

Interner Arbeitsbericht

Netzplantechnik und Petrinetze
- ein modelltheoretischer Vergleich -

von
Dr. Stephan Zelewski

Köln 1987

Alle Rechte vorbehalten.

Vorbemerkungen zu internen Arbeitsberichten

Interne Arbeitsberichte dienen ausschließlich der Diskussion von vorläufigen Arbeitsergebnissen unter den Mitarbeitern des Industrieseminars und interessierten Dritten. Sie sind weder für die Veröffentlichung bestimmt noch hinsichtlich inhaltlicher oder formaler Anforderungen hierfür vorbereitet. Die Autoren behalten sich vor, die niedergelegten Zwischenergebnisse im Verlauf ihrer zukünftigen Arbeit zu verändern, zu erweitern oder zurückzunehmen.

Da nur eine Kommunikation über vorläufige Arbeitsergebnisse, nicht aber deren publikationsreife Absicherung angestrebt wird, kann die Ausarbeitung belegender Fußnoten späteren Überarbeitungen vorbehalten oder unvollständig sein. Falls abgekürzte Referenztitel verwendet werden, so beziehen sie sich auf Literatursammlungen/Literatur-Datenbanken der Verfasser, die dort auf Wunsch eingesehen oder partiell ausgedruckt werden können.

Vorbemerkung zum hier vorliegenden internen Bericht

Die Ausführungen zur Netzplantechnik grenzen bewußt an provokative Formulierungen. Sie stellen noch keine abschließenden Urteile des Verf. dar, sondern sollen die Diskussion über die behauptete Überlegenheit des Petri-netz-Konzepts anregen. Kenntnisse des Petrinetz-Konzepts werden vorausgesetzt.

Die Referenztitel der angeführten Quellen können in der Literatur-Datenbank HABILLIT.DBF des Verfassers mit Hilfe der Literaturverwaltungsprogramme LITERAT.EXE oder PROLIT.EXE (Version 3.0) erschlossen werden.

Eine Ausweitung des Vergleichs auf netzplanähnliche Schemata (UCLA-Graphen, computation graphs, parallele Fluß-Schemata u.ä.) aus dem Bereich der Informatik ist für eine spätere Version des internen Arbeitsberichts vorgesehen.

Inhaltsverzeichnis

1	Abgrenzung der Petrinetze von Netzplänen in bezug auf die Netzdefinitionen	1
2	Abgrenzung der Petrinetze von Netzplänen in bezug auf die Modellierung von Systemen	7
2.1	Die Modellierungsfähigkeit von Netzplänen als Bezugspunkt	7
2.2	Die Modellierungsgüte als Bezugspunkt	12
2.3	Die Modellierungsfähigkeit von Petrinetzen als Bezugspunkt	24
3	Resümee	31

1 Abgrenzung der Petrinetze von Netzplänen in bezug auf die Netzdefinitionen

Die Abgrenzung von Petrinetzen und Netzplänen läßt sich auf zwei Ebenen vollziehen. Erstens können Unterschiede in ihren definitionem herausgearbeitet werden. Zweitens ist es möglich, die pragmatische Relevanz solcher Unterschiede zu untersuchen, sofern definitorische Differenzen bestehen. Als Kriterien der pragmatischen Relevanz werden die Modellierungsfähigkeit ("Mächtigkeit") und -güte ("Qualität") eines Konzepts betrachtet¹⁾, wenn dieses zur Modellierung von Systemen angewendet wird.

In der ersten Hinsicht erscheinen Petrinetze und Netzpläne zunächst als sehr ähnlich. Beide weisen eine graphische Repräsentation in der Gestalt von Graphen mit gerichteten Kanten auf. Doch schon bei den Knoten hört die Gemeinsamkeit auf. Netzpläne besitzen gewöhnliche Graphen mit nur einem Knoten-Typus²⁾. Petrinetze führen dagegen zu bipartiten Graphen mit zwei funktio-

1) Die Kriterien der Modellierungsfähigkeit und -güte werden hier vereinfacht betrachtet als eine Beurteilung der Klassen von Sachverhalten, die durch ein Konzept grundsätzlich abgebildet werden können, bzw. als ein Urteil über die Art und Weise, in der solche Abbildungen erfolgen.

2) Zwar kann ein Netzplan durch aus unterschiedliche Komplexe aus adjazenten Knoten und Kanten besitzen, wie z.B. die 6 Komplex-Arten der GERT-Netzpläne (vgl. Neumann, K. (1979), S. 22ff., insbesondere S. 22, Table 1.2.1). In der einschlägigen Literatur zur Netzplantechnik werden diese Komplex-Arten zumeist als "Knoten-Arten" bezeichnet. Dies ist jedoch insofern irreführend, als die - angebliche - Unterschiedlichkeit der Knoten erst aus dem Rekurs auf verschiedene Verknüpfungen ihrer Ein- oder Ausgangskanten resultiert. Folglich kommt die Artverschiedenheit nicht Knoten an sich, sondern nur dem Verbund aus Knoten und adjazenten Kanten zu. Diesem Sachverhalt entspricht im Rahmen des Petrinetz-Konzepts, daß derselbe Knoten-Typus "Transition" auf unterschiedliche - z.B. konjunktive oder adjunktive - Weise mit seinen adjazenten Kanten verknüpft sein kann. Die Artverschiedenheit von Stellen und Transitionen bezieht sich hingegen auf nicht auf solche Knoten-Kanten-Komplexe, sondern kommt den Knoten allein als artdifferenzierendes Merkmal zu.

nal grundverschiedenen Knoten-Typen. Darüber hinaus besitzen Petrinetze Marken als bewegliche Beschriftungen ihrer Stellen-Knoten, während Netzpläne solche beweglichen Beschriftungen überhaupt nicht kennen.

Die graphische Repräsentation betrifft aber nur die unterschiedliche "äußere" Erscheinungsweise von Petrinetzen und Netzplänen. Denn auch die Netzdefinitionen der beiden Konzepte weichen voneinander ab. Dies äußert sich bereits in dem Sachverhalt, daß seitens der Netzplantechnik zumeist³⁾ kein Versuch erfolgt, eine rein formale Definition ihrer Erkenntnisobjekte vorzulegen. Vielmehr fußt sie auf gemischten definitionem, in denen einzelne Definitionsbestandteile formal erfolgen⁴⁾, andere dagegen nur natürlichsprachlich umschrieben oder sogar überhaupt nicht explizit in die Netzdefinition aufgenommen werden⁵⁾.

3) Es soll allerdings nicht verkannt werden, daß vereinzelte Ansätze für die durchgängige Formalisierung eines Netzplan-Typs vorgelegt wurden; vgl. z.B. Steinhardt (1977), S. 11ff.

4) Hierbei handelt es sich z.B. um zulässige Anordnungsbeziehungen oder Zeitabstände.

5) Beispielsweise werden die konjunktive oder adjunktive Kantenverknüpfungen in GERT-Netzplänen nicht formal-logisch definiert, sondern nur umgangssprachlich ausgedrückt; vgl. etwa Neumann, K. (1979), S. 20f.. Erst in den Auswertungsalgorithmen - für bereits definierte (!) - Algorithmen werden diese Beziehungen nachträglich auch formal berücksichtigt. Vgl. auch die überwiegend nur natürlichsprachlich abgefaßten Netzplandefinitionen in DIN 69900 (1980), S. 340ff.

Die Knoten- und Kantenmenge eines Netzplans geht in dessen Definition explizit nicht ein, sondern wird implizit als Ergebnis der Strukturanalyse angenommen. Eine solche Strukturanalyse kann nur mit Gültigkeit für den jeweils untersuchten Einzelfall durchgeführt werden. Eine Netzdefinition beansprucht dagegen die Allgemeingültigkeit jeder klassifikatorischen Aussage; sie soll für jeden Netzplan zutreffen, welcher dem definierten Netzplan-Typus angehört. Daher erweist sich die implizite "Definition" von Knoten- und Kantenmenge in der Netzplantechnik - aus definitionstheoretischer Sicht - als unzureichend.

Dies führt dazu, daß in der Netzplantechnik in der Regel nicht zwischen einer Netzdefinition "an sich" und der graphischen Repräsentation eines definierten Netzes differenziert wird. Vielmehr wird der Graph im allgemeinen mit dem Netz identifiziert⁶⁾. Daher wird nachfolgend die eingangs angeführte graphische Netzrepräsentation als Netzdefinition unterstellt.

Unter dieser Voraussetzung ergibt sich zunächst die bereits o.a. Verschiedenheit der Netzdefinitionen von Netzplantechnik und Petrinetz-Konzept in bezug auf die (Nicht-)Existenz unterschiedlicher Knoten-Arten und beweglicher Knoten-Beschriftungen (Marken). Darüber hinaus folgen definitorische Differenzen, die sich nur noch aus der formalen Definition von Petrinetzen, nicht aber aus ihrer graphischen Repräsentation erkennen lassen. Sie erstrecken sich auf die funktionale Interpretation von Knoten und Kanten.

Die Unterscheidung zwischen Knoten und Kanten liegt allen Netzplänen zugrunde. Alle übrigen Komponenten eines Netzplans - wie z.B. Angaben über Vorgangsdauern oder Kapazitätsbedarfe - werden zu diesen beiden konstitutiven Netzkomponenten als akzidentielle Aspekte hinzugefügt. Es läßt sich jedoch keine klare, allen Netzplänen gemeinsame Konzipierung der Funktionen von Kanten einer- und Knoten andererseits erkennen. Im Rahmen der Netzplantechnik ist nicht allgemeingültig, sondern nur in bezug auf einzelne Netzplan-Typen festgelegt, welche Qualitäten ihren Knoten und Kanten zukommt. Kno-

6) Seitens der Netzplantechnik wird das semantische Problem, wodurch sie sich von der Graphentheorie abgrenze, nicht thematisiert. Falls implizit unterstellt wird, es bestehe kein grundsätzlicher Unterschied, läßt sie die Anschlußfrage offen, warum sie den mathematisch präzise definierten Begriff "Graph" durch den verschwommeneren, da formal nicht vollständig explizierten Begriff "Netz" ersetzt.

ten können Vorgänge⁷⁾, Ereignisse oder Vorgangs-Ereignis-Komplexe⁸⁾ darstellen, Kanten dagegen Vorgänge oder Anordnungsbeziehungen. Seitens des Petrinetz-Konzepts werden dagegen Knoten und Kanten in erheblich differierender Weise interpretiert.

Erstens wird die funktionale Bedeutung dieser beiden Definitionsbestandteile allgemeingültig festgelegt. Knoten stellen immer aktive (Transitionen) oder passive Elemente (Stellen) der modellierten Systeme dar. Kanten geben immer Kausalbeziehungen zwischen diesen Elementen wieder. Hinzu kommen die Marken als Objekte sui generis, welche die Netzplantechnik überhaupt nicht kennt. Stellen und Marken bedeuten in ihrer zusammenwirkenden Gesamtheit jeweils einen Zustand des modellierten Systems. Transitionen üben dagegen die Funktionen der Veränderung solcher Systemzustände aus. Die primäre Differenzierung der Netzplantechnik zwischen Knoten und Kanten verschiebt sich im Petrinetz-Konzept zur vorrangigen Unterscheidung zwischen den beiden Knoten-Typen, den Stellen und Transitionen.

Zweitens heben sich die vorgenannten Bedeutungen von den o.a. der Netzplantechnik ab, sofern jene überhaupt über entsprechende Netzkomponenten verfügt. Die Transitionen von Petrinetzen entsprechen hinsichtlich ihrer zustandsändernden Qualität den Vorgängen oder Ereignissen der Netzplantechnik. Somit ist dieser Knoten-Typus von Petrinetzen bedeutungsäquivalent sowohl mit Knoten als auch mit Kanten aus Netzplänen. Der Knoten-Typus "Stelle" und das Objekt "Marke" besitzen in der Netzplantechnik keine Bedeutungsäquivalente. Letztgenannte

7) Diese Vorgänge werden oftmals auch als Aktionen bezeichnet; vgl. z.B. Matthes (1979), Sp. 1328. Hierdurch wird verdeutlicht, daß nur solche Vorgänge berücksichtigt werden, die jeweils eine Veränderung des aktuellen Zustands des modellierten Systems bedeuten. Diese funktionale Interpretation wird später im Zusammenhang mit der Modellierungsfähigkeit der Netzplantechnik Bedeutung erlangen.

8) Solche Komplexe liegen im Fall von CPM-Netzplänen vor. In deren Knoten werden die Anfangs- und Endergebnisse aller inzidenten Kanten zusammengefaßt, die jeweils - relativ zum betrachteten Knoten - nachfolgende bzw. vorangehende Vorgänge repräsentieren.

ist nicht in der Lage, Systemzustände explizit und unmittelbar zu modellieren. Umgekehrt kennt das Petri-netz-Konzept keine Bedeutungsäquivalente zu den Vorgang-Ereignis-Komplexen der Netzplantechnik⁹⁾. Schließlich bedeuten die Kanten von Netzplänen, sofern sie Anordnungsbeziehungen darstellen, stets zeitabhängig definierte Präzedenzrelationen. Die Kanten von Petrinetzen drücken dagegen immer zeitunabhängig definierte Kausalrelationen aus.

Die aufgelisteten Differenzen der funktionalen Bedeutungen, die den o.a. Definitionsbestandteilen von Petrinetzen und Netzplänen zukommen, lassen deutlich werden, daß die - prima facie - ähnliche graphische Repräsentation der verglichenen Konzepte trügt. Über die graphischen Unterschiede hinaus zeigen sich fundamentale Interpretationsdifferenzen, die darauf verweisen, daß es sich um grundsätzlich verschiedene Konzepte zur Modellierung von Systemen handelt. Darüber hinaus wurde im Rahmen des Petrinetz-Konzepts eine weitreichende mathematische Theorie zur Netzanalyse entwickelt¹⁰⁾, der

9) Hierin sieht der Verf. kein Defizit, sondern einen Vorzug des Petrinetz-Konzepts. Denn Vorgang-Ereignis-Komplexe stellen artifizielle Konstrukte dar, die nicht aus den Gegebenheiten der zu modellierenden Systeme, sondern aus der Unzulänglichkeit des Modellierungs-Konzepts "CPM-Netzplantechnik" resultieren. Solche Komplexe drücken - im Vergleich zum Petrinetz-Konzept - keine größere Modellierungsfähigkeit, sondern eine geringere Modellierungsgüte infolge Verstoßes gegen das Homomorphie-Postulat dar.

10) Vgl. hierzu die Erreichbarkeits-, Inzidenz- und Deadlockanalyse von Petrinetzen. Ferner ist auf die topologische Interpretation von Petrinetzen zu verweisen; vgl. Zelewski (1987a), S. 45ff., und die dort enthaltenen weiterführenden Quellenangaben.

ein gleichwertiges Pendant auf der Seite der Netzplantechnik fehlt¹¹⁾.

11) Es wird nicht bestritten, daß die Netzplantechnik mathematische Auswertungsalgorithmen umfaßt. Diese sind jedoch einerseits so weit in Teilbereichen des Operations Research verwurzelt, die unabhängig von der Netzplantechnik definiert sind, und besitzen andererseits so wenig Netzplan-spezifische Determinanten, daß sie nach Einschätzung des Verf. nicht rechtfertigen, von einer eigenständigen Theorie zur Fundierung der Netzplantechnik zu sprechen. Allerdings wird eingeräumt, daß der Begriff der "eigenständigen Theorie" hier nicht präzise definiert wird, so daß auch die ausgesprochenen Urteile nur unscharfe Geltung beanspruchen können. Eine definitorische Präzisierung würde jedoch derart umfangreiche wissenschaftstheoretische Vorarbeiten erfordern, daß sie dem Verf. im Hinblick auf einen Randaspekt der vorliegenden Arbeit nicht gerechtfertigt erscheinen.

2 Abgrenzung der Petrinetze von Netzplänen in bezug auf die Modellierung von Systemen

2.1 Die Modellierungsfähigkeit von Netzplänen als Bezugspunkt

Auf der zweiten der eingangs angeführten Abgrenzungsebenen gilt es zu untersuchen, ob die zuvor aufgezeigten definitiven Differenzen pragmatische Relevanz hinsichtlich der Konzeptanwendung zur Modellierung von Systemen besitzen. Zunächst überrascht, daß seitens der Autoren, die zur Abgrenzung von Petrinetzen und Netzplänen Stellung beziehen, primär nicht etwa auf diese Differenzen eingegangen wird. Vielmehr wird vorrangig darauf hingewiesen, daß mit Hilfe von Petrinetzen alle Sachverhalte bewältigt werden könnten, die sich auch durch Netzpläne behandeln lassen¹²⁾. Diese Urteile erweisen sich jedoch in dreifacher Hinsicht als ergänzungsbedürftig.

Erstens wird kein strenger Beweis für die vorgetragene Behauptung geführt. Stattdessen wird an die Zustimmung des Lesers appelliert, die "Offensichtlichkeit" der Richtigkeit angenommen oder eine simple, aber nicht stringente Zuordnung der Komponenten von Netzplänen und Petrinetzen vorgenommen¹³⁾. Hierbei überrascht - angesichts der Diskrepanz zwischen temporaler Struk-

12) Vgl. Rosenstengel (1982), S. 49f., in bezug auf die Klasse aller deterministischen Netzpläne; Pagnoni (1985a), S. 135, hinsichtlich der GERT-Netzpläne (aus der Klasse der stochastischen Netzpläne).

13) Vgl. Rosenstengel (1982), S. 49, mit der Zuordnung von Knoten eines Netzplans zu den Transitionen ("Ereignisse") eines Petrinetzes und von Netzplan-Kanten zu Petrinetz-Stellen ("Zustände"). Diese Zuordnung ist unzureichend, weil sie erstens auf deterministische Netzpläne explizit beschränkt wird, zweitens die Kanten von Petrinetzen in keiner Weise berücksichtigt, drittens die Einführung von Zeitgrößen (Terminen, Fristen) in Petrinetze unterläßt, viertens die Erfassung unterschiedlicher Anordnungsbeziehungen nicht thematisiert und fünftens bei der Anwendung auf Netzpläne mit Vorgangs-Kanten inkonsistent wäre. Denn die Abbildung von Vorgangs-Kanten auf Stellen eines Petrinetzes würde der materiellen Interpretation dieser Stellen als passive Systemelemente grundsätzlich widersprechen.

turierung von Netzplänen und kausal-atemporaler Strukturierung von Petrinetzen - vor allem, daß an keiner Stelle die Schwierigkeit erwähnt wird, den Zeitgrößen¹⁴⁾ von Netzplänen entsprechende Komponenten von Petrinetzen zuzuordnen¹⁵⁾. Zweitens werden keine expliziten Aussagen getroffen, ob beiden Konzepten hinsichtlich der gemeinsam erfaßten Sachverhalte die gleiche Güte zukommt. Hierbei wäre auf die unterschiedlichen Netzdefinitionen zu reflektieren. Drittens bleibt die weitergehende Frage unbeantwortet, ob - abermals im Hinblick auf definitorische Differenzen - Sachverhalte existieren, deren Bewältigung zwar durch Petrinetze, nicht aber durch Netzpläne möglich ist.

Der Nachweis, daß sich das Petrinetz-Konzept tatsächlich als (mindestens) so mächtig erweist wie die Netzplantechnik¹⁶⁾, ist vor allem infolge des Umstands schwierig, daß die Varianten der Netzplantechnik zu meist weniger streng formalisiert vorliegen als die verschiedenen Petrinetz-Typen. Ein exakter Vergleich ist aber im allgemeinen nur auf der Basis gleich tiefer Konzeptformalisierung problemlos. Denn nicht-formale, in der Regel natürlichsprachliche Konzept-Beschreibungen bilden wegen der Möglichkeit von Interpretations-

14) Hierbei handelt es sich um Anfangs- oder End-Terminne von Vorgängen und um Minimal- oder Maximal-Fristen von Anordnungsbeziehungen.

15) Dieser erstaunliche Sachverhalt wird noch dadurch verstärkt, daß von den meisten der Verf., die sich zur Beziehung von Netzplantechnik und Petrinetz-Konzept äußern, noch nicht einmal auf eine Variante der Zeit-Petrinetze reflektiert wird; vgl. z.B. Rosenstengel (1982), S. 49.

16) Der etablierte Begriff der Netzplan"technik" wird beibehalten, obwohl inhaltlich das gesamte Netzplan-Konzept angesprochen ist. Dieses Konzept wird als bekannt vorausgesetzt; Näheres hierzu z.B. bei Küpper, W. (1975); Altrogge (1979); Runzheimer (1986), S. 159ff.

spielräumen umgangssprachlicher Formulierungen zumeist keine präzise Vergleichsgrundlage¹⁷⁾.

Hinzu kommt die Schwierigkeit, daß sich keine Variante der Netzplantechnik in dem Sinne als dominant erweist, daß sie mindestens so mächtig wie jede andere Netzplan-Variante ist. Daher müßte das Petrinetz-Konzept in Beziehung zu mehreren Netzplan-Varianten gesetzt werden, und zwar zu allen nicht-dominierten Varianten¹⁸⁾.

Ein vollständiger Nachweis, daß das Petrinetz-Konzept (mindestens) alle Sachverhalte zu bewältigen vermag, die von den nicht-dominierten Varianten der Netzplantechnik erfaßt werden, wurde bislang noch nicht explizit geführt. Es liegen jedoch Vorarbeiten vor, auf

17) Ein Beispiel für diese natürlichsprachliche Ungenauigkeit stellt der unten erörterte Fall der sogenannten "Entscheidungs"-Netzpläne dar. Diese drücken nämlich keine Entscheidungen - im Sinne der formal präzise definierten Entscheidungstheorie - aus, sondern beinhalten lediglich stochastisch bedingte Ablaufvarianten. Vgl. zur unreflektierten Gleichsetzung von "Entscheidungs"-Netzplänen mit dem Vorhandensein stochastischer Ablaufstrukturen z.B. DIN 69900 (1980), S. 346. Eine korrekte Formalisierung des Entscheidungsbegriffs würde dieses Mißverständnis aufdecken.

18) Eine Variante heißt nicht-dominiert, wenn keine Alternative existiert, deren Mächtigkeit die der betrachteten Variante echt übertrifft. Eine solche nicht-dominierte Variante braucht ex definitione - wie es bei der Netzplantechnik der Fall ist - keinesfalls dominant zu sein.

deren Grundlage sich nachweisen läßt¹⁹⁾, daß ein fortentwickelter Petrinetz-Typus²⁰⁾ - die Synthetischen Netze - (mindestens) so mächtig ist wie zwei nicht-dominierte Varianten der Netzplantechnik: die Klassen der

-
- 19) Diesbezüglich befindet sich ein interner Arbeitsbericht des Verfassers in Vorbereitung. Er wird für den Typ der Synthetischen Netze aufzeigen, daß in der Schaltcharakteristik ($SC(t_1)$) von Transitionen t_1 jeweils deren logischer Verknüpfungstyp (VT_1) in konjunktiver (kon), adjunktiver (adj) oder disjunktiver (dis) Weise festgelegt wird. Dabei kann der Verknüpfungstyp sowohl von Transition zu Transition variieren als auch innerhalb derselben Transition zwischen Transitionsein- und -ausgang - sowie darüber hinaus zwischen Schaltvoraussetzung und -wirkung - unterschiedlich ausfallen. Mit diesen Verknüpfungstypen lassen sich alle logisch zulässigen Verknüpfungsweisen realisieren. Da der formale Darstellungsaufwand für solche Verknüpfungstypen beträchtlich ausfällt, wird hier auf deren explizite Erläuterung verzichtet (vgl. hierzu das o.a. zukünftige interne Papier zu Synthetischen Netzen). Der konkrete Nachweis, daß hiermit alle logisch zulässigen Verknüpfungsweisen erfaßt sind, wird in einer späteren umfassenderen Schrift zur Modellierung von Maschinenbelegungen bei Flexiblen Fertigungssystemen mit Hilfe von Synthetischen Netzen durch ein kombinatorisches Schema offengelegt. Diese logische Vollständigkeit läßt sich aber bereits aus den definitionem von Schaltvoraussetzung und -wirkung der Transitionen in Synthetischen Netzen ablesen, die komplexe Fallunterscheidungen für den in einer zu schaltenden Transition jeweils realisierten Verknüpfungstyp enthalten (vgl. auch hierzu das o.a. zukünftige interne Papier über Synthetische Netze).
- 20) In Pagnoni (1985a), S. 135f., findet sich bereits ein Algorithmus zur Übersetzung von GERT-Netzplänen in Petrinetze, der mit dem Typus der Stelle/Transition-Netze auskommt. Tatsächlich liegt aber noch kein allgemeingültiger Übersetzungsalgorithmus vor. Denn es erfolgt - ohne dies explizit als Prämisse anzuführen - eine Einschränkung auf die STEOR-Netzpläne. Diese stellen eine vereinfachte Version von GERT-Netzplänen dar, da die GERT-Knoten mit konjunktiver oder adjunktiver Verknüpfung ihrer Eingangskanten nicht berücksichtigt, sondern nur solche mit disjunktiver Verknüpfung zugelassen werden. Infolge dieser Vereinfachung liegt kein Nachweis für die o.a. Behauptung vor, mit der Hilfe von Petrinetzen lasse sich jeder Sachverhalt modellieren, der durch einen Netzplan abgebildet werden kann. Denn solche Sachverhalte, die sich nur durch allgemeine GERT-, aber nicht durch vereinfachte STEOR-Netzpläne modellieren lassen, werden von Pagnoni nicht erfaßt.

GERT⁻²¹⁾ und der PPS-Netzpläne²²⁾. Diese Klassen sind insofern wesentlich, als sie die bekanntesten Varianten der Netzplantechnik - so auch CPM-, MPM- und PERT-Netzpläne - als Spezialfälle umfassen. Dies ist ein starkes Indiz - obgleich kein vollständiger Nachweis - dafür, daß das Petrinetz-Konzept tatsächlich (mindestens) so mächtig wie die Netzplantechnik ist.

-
- 21) GERT für: Graphical Evaluation and Review Technique. Vgl. zu GERT-Netzplänen Czeranowsky (1974), S. 120ff.; Neumann, K. (1979), S. 18ff. Die - weit gefaßte - Definition von GERT-Netzplänen umfaßt auch die Klassen der CPM- und der PERT-Netzpläne (CPM für: Critical Path Method; PERT für: Program Evaluation and Review Technique). CPM-Netzpläne sind GERT-Netzpläne mit deterministischen Vorgangsdauern, konjunktiven Knotenein- und deterministischen Knotenausgängen. Für PERT-Netzpläne gilt Gleiches in bezug auf die Knoten; allerdings handelt es sich um GERT-Netzpläne mit stochastischen Vorgangsdauern und einer speziellen Vorgangsdauer-Verteilung (Beta-Verteilung).
- 22) PPS(-System) für: Projektplanungs- und -steuerungssystem. Vgl. zu PPS-Netzplänen Der Bundesminister der Verteidigung (1975). PPS-Netzpläne umfassen die - bekannteren - MPM Netzpläne als Sonderfälle, in denen nur Anfangsfolgen als Anordnungsbeziehungen zwischen Vorgängen erlaubt sind (MPM für: Metra Potential Methode).

2.2 Die Modellierungsgüte als Bezugspunkt

Ausgehend von der These, daß Petrinetze mindestens die gleiche Modellierungsfähigkeit wie Netzpläne besitzen, erhebt sich des weiteren die Frage, ob Petrinetz-Konzept und Netzplantechnik die gleiche Güte bei der Erfassung der gemeinsam abgedeckten Sachverhalte besitzen. Die Antwort erweist sich ambivalent im Hinblick auf die Modellierung von zeitbezogenen System-Determinanten einerseits und von Entscheidungsalternativen andererseits.

Die Modellierungsgüte der Netzplantechnik übertrifft die des Petrinetz-Konzepts im Hinblick auf die Abbildung zeitbezogener System-Determinanten eindeutig. Netzpläne basieren sowohl bezüglich ihrer Konstruktion als auch hinsichtlich ihrer Auswertung unmittelbar auf der Anschauungsform "Zeit". Sie sind auf die Modellierung von Systemen mit Hilfe eines zeitorientierten Erkenntnisrahmens speziell zugeschnitten. Die Anwender dieses Modellierungskonzepts sind an die temporale Denkweise zumeist derart gewöhnt, daß sie diese als "natürlich" oder "zwangsläufig" empfinden, sich dieser Prämisse ihres Erkennens von modellierungsbedürftigen Sachverhalten oftmals nicht einmal bewußt sind.

Der grundsätzlich atemporale, nur auf kausalen Beziehungen basierende Ansatz des Petrinetz-Konzepts zeigt allerdings, daß auch andere Erkenntnisrahmen möglich sind. Er zieht allerdings als Konsequenz nach sich, daß zeitbezogene Determinanten eines zu modellierenden Systems nicht durch originäre Netzbestandteile abgebildet werden können. Solche Determinanten erfordern Erweiterungen des Petrinetz-Konzepts, die stets zu erheblichen Verkomplizierungen - sowohl hinsichtlich des Basis-Typus der Stelle/Transition-Netze als auch im Vergleich zur Netzplantechnik - führen. Die zeitbezogene Auswertung von Petrinetzen erweist sich wesentlich aufwendiger als die gleiche Auswertung von Netzplänen. Daher ist die Modellierungsgüte des Petrinetz-Konzepts in dieser Hinsicht deutlich geringer als die der Netz-

plantechnik. Dies ist insofern bedeutsam, als die meisten betriebswirtschaftlichen Probleme zu ihrer Lösung die Modellierung und Auswertung von Systemen erfordern, in denen zeitbezogenen Determinanten eine große Rolle spielen.

Hinsichtlich der Modellierung von Entscheidungsalternativen ist die Modellierungsgüte der beiden verglichenen Konzepte entgegengesetzt zu beurteilen. Es wird des öfteren behauptet, bestimmte Varianten der Netzplantechnik - wie z.B. GAN- und GERT-Netzpläne - stellen "Entscheidungsnetzpläne" dar²³⁾. Bemerkenswert ist, daß eine formal präzise Definition dessen, was als Entscheidungssituation abgebildet werden kann, nicht erfolgt. Der Verf. folgt dem weithin anerkannten Paradigma der Entscheidungstheorie, von einer (echten) Entscheidungssituation genau dann zu sprechen, wenn ein Entscheidungsträger die Auswahl zwischen mindestens zwei Alternativen²⁴⁾ treffen muß. Unter dieser Voraussetzung bleibt festzustellen, daß die Netzplantechnik zwar die Modellierung von Entscheidungsalternativen grundsätzlich zuläßt. Diese Ansätze sind aber hinsichtlich der verfügbaren Auswertungsalgorithmen derart komplex, daß sie sich - wie etwa die DB-²⁵⁾ oder die Deci-

23) Vgl. z.B. Matthes (1979), Sp. 1336f.; Meyer, H. (1981), S. 1.

24) Der Alternativenbegriff wird - abweichend von seiner etymologischen Auslegung, welche auf die Existenz von genau zwei sich gegenseitig ausschließenden Fällen abzielt, - im entscheidungstheoretischen Verständnis verwendet. Er bezeichnet dann ein Exemplar aus einer Gesamtheit von beliebig vielen, aber mindestens zwei sich gegenseitig ausschließenden Fällen.

25) DB für: Decision Box; vgl. zu DB-Netzplänen Eisner (1962), S. 115ff.; Czeranowsky (1974), S. 117ff.

sion-CPM-Netzpläne²⁶⁾ - nicht durchzusetzen vermochten²⁷⁾.

Vielmehr dominieren diejenigen "Entscheidungsnetzpläne", die dem Anspruch ihrer Bezeichnung nicht gerecht werden. Es handelt sich hierbei vor allem um GAN-²⁸⁾ und GERT-Netzpläne. Solche Netzpläne verfügen über Knoten mit nicht-deterministisch verknüpften Ausgangskanten. Diese Art von Knoten-Kanten-Komplexen könnte grundsätzlich benutzt werden, um Entscheidungsalternativen zu modellieren. In der entsprechenden Li-

26) CPM für: Critical Path Method; vgl. zu Decison-CPM-Netzplänen Crowston (1967), S. 407ff.; Crowston (1970), S. 435ff.; Chapman (1972), S. 345ff.

27) Ein Indiz für diese Komplexität der Auswertung von Netzplänen mit echten Entscheidungsalternativen kann auch darin gesehen werden, daß der Auswertungsaufwand von stochastischen Netzplänen drastisch ansteigt, sobald von ihren einfachsten stochastischen Basisvarianten in Richtung auf Entscheidungssituationen abgewichen wird. (Die vorsichtige Formulierung der Entscheidungsrichtung drückt aus, daß der Verf. diesen Erweiterungen der Basisvarianten nicht die Qualität echter Entscheidungsnetzpläne zuerkennen kann; Näheres hierzu auf den folgenden Seiten.) Diese Komplexitätszunahme stellt sich z.B. bei GERT-Netzplänen ein, wenn ihre Basisvariante der STEOR-Netzpläne verlassen wird (auf diesen Netzplan-Typus wird nachfolgend zurückgekommen). Vgl. hierzu die aufwendigen Auswertungsalgorithmen für GERT-Netzpläne ohne spezielle STEOR-Charakteristik, die z.B. bei Neumann, K. (1979), S. 172ff., beschrieben werden.

Vgl. insbesondere auch die Hinweise von Neumann, K. (1979), S. 172 u. 233, daß solche allgemeinen GERT-Netzpläne meistens nicht mehr mit praktisch akzeptablen Ressourceneinsatz analytisch ausgewertet, sondern nur noch simulativ erforscht werden könnten. Vgl. auch Quichaud (1987), S. 308ff. Dort wird ein neuartiger Algorithmus vorgestellt, der zwar noch nicht die allgemeinen GERT-Netzpläne auszuwerten gestattet, aber auch nicht mehr auf die Auswertung von STEOR-Netzplänen beschränkt ist. Dieser Algorithmus erweitert STEOR-Netzpläne um Knoten mit konjunktiv verknüpften Eingangs- und deterministischen Ausgangskanten. Bemerkenswert ist vor allem, daß diese Verallgemeinerung des Auswertungsalgorithmus zum Verlust der Lösungsgarantie führt. Denn seine Anwendung führt nur noch in den meisten, aber nicht mehr notwendig in allen Fällen zur Lösung der vorgegebenen Auswertungsprobleme; vgl. Quichaud (1987), S. 308 u. 315.

28) GAN für: Generalized Activity Network; vgl. zu GAN-Netzplänen Elmaghraby (1964), S. 495ff.

teratur wird jedoch stets "nicht-deterministisch" mit "stochastisch" identifiziert²⁹⁾, indem über den Ausgangskanten eines Komplexes jeweils eine Wahrscheinlichkeitsverteilung definiert wird³⁰⁾. Diese Verteilung gibt an, mit welcher Eintrittswahrscheinlichkeit die Alternativen, die von den zugehörigen Kanten vertreten werden, realisiert werden können. Hierdurch wird die Auswahl einer Entscheidungsalternative dem Entscheidungsträger entzogen und dem abstrakten Mechanismus eines Spiels mit Zufallszahlengenerator und - theoretisch - unendlich vielen Spielwiederholungen übertragen. Das Ergebnis der Auswertung solcher "Entscheidungsnetzpläne" ist nicht mehr die Empfehlung an den Entscheidungsträger, genau eine³¹⁾ Entscheidungsalternative auszuwählen, sondern nur eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über allen Entscheidungsalternativen³²⁾. Nach Ansicht des Verf. kann hier nicht mehr von

-
- 29) Diese Identifizierung wird besonders deutlich bei Elmaghraby (1964), S. 496, mit der Behauptung, ein Knoten, über dessen alternativen Ausgangskanten eine Wahrscheinlichkeitsverteilung definiert ist, sei 'equivalent to Eisner's "decision box".' Bei der letztgenannten handelt es sich um Knoten mit alternativen Ausgangskanten, die im Rahmen von GAN-Netzplänen (auch) zur Modellierung von echten Entscheidungssituationen herangezogen werden.
- 30) Dies gilt beispielsweise für die weit verbreiteten GERT-Netzpläne, vor allem hinsichtlich ihrer vorherrschenden Variante, den STEOR-Netzplänen (STEOR für: stochastic exclusive or). In solchen STEOR-Netzplänen ist über den alternativen Ausgangskanten von nicht-deterministischen Knoten stets eine Wahrscheinlichkeitsverteilung definiert. Vgl. Neumann, K. (1979), S. 45ff., zur Bedeutung und Auswertung von STEOR-Netzplänen im Rahmen des GERT-Konzepts.
- 31) Es kann auch die Wahl zwischen mehreren ausgezeichneten Entscheidungsalternativen offen gelassen werden, sofern diese Alternativen in bezug auf das Zielsystem in gleicher Weise nicht-dominiert (im Kontext der Entscheidungstheorie: "optimal") sind.
- 32) Vgl. Fortan werden Entscheidungssituationen oder Netzpläne, in denen jeweils eine Entscheidungsalternative ausgewählt wird, als "echte" Entscheidungssituationen bzw. "echte" Entscheidungsnetzpläne bezeichnet. Andernfalls - insbesondere auch bei Ableitung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung über allen Entscheidungsalternativen - wird von "unechten" Entscheidungssituationen bzw. "unechten" Entscheidungsnetzplänen gesprochen.

einer befriedigenden Modellierung solcher Entscheidungssituationen gesprochen werden. Denn das Ergebnis der Netzplan-Auswertung - die Wahrscheinlichkeitsverteilung über allen Entscheidungsalternativen - entspricht nicht mehr dem Auswertungszweck, eine Entscheidungsalternative zur Auswahl zu empfehlen. Daher ist der Sprachregelung mehrerer Autoren zu folgen, die solche "Entscheidungsnetzpläne" mit überlagerter Wahrscheinlichkeitsverteilung von vornherein als Stochastische Netzpläne bezeichnen³³⁾.

Anders verhält es sich im Rahmen des Petrinetz-Konzepts. Hier läßt es die konfliktionäre Aktivierung von Transitionen explizit und unmittelbar zu, Entscheidungsalternativen als Schaltakte konfliktionär aktivierter Transitionen zu modellieren. Durch die Erreichbarkeitsanalyse ist es möglich, die Konsequenzen hinsichtlich der - vorerst hypothetischen - Auswahl einer Alternative in bezug auf das gesamte Verhalten des modellierten Systems zu untersuchen. Entsprechend läßt sich durch Vergleich der Konsequenzen aller Alternativen eine endgültige Auswahl-Empfehlung unterbreiten.

Hinzu kommt die größere strukturelle Transparenz von Petrinetzen bei der Modellierung von Entscheidungssituationen. In Entscheidungsnetzplänen werden mit der Hilfe von strukturgleichen nicht-deterministischen Knoten-Kanten-Komplexen sowohl echte Entscheidungssituationen (nicht-deterministische "Knoten"³⁴⁾ i.e.S.) dargestellt als auch unechte Entscheidungssituationen, in denen die Entscheidungsalternativen von einer Wahrscheinlichkeitsverteilung überlagert werden (stochastische Knoten oder nicht-deterministische Knoten i.w.S.).

33) Vgl. z.B. Küpper, W. (1979), Sp. 1344; Matthes (1979), Sp. 1336f., der präzisierend von ablaufstochastischen Netzplänen spricht (als Abgrenzung zu den Netzplänen mit stochastischen Vorgangsdauern), allerdings in Sp. 1336f. den Begriff des Entscheidungsnetzplans - anscheinend synonym - wieder verwendet.

34) Der Terminus "Knoten" wird in Anlehnung an die Literatur zur Netzplantechnik verwendet, obwohl es sich - wie bereits oben erläutert - um Knoten-Kanten-Komplexe handelt.

Hierdurch werden materiell unterschiedliche Phänomene in gleichartigen (Sub-)Strukturen eines Netzplans vermengt. Bei der Verwendung von Petrinetzen werden dagegen verschiedenartige Netzkomponenten verwendet, um nicht-deterministische Sachverhalte i.e.S. einerseits und stochastische Sachverhalte andererseits deutlich auseinanderzuhalten. Erste werden als konfliktionäre Aktivierungen von Transitionen abgebildet, letzte dagegen als Wahrscheinlichkeitsverteilungen über den Schaltakten von konfliktionär aktivierten Transitionen, die zu stochastischen Konfliktauflösungen führen.

Ungeachtet der grundsätzlichen Modellierungsfähigkeit der Netzplantechnik in bezug auf Entscheidungsalternativen offenbart das Petrinetz-Konzept also eine deutlich höhere Modellierungsgüte³⁵⁾. Dies erklärt sich aus dem Umstand, daß nur das Petrinetz-Konzept Stellen und Marken als Bestandteile der Netzdefinition kennt. Denn konfliktionär aktivierte Transitionen sind dadurch definiert, daß sie um knappe Marken ihrer gemeinsamen

35) Es wird nicht verkannt, daß die Untersuchung von Entscheidungsalternativen auch im Rahmen des Petrinetz-Konzepts sehr aufwendig werden kann. Im Gegensatz zur Netzplantechnik, in der sich die Behandlung "echter" Entscheidungssituationen infolge nicht mehr bewältigter Komplexität nicht durchzusetzen vermochte, existieren jedoch Petrinetz-Analysen, die auf den Umgang mit diesen Entscheidungssituationen nicht verzichten, wie z.B. die Erreichbarkeitsanalyse.

Strenggenommen handelt es sich um einen Unterschied der Modellierungsgüte nur in praktischer, nicht aber in theoretischer Hinsicht. Denn die Auswertungsalgorithmen von Netzplänen, die echte Entscheidungssituationen erfassen, und von gleichartigen Petrinetzen unterliegen aus der Sicht der Komplexitätstheorie der gleichen exponentiellen Explosion ihres Ressourcenbedarfs bei wachsender Netzgröße. Aber im praktischen Umgang mit Petrinetzen setzte sich dennoch mit der Erreichbarkeitsanalyse ein derart komplexes Analyseinstrument - neben anderen - durch, während ein vergleichbarer Analysealgorithmus für echte Entscheidungsnetzpläne keine Verbreitung fand. Vgl. zum letzten auch die frühere Anmerkung zu dem Sachverhalt, daß GERT-Netzpläne nur in der Basisvariante der STEOR-Netzpläne, die nur stochastisch überformte, also unechte Entscheidungssituationen abbilden, praktisch eingesetzt werden, weil die Auswertungsalgorithmen für allgemeine GERT-Netzpläne zu komplex seien.

Eingangsstellen oder um knappe Marken-Kapazitäten ihrer gemeinsamen Ausgangsstellen konkurrieren.

Die Modellierungsgüte von Petrinetzen übertrifft diejenige von Netzplänen auch hinsichtlich des Aspekts der Auswertungshomogenität. Ein Konzept wird als auswertungshomogen bezeichnet, wenn gleichwertige Auswertungszwecke mit der Hilfe von gleichwertigen Auswertungsmethoden erfüllt werden. Dies ist in bezug auf die Netzplantechnik der Fall, sofern die Termin-, die Kapazitäts- und die Kostenplanung als gleichwertige Auswertungszwecke betrachtet werden. Im Rahmen der Netzplantechnik dominieren die Methoden der Terminplanung. Denn sowohl Kapazitäts- als auch Kostenplanung werden letztlich auf Komponenten der Terminplanung zurückgeführt.

Wenn Kapazitätsrestriktionen knapper Ressourcen wirksam werden, erfolgt eine Ergänzung des ursprünglichen Netzplans um weitere Anordnungsbeziehungen. Diese stellen sicher, daß die jeweils betroffenen Vorgänge zeitlich so weit verschoben werden, daß die Kapazitätsrestriktionen eingehalten werden. Es handelt sich hierbei um artifizielle Konstrukte, da die Knappheit einer Ressource, die keineswegs zeitabhängig definiert sein muß, in eine Anordnungsbeziehung transformiert wird, die im Rahmen der Netzplantechnik stets eine zeitliche Präzedenzbeziehung ausdrückt. Dies beeinträchtigt die Modellierungsgüte der Netzplantechnik nicht nur im Hinblick auf die o.a. Auswertungshomogenität, sondern auch im Hinblick auf die Forderung nach "adäquater" Modellierung³⁶⁾.

Kostenbezogene Auswertungen eines Netzplans beziehen sich immer auf die Untersuchung derjenigen Kostenwirkungen, die von Operationen des Verschiebens, Beschleunigens oder Verzögerns von Vorgängen ausgehen. Somit bezieht sich die Kostenplanung stets auf eine vorgegebene - gegebenenfalls auch nachträglich modifizierte - Terminplanung. Dies hat zur Folge, daß nur solche Ko-

36) Eine Adäquanzverletzung liegt vor, wenn die atemporale Qualität einer Ressource aus dem Modellierungsobjekt auf eine temporale Anordnungsbeziehung im Netzplan abgebildet wird.

sten erfaßt werden können, die mit der "zeitverbrauchenden" Ausführung von Vorgängen verknüpft sind.

Im Rahmen des Petrinetz-Konzepts lassen sich dagegen Termine, Ressourcen und Kosten durch Marken-Attribute in einheitlicher Weise erfassen. Abstrakte Auswertungs-algorithmen - etwa die o.a. Erreichbarkeitsanalyse - erstrecken sich nur auf das Objekt "Marken-Attribut", nicht aber auf dessen materielle Interpretation als Termin-, Ressourcen- oder Kosten-Angabe. Hierdurch wird das Gütekriterium der Auswertungshomogenität erfüllt. Ebenso werden artifizielle Konstrukte, wie die o.a. zusätzlichen Anordnungsbeziehungen zur Einhaltung von Kapazitätsrestriktionen, vermieden³⁷⁾. Hierdurch erfüllt das Petrinetz-Konzept das Gütekriterium der Modellierungsadäquanz in höherem Ausmaß als die Netzplantechnik.

Es zeigt sich nachträglich, daß die oben bemängelte atemporale Kausalstruktur von Petrinetzen durchaus als Positivum betrachtet werden kann. Zwar geht durch sie der Spezialisierungsvorteil der Netzplantechnik, zeitbezogene Auswertungen von Netzen relativ effizient verwirklichen zu können, verloren. Doch bedeutet gerade der Verzicht auf eine temporal spezialisierte Netzstruktur, daß zeitbezogenen Determinanten des zu modellierenden Objekts keine Vorrangstellung mehr eingeräumt wird. Solche Determinanten werden in der gleichen Weise ausgewertet wie alle anderen, atemporalen Determinanten. Termin-, Kapazitäts- und Kostenplanung verschmel-

37) Des weiteren werden "Scheinvorgänge" als artifizielle Konstrukte einer speziellen Variante der Netzplantechnik - dem Konzept der CPM-Netzpläne - obsolet.

zen zu Interpretationsvarianten eines einheitlichen Auswertungsalgorithmus für Marken-Attribute³⁸⁾.

38) Auf diese Weise wird der Spezialisierungsvorteil der Netzplantechnik in bezug auf die Terminplanung hinsichtlich der Gesamtheit aus Termin-, Kapazitäts- und Kostenplanung kompensiert. Denn es brauchen nicht drei unterschiedliche Auswertungsalgorithmen gestaltet zu werden, sondern nur einer. Ob dieser Effekt allerdings die Effizienzvorteile der Netzplantechnik unterkompensiert, genau ausgleicht (kompensiert i.e.S.) oder überkompensiert, müßte in einer gesonderten Untersuchung festgestellt werden, die den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würde. Die Effizienzvorteile der Netzplantechnik liegen nicht nur in dem Vorteil der Terminplanung begründet, daß die Ablaufstruktur von Netzplänen auf zeitbezogene Anordnungsbeziehungen spezialisiert ist. Vielmehr sind auch die Algorithmen der Kapazitäts- und Kostenplanung - jeweils isoliert betrachtet - weniger komplex als der abstrakte Auswertungsalgorithmus der Erreichbarkeitsanalyse von Petrinetzen. (Aus der höheren Komplexität folgt - bei gleichem Ergebnis der Algorithmusanwendung - eine geringere algorithmische Effizienz, weil die Komplexität von Algorithmen in Abhängigkeit vom Ressourceneinsatz der Algorithmusausführung definiert ist; vgl. Zelewski (1986d), S. 2f.)

Ferner wird die Modellierungsgüte des Petrinetz-Konzepts dadurch erhöht, daß es sich bei den Marken-Attributen um ein prinzipiell offenes Konzept handelt³⁹⁾. Ohne Auswertungsalgorithmen für Petrinetze mit Marken-Attributen formal verändern zu müssen, können - je nach Auswertungszweck - die Marken um zusätzliche Attribute erweitert werden. Eine obere Beschränkung der Attribut-Anzahl besteht nicht. Auf diese Weise läßt sich z.B. als viertes Marken-Attribut die Einflußgröße "Zahlungswirksamkeit" einführen. Hierdurch wird eine parallele Kosten- und Liquiditätsplanung ermöglicht. Im Rahmen

39) Das Petrinetz-Konzept erweist sich noch in einer weiteren Hinsicht als offen. Seine Auswertung beruht im wesentlichen auf der Erreichbarkeitsanalyse. Diese beruht auf der Suche nach ausgezeichneten Lösungen in einem abstrakten Suchraum, der durch den Erreichbarkeitsgraphen in bezug auf das jeweils vorgegebene Auswertungsproblem aufgespannt wird. Eine solche Suche stellt ein sehr allgemeines Konzept der Graphentheorie, der Kombinatorik und der Erforschung der Künstlichen Intelligenz dar. Es erlaubt die befruchtende Einkopplung von Erkenntnissen, die im Rahmen dieser Disziplinen hinsichtlich der Lösung von Suchproblemen erarbeitet wurden, in das Petrinetz-Konzept. Als pars pro toto sei die Möglichkeit einer bidirektionalen Suche in Erreichbarkeitsgraphen erwähnt, die sich im allgemeinen effizienter erweist als die konventionelle unidirektionale Suche. Vgl. zu diesen Suchkonzepten, die vor allem in Kontext der Künstlichen Intelligenz fortentwickelt werden, Zelewski (1986a), S. 253f. u. 672f., sowie die dort angegebenen Quellen.

Diese Offenheit gegenüber der Einkopplung von Erkenntnissen anderer Disziplinen kommt zwar auch der Netzplantechnik zu, weil ihre Auswertungsalgorithmen ebenso als Suchen in abstrakten Suchräumen formuliert werden können. Doch ist hier die Konzeptoffenheit weniger deutlich ausgeprägt als beim Petrinetz-Konzept. Während die Erreichbarkeitsgraphen unmittelbar die Struktur von Suchräumen erkennen lassen, sind die Auswertungsalgorithmen der Netzplantechnik als Iterationen von Extremierungs-Operationen strukturiert, die sukzessiv auf alle Netzknoten angewendet werden. Das Erkennen der Möglichkeit, diese iterativen Algorithmen in leistungsäquivalente Suchalgorithmen zu transformieren, setzt profunde Kenntnisse algorithmischer Konzepte voraus.

der Netzplantechnik existiert eine derart problemlose Erweiterung um neuartige Auswertungszwecke nicht⁴⁰⁾.

Ein weiteres Gütekriterium ohne allgemeine modelltheoretische Geltung läßt sich speziell im Hinblick auf den häufigsten Anwendungszweck der Netzplantechnik, die Planung und Steuerung der Ausführung von Projekten, untersuchen. Es handelt sich um die Art und Weise, in der die simultane Planung und Steuerung mehrerer, wechselseitig abhängiger Projekte möglich ist. Eine solche Projektabhängigkeit beruht zumeist auf einer losen Kopplung zwischen Projekten, die gemeinsam um den Einsatz knapper Ressourcen konkurrieren.

Im Rahmen der Netzplantechnik können solche Multiprojekt-Systeme - wie die Variante der RAMPS-Netzpläne⁴¹⁾ demonstriert - zwar modelliert werden. Doch führt dies zu einer derart großen Verkomplizierung der Modellbildung und -auswertung, daß sich solche Netzpläne in der Praxis nicht durchzusetzen vermochten. Die Berücksichtigung von Marken-Arten erlaubt es hingegen, in Petrinetzen ohne Schwierigkeiten die Ausführung mehrerer Projekte zugleich zu modellieren. Zu diesem Zweck braucht nur jedes Projekt auf ein eigenes Teilnetz abgebildet zu werden. Die lose Kopplung dieser Projekt-(teil)netze erfolgt dann über die schaltbedingte Konkurrenz der jeweils zugehörigen Transitionen um Marken. Diese Marken repräsentieren unterschiedliche, von den

40) Allerdings wird nicht verkannt, daß im Kontext der Netzplantechnik auch Ansätze zur Einbeziehung von Zahlungsgrößen existieren. Vgl. hierzu beispielsweise die Arbeiten von *Matthes* zu Produktionsfunktionen vom Typ F und - als deren konzeptionelle Ausweitung, deren Bezug zur Netzplantechnik zunehmend verblaßt, - zur integrierten Einzelprozeßrechnung: *Matthes (1979b)*, S. 11ff., insbesondere S. 18ff.; *Matthes (1983)*, S. 18ff., insbesondere S. 35ff.; *Matthes (1985c)*, S. 6ff. Diese zahlungsorientierten Fortentwicklungen von Netzplänen führen jedoch zu einer erheblichen Steigerung der Netzplankomplexität (vgl. hierzu die vorgenannten Quellen), so daß nicht die - oben für Petrinetze angeführte - *problemlose* Erweiterungsmöglichkeit besteht.

41) RAMPS für: Ressource Allocation and Multi-Object Scheduling; vgl. zu RAMPS-Netzplänen *Lambourn (1963)*, S. 300ff.; *Moshman (1963)*, S. 17ff.

Projekten in der Regel gemeinsam genutzte oder verbrauchte Ressourcen mit knappen Kapazitäten bzw. Verfügbarkeiten.

Das Petrinetz-Konzept erweist sich auch im Hinblick auf das Gütekriterium der Vergrößerungs- und Verfeinerungsmöglichkeit gegenüber der Netzplantechnik als überlegen. Dieses Kriterium stellt an ein Modellierungskonzept die Anforderung, das zu modellierende System - je nach Modellierungszweck - auf unterschiedlich abstrakte Weise abbilden zu können. Im Rahmen der Netzplantechnik ist eine Verfeinerung bereits vorhandener, noch grob modellierter Netzpläne nicht vorgesehen. Eine Abstrahierungsmöglichkeit besteht zwar durch die Bildung von "Meilensteinen". Doch liegt dieser Meilenstein-Technik kein formal präzise definierter Algorithmus zugrunde, sondern eine intuitiv-anschauliche Vorgehensweise. Diese erlaubt nur einfache Abstraktionen, die noch mit dem "gesunden Menschenverstand" ohne formal-algorithmische Hilfestellung ausgeführt werden können. Daher wird bei praktischen Anwendungen der Netzplantechnik in der Regel nur höchstens eine Abstraktionsebene als "Meilenstein-Netzplan" gebildet.

Für das Petrinetz-Konzept wurden dagegen seitens der Allgemeinen Netztheorie Netzmorphismen entwickelt⁴²⁾. Mit der Hilfe dieser abstrakten Abbildungen ist es möglich, formale Algorithmen zu konstruieren, welche ein gegebenes Petrinetz-Modell - in seiner Gesamtheit oder hinsichtlich beliebiger Ausschnitte - verfeinern oder vergrößern. Auf diese Weise können komplexe Modellhierarchien gebildet werden, die ein zu modellierendes System auf zahlreichen Abstraktionsebenen abbilden. Der verfeinernde oder vergrößernde Übergang zwischen solchen Ebenen wird durch die Netzmorphismen präzise definiert. Sie stellen sicher, daß das Modellverhalten auf allen Abstraktionsebenen trotz veränderter Modellstrukturen bezüglich derjenigen Verhaltensaspekte, die von Struktur-Verfeinerungen oder -Vergrößerungen jeweils nicht betroffen sind, unverändert erhalten bleibt.

42) Vgl. z.B. Berthelot (1987), S. 360ff.

2.3 Die Modellierungsfähigkeit von Petrinetzen als Bezugspunkt

Schließlich ist zu untersuchen, ob Sachverhalte existieren, die mit der Hilfe von Petrinetzen abgebildet werden können, nicht aber durch eine der o.a. Netzplantechnik-Varianten.

Dies scheint zunächst in bezug auf Kapazitätsplanungen bei der Berücksichtigung von mindestens zwei knappen Ressourcen-Arten der Fall zu sein. Denn die Algorithmen zur kapazitätsbezogenen Auswertung von Netzplänen gehen immer von der Annahme aus, es müßten Zugriffskonflikte auf nur eine Ressourcen-Art gelöst werden. Das Petrinetz-Konzept erlaubt dagegen - etwa durch die Typen der Prädikat/Transition-Netze oder der Synthetischen Netze - die Berücksichtigung beliebig vieler Ressourcen-Arten. Jede Ressourcen-Art läßt sich durch ein eigenes Marken-Attribut repräsentieren.

Diese größere Mächtigkeit des Petrinetz-Konzepts ist aber nur scheinbar. Denn die Auswertungsalgorithmen der Netzplantechnik lassen sich ohne größere Schwierigkeiten auf die Berücksichtigung mehrerer Ressourcen erweitern⁴³⁾. Daher handelt es sich hierbei um eine unvollständige Explizierung der potentiellen Mächtigkeit, nicht aber um ein echtes Defizit der Netzplantechnik. Sofern der Explizierungsgrad der potentiellen Modellierungsfähigkeit als eine weitere Determinante der Modellierungsgüte angesehen wird, liegt hierin ein weiterer Qualitäts-Vorteil des Petrinetz-Konzepts.

43) Basiert ein solcher Auswertungsalgorithmus z.B. auf der Lösung eines Modells der Linearen Optimierungsrechnung, in dem die eine erfaßte Ressourcen-Art durch eine Restriktionsklasse modelliert wird, so kann auf mehrere Ressourcen-Arten dadurch übergegangen werden, daß entsprechend viele Restriktionsklassen angesetzt werden. An der Struktur des Auswertungsalgorithmus ändert diese Restriktions-Vervielfachung nichts.

Eine tatsächlich geringere Modellierungsmächtigkeit der Netzplantechnik liegt jedoch im Rahmen der Kostenplanung vor⁴⁴⁾. Es wurde bereits oben dargelegt, daß in Netzplänen infolge ihrer zeitlich ausgerichteten Spezialisierung nur solche Kosten abgebildet werden können, die durch Ausführen, Beschleunigen oder Verzögern von "zeitverbrauchenden" Vorgängen verursacht werden. In der Realität können jedoch durchaus Kosten eine wichtige Rolle spielen, die zu keiner der vorgenannten Kategorien zählen. Dies gilt insbesondere für Kosten der Kapitalbindung (kalkulatorische Zinsen) von Aufträgen, die - durch Ausführen eines (Bearbeitungs-)Vorgangs - bereits angearbeitet sind, aber auf eine weiterführende Bearbeitung (durch Ausführen eines Nachfolger-Vorgangs) warten müssen. Da die Netzplantechnik weder die Modellierung von Systemzuständen noch die von beweglichen Objekten kennt, können solche Wartezeiten von Aufträgen nicht modelliert und die hierbei verur-

44) Auf eine geringere Modellierungsfähigkeit der Netzplantechnik weist auch Rosenstengel (1982), S. 49, in der allgemeinen Weise hin, daß Petrinetze existieren, die nicht in Netzpläne "transformiert" werden können. Diese Argumentationsweise erachtet der Verf. jedoch als unbefriedigend. Erstens ist sie nicht konstruktiv, weil kein Beispiel für ein solches Petrinetz vorgelegt wird. Die behauptete Unmöglichkeit, es in einen Netzplan zu transformieren, kann so nicht nachgeprüft werden. Zweitens ist eine Transformierung im Sinne einer Abbildung immer möglich. Gemeint ist wohl die Unmöglichkeit, die Transformierung in der Weise vorzunehmen, daß ausgezeichnete Eigenschaften des Petrinetzes von der Transformierung nicht erhalten werden. Solche Eigenschaften werden aber nicht genannt, so daß deren Nicht-Erhaltung nicht überprüft werden kann. Drittens handelt es sich um eine rein formale Argumentationsweise, die nur auf Petrinetze und Netzpläne "an sich" Bezug nimmt, nicht aber auf die Systeme, die durch diese Netze modelliert werden. Für Urteile über die Mächtigkeit von Modellierungskonzepten hält es der Verf. aber für notwendig anzugeben, welche Aspekte der Modellierungsobjekte durch die Konzepte abgebildet werden können oder welche Aspekte sich nicht modellieren lassen.

sachten Kapitalbindungskosten nicht berücksichtigt werden⁴⁵⁾.

Im Rahmen des Petrinetz-Konzepts ist es dagegen möglich, wartende Aufträge als Marken zu modellieren, die - entsprechend zum jeweils aktuellen Systemzustand - auf einer Stelle verharren. Der Wert des Marken-Attributs, das die Auftragskosten ausdrückt, kann proportional zur verstreichenden Wartezeit um die anfallenden Kapitalbindungskosten erhöht werden⁴⁶⁾.

Die Modellierungsmächtigkeit des Petrinetz-Konzepts übertrifft die der Netzplantechnik des weiteren in bezug auf Deadlock-Situationen. In solchen Situationen konkurrieren mehrere Prozesse ("Vorgänge") um mindestens eine knappe Ressource derart, daß sie sich gegenseitig vom Ressourcenzugriff abhalten. Im Ergebnis kann keiner der Prozesse in seiner Ausführung fortgesetzt werden, wenn von exogenen Eingriffen in das System abgesehen wird. Das betrachtete System ist in eine Sackgasse geraten, in der kein Prozeß mehr ablaufen kann, insbesondere auch kein solcher Prozeß, der aus der Sackgasse wieder herausführen würde. Das System ist "tot".

Deadlock-Situationen sind in der gesamten Literatur zur Netzplantechnik unbekannt. Sie können auch grundsätzlich mit der Hilfe von Netzplänen nicht erfaßt werden. In ihnen wird der Zugriff auf und die Freigabe von

45) Es ist bemerkenswert, daß die Netzplantechnik trotz ihrer Spezialisierung auf die Modellierung zeitbezogener Sachverhalte eine bestimmte Zeitkategorie, die Wartezeiten, nicht abzubilden vermag. Der Grund hierfür liegt in der konzeptionellen Prämisse der Netzplantechnik, als zeitwirksame Modellkomponenten nur "zeitverbrauchende" Vorgänge zu berücksichtigen und als solche Vorgänge solche Prozesse zuzulassen, welche zu einer Veränderung des jeweils modellierten Objekts führen. Hierdurch versperrt sie sich aber den Zugang zur Modellierung von Warteprozessen, die per definitionem zu keiner Objektveränderung beitragen.

46) Voraussetzung ist allerdings, daß Zeit-Petrinetze der Art verwendet werden, die sie der Ableitung Synthetischer Netze zugrundegelegt werden. Zu diesen Petrinetzen befindet sich ein internes Arbeitspapier in Vorbereitung.

Ressourcen durch einen Prozeß nicht explizit modelliert, sondern in den Auswertungsalgorithmen implizit ausgeführt. Die mathematische Struktur dieser Auswertungsalgorithmen läßt die Berücksichtigung von Ressourcenzugriffen und -freigaben nicht zu. Denn diese Algorithmen sind stets arithmetischer Natur. Da im Rahmen der Algebra als einzige Objekte Zahlen definiert sind, läßt sie dem Umgang mit unterschiedlichen Objekt-Arten im allgemeinen⁴⁷⁾ nicht zu. Daher können die o.a. Zugriffskonflikte auf Objekte mindestens einer Ressourcen-Art nicht erfaßt werden.

Im Rahmen des Petrinetz-Konzepts können hingegen Deadlock-Situationen grundsätzlich modelliert und erkannt werden. Die explizite Erfassung von Ressourcen-Arten durch korrespondierende Marken-Attribute sowie die Abbildung einzelner Ressourcen-Objekte auf entsprechende Marken erlaubt es, Zugriff und Freigabe von Ressourcen explizit zu modellieren. Hierauf bauen Auswertungsalgorithmen auf, die es gestatten, gegebene Petrinetze daraufhin zu untersuchen, ob in dem jeweils mo-

47) Zwar lassen sich auch im arithmetischen Kontext Objekte unterscheiden. Zu diesem Zweck müßte aber auf die Eindeutigkeit der Zerlegung natürlicher Zahlen in Primfaktoren sowie auf die - hierauf basierende - Gödelisierungs-Operation zurückgegriffen werden. Dies führte aber zu überaus komplexen Auswertungsalgorithmen, die erstens ganzzahliger Natur sind, zweitens die Primfaktoren-Analyse umfassen müssen und drittens infolge der Gödelisierung der exponentiellen Explosion ihres Berechnungsaufwandes unterliegen. Diese Algorithmen stellen nur eine theoretische Denkmöglichkeit dar, die infolge ihrer Komplexität praktisch nicht durchgeführt werden kann. Dies wird durch den Tatbestand verdeutlicht, daß einige der zur Zeit fortschrittlichsten kryptographischen Algorithmen zur Nachrichtenver- und -entschlüsselung darauf beruhen, daß die o.a. Primfaktoren-Analyse prohibitiv aufwendig ist. Mit real verfügbaren Berechnungs-Ressourcen ist es extrem unwahrscheinlich, die erforderlichen Primfaktoren-Analysen mit einem Ergebnis abschließen zu können. Vgl. zu solchen kryptographischen "public key"-Algorithmen z.B. Rivest (1978), S. 122ff.; Hellmann (1979), S. 97ff. Infolge dieses praktischen Ausschlusses, mit algebraischen Algorithmen Objekte zu unterscheiden, die nicht unmittelbar auf Zahlen abgebildet sind, gilt die oben behauptete Modellierungsunmöglichkeit zumindest in bezug auf praktische Anwendungen der Netzplantechnik.

dellierten System ein Deadlock eintreten kann. Folglich erweist sich das Petrinetz-Konzept mächtiger als die Netzplantechnik. Dies gilt nicht nur hinsichtlich der oben behandelten Deadlock-Situationen, sondern in bezug auf alle Verhaltenspotentiale eines zu modellierenden Systems⁴⁸⁾, die durch Zugriff auf und Freigabe von Objekten bestimmt werden⁴⁹⁾.

Schließlich erlaubt das Petrinetz-Konzept die explizite Modellierung einer speziellen Variante von Entscheidungsalternativen, die als solche im Rahmen der Netzplantechnik zumeist gar nicht wahrgenommen, allenfalls nur teilweise - implizit - erfaßt wird. Es handelt sich um die Alternativen, den Beginn eines Vorgangs jeweils zu seinem frühest möglichen oder zu einem seiner später zulässigen Anfangs-Termine (sofern solche existieren) einzuplanen. Die Auswertungsalgorithmen der Netzplantechnik unterstellen zunächst immer die "Universal-Mindestlösung", der zufolge jeder Vorgang zu seinem frühest möglichen Anfangs-Termin gestartet wird. Nur wenn dies zu Verletzungen von Kapazitätsrestriktionen führt, wird ein Verschieben des Anfangs-Termins so weit durchgeführt, daß die Restriktionen wieder eingehalten werden. Ein Verschieben der Anfangs-Termine unabhängig von Restriktionsverletzungen ist dagegen nicht

48) Ein solcher weiterer Fall der Verhaltensanalyse von modellierten Systemen kann z.B. bei der Lebendigkeitsanalyse vorliegen. Sie erstreckt sich auf Systeme, deren Funktionsweise grundsätzlich niemals zu einem Stillstand gelangen soll. (Dies gilt z.B. für Überwachungssysteme.) Das Petrinetz-Modell eines solchen Systems wird - in einer natürlichsprachlichen Umschreibung der präzisen formalsprachlichen Lebendigkeitsdefinition(en) - als lebendig bezeichnet, wenn unter jeder erreichbaren Markierung mindestens eine Transition geschaltet werden kann, also im modellierten System in jedem Zustand mindestens eine Aktion ausgeführt werden kann.

49) Dieser Vorzug des Petrinetz-Konzepts klingt - obgleich in leicht divergierender Formulierung - auch bei Rosenstengel (1982), S. 49, an. Dort wird ebenfalls der Gebrauch von Marken als wesentlicher Grund für die größere Modellierungsfähigkeit des Petrinetz-Konzepts herausgestellt.

vorgesehen⁵⁰⁾. Die Modellierung dieses Freiheitsgrads kann aber durchaus wünschenswert sein⁵¹⁾.

Das Petrinetz-Konzept ist dagegen durch den Indeterminismus seiner Schaltregel gekennzeichnet, der dazu führt, daß eine aktivierte Transition schalten kann, aber nicht schalten muß. Der Beginn eines Vorgangs kann mit dem Schalten einer Transition identifiziert werden. Unter dieser Voraussetzung eröffnet der Schaltindeterminismus den Freiheitsgrad, eine aktivierte Transition zu schalten und den hierdurch modellierten Vorgang zu beginnen oder beides zu unterlassen. Der gleiche Freiheitsgrad besteht in allen Folgezeitpunkten, sofern auch dort die betrachtete Transition weiterhin aktiviert, d.h. der Beginn des modellierten Vorgangs immer noch zulässig ist. Daher werden die Entscheidungsalternativen bezüglich des Anfangs-Termins eines Vorgangs - im Gegensatz zur Netzplantechnik - vollständig erfaßt⁵²⁾.

Schließlich weist das Petrinetz-Konzept eine größere Modellierungsfähigkeit in bezug auf zwei Sachverhalte auf, die prima facie nur theoretische Bedeutung zu besitzen scheinen. Es handelt sich um die Möglichkeit, negativ-bedingte Aktionsanweisungen⁵³⁾ und Prioritäten über Vorgängen oder Ereignissen abzubilden. Diese Mo-

-
- 50) Daher werden die tatsächlich bestehenden Entscheidungsalternativen - d.h. die alternativen Anfangs-Termine eines Vorgangs - nur partiell modelliert.
- 51) Dies ist etwa der Fall, wenn die Kapitalbindungskosten eines Auftrags, der durch ein Produktionssystem geschleust wird, minimiert werden sollen. Dann kann es vorteilhaft sein, Bearbeitungsvorgänge, die zu zusätzlicher Kapitalbindung führen, so spät wie maximal zulässig zu beginnen.
- 52) In der Erreichbarkeitsanalyse eines Petrinetzes äußert sich dies in der Weise, daß die betroffene Transition an verschiedenen Knoten des Erreichbarkeitsgraphen durch Auswahl der zugehörigen Übergangskante zwischen zwei Markierungen geschaltet werden kann, aber nicht muß.
- 53) Eine negativ-bedingte Aktionsanweisung liegt vor, wenn eine Aktion nur dann ausgeführt werden darf, wenn eine - für sie charakteristische - Bedingung nicht erfüllt ist oder wenn ein Ereignis, das die Geltung dieser Bedingung bewirken würde, nicht eingetreten ist.

dellierungsaspekte werden seitens der Netzplantechnik überhaupt nicht erfaßt. Im Rahmen des Petrinetz-Konzepts spielen sie insofern eine große Rolle, weil einfache Petrinetz-Typen, wie z.B. die Stelle/Transition-Netze, hierzu auch nicht in der Lage sind. Fortentwickelte Netztypen - etwa die vom Verf. zur Zeit untersuchten Synthetischen Netze - erlauben dagegen, mit der Hilfe von Inhibitorkanten bzw. Prioritätsordnungen über den Schaltakten von Transitionen solche Sachverhalte zu repräsentieren.

Dies ist von großer theoretischer Bedeutung, als erst hierdurch das Petrinetz-Konzept die gleiche Modellierungsmächtigkeit wie das Konzept der Turing-Automaten erhält⁵⁴⁾, das als Vergleichsstandard für die Beurteilung des Abbildungspotentials von Modellierungskonzepten allgemein anerkannt ist. Darüber hinaus läßt sich aber auch für reale Probleme zeigen, daß die Fähigkeit zur Modellierung von negativ-bedingten Anweisungen oder Prioritäten von praktischem Interesse ist. Dies wird beispielsweise anhand des Problems deutlich, Maschinenbelegungen bei Werkstattfertigung zu planen. Hier spielen in der betrieblichen Praxis Prioritätsregeln für die Einlastung von Aufträgen, die jeweils vor derselben Maschine auf Bearbeitung warten, eine große Rolle. Solche Prioritätsregeln lassen sich in erweiterten Petrinetzen ohne Schwierigkeiten abbilden, nicht aber in Netzplänen. Gleiches gilt für die Modellierung von Inspektions- und Instandsetzungsmaßnahmen, die erst dann einzuleiten sind, wenn eine Maschine die Bedingung ihrer Betriebsbereitschaft nicht mehr erfüllt. Solche Maßnahmen erfordern die Möglichkeit, die o.a. negativ-bedingten Anweisungen abbilden zu können.

54) Zugleich folgt hieraus - in Verbindung mit der o.a. Unmöglichkeit, solche Sachverhalte im Rahmen der Netzplantechnik zu modellieren, - die Erkenntnis, daß Netzpläne nicht die Modellierungsmächtigkeit von Turing-Automaten besitzen.

3 Resümee

Zusammenfassend läßt sich das Petrinetz-Konzept von der Netzplantechnik - trotz scheinbarer großer Ähnlichkeit auf den ersten Blick - deutlich abgrenzen. Die Netzdefinition der Petrinetze ist gehaltreicher und umfassender formalisiert als die der Netzpläne. Petrinetze-Modelle werden hierdurch wesentlich komplexer und erfordern oftmals auch einen beträchtlich höheren Auswertungsaufwand als Netzpläne. Die modelltheoretische These, es bestehe ein "trade off" zwischen Ausdrucksreichtum und Komplexität der Modellbildung einerseits sowie Effizienz und - bei gleichem Auswertungsnutzen - Aufwand der Modellauswertung andererseits, wird bestätigt. Petrinetze erweisen sich bei der Modellbildung im Vergleich mit Netzplänen als abbildungstechnisch überlegen, dagegen bei der Modellauswertung als lösungstechnisch unterlegen.

Die graphischen Repräsentationen der Petrinetze und Netzpläne weichen hinsichtlich der Anzahl der Knoten-Arten fundamental voneinander ab. Soweit beide Netzdefinitionen formal übereinstimmen oder zu gleichen graphischen Repräsentationen führen, werden die Definitionskomponenten bezüglich ihrer funktionalen Bedeutungen in erheblich differierender Weise interpretiert. Die Modellierungsgüten beider Konzepte weisen bedeutsame Differenzen auf, aber keines vermag das jeweils andere zu dominieren.

Die Modellierungsfähigkeit von Petrinetzen übertrifft die von Netzplänen vor allem in bezug auf Wechselwirkungen zwischen Prozessen. Hierbei stehen die Abbildung von Ressourcen, die von den Prozessen gemeinsam beansprucht werden, sowie die Erfassung von Zeiträumen, in denen Prozesse auf andere Prozesse warten müssen, eine besondere Rolle. Trotz dieser zusätzlichen Model-

lierungsmöglichkeiten steht das Petrinetz-Konzept hinsichtlich anderer Aspekte hinter der Modellierungsfähigkeit der Netzplantechnik nicht zurück. Hieraus folgt ein größeres Erkenntnispotential des Petrinetz-Konzepts.