuartigen, in vielfacher Hinsicht eigentümlich anmutenden Konzept opportunistischer Prozeßkoordinierung und wohlvertrauten Produktionsplanungs- und -steuerungskonzepten geschlagen. Über diese Verbindung könnte das Gedankengut opportunistischer Prozeßkoordinierung vielleicht erstmals in die Bewältigung praktischer Koordinierungsaufgaben einfließen. Andererseits bedeutet die hochwillkommene, eminent praxisbezogene Operationalisierung des Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindung, daß seine Radikalität aus der zweiten, inhaltlich stärkeren Formulierungsvariante verloren geht. Denn für keine der Interaktionsregeln, die von CORSTEN und GÖSSINGER erörtert und zum Teil auch konkret angewendet werden, läßt sich das *größtmögliche* Offenhalten zukünftiger Entscheidungsspielräume sicherstellen. Dieser Verzicht auf eine stringente Erfüllung des Prinzips *kleinstmöglicher* Entscheidungsbindung ist – zumindest nach derzeitigem Kenntnisstand – wohl der pragmatische Preis, der für die Operationalisierung und Praxisannäherung dieses Koordinierungsprinzips entrichtet werden muß.

Schließlich sei noch auf eine letzte, ebenso bemerkenswerte Konsequenz des Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindung hingewiesen. Wegen seines Verzichts darauf, in der jeweils aktuellen Produktionssituation vorzeitige Entscheidungen zu treffen, die Spielräume für Anpassungshandlungen in zukünftigen Produktionssituationen unnötig einschränken würden, grenzt es implizit alle Konzepte aus, die ein nachträgliches „Umdisponieren“<sup>125</sup> oder „rescheduling“<sup>126</sup> vorsehen. Denn

---

121 Vgl. ROSENBERG/ZIEGLER/HOLTHAUS (1993), S. 8f., und die entsprechende Fußnote Nr. 5 bei CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 21.

122 Vgl. CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 21ff. u. 32ff. Vgl. daneben auch die exemplarische Anwendung einer solchen Interaktionsregel in CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 18.

123 Vgl. dazu die detail- und ideenreichen Regelexplikationen bei CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 22f. (Tab. 1 und 2) sowie S. 33ff. (jeweils eingerahmt), sowie bei CORSTEN/GÖSSINGER (1997b), S. 18 (eingerahmt).

124 Nur bei genauerem Hinsehen offenbart sich der besondere Charakter der Interaktionsregeln, darauf abzielen, das opportunistische Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung zu konkretisieren.

125 Vgl. zu solchen Umdispositionskonzepten, die oftmals auch als Konzepte für Anpassungsplanungen thematisiert werden, MERTENS (1988), S. 23ff.; ROSE (1989), S. 55ff.; BÜTTNER (1989), S. 4f., 8f., insbesondere S. 10ff. u. 52ff.; WEBER/KOTSCHENREUTHER/MERTENS (1990), S. 60ff.; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 64ff.; CORSTEN/GÖSSINGER (1997a), S. 9ff.

BÜTTNER, MERTENS und ROSE entfalten ein umfangreiches Konzept, das PPS-Systemen ein aktives Störungsmanagement durch Anpassungsplanungen 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 erfolversprechend 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

Umdispositions- oder Rescheduling-Maßnahmen setzen implizit voraus, daß in früheren Zeitpunkten Produktionspläne aufgestellt wurden, die es nun angesichts einer veränderten Produktionssituation zu ändern gilt. Das frühere Aufstellen von Produktionsplänen enthielt somit zwangsläufig Entscheidungsbindungen für zukünftige Produktionssituationen, die im Zeitpunkt der Planfestlegung nicht nur vorzeitig und unnötig, sondern angesichts des später eingetretenen Anpassungserfordernisses sogar fehlerhaft waren. Daher lassen sich alle Planungskonzepte, die auf einem nachträglichen „Umdisponieren“ oder „rescheduling“ beruhen, mit dem Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung aus dem Konzept opportunistischer Prozeßkoordinierung grundsätzlich nicht vereinbaren. Empirische Leistungstests müssen später darüber entscheiden, welche dieser beiden konzeptionellen Ausrichtungen – hier frühzeitiges Planen mit nachträglichem Anpassen, dort nur Treffen der aktuellen notwendigen Koordinierungsentscheidungen unter Verzicht auf alle zukunftsgerichteten Entscheidungsbindungen – für die Bewältigung praktischer Prozeßkoordinierungen überlegen ist.

---

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 (für: Umdisposition durch ein Expertensystem), das von der Informatik-Forschungsgruppe VIII unter der Leitung von MERTENS an der Universität Erlangen-Nürnberg entwickelt wurde. Vgl. dazu die o.a. Quellen, insbesondere MERTENS (1988), S. 21f.; ROSE (1989), S. ; 101ff.; vgl. daneben auch MERTENS/BORKOWSKI/GEIS (1990), 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 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 (1978), 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 zur situationsabhängigen Planung von Anpassungsmaßnahmen lange Zeit 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 (1989), S. 46ff.; MERTENS/BORKOWSKI/GEIS (1990), S. 120f. (ohne das Projekt explizit zu nennen).

126 Vgl. zum „rescheduling“, das sich im Bereich des Operations Research mittlerweile als ein eigenständiger Forschungszweig etabliert hat, BELZ/MERTENS (1994), S. 111ff.; HENSELER (1995), S. 3ff.; JAIN/ELMARAGHY (1997), S. 288ff.

### 2.3.4 Entwicklungsperspektiven

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 Produktionsplanung experimentell verglichen<sup>127</sup>. Die Untersuchungen blieben auf einen besonders einfachen Fall beschränkt, in dem es lediglich darum ging, die Ausführung von Arbeitsgängen an nur einer Bearbeitungsstation – einem Montageroboter – 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 konventionellen Produktionsplanung ex ante fixiert wurden, anstatt sie in opportunistischer Weise situationsabhängig auszuwählen.

Allerdings besitzt das Simulationsergebnis keinen repräsentativen, sondern lediglich explorativen Charakter. Denn die vorausgesetzte Einschränkung auf nur eine Bearbeitungsstation liegt weit entfernt von Produktionssystemen, wie sie in der betrieblichen Praxis üblich sind. 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.

Neben der zukünftig unumgänglichen Evaluation der *praktischen* Leistungsfähigkeit des opportunistischen Koordinierungskonzepts ist auch Fortentwicklungsbedarf in *theoretischer* Hinsicht angezeigt. Dieser läßt sich auf zumindest drei Feldern identifizieren.

Erstens gilt es, den von CORSTEN und GÖSSINGER vorgezeichneten Weg fortzusetzen, die beiden charakteristischen Koordinierungsprinzipien größtmöglicher Auswahlfreiheit und kleinstmöglicher Entscheidungsbindung durch formalsprachliche, modellgestützte Explikationen der Prinzipienbedeutungen zu präzisieren. Von besonderem Interesse erscheint dem Verfasser dabei die Frage, ob sich die praxisnahen Operationalisierungen des Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindung mittels der Interaktionsregeln, die im voranstehenden Kapitel erwähnt wurden, einer solchen Präzisierung zugänglich erweisen werden – oder ob eine Art „epistemischer trade off“ zwischen formalsprachlicher („theoretischer“) Exaktheit einerseits und Praxisnähe andererseits fortbestehen wird.

Zweitens erweisen sich betriebswirtschaftliche Modellierungstechniken, wie sie etwa aus den Bereichen des Operations Research und der Entscheidungstheorie wohlvertraut sind, als wenig geeignet, wenn es darum geht, *Spielräume* für Entscheidungen über Anpassungshandlungen zu identifizieren oder gar die Größtmöglichkeit solcher Spielräume nachzuweisen. Bislang ist der Verfasser nur auf eine Technik gestoßen, die für die „natürliche“ Modellierung solcher Spielräume prädestiniert erscheint. Es handelt sich um die Petrinetztechnik: In Petrinetzen wird die aktuelle Produktionssituation, die in einem modellierten Produktionssystem vorliegt, unmittelbar durch die Netzmarkierung repräsentiert. Der Spielraum, der in solchen Produktionssituation für Entscheidungen über gegenwärtige Anpassungshandlungen offensteht, umfaßt alle Schaltakte von Transitionen, die unter

---

127 Vgl. FOX/KEMPF (1985a), S. 490f.; FOX (1987), S. 234ff.

der situationsrepräsentierenden Netzmarkierung aktiviert sind (sowie deren kombinatorischen Zusammenfassungen zu Schaltschritten aus nebenläufig aktivierten Transitionen). Dieser Spielraum wird im Erreichbarkeitsgraphen, der die „innere Dynamik“ eines Petrinetzes in transparenter Weise expliziert, durch die Gesamtheit aller Schalt(schritt)kanten angezeigt, die von jenem Markierungsknoten ausgehen, der im Erreichbarkeitsgraphen die Netzmarkierung für die aktuelle Produktionssituation repräsentiert. An dieser Stelle steht nicht der Platz zur Verfügung, die zuvor skizzierten Eigenarten der Petrinetztechnik und ihre Eignung zur Modellierung von Spielräumen näher auszuführen. Statt dessen muß auf die detaillierten Untersuchungen verwiesen werden, die vom Verfasser im Rahmen des DFG-Projekts PEMOPS zur „Petrinetzbasierten Modellierung komplexer Produktionssysteme“ erfolgten<sup>128</sup>.

Drittens legt das Prinzip kleinstmöglicher Entscheidungsbindung eine Revision des konventionellen Planungsverständnisses nahe: Planen wird im allgemeinen als das Festlegen zukünftiger Handlungsweisen verstanden, das zukünftige Handlungsmöglichkeiten und ihre erwarteten Wirkungen geistig vorwegnimmt. Diesem konventionellen Planungsbegriff liegt als implizites Denkmuster zugrunde, Koordinierungsprobleme durch vorausschauende Planung in optimaler Weise bewältigen zu wollen. Das intendierte Planungsergebnis stellen optimale Produktionspläne dar.

Dieses 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* Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen berücksichtigt werden. Zweitens müssen die bewerteten Koordinierungsalternativen, die aus diesen Handlungsmöglichkeiten und -wirkungen abgeleitet sind, jeweils *vollständig* formuliert sein. Das Optimierungsdenken erzwingt daher einen vorausschauenden und globalen Planungsansatz. Andererseits führt die immanente Planungsrationaltät dazu, eine einmal als optimal erkannte Problemlösung auch realisieren zu wollen. Deshalb erfordert das Optimierungsdenken ebenso, Planungsergebnisse als Handlungsanweisungen für die Zukunft *verbindlich* zu erklären. Dadurch werden zukünftig mögliche Handlungsweisen, die aus den Entscheidungsspielräumen von erst später erwarteten Produktionssituationen stammen, bereits im aktuellen Systemzustand – also „ex ante“ – ausgewählt und fixiert. Auf diese Weise entstehen Entscheidungsbindungen, die zukünftige Spielräume vorzeitig schließen. Im aktuellen Systemzustand ist das aber überhaupt noch nicht notwendig. Statt dessen geht die Möglichkeit, auf spätere unerwartete Veränderungen der Produktionssituation zu reagieren, durch solche vorzeitigen Spielraumschließungen – zumindest teilweise – verloren.

Daher läßt sich die opportunistische Prozeßkoordinierung aufgrund seines Prinzips kleinstmöglicher Entscheidungsbindung mit dem konventionellen Planungsverständnis nicht konsistent vereinbaren. Statt dessen erfordert es eine revidierte „Planungsphilosophie“. Über Details des hierdurch induzierten Umdenkens hat sich der Verfasser bereits an anderem Ort geäußert<sup>129</sup>, so daß hierauf in diesem Beitrag nicht ausführlicher eingegangen zu werden braucht.

---

128 Vgl. ZELEWSKI (1995), insbesondere die Bände 2, 5.1, 5.2, und 7.

129 Vgl. ZELEWSKI (1995), Band 2, S. 263ff.

### 3 Ausblick auf Flexibilisierungsbeiträge dezentraler Koordinierungskonzepte

Bislang wurde nur ausgeleuchtet, welche Anforderungen an Konzepte zur Koordinierung von Produktionsprozessen aus einer ausgeprägten Flexibilitätsorientierung resultieren, und welche Koordinierungskonzepte aussichtsreiche Kandidaten für die Erfüllung jener Anforderungen darstellen. Dabei wurde aber noch nicht beachtet, ob solche flexibilitätsorientierten Koordinierungskonzepte durch *dezentrale* Produktionsplanungs- und -steuerungsansätze in besonderer Weise unterstützt werden können.

Dem ersten Anschein nach sollte dies tatsächlich der Fall sein. Denn dezentrale Koordinierungsmechanismen werden oftmals mit dem Argument empfohlen, sie erlaubten im Gegensatz zu starren, monolithischen und zentralen Koordinierungsinstanzen ein *flexibles* Reagieren auf Umweltveränderungen. Zwar kann die These, dezentrale Koordinierungskonzepte eigneten sich besonders gut für eine flexible Koordinierung von Produktionsprozessen, im Rahmen eines abschließenden „Ausblicks“ nicht in der wünschenswerten Breite und Tiefe behandelt werden. Aber es lassen sich zumindest Hinweise auf zwei aktuelle, miteinander verwobene Forschungsgebiete anführen, die zugunsten dieser Eignungsthese sprechen.

Seit wenigen Jahren bilden *Multi-Agenten-Systeme* einen neuartigen Fokus betriebswirtschaftlicher, insbesondere produktionswirtschaftlicher Forschungsbemühungen. Sie zeichnen sich durch eine *dezentrale* Koordinierung aller Systemaktivitäten aus, die auf eine Vielzahl von teilautonomen, selbständig agierenden Instanzen – die Agenten – verteilt sind. Ziel dieser Dezentralisierung von Koordinierungsaktivitäten ist es, u.a. auch im Bereich der kurzfristigen Planung und Steuerung von Produktionsprozessen besonders leistungsfähige, hochreagible Systeme zu gestalten<sup>130</sup>. Ergänzt werden diese Bestrebungen durch Versuche, die speziellen Koordinierungsmechanismen dezentral verfaßter Marktwirtschaften in die innerbetriebliche Prozeßkoordinierung mittels Multi-Agenten-Systemen zu integrieren. Den wesentlichen Ansatzpunkt bilden hierbei *Elektronische Märkte*, auf denen wiederum Agenten ihre *dezentral* artikulierten Nachfragen nach und Angebote von Bearbeitungsleistungen mittels marktwirtschaftlicher Koordinierungsmechanismen aufeinander abstimmen. Vom Verfasser wurden hierzu im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Verteilte DV-Systeme in der Betriebswirtschaft“ Multi-Agenten-Systeme entworfen, auf deren internen Elektronischen Märkten Bearbeitungsleistungen mit der Hilfe von Auktionsverfahren versteigert werden<sup>131</sup>.

Zwar bewegen sich die Erfahrungen, die bislang mit Multi-Agenten-Systemen zur dezentralen Produktionsplanung und -steuerung sowie mit auktionenartigen Koordinierungsmechanismen auf Elektronischen Märkten gesammelt wurden, noch auf der Ebene konzeptioneller Vorstudien und – in den U.S.A. – einiger erster prototypischer Implementierungen. Aber sie erwiesen sich doch schon als so vielversprechend, daß begründete Aussichten bestehen, mit ihrer Hilfe die Realisierung von flexibi-

---

130 Vgl. ZELEWSKI (1993a), S. 12ff.; ZELEWSKI (1993b) sowie die zahlreichen, dort angeführten vertiefenden Literaturhinweise; CORSTEN/GÖSSINGER (1997c); CORSTEN/GÖSSINGER (1997d), S. 11f.; ZELEWSKI (1998), S. 137ff.; CORSTEN/GÖSSINGER (1998), S. 176ff., insbesondere S. 184ff.

131 Vgl. ZELEWSKI (1997), insbesondere S. 237ff. Nur am Rande sei erwähnt, daß zur Modellierung der Elektronischen Märkte auf die Petrinetztechnik zurückgegriffen wurde (exemplarisch: S. 440f.), die bereits im vorangehenden Kapitel als ein aussichtsreicher Kandidat für die Modellierung von Entscheidungsspielräumen bei der opportunistischen Prozeßkoordinierung Erwähnung fand.

litätsorientierten Konzepten der kurzfristigen Prozeßkoordinierung derart, wie sie in diesem Beitrag skizziert wurden, wirkungsvoll zu unterstützen.

## 4 Literaturverzeichnis

- 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.: Produktionsdurchführungsplanung. In: Jacob, H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre – Handbuch für Studium und Prüfung, 4. Aufl., Wiesbaden 1990, S. 673-918.
- ALDINGER, L.: Leitstandunterstützte kurzfristige Fertigungssteuerung bei Einzel- und Kleinserienfertigung, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985.
- ALTROGGE, G.: Flexibilität in der Produktion. In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, ungekürzte Studienausgabe, Stuttgart 1984, Sp. 604-618.
- 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.
- ARNING, A.: Die wirtschaftliche Bewertung der Zentrenfertigung – Dargestellt am Beispiel einer Fertigungsinsel, Wiesbaden 1987.
- AWF – Ausschuß für Wirtschaftliche Fertigung e.V. (Hrsg.): Flexible Fertigungsorganisation am Beispiel von Fertigungsinseln, (Düsseldorf -) Eschborn 1984.
- 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.: A Least Commitment Approach to Avoiding Protection Violations in Nonlinear Planning. In: Annals of Operations Research, Vol. 12 (1988), S. 135-145.
- BELZ, R.; MERTENS, P.: SIMULEX – a multiattribute DSS to solve rescheduling problems. In: Annals of Operations Research, Vol. 52 (1994), S. 109-129.
- BLOHM, H.; LÜDER, K.: Investition – Schwachstellen im Investitionsbereich des Industriebetriebes und Wege zu ihrer Beseitigung, 6. Aufl., München 1988.
- BÖTZOW, H.: Die Fertigungsinsel als Konzept zur Einführung flexibler Automation in mittelständischen Industriebetrieben der Einzel- und Kleinserienfertigung, Dissertation Universität Köln 1987, Düsseldorf 1988.
- BORMANN, D.: Störungen von Fertigungsprozessen und die Abwehr von Störungen bei Ausfällen von Arbeitskräften durch Vorhaltung von Reservepersonal, Berlin 1978.
- BÜHNER, R.: Personalentwicklung für neue Technologien in der Produktion, Stuttgart 1986.
- 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).
- BYRN, W.H.: Sequential Processes, Deadlocks, and Semaphore Primitives, Dissertation, Department of Applied Mathematics, Harvard University, Cambridge (Massachusetts) 1974.
- CORSTEN, H.: Komponenten und Instrumente der produktionswirtschaftlichen Flexibilität. In: Das Wirtschaftsstudium, 17. Jg. (1988), Heft 10, o.S. (Studienblatt).

- CORSTEN, H.; GÖSSINGER, R.: Multiagentensystemgestützte Störungsbehandlung auf der Grundlage der opportunistischen Koordinierung, Schriften zum Produktionsmanagement, Nr. 14, Lehrstuhl für Produktionswirtschaft, Universität Kaiserslautern 1997 (a).
- CORSTEN, H.; GÖSSINGER, R.: Flexible Konzepte für die Produktionsplanung und -steuerung – Vergleichende Analyse von flexibler Planung und opportunistischer Koordinierung, Schriften zum Produktionsmanagement, Nr. 16, Lehrstuhl für Produktionswirtschaft, Universität Kaiserslautern 1997 (b).
- CORSTEN, H.; GÖSSINGER, R.: Multiagentensystem zur Unterstützung der Produktionsplanung und -steuerung. In: Information Management, 12. Jg. (1997), Heft 3, S. 65-75 (c).
- CORSTEN, H.; GÖSSINGER, R.: Entwurf eines konzeptionellen Rahmens für ein Multiagentensystem zur integrativen Unterstützung der Produktionsplanung und -steuerung, Schriften zum Produktionsmanagement, Nr. 13, Lehrstuhl für Produktionswirtschaft, Universität Kaiserslautern 1997 (d).
- CORSTEN, H.; GÖSSINGER, R.: Produktionsplanung und -steuerung auf der Grundlage von Multiagentensystem. In: Corsten, H.; Gössinger, R. (Hrsg.): Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme, Stuttgart - Berlin - Köln 1998, S. 173-207.
- DANIEL, L.: Planning and Operations Research. In: O'Sheia, T.; Eisenstadt, M. (Hrsg.): Artificial Intelligence – Tools, Techniques, and Applications, New York - Cambridge - Philadelphia ... 1984, S. 423-452.
- 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.
- DINKELBACH, W.: Flexible Planung. In: Szyperski, N., Winand, U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 507-512.
- DÖTTLING, W.: Flexible Fertigungssysteme – Steuerung und Überwachung des Fertigungsablaufs, Berlin - Heidelberg - New York 1981.
- DORN, J.: Wissensbasierte Echtzeitplanung, Dissertation, Technische Universität Berlin, Braunschweig - Wiesbaden 1989.
- DOVE, R.: Tools for Analyzing and Constructing Agility, Paper: Agility Forum, Bethlehem 1994.
- DOVE, R.: Introducing Principles for Agile Systems. In: Production, Vol. 107 (1995), Issue 8, S. 14-16 (a).
- DOVE, R.: Agile Machines and Agile Production. In: Production, Vol. 107 (1995), Issue 9, S. 16-19 (b).
- DOVE, R.: Design Principles for Highly Adaptable Business Systems, With Tangible Manufacturing Examples. Paradigm Shift International Corp., Taos County (New Mexico) 1999 [Revised chapter appearing in Maynard's Industrial Handbook. McGraw Hill 1999], als Download beziehbar von der URL: „<http://www.parshift.com/docs/RrsPrinciplesMIH.htm>“.
- ENDELL, B.: Analyse der wechselseitigen Beziehungen zwischen flexiblen Arbeitszeitregelungen und moderner Produktion – Eine flexibilitätstheoretische Betrachtung -, Dissertation, Universität Köln 1986, Düsseldorf 1987.
- EVERSHEIM, W.: Organisation in der Produktionstechnik, Bd. 4: Fertigung und Montage, Düsseldorf 1981.

- EVERSHEIM, W.; ROZENFELD, H.; SCHNEEWIND, J.: Integrierte Arbeitsplanerstellung flexibel gestalten – Automatismus nach Maß. In: *Industrie-Anzeiger*, 111. Jg. (1989), Nr. 85, S. 26-29.
- FALSTER, P.: Graph Theoretical Approaches. In: Rolstadas, A. (Hrsg.): *Computer-Aided Production Management*, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 97-121.
- 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.
- 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.
- 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 u.a. 1987, S. 231-240.
- 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 (a).
- FOX, B.R.; KEMPF, K.G.: Opportunistic Scheduling for Robotic Assembly. In: *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1985 in St. Louis, o.O. 1985, S. 880-889 (b).
- FOX, M.S.: *Constraint-Directed Search: A Case Study of Job-Shop Scheduling*, Dissertation, Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh 1983.
- 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.
- GÖTZE, U.: *Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung*, Dissertation, Universität Göttingen 1990, Wiesbaden 1991.
- GOLDMAN, S.L.; NAGEL, R.N.; PREISS, K.: *Agile Competitors and Virtual Organizations – Strategies for Enriching the Customer*, New York u.a. 1995.
- GOLDMAN, S.L.; NAGEL, R.N.; PREISS, K.; WARNECKE, H.-J.: *Agil im Wettbewerb – Die Strategie der virtuellen Organisation zum Nutzen des Kunden*, Berlin - Heidelberg 1996.
- GROß, M.; MÜLLER, S.: Montageorientierte Auftragsabwicklung mit auftragsspezifischen Montage-netzplänen. In: *VDI-Z(eitschrift)*, Bd. 133 (1991), Nr. 5, S. 97-100.
- GUNNESON, A.O.: *Transitioning to Agility – Creating the 21st Century Enterprise*, Reading/Massachusetts u.a. 1997.
- GUPTA, S.K.; ROSENHEAD, J.: Robustness in Sequential Investment Decisions. In: *Management Science*, Vol. 15 (1968), S. B-18 - B-29.
- HANSSMANN, F.; DIRUF, G.; RAMER, S.; FISCHER, W.; SCHÖNBAUER, J.: *Systemforschung im Umweltschutz – Praktikable Methoden zur Beurteilung von Gestaltungsalternativen im Systemzusammenhang*, Berlin 1976.

- HANSSMANN, F.: Einführung in die Systemforschung – Methodik der modellgestützten Entscheidungsvorbereitung, 3. Aufl., München 1987.
- HANSSMANN, F.: Quantitative Betriebswirtschaftslehre – Lehrbuch der modellgestützten Unternehmensplanung, 3. Aufl., München - Wien 1990.
- HART, A.G.: Anticipations, Uncertainty, and Dynamic Planning, Reprints der Ausgabe von 1940, New York 1951 / 1965.
- 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.: Entscheidungsmodelle in der Unternehmung – Einführung in Operations Research, Reinbek 1974.
- HAX, H.: Investitionstheorie, 5. Aufl., Würzburg - Wien 1985.
- HAX, H.; FRANKE, G.: Finanzwirtschaft des Unternehmens und Kapitalmarkt, Berlin u.a. 1988
- HAX, K.: Unternehmensplanung und gesamtwirtschaftliche Planung als Instrumente elastischer Wirtschaftsführung. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 18. Jg. (1966), S. 447-465.
- HEBBELER, M.B.; KLAAS, K.-J.: Rechnergestützte Generierung von Arbeitsplänen; in Geitner, U.W. (Hrsg.): CIM Handbuch, 2. Aufl., Braunschweig 1991, S. 272-293.
- 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.
- HEIZER, J.; RENDER, B.: Production and Operations Management – Strategies and Tactics, Boston - London - Sydney ... 1988.
- HELBERG, P.: PPS als CIM-Baustein – Gestaltung der Produktionsplanung und -steuerung für die computerintegrierte Produktion, Berlin 1987.
- HELLWIG, K.: Flexible Planung und Kapitalerhaltung. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 41. Jg. (1989), S. 404-414.
- HENNICKE, L.: Wissensbasierte Erweiterung der Netzplantechnik, Dissertation Universität Frankfurt 1990/91, Heidelberg 1991.
- HENSELER, H.: REAKTION: A System for Event Independent Reactive Scheduling. In: Kerr, R.; Szelke, E. (Hrsg.): Artificial Intelligence in Reactive Scheduling, Chapman&Hall 1995, o.S. (eigene Paginierung: Preprint).
- HERTZBERG, J.: Planen – Einführung in die Planerstellungsmethoden der Künstlichen Intelligenz, Mannheim - Wien - Zürich 1989.
- HINTZ, G.-W.: Ein wissensbasiertes System zur Produktionsplanung und -steuerung für flexible Fertigungssysteme, Dissertation, Universität Aachen, Düsseldorf 1987.
- HORMANN, D.: Betrieb rechnergesteuerter Fertigungssysteme, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Aachen 1973.
- 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, 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.

- IDS PROF. SCHEER – Gesellschaft für integrierte Datenverarbeitungssysteme mbH (Hrsg.): Dezentrale Fertigungssteuerung: Der Intelligente Leitstand Fl-2, Saarbrücken o.J. (1990).
- 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.: 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.
- JAIN, A.K.; ELMARAGHY, H.A.: Production scheduling/rescheduling in flexible manufacturing. In: International Journal of Production Research, Vol. 35 (1997), No. 1, S. 281-309.
- KALUZA, B.: Rahmenentscheidungen zu Kapazität und Flexibilität produktionswirtschaftlicher Systeme. In: Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Produktionsmanagement, Strategie – Führung – Technologie – Schnittstellen, Wiesbaden 1994, S. 51-72.
- KERN, W.: Optimierungsverfahren in der Ablauforganisation – Gestaltungsmöglichkeiten mit Operations Research, Essen 1967.
- KERN, W.: Operations Research – Einführung und Überblick, 6. Aufl., Stuttgart 1987.
- KERN, W.: Der Betrieb als Faktorkombination. In: Jacob, H. (Hrsg.): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 5. Aufl., Wiesbaden 1988, S. 117-208.
- 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.: Industrielle Produktionswirtschaft, 5. Aufl., Stuttgart 1992.
- KISTNER, K.-P.; STEVEN, M.: Produktionsplanung, Heidelberg 1990.
- KLEINER, F.: Kostenrechnung bei flexibler Automatisierung, Dissertation, Universität Stuttgart, München 1991.
- KNOOP, J.: Online-Kostenrechnung für die CIM-Planung – Prozeßorientierte Kostenrechnung zur Ablaufplanung flexibler Fertigungssysteme, Berlin 1986.
- KOCHAN, D. (Hrsg. u. Autor); MERCHANT, O.VN.; KOZAR, O.VN.; SCHALLER, J.; HUTCHINSON, G.K.; OLLING, O.VN.; SEMENKOV, 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.
- 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.
- KOTSCHENREUTHER, W.: Unterstützung der Störungsbewältigung in der Produktion durch Verteilte Wissensbasierte Systeme, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg 1991.
- 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, H.; SCHOLZ-REITER, B.: CIM-KSA – Eine rechnergestützte Methode für die Planung von CIM-Informations- und Kommunikationssystemen. In: Reuter, A. (Hrsg.): GI – 20. Jah-

restagung 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.

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.

KRUSCHWITZ, L.: Investitionsrechnung, 4. Aufl., Berlin/New York 1990.

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.

LAUX, H.: Flexible Planung des Kapitalbudgets mit Hilfe der linearen Programmierung. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 21. Jg. (1969), S. 728-742.

LAUX, H.: Flexible Investitionsplanung – Einführung in die Theorie der sequentiellen Entscheidungen bei Unsicherheit, Habilitationsschrift, Universität des Saarlandes 1971, Opladen 1971.

LAUX, H.; LIERMANN, F.: Grundlagen der Organisation – Die Steuerung von Entscheidungen als Grundproblem der Betriebswirtschaftslehre, 2. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

LAUX, H.: Entscheidungstheorie I – Grundlagen, 2. Aufl., Berlin u.a. 1991.

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.

MAIER, U.: Arbeitsgangterminierung mit variabel strukturierten Arbeitsplänen – Ein Beitrag zur Fertigungssteuerung flexibler Fertigungssysteme, Berlin - Heidelberg - New York 1980.

MARTIN, R.K.; RARDIN, R.L.; CAMPBELL, B.A.: Polyhedral Charakterization of Discrete Dynamic Programming. In: Operations Research, Vol. 38 (1990), S. 127-138.

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, H.: Zum Problem der betriebswirtschaftlichen Flexibilität. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 39. Jg. (1969), S. 779-800.

MELLWIG, W.: Anpassungsfähigkeit und Ungewißheitstheorie – Zur Berücksichtigung der Elastizität des Handelns in der Unternehmenstheorie Dissertation, Universität Münster 1970/71, Tübingen 1972.

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, P.; BORKOWSKI, V.; GEIS, W.: Betriebliche Expertensystem-Anwendungen, 2. Aufl., Berlin u.a. 1990.

MERTINS, K.: Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme, München - Wien 1985.

MILLER, D.P.: A Task and Resource Scheduling System for Automated Planning. In: Annals of Operations Research, Vol. 12 (1988), S. 169-198.

- MIRIYALA, K.; VISWANADHAM, N.: Reliability Analysis of Flexible Manufacturing Systems. In: The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 2 (1989), S. 145-162.
- MISSBAUER, H.: Optimale Werkstattbeauftragung unter dem Aspekt der Bestandsregelung, Linz 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, U.; HORBACH, J.: Rüstzeiten senken durch gezielte Planung – Maßnahmen in der Arbeitsplanung und -steuerung. In: Arbeitsvorbereitung, 25. Jg. (1988), S. 147-150.
- MUSCATI, M.: Zur Optimierung der Zeitplanung unter besonderer Berücksichtigung von ablaufhomogenen Prozessen, Dissertation Universität Köln, Köln 1970.
- NAGEL, R.N.; BHARGAVA, P.: Agility: The Ultimate Requirement for World-Class Manufacturing Performance. In: National Productivity Review, Vol. 13 (1994), S. 331-340.
- 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.
- NIEß, P.S.: Kapazitätsabgleich bei flexiblen Fertigungssystemen, Berlin - Heidelberg - New York 1980.
- NOAKER, P.M.: The Search for Agile Manufacturing. In: Manufacturing Engineering, Vol. 113 (1994), Issue 5, S. 40-43.
- OPITZ, H.: Teilefamilienfertigung. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 62. Jg. (1967), S. 101-111.
- OSMAN, M.: Untersuchung von Verfahren der Reihenfolgeplanung und ihre Anwendung bei Fertigungszellen, Berlin - Heidelberg - New York 1982.
- PARUNAK, H.V.D.: Manufacturing Experience with the Contract Net. In: Huhns, M.N. (Hrsg.): Distributed Artificial Intelligence, London - Los Altos 1987, S. 285-310.
- PERRIDON, L.; STEINER, M.: Finanzwirtschaft der Unternehmung, 6. Aufl., München 1991.
- PRESSMAR, D.B.: Zur Akzeptanz von computergestützten Planungssystemen. In: Krallmann, H. (Hrsg.): Unternehmensplanung und -steuerung in den 80er Jahren – Eine Herausforderung an die Informatik, Anwendergespräch, 24.-25.11.1981 in Hamburg, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 324-348.
- PÜTZ, W.: Modifikationen der Netzplantechnik für eine kurzzeitorientierte elastische Ablaufplanung in Druckereibetrieben, Dissertation, Universität Köln, Köln 1973.
- REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (Hrsg.): Methodenlehre der Planung und Steuerung, Teil 3, 4. Aufl., München 1985.
- 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.
- 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.
- ROPOHL, G.: Flexible Fertigungssysteme – Zur Automatisierung der Serienfertigung, Dissertation (unter dem Titel „Die Flexibilität von Fertigungssystemen für die Automatisierung der Se-

- rienfertigung. Produktionswirtschaftliche Grundlagen für eine technologisch-konstruktive Konzeption“) Universität Stuttgart 1970, Mainz 1971.
- ROSE, H.: Computergestützte Störungsbewältigung beim Durchlauf von Produktionsaufträgen unter besonderer Berücksichtigung wissensbasierter Elemente, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1989.
- ROSENBERG, O.; ZIEGLER, H.; HOLTHAUS, O.: Verteilte Simulation dezentraler Werkstattfertigungssysteme. In: Information Management, 8. Jg. (1993), Heft 2, S. 6-12.
- 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.
- RÜGER, M.: Die Berücksichtigung reihenfolgeabhängiger Rüstzeiten bei der Reihenfolgeplanung, Dissertation, Universität Köln, Köln 1974.
- SACERDOTI, E.D.: The Nonlinear Nature Of Plans. In: Advance Papers of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-75), 03.-08.09.1975 in Tbilisi, o.O. (Cambridge/Massachusetts), Vol. 1, S. 206-214.
- SACERDOTI, E.D.: A Structure for Plans and Behavior, New York - Oxford - Amsterdam 1977.
- SANDERS, M.: Quantitative Analyse Interner Kontrollsysteme – Modellbildung und empirische Anwendung, Berlin 1987.
- 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 1980.
- SCHARF, P.: Strukturen flexibler Fertigungssysteme – Gestaltung und Bewertung, Mainz 1976.
- SCHEER, A.-W.: Produktionsplanung auf der Grundlage einer Datenbank des Fertigungsbereichs, München 1976.
- SCHEER, A.-W.: EDV-orientierte Betriebswirtschaftslehre – Grundlagen für ein effizientes Informationsmanagement, 4. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.
- SCHMIDT, H.: Konzeption eines Kostenmodells für integrierte Systeme, gezeigt am Beispiel flexibler Fertigungssysteme, Düsseldorf 1989.
- 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.: Flexibilität, Elastizität und Reagibilität. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 489-501.
- 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.: Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewißheit?. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 23. Jg. (1971), S. 831-851.
- 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.
- SCHWARZE, J.: Netzplantechnik – Eine Einführung in das Projektmanagement, 6. Aufl., Herne - Berlin 1990.

- SCHWEITZER, M.: Beitrag zur optimalen Terminierung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 36. Jg. (1966), S. 41-52.
- SCHWEITZER, M.: Industrielle Fertigungswirtschaft. In: Schweitzer, M. (Hrsg.): Industriebetriebslehre – Das Wirtschaften in Industrieunternehmen, 2. Aufl., München 1994, S. 569-746.
- SELIGER, G.: Wirtschaftliche Planung automatisierter Fertigungssysteme, München - Wien 1983.
- SHERIDAN, J.S.: Agile Manufacturing – Stepping Beyond Lean Production. In: Industry Week, Ausgabe vom 19.04.1993, S. 30-46.
- SIEGWART, H.; RAAS, F.: Anpassung der Kosten- und Leistungsrechnung an moderne Fertigungstechnologien. In: Kostenrechnungspraxis, o.Jg. (1989), Nr. 1, S. 7-14.
- 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.
- 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.
- 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.
- SWAMIDASS, P.M.: Manufacturing Flexibility, Waco 1988.
- WARNECKE, H.J.; ZIPPE, B.-H.: Arbeits- und Ablaufgestaltung in der Fertigung. In: Werkstattstechnik, 70. Jg. (1980), S. 191-204.
- WARNECKE, H.J.: Der Produktionsbetrieb – Eine Industriebetriebslehre für Ingenieure, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984.
- WEBER, E.; KOTSCHENREUTHER, W.; MERTENS, P.: Ein Verhandlungsmechanismus zwischen drei einfachen Wissensbasierten Systemen. In: Wirtschaftsinformatik, 32. Jg. (1990), Heft 1, S. 59-70.
- WICHARZ, R.E.: Die Flexibilität industrieller Produktionsplanung und -steuerung, Dissertation Universität Köln, Düsseldorf 1983.
- 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.
- WILD, J.: Grundlagen der Unternehmungsplanung, Reinbek 1974.
- WILDEMANN, H.: Investitionsplanung und Wirtschaftlichkeitsrechnung für flexible Fertigungssysteme (FFS), Stuttgart 1987.
- WILDEMANN, H.: Die modulare Fabrik: Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung, München 1988.
- WILKINS, D.E.: Domain-independent Planning: Representation and Plan Generation. In: Artificial Intelligence, Vol. 22 (1984), S. 269-301.
- 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.

- WINTER, R.: Mehrstufige Produktionsplanung in Abstraktionshierarchien auf der Basis relationaler Informationsstrukturen, Dissertation, Universität Frankfurt 1989, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991.
- WITTEMANN, N.: Produktionsplanung mit verdichteten Daten, Dissertation, Universität des Saarlandes in Saabrücken, Berlin - Heidelberg - New York ... 1985.
- WITTMANN, W.: Unternehmung und unvollkommene Information / Unternehmerische Voraussicht – Ungewißheit und Planung, Köln/Opladen 1959.
- WOLF, J.: Investitionsplanung zur Flexibilisierung der Produktion, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, Wiesbaden 1989.
- WOLFRAM, G.: Organisatorische Gestaltung des Informations-Managements – Konzeption und aufbauorganisatorische Aspekte, Dissertation, Universität Köln, Bergisch Gladbach - Köln 1990.
- 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, 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 1988.
- ZELEWSKI, S.: CAP-Expertensysteme – Anwendungsaspekte Künstlicher Intelligenz im Bereich der Arbeitsplanung, Arbeitsbericht Nr. 30, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln 1989.
- ZELEWSKI, S.: PPS-Expertensysteme für die Terminfeinplanung und -steuerung – Teil 1: Konzepte / Teil 2: Prototypen. In: Information Management, 5. Jg. (1990), Heft 1, S. 56-65 bzw. Heft 2, S. 68-74.
- ZELEWSKI, S.: PPS-Expertensysteme. In: Spang, S.; Kraemer, W. (Hrsg.): Expertensysteme – Entscheidungsgrundlage für das Management, Wiesbaden 1991, S. 251-283 (a).
- ZELEWSKI, S.: Expertensysteme im CAP; in Geitner, U.W. (Hrsg.): CIM Handbuch, 2. Aufl., Braunschweig 1991, S. 307-321 (b).
- ZELEWSKI, S.: Multi-Agenten-Systeme für die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen – Ein verteiltes Problemlösungskonzept auf der Basis von Kontraktnetzen, Arbeitsbericht Nr. 46, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln 1993 (a).
- ZELEWSKI, S.: Koordination von Produktionsprozessen – Ein Ansatz auf der Basis von Multi-Agenten-Systemen. In: Information Management, 8. Jg. (1993), Heft 2, S. 14-24 (b).
- 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 (c).

- ZELEWSKI, S.: Expertensysteme in der Produktionsplanung und -steuerung. In: Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Produktionsmanagement, Strategie – Führung – Technologie – Schnittstellen, Wiesbaden 1994, S. 781-802.
- ZELEWSKI, S.: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme, Band 1 bis 10, Arbeitsberichte des Instituts für Produktionswirtschaft und Industrielle Informationswirtschaft, Nr. 5 bis 15, Universität Leipzig 1995.
- ZELEWSKI, S.: Elektronische Märkte zur Prozeßkoordinierung in Produktionsnetzwerken. In: Wirtschaftsinformatik, 39. Jg. (1997), Heft 3, S. 231-243.
- ZELEWSKI, S.: Multi-Agenten-Systeme – ein innovativer Ansatz zur Realisierung dezentraler PPS-Systeme. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Innovationen in der Produktionswirtschaft – Produkte, Prozesse, Planung und Steuerung, Tagungsband zur Sitzung der Wissenschaftlichen Kommission Produktionswirtschaft des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 18.-19.09.1997 in München, München 1998, S. 133-166.