

Heft 107

R. Chen, A.-W. Scheer

**Modellierung von Prozeßketten mittels
Petri-Netz-Theorie**

Februar 1994

Modellierung von Prozeßketten mittels Petri-Netz-Theorie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Prozeßmodellierung im Rahmen des ARIS-Ansatzes	1
2.1 ARIS-Architektur.....	1
2.2 Festlegung der Ablauffolge in der Funktionssicht.....	3
2.3 Ablaufsteuerung in der Steuerungssicht.....	6
3. Prozeßkettenmodellierung mit Petri-Netzen.....	8
3.1 Und-Verknüpfung	9
3.2 Exklusive Oder-Verknüpfung	9
3.3 Inklusive Oder-Verknüpfung	10
3.4 Prozeßkettenmodellierung mittels Petri-Netze	12
3.5 Vergleich mit der EPK.....	13
4. Validierung von Prozeßketten durch Netzanalyse unter dynamischer Aspekte	17
4.1 Graphenorientierte Analyse	17
4.2 Beispiele.....	18
5. Zusammenfassung und Ausblick.....	21
Literaturverzeichnis	24

1. Einleitung

Zur Bewältigung des verschärften Wettbewerbs hat sich der Gedanke einer integrierten Bearbeitung der Geschäftsprozesse durch den Einsatz von computergestützten Informationssystemen in den letzten Jahren durchgesetzt. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Prozeßmodellierung immer stärker an Bedeutung. Als mächtiges Darstellungsmittel für Prozesse eignen sich Petri-Netze für semantische Prozeßmodellierung insbesondere dadurch, daß das Modellierungsergebnis sowohl statisch als auch dynamisch untersucht werden kann, ohne die bisherige Modellierungsform zu verlassen. Somit kann das modellierte System frühzeitig formal auf semantische Korrektheit überprüft werden. Durch derartige Validierung von Modellen oder Modellteilen kann der Übergang von vorwiegend verbalen Systembeschreibungen zu präzisen Modellen wesentlich erleichtert werden.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, einen Ansatz zur Modellierung semantischer Prozeßkettenmodelle mit der Petri-Netz-Theorie zu entwickeln. Ziel ist es, den Übergang vom ersten Entwurfsschritt über die Modellvalidierung bis zur Erreichung eines präzisen Modells durch eine durchgängige Modellierungsform zu erleichtern. Im nachfolgenden Abschnitt wird im Rahmen einer sichtenspezifischen Architektur die Darstellungsweise der Funktionsablauf-folge im Prozeßzusammenhang betrachtet. Aufgrund der Ablauflogik wird die Grundstruktur einer Beschreibungsform der Prozeßketten mit Hilfe der Petri-Netz-Theorie dargestellt. Anschließend werden im dritten Abschnitt die logischen Verknüpfungen in Petri-Netzen beschrieben. Die Modellierung der Prozeßketten mittels Petri-Netze wird dann an einem Beispiel gezeigt. Durch dieses Beispiel wird ein Vergleich mit der Modellierung mit der Ereignisgesteuerten Prozeßketten (EPK) durchgeführt. Die entsprechenden Analyseverfahren für modellierte Prozeßketten werden im vierten Abschnitt diskutiert. Die Arbeit schließt mit einer kurzen Zusammenfassung ab.

2. Prozeßmodellierung im Rahmen des ARIS-Ansatzes

Wegen der vielfältigen Komponenten, die bei der Modellierung betrachtet werden müssen, wie z.B. Daten, Funktionen, Funktionsträger bzw. die zeitlichen, logischen und räumlichen Beziehungen zwischen ihnen, hat sich die Prozeßmodellierung in der Praxis als äußerst schwierig erwiesen. Zur Beherrschung der hohen Komplexität des Prozeßmodells wird hier das von Scheer entwickelte Konzept "Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS)" herangezogen.

2.1 ARIS-Architektur

Das in Abb.1 dargestellte ARIS-Konzept untergliedert ein Informationssystem in drei unterschiedliche Beschreibungsebenen¹. Auf der Ebene des Fachkonzeptes steht die korrekte Erfas-

¹ Zur ausführlichen Darstellung des ARIS-Konzeptes vgl. Scheer, A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme - Grundlagen der Unternehmensmodellierung, 2. Aufl., Berlin et al. 1992.

sung der fachlichen Anforderungen als Ausgangslage im Vordergrund. Hier wird das Informationssystem unabhängig von Gesichtspunkten der EDV-technischen Umsetzung in Sprachen beschrieben, die eine exakte Definition erlaubt. Es folgt die Ebene des DV-Konzeptes. Auf dieser Beschreibungsebene werden die Fachmodelle an Anforderungen der EDV-technischen Umsetzung in allgemeiner Form angepaßt. Das DV-Konzept enthält somit Strukturen, die für die technische Umsetzung geeignet sind, ist jedoch von einer konkreten Implementierungsplattform unabhängig. Auf der Ebene der technischen Implementierung wird das DV-Konzept schließlich an die Anforderungen konkreter Systeme der Informationstechnik, z.B. ausführbarer Programmcodes, der physischen Strukturen eines bestimmten relationalen Datenbanksystems oder eines physikalischen Netzwerkes, angepaßt.

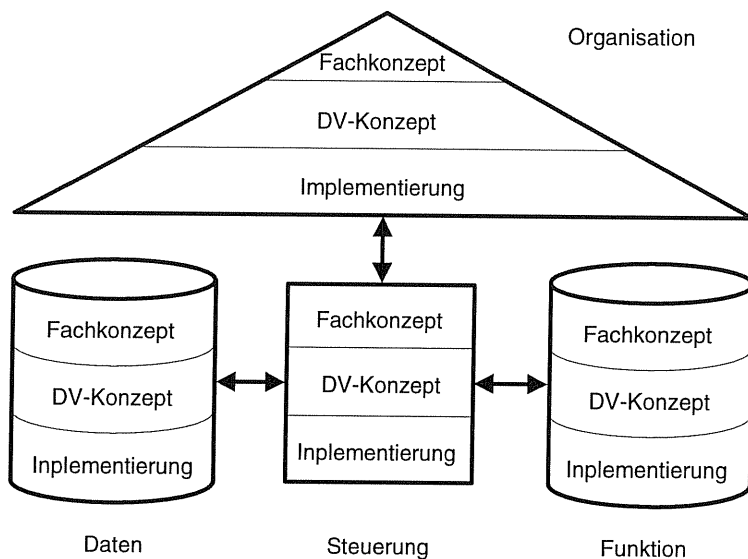


Abb.1: ARIS-Architektur²

Die Ebene des Fachkonzeptes ist von besonderer Bedeutung. Sie bildet einmal den Ausgangspunkt für die Umsetzung in die technische Implementierung, behält gleichzeitig wegen einer lockeren Kopplung mit der sich rasch entwickelnden Informationstechnik ihre langfristige Gültigkeit. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit lediglich die fachliche Ebene betrachtet.

Die Ebene des Fachkonzeptes wird in ARIS weiter in vier unterschiedliche Sichten untergliedert. In der Datensicht werden die Daten und ihre Beziehungen des Informationssystems durch ein einheitliches Datenmodell beschrieben. In der Funktionssicht werden die für das Unternehmen relevanten Funktionen und ihre Hierarchisierung bzw. Anordnungsbeziehungen untereinander beschrieben. Die Organisationssicht beschreibt die organisatorischen Strukturen des Unternehmens, in die das Informationssystem eingebunden werden soll. Innerhalb der drei Sichten werden jeweils die Betrachtungsgegenstände isoliert und damit in vereinfachter Form behandelt. Die Verbindungen zu den anderen Sichten werden erst in der Steuerungssicht auf-

² Quelle: Scheer, A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme - Grundlagen der Unternehmensmodellierung, 2. Aufl., Berlin et al. 1992, S. 18.

gezeigt, in der Daten, Funktionen und Organisationseinheiten in der Form von Prozessen miteinander verbunden werden.

2.2 Festlegung der Ablauffolge in der Funktionssicht

Eine Aufgabe der Funktionssicht des Fachkonzeptes ist die Festlegung der Ablauffolge von Funktionen in einem Prozeßzusammenhang³. Als Beschreibungsverfahren dafür können die Konzepte der Netzplantechnik zur Projektplanung entnommen werden. Bei der Netzdarstellung lassen sich die vorgangsorientierten Netzpläne und die ereignisorientierten Netzpläne unterscheiden⁴. Ausgehend von dem Betrachtungsschwerpunkt der Funktion werden im folgenden die vorgangsorientierten Netzpläne betrachtet. Nach der Darstellungsweise können die vorgangsorientierten Netzpläne weiterhin in Vorgangsknoten- und Vorgangspfeilnetzpläne untergliedert werden. In den Vorgangsknotennetzplänen werden die Funktionen durch Knoten, die Anordnungsbeziehungen (Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen) durch Pfeile dargestellt. Insbesondere bei der Modellierung der globalen Geschäftsprozesse auf der Fachebene wird man häufig Situationen vorfinden, bei denen der Prozeßablauf bei der Modellierung nicht vollständig festgelegt werden kann. Das Modell kann so beschaffen sein, daß an gewissen Stellen Alternativen eingebracht werden und erst während der Prozeßdurchführung abhängig vom Prüfungsergebnis oder allgemein von bestimmten Datenkonstellationen determiniert wird, wie der weitere Ablauf sein soll. Insofern werden manche Funktionen nur mit gewissen Wahrscheinlichkeit ausgeführt. Um diesen nichtdeterministischen Charakter eines Prozesses zu beschreiben, können logische Verknüpfungen zwischen zwei oder mehreren ein- bzw. ausgehenden Anordnungsbeziehungen definiert werden. Sie sind, neben der in der üblichen Netzplanlogik enthaltenen Und-Verknüpfung, die exklusive Oder- und inklusive Oder-Verknüpfung. Die erstere besagt, daß genau eine der beteiligten Vorgänger-Funktionen bzw. genau eine der beteiligten Nachfolger-Funktionen ausgeführt werden muß, während die letztere bedeutet, daß wenigstens eine der verknüpften Vorgänger-Funktionen bzw. wenigstens eine der verknüpften Nachfolger-Funktionen durchgeführt werden muß.

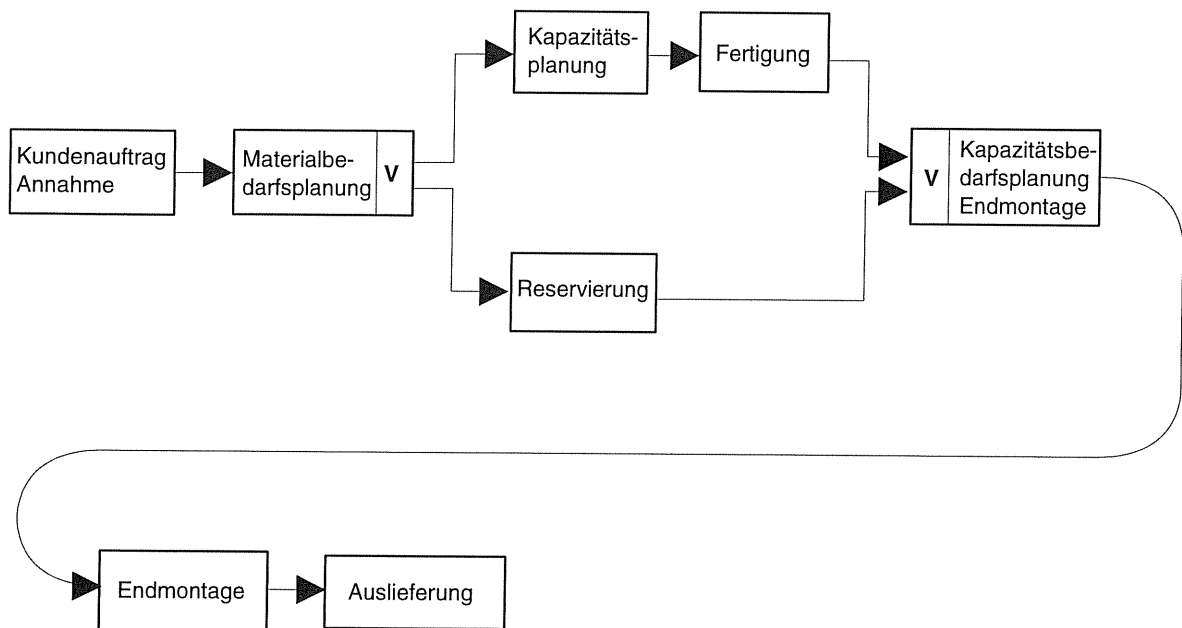
Als Beispiel zu dieser Darstellungsform wird in Abb.2 die Funktionsablauffolge einer vereinfachten Geschäftsprozeßkette der Kundenauftragsabwicklung dargestellt. Die Schreibweise ist an die DIN-Normung (DIN 69000 und DIN 66000) angelehnt.

Die Prozeßkette beginnt mit der Auftragsannahme. Nach der Materialplanung tritt eine Verzweigung des Prozeßablaufes auf. Sind genügend fertige Teile für den angenommenen Auftrag auf dem Lager, erfolgt die Reservierung dieser Teile. Falls der Lagerbestand allein nicht ausreichend oder gar leer ist, muß die Kapazitätsplanung für die Eigenfertigung vorgenommen werden. Nach der Freigabe der Fertigungsaufträge beginnt die Fertigung der Eigenfertigungsteile. Erst wenn alle benötigten Teile vorhanden sind, kann die Kapazitätsplanung für

³ Vgl. Scheer, A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme - Grundlagen der Unternehmensmodellierung, 2. Aufl., Berlin et al. 1992, S. 70.

⁴ Vgl.: Schwarze, J.: Netzplantechnik, 4. Aufl., Herne/Berlin 1979, S. 23-26; Domschke, W.; Drexl, A.: Einführung in Operations Research, 2. Aufl., Berlin et al. 1991, S.84.

die Endmontage beginnen. Danach folgt die Entmontage. Die Prozeßkette schließt dann mit der Auslieferung ab.



Legende: V = inklusive Oder-Verknüpfung

Abb.2: Funktionsablauffolge der Kundenauftragsabwicklung

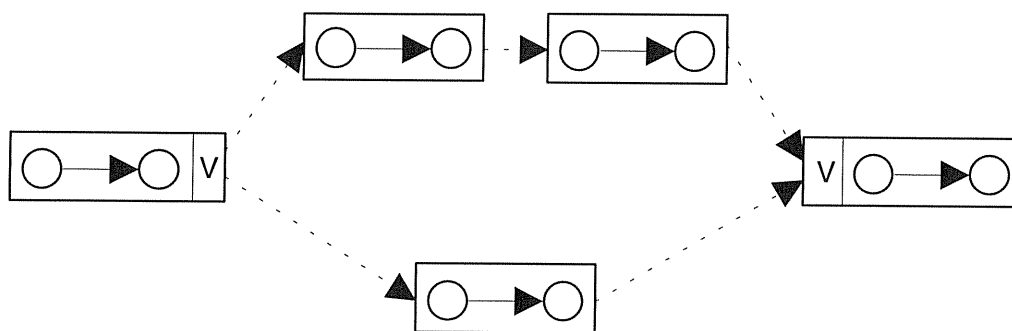
Es ist an dieser Stelle aber darauf hinzuweisen, daß sich hinter der zweiten inklusiven Oder-Verknüpfung eine Abweichung zwischen der ursprünglichen Definition der verwendeten Verknüpfung und dem zu modellierenden Sachverhalt verbirgt. Auf diese Problematik wird später im Abschnitt 3.3 näher eingegangen.

Die einzelnen Funktionen in der Prozeßkette sollen bereits wohldefiniert sein. Dies gilt auch für den Beginn und das Ende der Funktion. Somit sind mit einer Funktion jeweils zwei Ereignisse verknüpft, sie beginnt mit einem Anfangsereignis und schließt mit einem Endereignis ab. Um solche Ereignisse auch in die Darstellung der Ablauffolge einzubeziehen, kann die Darstellungsweise der Vorgangspfeilnetzpläne verwendet werden.

In den Vorgangspfeilnetzplänen wird ein Vorgangsknoten durch einen dem Vorgang entsprechenden Pfeil mit jeweils einem definierten Anfangsereignis und Endereignis ersetzt. Dies wird in Abb.3 durch Rechtecke angedeutet. Die Pfeile, die ursprünglich im Vorgangsknotenetzplan die Anordnungsbeziehungen repräsentiert haben, bilden dabei sog. Scheinvorgänge. Sie werden in Abb.3 durch gepunktete Linien symbolisiert.

Durch eine Zusammenführung der Endereignisse der Vorgänger-Funktionen mit den Anfangsereignissen ihrer Nachfolger-Funktionen lassen sich die Scheinvorgänge zum (großen)

Teil entfernen⁵. Anders als im Vorgangsknotennetzplan repräsentieren die Pfeile nun im Vorgangspfeilnetzplan sowohl Funktionen als auch Anordnungsbeziehungen. Bei einer Abweichung der beiden zu präsentierenden Zusammenhänge muß ein Scheinvorgang erhalten bleiben. Er stellt ausschließlich eine Anordnungsbeziehung dar.



Legende: V = inklusive Oder-Verknüpfung

Abb.3: Überführung vom Vorgangsknotennetzplan zum Vorgangspfeilnetzplan

Wenn man in die dadurch entstehenden Vorgangspfeilnetzpläne eine weitere Knotenart einführt, welche ausschließlich Funktionen repräsentieren, dann stellen die Pfeile nur Anordnungsbeziehungen dar. Im folgenden werden Funktionen durch Rechtecke, Ereignisse durch Sechsecke und Anordnungsbeziehungen durch Pfeile symbolisiert. Somit kann der in Abb.2 beschriebene Funktionsablauffolge in die Darstellungsweise der Abb.4 überführt werden.

In der Ablauflogik kennzeichnet ein Ereignis zum einen das Ende einer Funktionsausführung, zum anderen gegebenenfalls auch den frühestmöglichen Beginn der Ausführung der Nachfolger-Funktion. Die Stelle der Funktionen und Ereignisse in der Zeit werden von dem Kausalverhältnis zwischen ihnen im Prozeßzusammenhang zugeordnet.

Die Überführung von der Darstellungsweise der Abb.2 in die der Abb.4 erfordert im Prinzip keine Kenntnisse über die Datensicht, d.h., die beiden Darstellungsweisen sind überwiegend unabhängig von dem ihnen zugrundeliegenden Datenmodell. Die Zusammenhänge zwischen Funktionen und Daten werden erst in der Steuerungssicht betrachtet.

Im Vergleich mit den klassischen Vorgangsknoten- und Vorgangspfeilnetzplänen erhöht sich die Komplexität bei der Darstellungsweise der Abb.4. Sie liefert jedoch eine genauere Beschreibung der Anfangs- und Endzustände von Funktionen, könnte somit beispielsweise eine Zusammenführung getrennt modellierter Prozeßketten oder eine Erweiterung der bereits erstellten Prozeßketten um weitere Abläufe erleichtern.

⁵ Zur Bestimmung der Anzahl an Scheinvorgänge vgl. u. a.: Klemm, U.: Automatische Erstellung eines Netzplans aus der Reihenfolgetabelle und seine graphengesteuerte Auswertung nach CPM, in: Elektronische Datenverarbeitung 1966, 8, S. 66-70.

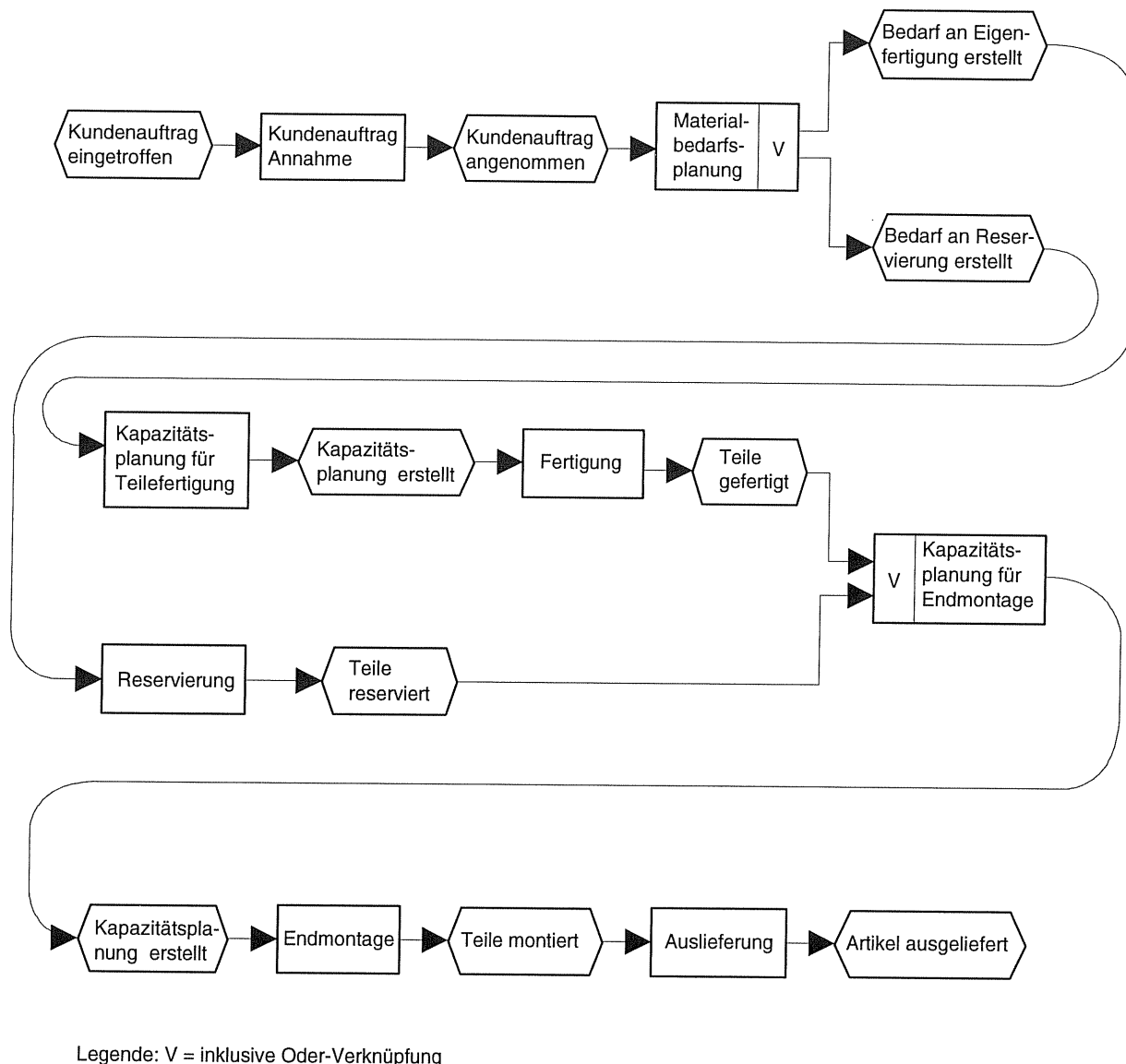


Abb.4: Funktionsreihenfolge mit Ereignissen

2.3 Ablaufsteuerung in der Steuerungssicht

Der Zusammenhang zwischen Daten und Funktionen liegt darin, daß eine Funktion als Transformation von Input- zu Output-Daten beschrieben werden kann. Bezüglich der Vorgänger- und Nachfolger-Beziehungen zwischen den Funktionen im Zusammenhang eines Prozesses werden die Verarbeitungsergebnisse der Vorgänger-Funktionen in der Regel als Ausgangsinformationen/-bedingungen von den Nachfolger-Funktionen weiterverarbeitet. Dadurch bildet sich ein Datenfluß durch den gesamten Prozeß.

Für die Modellierung der Geschäftsprozeßketten in der Steuerungssicht ist es sinnvoll, den Datenfluß in den Kontrolldaten- und Nutzdatenfluß zu untergliedern. Kontrolldaten sind Daten, die zur Steuerung der Abläufe zwischen den auszuführenden Funktionen notwendig sind. Dementsprechend dient der Kontrolldatenfluß dem Auslösen von Funktionen. Nutzdaten sind Daten, die ausschließlich für die Ausführung der ausgelösten Funktionen erforderlich sind. In

der Steuerungssicht repräsentiert der Nutzdatenfluß den Kontakt der Funktion mit den entsprechenden Informationsobjekten während ihrer Ausführung. Sowohl Kontroll- als auch Nutzdaten sind in der Datensicht beschrieben worden.

Bei der Modellierung der Prozeßketten kann man sich vorerst auf die Betrachtung des Kontrolldatenflusses konzentrieren. Die Kontrolldaten beinhalten, was die angesprochenen Funktionen bearbeiten sollen. Damit können sie die Funktionen auslösen. Die Kontrolldaten referenzieren auf Informationsobjekte des Datenmodells. Erst bei der Erstellung des Prozeßmodells werden die Nutzdaten bzw. der Nutzdatenfluß in das Modell einbezogen⁶.

So können zu dem in Abb.4 bezeichneten Beispiel die Kontrolldaten für die Funktion Materialbedarfsplanung die Nummer der angenommenen Kundenaufträge sein. Die Kundenauftragsnummer deuten hier das von der Vorgänger-Funktion Auftragsannahme erzeugte Ergebnis an und drücken aus, daß nicht die Aufträge selbst sondern lediglich die Hinweise auf die Aufträge als Kontrolldaten zum Auslösen der Nachfolger-Funktion Materialbedarfsplanung bereitgestellt wird.

Anders als bei der Festlegung der Ablauffolge in der Funktionssicht, wo die Ereignisse lediglich das Ende und gegebenenfalls den frühestmöglichen Beginn von Funktionen markieren, spielen in der Steuerungssicht diejenigen Ereignisse eine bedeutende Rolle, die die Bereitstellung der Kontrolldaten für die Nachfolger-Funktionen bezeichnen, und die das Auslösen von Funktionen darstellen. Die ersteren beschreiben das Eintreten des Zustandes im Informationssystem, daß eine Funktion erfolgreich ausgeführt ist und die Kontrolldaten für die weitere Ablaufsteuerung entstanden sind. Diese Kontrolldaten lassen sich nun an die Nachfolger-Funktionen senden. Solche Ereignisse werden im folgenden als Bereitstellungsereignisse bezeichnet. Die letzteren bezeichnen das Zustandseintreten, daß alle Bedingungen für die Ausführung einer Funktion erfüllt sind und somit die Funktion ausgelöst ist. Solche Ereignisse werden im folgenden Auslösereignisse genannt.

In dieser Darstellung hängt der Begriff des Ereignisses mit der Zustandsänderung zusammen, indem die Ereignisse in der Prozeßkette die Zustandsübergänge im Informationssystem bezeichnen. Man kann ein Ereignis nur beobachten, wenn sich der Zustand ändert. Ein Ereignis kann sich nicht ändern, ein Zustand kann sich nicht ereignen. Insofern soll eine Erscheinung nicht zugleich Ereignis und Zustand sein. Ein Zustand ist durch diejenigen Ereignisse charakterisiert, die verursachen, daß der Zustand eintritt oder endet. Ein Ereignis ist durch diejenigen Zustände charakterisiert, deren Beschreibungen vor dem Ereignis zutreffen und nachher nicht mehr zutreffen, und durch die, deren Beschreibungen vor ihm nicht zutreffen und nachher zutreffen.

⁶ Zur Unterscheidung zwischen der Prozeßkette und dem Prozeßmodell vgl. Keller, G.; Kirsch, J.; Nüttgens, M.; Scheer, A.-W.: : Informationsmodellierung in der Fertigungssteuerung, Saarbrücken 1991, S. 11.

Der Sachverhalt, daß die Funktion die Kontrolldaten für ihr Auslösen konsumiert und bei der eigenen Datenverarbeitung wiederum neue Kontrolldaten für die Steuerung der weiteren Abläufe bereitstellt, beschreibt die dynamische Aspekt der Ablaufsteuerung. Der Kontrolldaten-zustand, dessen Eintreten durch ein Bereitstellungsereignis repräsentiert wird, ändert sich, wenn die angesprochene Funktion ausgelöst wird. D. h., der Zustand vor dem Auslösen, daß bestimmte Kontrolldaten bereitgestellt sind, wird dabei in seine Negation, daß die Kontrolldaten nicht bereitgestellt sind, überführt. Für die Beschreibung dieses Sachverhaltes sind Petri-Netze als einfachere und mächtige Modellierungsmethode besonders geeignet. Hierauf wird im nächsten Abschnitt eingegangen. Bei der Ausführung wird soweit wie möglich auf mathematische Schreibweisen verzichtet.

3. Prozeßkettenmodellierung mit Petri-Netzen

Petri-Netze zählen zu den mächtigsten Darstellungsmitteln von Prozessen⁷. Ihre Einsatzbereiche erstrecken sich von der Spezifikation und Verifikation komplexer Systeme über Kommunikationsprotokolle bis zur Hardware-Architektur. In den letzten Jahren sind Petri-Netze zunehmend in die Modellierung betrieblicher Informationssysteme eingesetzt worden⁸. Aus den vielfältigen Derivaten der Petri-Netze wird im folgenden die Colorierte Petri-Netze (CP-Netze) ausgewählt⁹. Sie eignen sich für die Modellierung von Prozessen höherer Größenordnung und Komplexität. Andererseits können die Analyseverfahren für Petri-Netze mit anonymen Marken ohne weiteres auf CP-Netze übertragen werden, da die Syntax der CP-Netze eng an die Syntax der konventionellen Stellen/Transitionen-Netze angelehnt ist.

Wie konventionelle Petri-Netze ist ein CP-Netz auch ein gerichteter Graph, der aus Knoten und Kanten besteht. Die Knoten lassen sich in zwei disjunkte Mengen untergliedern, die als aktive und passive Komponenten bezeichnet werden. Die aktiven Komponenten werden Transitionen und die passiven Stellen genannt. Die Kanten verlaufen ausnahmslos zwischen einer aktiven und einer passiven Komponente. Anders als in einem Stellen/Transitionen-Netz kann eine Marke im CP-Netz durch Kennzeichen einer "Farbe" eine Individualität erhalten. Nun können die Kanten im CP-Netz für bestimmte Markenfarben als durchlässig erklärt werden. Den Kanten werden die entsprechenden Farbenkennzeichnungen als Anschrift zugeordnet, die festlegen, welche Marken beim Schalten einer Transition von einer Stelle abgezogen

⁷ Grundlagen von Petri-Netzen sind zu finden z. B. in: Reisig, W.: Petrinetze - Eine Einführung, Berlin at al. 1982; Abel, D.: Petri-Netze für Ingenieure - Modellbildung und Analyse diskret gesteuerter Systeme, Berlin at al. 1990; Baumgarten, B.: Petri-Netze - Grundlagen und Anwendungen, Mannheim at al. 1990.

⁸ Vgl.: Busch, U.: Konzeption betrieblicher Informations- und Kommunikationssysteme, Berlin 1983, S. 82ff.; Busch, R.: Entwurf eines Systems zur integrierten Fertigung (CIM) mit Petri-Netzen, in: Zeitschrift für Betriebswissenschaft (ZfB), 59. Jg. (1989), H. 8, S. 822-838; Scheschonk, G.: Design/CPN - Das Simulationswerkzeug für hierarchische Petri-Netze auf der Basis von Design/OA, in: Balzert, H.(Hrsg.): CASE - Systeme und Werkzeuge, 2. Aufl., Mannheim at al. 1990, S. 167-189; Helbig, R.: Planung und Controlling organisatorischer Systeme mit Petri-Netzen, in: Scheschonk, G., Reisig, W.(Hrsg.): Petri-Netze im Einsatz für Entwurf und Entwicklung von Informationssystemen, Berlin at al. 1993, S. 196-208.

⁹ Detaillierte Ausführungen und formale Definitionen von CP-Netzen sind zu finden in: Jensen, K.: Coloured Petri Nets, in: Brauer W.; Reisig, W.; Rozenberg, G. (Hrsg.): Petri Nets: Central Models and Their Properties, Advances in Petri Nets, Part I, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 254, 1986, S. 248-299.

bzw. auf ihr abgelegt werden. CP-Netze können auch nichtindividuelle, schwarze Marken enthalten. Sollen über Kanten schwarze Marken fließen, so wird im folgenden keine Anschrift an die Kante geschrieben.

Da die Ereignisse die Zustandsübergänge bezeichnen, werden sie durch aktive Komponenten in Petri-Netzen modelliert. In der Literatur werden Funktionen normalerweise durch die aktiven Komponenten modelliert. Es ist aber durchaus möglich, die Funktionen durch die passiven Komponenten zu beschreiben¹⁰. Hierbei wird "Funktion in Bearbeitung" als ein Zustand behandelt. Im folgenden werden sowohl Funktionen als auch die Zustände, die die Bereitstellung von Kontrolldaten bezeichnen, durch die passiven Komponenten modelliert. Ihre Kapazität für Marken wird auf 1 beschränkt, soweit keine besondere Erklärung gegeben wird. Die aktiven Komponenten dienen der Beschreibung von Ereignissen, welche wie oben erwähnt in zwei Klassen untergliedert werden können. Graphisch werden Funktionen weiter durch Rechtecke, Kontrolldatenzustände durch Rechtecke mit runden Ecken dargestellt. Ereignisse werden durch einen dicken Strich bezeichnet.

Die in der vorangegangenen Ausführung erwähnten logischen Verknüpfungen, also die Und-, exklusive Oder- und inklusive Oder-Verknüpfungen werden auch durch die grundlegenden Elemente in CP-Netzen beschrieben.

3.1 Und-Verknüpfung

Die Und-Verknüpfung wird häufig auch Konjunktion genannt. Durch eine derartige Verknüpfung können n ($n \geq 2$) gleichartige passive Komponenten (entweder Funktionen oder Datenzuständen) durch jeweils eine Kante mit **einer** aktiven Komponente verbunden werden. Im Fall $n = 2$ ergeben sich je nach den passiven Komponentenarten und den Richtungen der Kanten (von den passiven Komponenten ausgehend oder in sie eingehend) vier Kombinationsmöglichkeiten, die als Beispiel in Abb.5 in Petri-Netzen beschrieben werden. Die erste und die zweite Zeile zeigen jeweils den Netzzustand vor und nach dem Schalten der aktiven Komponente.

3.2 Exklusive Oder-Verknüpfung

Exklusive Oder-Verknüpfung wird oft auch als Exklusivdisjunktion oder Antivalenz bezeichnet. Mit ihr können n ($n \geq 2$) aktive Komponenten durch jeweils eine Kante mit **einer** passiven Komponente verbunden. Zu einem Zeitpunkt kann höchstens nur eine der allen beteiligten aktiven Komponenten geschaltet werden. Als Beispiel im Fall $n = 2$ sind ihre Darstellungen in Petri-Netzen in Abb.6 gegeben. Bei Abb.6 b) gibt es nach der Funktionsausführung zwei möglichen Ausgänge, die sich gegenseitig ausschließen. Dies wird in der Petri-Netz-Theorie als Konfliktsituation bezeichnet. Die Netzstruktur selbst bietet keine Lösung zu dieser Konflikt. Dafür sind zusätzliche Informationen erforderlich. Diese Information ist in diesem

¹⁰ Beispiele dafür sind zu finden in: Hanisch, H.-M.: Petri-Netze in der Verfahrenstechnik, München at al. 1992.

Beispiel dem Verarbeitungsergebnis der Funktion zu entnehmen. Da ein definierter Kontroll-datenzustand dagegen keine solche Information liefern kann, ist die Kombinationsform einer derartigen passiven Komponente mit mehreren von ihr ausgehenden Kanten hinsichtlich der Geschäftsprozeßketten sinnlos¹¹.

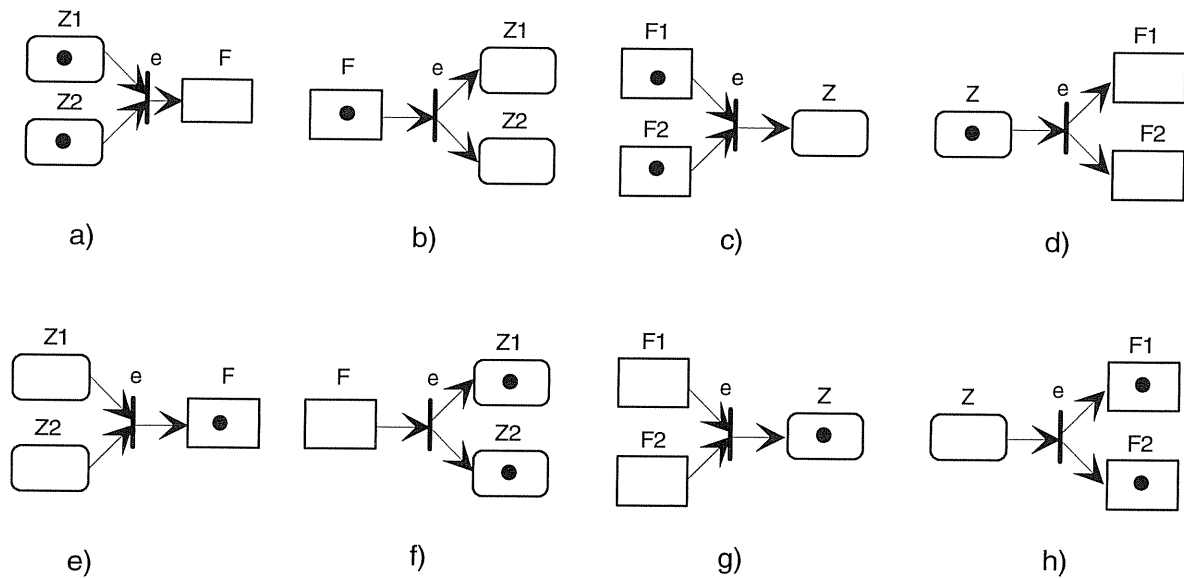


Abb.5: Darstellung der Und-Verknüpfung mittels Petri-Netze

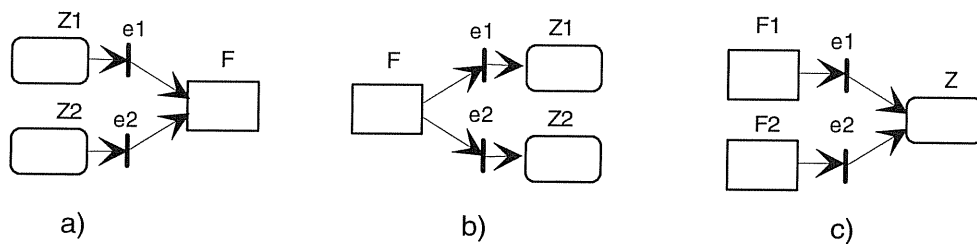


Abb.6: Darstellung der exklusiven Oder-Verknüpfung mittels Petri-Netze

3.3 Inklusive Oder-Verknüpfung

Diese Verknüpfungsart wird in der Literatur auch Adjunktion oder inklusivdisjunktion genannt. Durch diese Verknüpfungsart wird ein viel komplizierterer logischer Zusammenhang als bei den zwei vorangegangenen Verknüpfungsarten beschrieben. Bei dieser Verknüpfungsart handelt es sich um 2^n-1 verschiedenen Möglichkeiten, wobei n die Anzahl der durch diese Verknüpfung verbundenen Eingänge (bei einer Zusammenführung) oder Ausgänge (bei einer Verzweigung) ist.

¹¹ Dieser Zusammenhang wird auch beschrieben in: Keller, G., Nüttgens, M., Scheer, A.-W.: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßkette (EPK)", Saarbrücken 1992, S.13-14; Hofmann, W.; Kirsch, J.; Scheer, A.-W.: Modellierung mit Ereignisgesteuerten Prozeßketten, Saarbrücken 1993, S.10-13.

In einer Prozeßkette setzt eine Zusammenführung mit einer inklusiven Oder-Verknüpfung normalerweise eine Verzweigung mit einer gleichartigen Verknüpfung voraus. Somit ist der Ablauf bei der Zusammenführung nicht mehr unabhängig von dem Ablauf bei der vorausgesetzten Verzweigung. Bezüglich des in Abb.4 bezeichneten Beispiels ist dies für das Auslösen der Funktion Kapazitätsplanung für Endmontage der Fall. Die Verzweigung bei der Funktion Materialbedarfsplanung besagt, daß entweder ein Bedarf an der Reservierung oder an der Fertigung, oder zugleich je einen Bedarf an den beiden erstellt wird. In dem ersten oder zweiten Fall wird das Ende der Funktionsausführung der Reservierung oder der Fertigung die ausreichende Bedingung für das Auslösen der Funktion Kapazitätsplanung für Endmontage angesehen. In dem dritten Fall dagegen ist das Ende einer der beiden Funktionsausführungen nur eine notwendige, jedoch keine ausreichende Bedingung mehr. Die Funktion Kapazitätsplanung für Endmontage ist in diesem Fall nur dann auszulösen, wenn sowohl die Funktionsausführung der Reservierung als auch die der Fertigung beendet sind. Hierbei ergibt sich eine Ablauflogik, die eine Abweichung von der ursprünglichen Definition der inklusiven Oder-Verknüpfung zeigt¹². Da die Abläufe der Funktion Reservierung und der Eigenfertigung nicht direkt voneinander abhängig sind, kann die Ausführung der Reservierung beispielsweise früher als die der Eigenfertigung zu Ende gehen oder umgekehrt. Um festzustellen, ob mit dem Abschluß der Ausführung einer der beiden Funktionen oder erst mit dem Ende der beiden Funktionsausführungen die ausreichende Bedingung für das Auslösen der folgenden Funktion erfüllt wird, ist eine zusätzliche Information erforderlich. Diese Information kann jedoch keiner der direkten Vorgänger-Komponenten der auszulösenden Funktion entnommen werden. Sie kann nur von der vorausgesetzten Verzweigung geliefert werden.

Um diesen Zusammenhang auch bei einem größeren n überschaubar widerzuspiegeln, werden für die inklusive Oder-Verknüpfung die in Abb.7 bezeichneten Konstrukte vorgeschlagen.

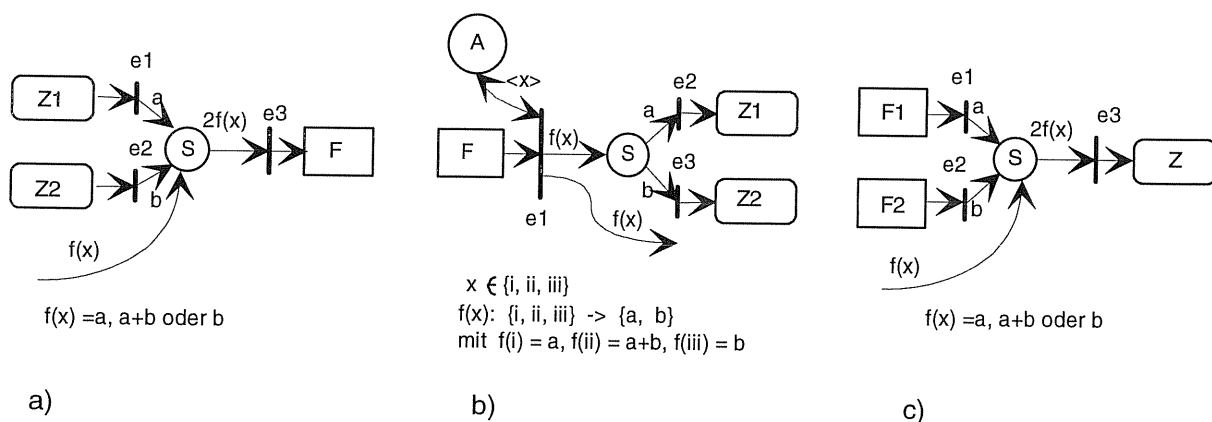


Abb.7: Darstellung der inklusiven Oder-Verknüpfung mittels Petri-Netze

Bei der Verzweigung mit einer inklusiven Oder-Verknüpfung wie Abb.7b) wird von der Funktion F bestimmt, welche Nachfolger-Funktion(en) ausgelöst werden soll(en). Die Be-

¹² Vgl. Abschnitt 2.2.

zeichnungen der allen 2^n-1 möglichen Alternativen bei dieser Entscheidung werden als individuelle Marken in einer passiven Komponente A eingelegt. Sie bilden die Farbenmenge X. Am in Abb.7b) dargestellten Beispiel enthält die Menge X drei individuelle Marken vom Typ i, ii und iii. Jeder Markentyp hat eine eigene "Farbe" und ist einem Ausgang (a oder b) oder der Kombination der beiden Ausgänge (a und b) der Verzweigung zuzuordnen. Diese Zuordnungsbeziehung wird durch die Abbildungsvorschrift Funktion $f(x)$ zwischen der Farbenmenge X und der Farbenmenge O beschrieben, wobei O n individuelle Marken enthält, die jeweils einen Ausgang der Verzweigung bezeichnen. In diesem Beispiel enthält die Menge O die Marken vom Typ a und b; die Werte der $f(x)$ sind dann $f(i)=a$, $f(ii)=a+b$ und $f(iii)=b$. Beim Schalten von e_1 gelangt eine Marke vom Typ a oder Typ b, oder je eine vom Typ a und Typ b in die passive Komponente S und kann entsprechend die Aktivierung von e_2 , e_3 oder e_2 und e_3 verursachen. Bezüglich des in Abb.4 bezeichneten Beispiels wird bei der Ausführung der Funktion Materialplanung unterschieden, ob der Lagerbestand ausreichend oder nicht ausreichend für den angenommenen Auftrag ist, oder ob der Lagerbestand gar leer ist. Die entsprechenden Alternativen sind dann das Vornehmen der Reservierung, der Reservierung und der Teilefertigung zusammen oder der Teilefertigung. Diese Entscheidung muß protokolliert und der entsprechenden nachstehenden Zusammenführung weitergegeben werden. In Abb.7b) wird diese Information durch die Anschrift der untersten Kante $f(x)$ repräsentiert.

Bei einer Zusammenführung mit dieser Verknüpfungsart wie Abb.7a) und Abb.7c) fließt diese Information in Form von individuellen Marken in die passive Komponente S. Die Anschrift der Kante S- e_3 " $2f(x)$ " besagt, daß e_3 nur dann aktiviert wird, wenn die durch die Kanten e_1 -S und e_2 -S in die S gelangten Marken mit dem Wert der $2f(x)$ identisch sind.

Aus dem gleichen Grund wie bei der exklusiven Oder-Verknüpfung entfällt auch hier die Kombinationsform aus, die mit einem Kontrolldatenzustand anfängt¹³.

3.4 Prozeßkettenmodellierung mittels Petri-Netze

Mit den ausgeführten Darstellungsformen kann nun das Beispiel für die Kundenauftragsabwicklung in ein CP-Netz überführt werden. Das Ergebnis wird in Abb.8 gegeben. Hinsichtlich der Netzstruktur besteht die Prozeßkette aus Kanten und zwei unterschiedlichen Arten von Komponenten (passiven und aktiven Komponenten), die abwechselnd miteinander verknüpft sind. Aus der betriebswirtschaftlichen Sicht sind überwiegend die passiven Komponenten vom Interesse, da sie den Zustand der Funktionsausführung bzw. die Bedingungen für ein Funktionsauslösen repräsentieren.

Die Prozeßkette beginnt mit dem Kontrolldatenzustand Pa "TNR, KNR, Termin, Menge", welche den Eingang von Kundenaufträgen bezeichnen. Der Eintritt des Ereignisses e_1 bedeutet den Ausführungsbeginn der Funktion Kundenauftrag Annahme. Der Eintritt des Ereignis-

¹³ Vgl. auch: Keller, G., Nüttgens, M., Scheer, A.-W.: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßkette (EPK)", Saarbrücken 1992, S.13-14; Hofmann, W.; Kirsch, J.; Scheer, A.-W.: Modellierung mit Ereignisgesteuerten Prozeßketten, Saarbrücken 1993, S.10-13.

ses e2 besagt, daß die Ausführung der Funktion Kundenauftrag Annahme erfolgreich beendet ist und die Kontrolldaten, die durch Kundenauftragsnummer angedeutet werden, bereitgestellt sind. Der weitere Ablauf ist überwiegend selbsterklärt. Die Prozeßkette schließt mit der Bereitstellung der Kontrolldaten für nachstehende Prozeßketten ab.

Um das dynamische Verhalten der modellierten Prozeßkette zu ermitteln, werden die Markendynamik von Petri-Netzen im vierten Abschnitt betrachtet.

3.5 Vergleich mit der EPK

Für die semantische Prozeßmodellierung wurde am Institut für Wirtschaftsinformatik eine Methode entwickelt: Modellierung mit Ereignisgesteuerten Prozeßketten (EPK)¹⁴. Hierbei handelt es sich um eine neuartige Modellierungsmethode durch die Verbindung von Bedingungs-Ereignisnetzen der Petri-Netz-Theorie mit den Verknüpfungselementen der stochastischen Netzplan-Verfahren¹⁵. Sie dient der Darstellung der logisch-kausalen Beziehungen von Funktionen im Zusammenhang von Prozessen und einer Verknüpfung der Elemente des Daten- und des Funktionsmodells. Die Darstellung der Fachinhalte als EPK eignet sich vor allem für den ersten Entwurfsschritt in der Prozeß- bzw. Funktionsmodellierung. Darüber hinaus ist sie auch geeignet für eine Gesamtdarstellung aller zu einem Unternehmensbereich gehörenden Funktionstypen und Ereignistypen.

Die wesentlichen Grundelemente der EPK sind Ereignisse und Funktionen. Die Funktionen der EPK lassen sich mit den passiven Komponenten "Funktionen" des hier dargestellten Ansatzes vergleichen. Ereignisse in der EPK lösen Funktionen aus und sind deren Ergebnis. Sie repräsentieren zugleich das Ende einer Funktionsausführung und den Ausführungsbeginn der Nachfolger-Funktion. Ereignisse in der EPK sind zeitpunktbezogen, d. h. die Geschehen von dem Ende einer Funktion bis zu dem Beginn ihrer Nachfolger-Funktion werden auf ein einziges Ereignis zu einem Zeitpunkt komprimiert. Daher ist es zu erkennen, daß ein Ereignis in der EPK in gröbere Weise den Sachverhalt bezeichnet, was in dem dargestellten Ansatz mit einem Bereitstellungsereignis, einem Zustand von Kontrolldaten und einem Auslösereignis beschrieben wird.

¹⁴ Vgl. u. a.: Keller, G.; Kirsch, J.; Nüttgens, M.; Scheer, A.-W.: Informationsmodellierung in der Fertigungssteuerung, Saarbrücken 1991; Spang, S.: Informationsmodellierung im Investitionsgütermarketing, Wiesbaden 1993, S.85-86; Keller, G., Nüttgens, M., Scheer, A.-W.: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßkette (EPK)", Saarbrücken 1992; Scheer, A.-W.; Hoffmann, W.; Wein, R.: HP OpenCAM - Offene Strukturen mit der ARIS-Architektur, in: CIM Management 2/1993, S.52-55.

¹⁵ Vgl. Scheer, A.-W.: ARIS-Methodenbuch - Fachkonzept, Saarbrücken 1993, S. 44.

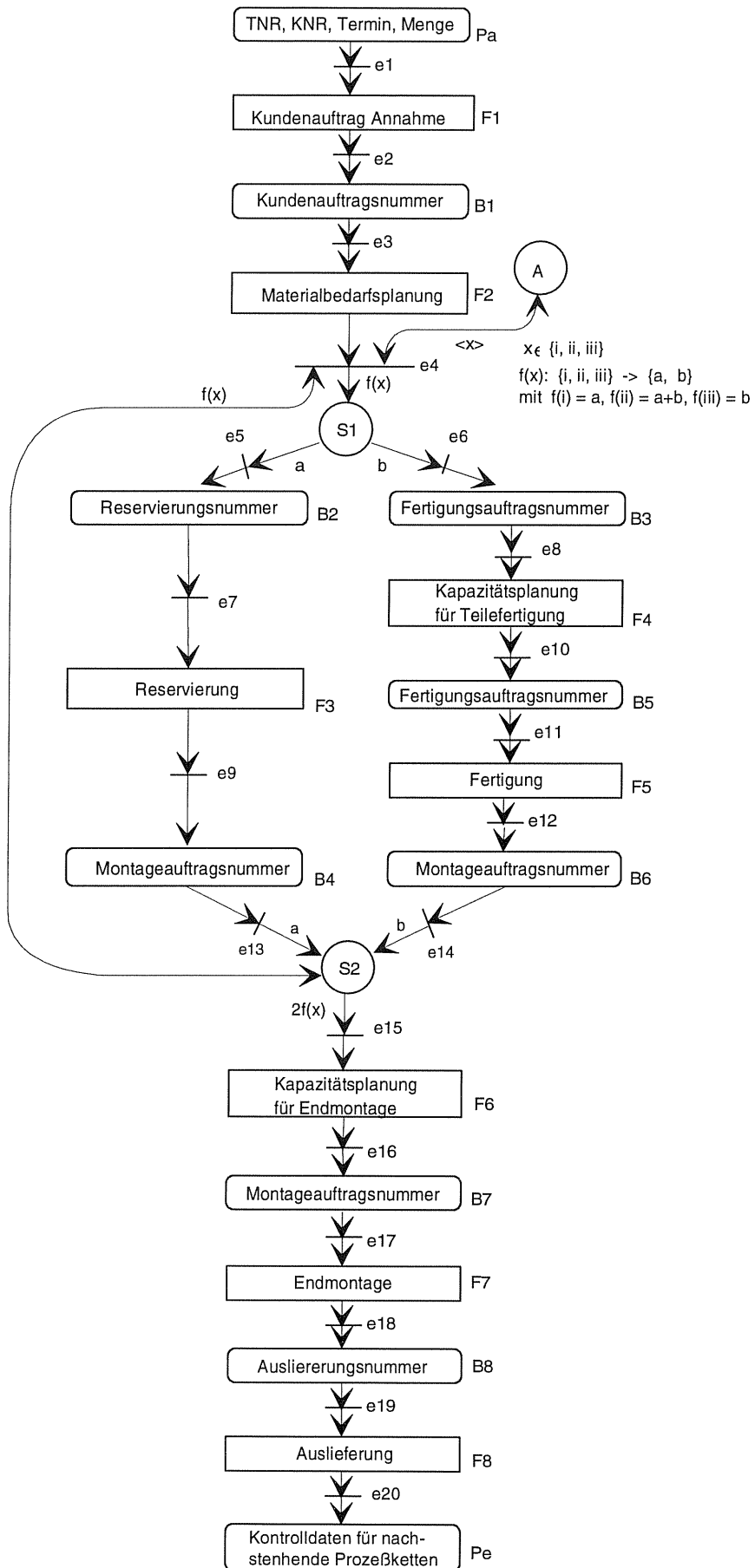


Abb.8: Prozeßkette der Kundenauftragsabwicklung

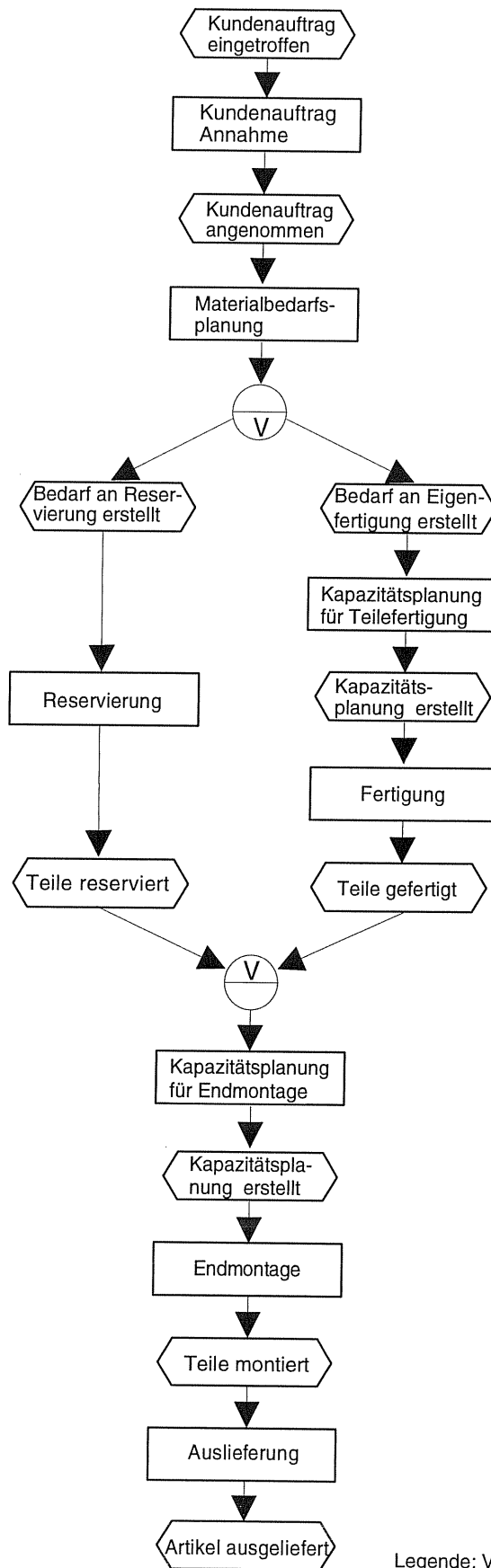
Da die Ereignisse in der EPK keinen Schaltmechanismus enthalten, sind zusätzliche Verknüpfungselemente zur Modellierung komplexerer Ablauflogik erforderlich. Sie sind, wie oben angeführt, Und-, exklusive Oder- und inklusive Oder-Verknüpfung. Bei der inklusiven Oder-Verknüpfung in der EPK ist ebenfalls eine Vergrößerung dadurch zu erkennen, daß der Zusammenhang zwischen einer Zusammenführung und ihrer vorausgesetzten Verzweigung mit derartiger Verknüpfung (siehe 3.3) nicht explizit betrachtet wird.

Durch die obengenannten Vergrößerungen kann die EPK besser überschaubare Modellierungsergebnisse liefern. Dies kann insbesondere bei komplexeren Prozeßketten vorteilhaft sein.

Mit der EPK kann das Beispiel für die Kundenauftragsabwicklung wie Abb.9 modelliert werden.

Hinsichtlich der Netzstruktur ist diese Prozeßkettenmodell mit der Darstellungsweise in Abb.4 ähnlich. Der Unterschied liegt jedoch darin, daß ein Ereignis in der EPK als Auftreten eines Objektes oder einer bestimmten Attributausprägung definiert werden kann. Somit wird eine Verbindung zwischen der Daten- und Funktionssicht hergestellt.

Zusammenfassend kann die EPK als eine Vereinfachung der hier entwickelten Modellierungsform angesehen werden. Wegen der präziseren Modellierungsmöglichkeiten kann der hier entwickelte Ansatz zur Validierung der mit EPK modellierten Prozeßketten benutzt werden. Hierauf wird im nächsten Abschnitt eingegangen.



Legende: V = inklusive Oder-Verknüpfung

Abb.9: Prozeßkette der Kundenauftragsabwicklung in der EPK

4. Validierung von Prozeßketten durch Netzanalyse unter dynamischer Aspekte

Die Netzanalyse ist eines der Hauptgebiete der Petri-Netz-Theorie. Mit Hilfe der Netzanalyse sind Aussagen über vielfältigen dynamischen Eigenschaften eines Petri-Netzes abzuleiten. Anhand solcher Eigenschaften kann man die modellierte Prozeßketten auf ihre Sinnfälligkeit überprüfen und somit Entwurfsfehler korrigieren. Im Hinblick auf der Modellierung von Prozeßketten auf der Fachebene sind insbesondere die Eigenschaften Erreichbarkeit, Existenz totaler Verklemmungen und toter Transition von Bedeutung. Die Erreichbarkeit einer Markierung sagt aus, ob die modellierte Prozeßkette ausgehend von dem Anfangszustand in einen vorgegebenen Zustand überführt werden kann. Prozeßketten mit nebenläufigen Funktionen¹⁶, die gemeinsamen begrenzte Ressourcen nutzen, neigen zu totalen Verklemmungen¹⁷. Beim Auftreten einer totalen Verklemmung kann keine Transition mehr schalten. Sie deutet stets auf einen Entwurfsfehler hin und ist unbedingt zu vermeiden. Ähnlicherweise muß auch das Auftreten einer toten Transition vermieden werden, da eine tote Transition darauf hindeutet, daß das mit dieser Transition abgebildete Ereignis nie eintreten wird.

4.1 Graphenorientierte Analyse

Ein eleganter Weg zur Analyse von Petri-Netzen besteht darin, mit Hilfe der Methoden der linearen Algebra direkt aus der Netzstruktur auf die dynamischen Eigenschaften des Netzes zu schließen. Eine andere Vorgehensweise ist die Anwendung der Analyseverfahren, die auf der Analyse des sog. Erreichbarkeitsgraphen basieren. Da man die formalen Netzeigenschaften an Erreichbarkeitsgraphen gut erkennen kann, wird hier lediglich die graphenorientierte Analyse behandelt.

Eine Markierung in dem Netz ist eine Verteilung der Marken auf passiven Komponenten. Sie bezeichnet einen Zustand des Ablaufes der modellierten Prozeßkette. Da durch eine Markierung bestimmt ist, welche Ereignisse schalten können, sind damit auch die entsprechenden Zustandsübergänge gegeben. Bei einer gegebenen Anfangsmarkierung M_0 des Netzes kann durch das Schalten jedes einzelnen schaltfähigen Ereignisses die jeweilige Folgemarkierung erreicht werden. Die Menge der allen überhaupt möglichen Markierungen mit der Anfangsmarkierung M_0 wird als Erreichbarkeitsmenge von M_0 bezeichnet. Die Markierungen und die dabei geschalteten Ereignisse kann man durch einen Erreichbarkeitsgraphen beschreiben. Ein Erreichbarkeitsgraph ist ein gerichteter Graph, dessen Knotenmenge durch die Erreichbarkeitsmenge gebildet wird, dessen Kanten zwischen den Knoten durch das dabei geschaltete Ereignis gegeben ist. Somit kann der Erreichbarkeitsgraph auf der Grundlage des zu analysierenden Petri-Netzes konstruiert werden. Die Konstruktion setzt voraus, daß die Erreichbar-

¹⁶ D.h., die Funktionen laufen unabhängig voneinander ab. Daher könnten sie auch parallel ablaufen.

¹⁷ Ein leicht zu verstehendes Beispiel dafür ist gegeben in: Baumgarten, B.: Petri-Netze - Grundlagen und Anwendungen, Mannheim at al. 1990, S. 139 ff.

keitsmenge endlich ist¹⁸. Im Hinblick auf die Modellierung von Geschäftsprozessen, die nur endlich viele verschiedenen Zustände annehmen können, macht die Betrachtung eines unendlichen Fall wenig Sinn. Aus dem Erreichbarkeitsgraphen können alle wesentlichen logisch-kausalen Eigenschaften der durch das Netz repräsentierten Prozeßkette ermittelt werden. Somit gibt der Erreichbarkeitsgraph eine vollständige Anordnung der Prozeßkette aus. Jeder Pfad (eine Folge von Knoten und Kanten, in der jeder Knoten nur einmal vorkommt) des Graphen bezeichnet einen konkreten Ablauf der Prozeßkette oder eines Teils der Prozeßkette.

Durch zwei einfache Beispiele wird im nächsten Abschnitt aufgezeigt, wie ein logischer Fehler beim Prozeßkettenentwurf in der EPK durch eine Analyse mit Hilfe des Erreichbarkeitsgraphen entdeckt werden kann.

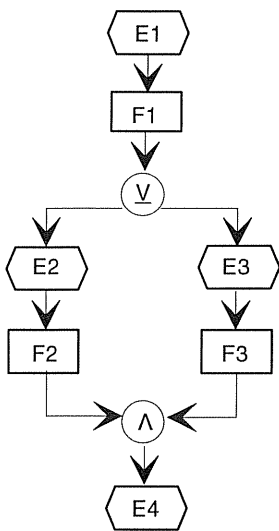
4.2 Beispiele

Abb.10a) zeigt einen Ausschnitt aus einer Prozeßkette in der Form von EPK, der in Abb.10b) in die oben dargestellte Beschreibungsform umgeschrieben wird. Bei der Umschreibung sind die Ergebnisse in der EPK durch die Kontrolldatenzustände und die daran angeschlossenen Ereignisse ersetzt worden, während die Funktionen unverändert bleiben. Die logischen Verknüpfungen werden, wie in Abschnitt 3 dargestellt, durch die grundlegenden Elemente der Petri-Netze modelliert.

Mit der Anfangsmarkierung $M_0=(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ kann der entsprechende Erreichbarkeitsgraph konstruiert werden (Vgl. Abb.10c) und 10d)). Er zeigt deutlich, daß der erwünschter Zielzustand, d. h. die Endemarkierung $M_e=(0, 0, 0, 0, 0, 0, 1)$ nie erreicht werden kann. Der Grund liegt darin, daß bei der Verzweigung nur ein Ausgang durchlässig ist, so daß nachher die Bedingung für die Zusammenführung nicht erfüllt werden kann. Ein ähnlicher Entwurfsfehler besteht auch in dem durch Abb.11a) dargestellten Prozeßkettenausschnitt. Der Erreichbarkeitsgraph zeigt auf, daß der Anfangszustand nur bei einer der drei Alternativen, die die inklusive Oder-Verknüpfung repräsentiert, zum erwünschten Endzustand überführt werden kann (Vgl. Abb.11c) und 11d)). Bei den beiden anderen Alternativen ist die Situation genauso wie in dem ersten Beispiel. Eine Korrektur der Fehler setzt eine genauere Studie des zu modellierten Ablaufes voraus. In diesen zwei Beispielen könnten die Verzweigungsverknüpfungen beispielsweise durch eine Und-Verknüpfung ersetzt werden, wie Abb.12a) zeigt. Der entsprechende Erreichbarkeitsgraph ist in Abb.12c) und 12d) gegeben.

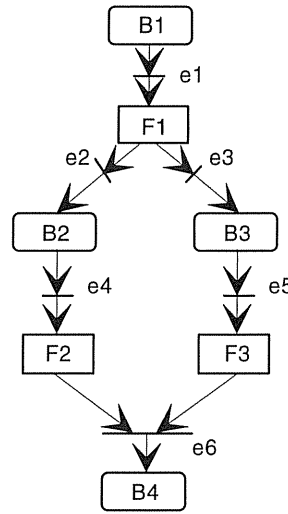
Obwohl die hier als Beispiele gezeigten Entwurfsfehler einfach aussehen, sind derartige Fehler in der Modellierungspraxis oft zu finden. Dies zeigt bereits die Bedeutung der Validierung durch die Netzanalyse, auch wenn man von komplexeren Fehlern absieht.

¹⁸ Zu der formalen Definition des Erreichbarkeitsgraphen und der Problematik bei der Konstruktion des Erreichbarkeitsgraphen vgl. u. a.: Baumgarten, B.: Petri-Netze - Grundlagen und Anwendungen, Mannheim at al. 1990, S. 88 ff.; Leszak, M.; Eggert, H.: Petri-Netze-Methoden und -Werkzeuge - Hilfsmittel zur Entwurfsspezifikation und -validation von Rechensystemen, Berlin at al. 1989, S. 29 ff.

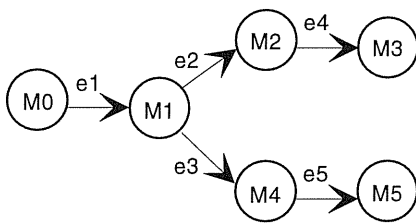


Legende: \vee = exklusive Oder-Verknüpfung
 \wedge = Und-Verknüpfung

a)



b)



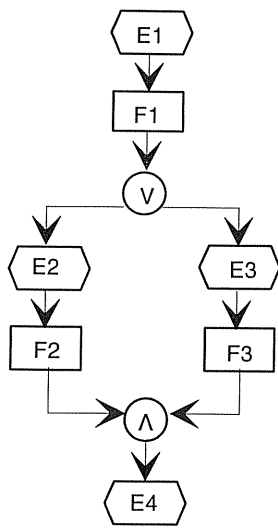
c) Erreichbarkeitsgraph

Kno- ten	Zustände						
	B1	F1	B2	F2	B3	F3	B4
M0	1						
M1		1					
M2			1				
M3				1			
M4					1		
M5						1	
(Me)							(1)

d) Knoten des Erreichbarkeitsgraphen

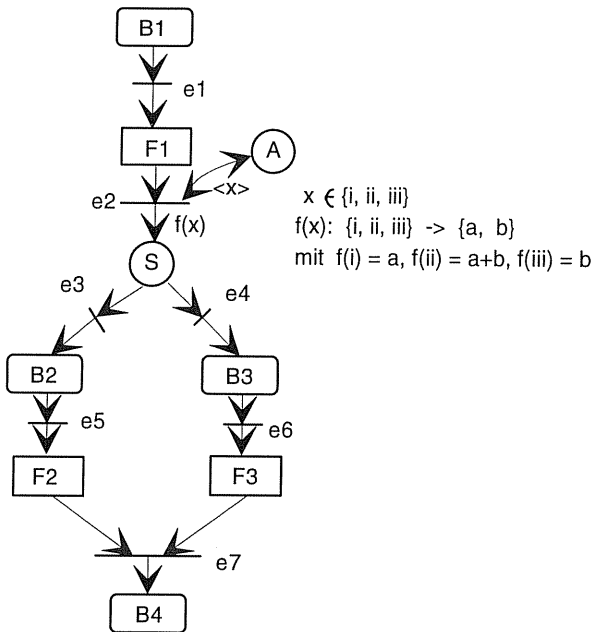
Abb.10: Beispiel 1 zur Erreichbarkeitsanalyse

Für das in Abb.8 dargestellte Beispiel wird in Abb.13 den Erreichbarkeitsgraph erstellt. Jeder Pfad zwischen der Anfangs- und Endemarkierung deutet einen konkreten Ablauf der Prozeßkette an. Es ist allerdings auch zu erkennen, daß der Erreichbarkeitsgraph für eine kleine Prozeßkette schon relativ kompliziert aussehen könnte. Für die praktische Durchführung ist ein effektives computergestütztes Werkzeug unbedingt notwendig.



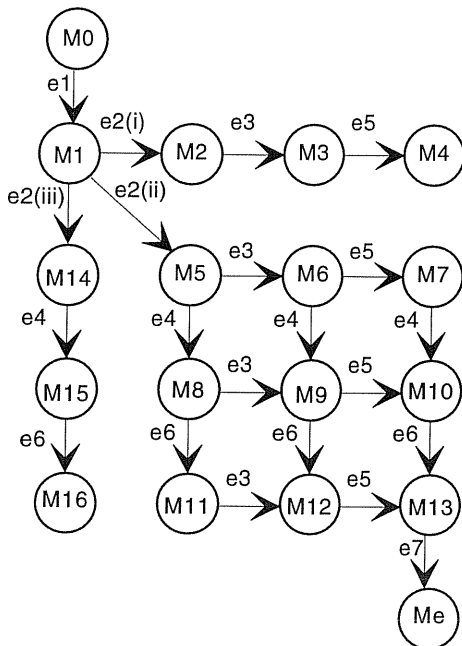
Legende: V = inklusive Oder-Verknüpfung
 A = Und-Verknüpfung

a)



$x \in \{i, ii, iii\}$
 $f(x): \{i, ii, iii\} \rightarrow \{a, b\}$
 mit $f(i) = a, f(ii) = a+b, f(iii) = b$

b)

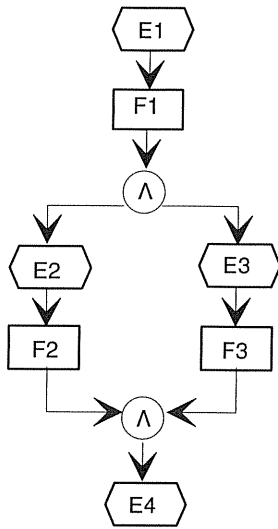


c) Erreichbarkeitsgraph

Kno- ten	Zustände								
	B1	F1	A	S	B2	F2	B3	F3	B4
M0	1		i,ii,iii						
M1		1	i,ii,iii						
M2			i,ii,iii	a					
M3			i,ii,iii		1				
M4			i,ii,iii			1			
M5			i,ii,iii	a, b					
M6			i,ii,iii	b	1				
M7			i,ii,iii	b		1			
M8			i,ii,iii	a			1		
M9			i,ii,iii		1		1		
M10			i,ii,iii			1	1		
M11			i,ii,iii	a				1	
M12			i,ii,iii		1			1	
M13			i,ii,iii			1		1	
M14			i,ii,iii	b					
M15			i,ii,iii				1		
M16			i,ii,iii					1	
Me			i,ii,iii						1

d) Knoten des Erreichbarkeitsgraphen

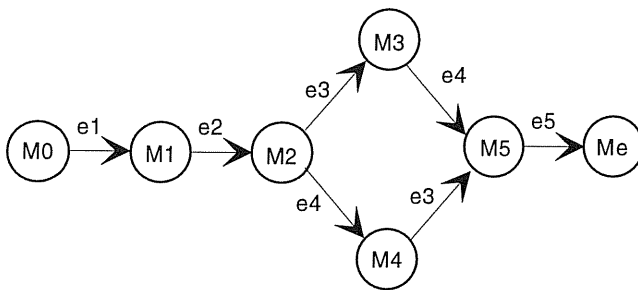
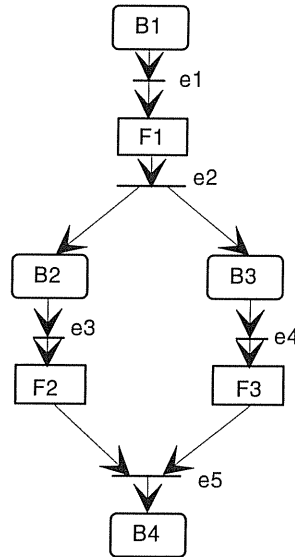
Abb.11: Beispiel 2 zur Erreichbarkeitsanalyse



Legende: \wedge = Und-Verknüpfung

a)

b)



c) Erreichbarkeitsgraph

Kno- ten	Zustände						
	B1	F1	B2	F2	B3	F3	B4
M0	1						
M1		1					
M2			1		1		
M3				1	1		
M4			1			1	
M5				1		1	
Me							1

d) Knoten des Erreichbarkeitsgraphen

Abb.12: Korrigierter Prozeßkettenausschnitt

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der hier entwickelte Ansatz eignet sich besonders für die Modellierung der Prozeßketten im Informationssystem auf der Fachebene. Wie in der vorangegangenen Ausführung dargestellt ist, hat die hier entwickelte Modellierungsform die Grundstruktur der Petri-Netze: Die Ausführung einer Funktion wird als passive Komponente betrachtet. Sie beginnt, wenn ihre Auslöseereignisse eingetreten sind. Die Funktionsausführung schließt mit einem Ereignis ab, welches die Bereitstellung der Kontrolldaten für die weitere Ablaufsteuerung andeutet. Somit bildet sich in der Regel eine Kette abwechselnd von einem Auslöseereignis, einer Funktion, einem Bereitstellungsereignis und einem Zustand der Kontrolldaten. Logische Verknüpfungen werden durch die grundlegenden Elemente der Petri-Netze (passive und aktive Komponenten sowie Kanten) dargestellt, so daß zusätzliche Darstellungselemente für logische Verknüpfungen nicht mehr nötig sind. Die Beziehung zum Datenmodell wird hier explizit dargestellt. Die Redundanz zur Darstellung des Nutzdatenflusses wird geringgehalten.

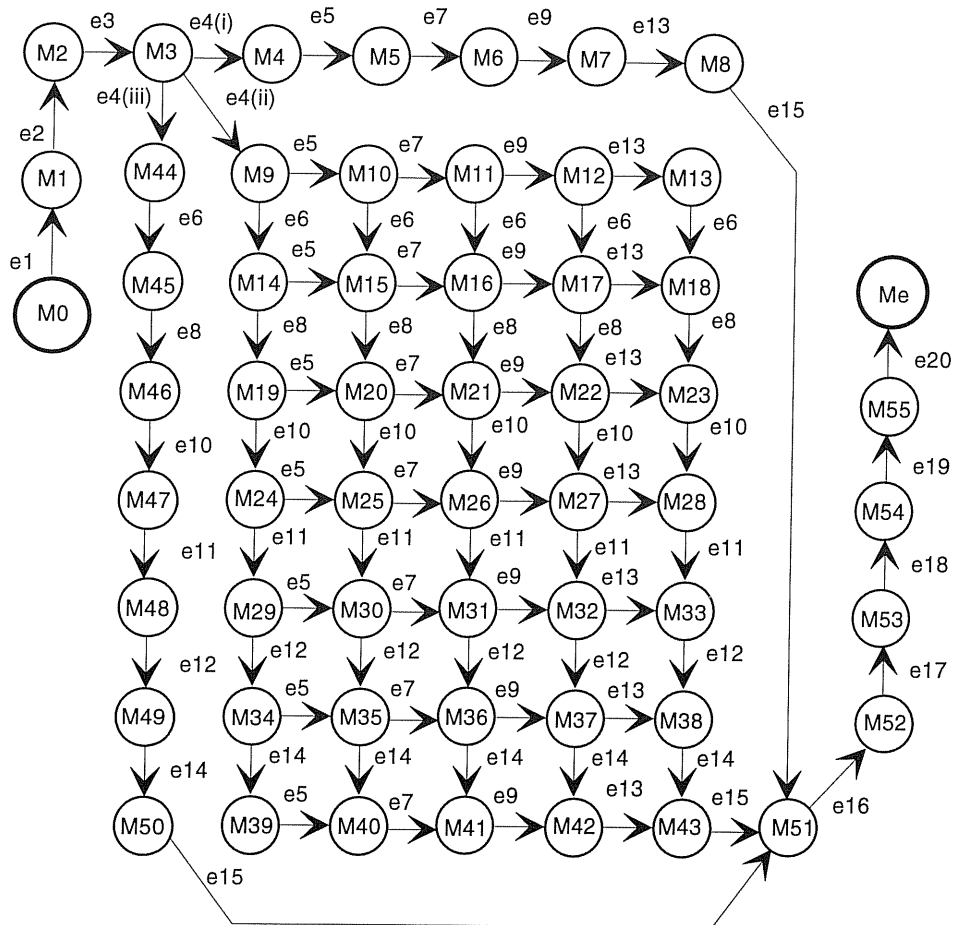


Abb.13a: Erreichbarkeitsgraph der Prozeßkette von Abb.8

Der Ansatz bietet nicht nur die Möglichkeit, bereits in früheren Entwurfsphasen die Prozeßketten mit einer graphenorientierten Beschreibungsmethode zu modellieren. Mit Hilfe der vielfältigen Analyseverfahren, die sich zur Validierung der modellierten Prozeßketten in diesem Ansatz einbinden lassen, kann auch der Übergang von vorwiegend verbalen Systembeschreibungen zu präzisen Modellen wesentlich erleichtert werden. Somit kann der Ansatz mit geringem Aufwand auch zur Validierung einer mit EPK modellierten Prozeßkette eingesetzt werden.

Zur Konstruktion und Analyse mit Hilfe der Petri-Netze werden derzeit zahlreiche Software-Werkzeuge angeboten¹⁹. Ein Teil davon kann auch bedingt bei dem hier entwickelten Ansatz eingesetzt werden.

Zur Simulation konkreter Abläufe können Stellen, Transitionen, Kanten und Marken auch mit einer Zeitbewertung versehen werden. Durch die Einführung der Zeit wird das Prozeßmodell um eine zusätzliche Dimension erweitert, aber in seiner Kausalität nicht verändert. Aussagen zum konkreten zeitlichen Verhalten sind dann ableitbar.

¹⁹ Ein guter Überblick über die Werkzeuge ist gegeben in: Leszak, M.; Eggert, H.: Petri-Netze-Methoden und -Werkzeuge - Hilfsmittel zur Entwurfsspezifikation und -validation von Rechensystemen, Berlin et al. 1989.

Kno- ten	Zustände																					
	Pa	F1	B1	F2	A	S1	B2	B3	F3	B4	F4	B5	F5	B6	S2	F6	B7	F7	B8	F8	Pe	
M0	1				i,ii,iii																	
M1		1			i,ii,iii																	
M2			1		i,ii,iii																	
M3				1	i,ii,iii																	
M4					i,ii,iii	a									a							
M5					i,ii,iii		1								a							
M6					i,ii,iii				1						a							
M7					i,ii,iii					1					a							
M8					i,ii,iii										2a							
M9					i,ii,iii	a,b									a,b							
M10					i,ii,iii	b	1								a,b							
M11					i,ii,iii	b			1						a,b							
M12					i,ii,iii	b				1					a,b							
M13					i,ii,iii	b					1				2a,b							
M14					i,ii,iii	a		1							a,b							
M15					i,ii,iii		1	1							a,b							
M16					i,ii,iii			1	1						a,b							
M17					i,ii,iii			1		1					a,b							
M18					i,ii,iii			1			1				2a,b							
M19					i,ii,iii	a					1				a,b							
M20					i,ii,iii		1				1				a,b							
M21					i,ii,iii				1		1				a,b							
M22					i,ii,iii					1	1				a,b							
M23					i,ii,iii						1				2a,b							
M24					i,ii,iii	a						1			a,b							
M25					i,ii,iii		1					1			a,b							
M26					i,ii,iii				1			1			a,b							
M27					i,ii,iii					1		1			a,b							
M28					i,ii,iii							1			2a,b							
M29					i,ii,iii	a							1		a,b							
M30					i,ii,iii		1						1		a,b							
M31					i,ii,iii				1				1		a,b							
M32					i,ii,iii					1			1		a,b							
M33					i,ii,iii								1		2a,b							
M34					i,ii,iii	a								1	a,b							
M35					i,ii,iii		1							1	a,b							
M36					i,ii,iii				1					1	a,b							
M37					i,ii,iii					1				1	a,b							
M38					i,ii,iii									1	2a,b							
M39					i,ii,iii	a									a,2b							
M40					i,ii,iii		1								a,2b							
M41					i,ii,iii				1						a,2b							
M42					i,ii,iii					1					a,2b							
M43					i,ii,iii										2a,2b							
M44					i,ii,iii	b									b							
M45					i,ii,iii			1							b							
M46					i,ii,iii					1					b							
M47					i,ii,iii						1				b							
M48					i,ii,iii							1			b							
M49					i,ii,iii								1		b							
M50					i,ii,iii									1	2b							
M51					i,ii,iii											1						
M52					i,ii,iii												1					
M53					i,ii,iii													1				
M54					i,ii,iii														1			
M55					i,ii,iii															1		
Me					i,ii,iii																1	

Abb.13b: Knoten des Erreichbarkeitsgraphen von Abb.13a

Literaturverzeichnis

- Abel, D.: Petri-Netze für Ingenieure - Modellbildung und Analyse diskret gesteuerter Systeme, Berlin at al. 1990.
- Baumgarten, B.: Petri-Netze - Grundlagen und Anwendungen, Mannheim at al. 1990.
- Busch, R.: Entwurf eines Systems zur integrierten Fertigung (CIM) mit Petri-Netzen, in: Zeitschrift für Betriebswissenschaft (ZfB), 59. Jg. (1989), H. 8, S. 822-838.
- Busch, U.: Konzeption betrieblicher Informations- und Kommunikationssysteme, Berlin 1983.
- Domschke, W.; Drexl, A.: Einführung in Operations Research, 2. Aufl., Berlin at al. 1991.
- Hanisch, H.-M.: Petri-Netze in der Verfahrenstechnik, München at al. 1992.
- Helbig, R.: Planung und Controlling organisatorischer Systeme mit Petri-Netzen, in: Schechonk, G., Reisig, W.(Hrsg.): Petri-Netze im Einsatz für Entwurf und Entwicklung von Informationssystemen, Berlin at al. 1993, S. 196-208.
- Hofmann, W.; Kirsch, J.; Scheer, A.-W.: Modellierung mit Ereignisgesteuerten Prozeßketten, in: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft101, Saarbrücken 1993.
- Jensen, K.: Coloured Petri Nets, in: Brauer W.; Reisig, W.; Rozenberg, G. (Hrsg.): Petri Nets: Central Models and Their Properties, Advances in Petri Nets, Part I, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 254, 1986, S. 248-299.
- Keller, G.; Kirsch, J.; Nüttgens, M.; Scheer, A.-W.: Informationsmodellierung in der Fertigungssteuerung, in: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 80, Saarbrücken 1991.
- Keller, G., Nüttgens, M., Scheer, A.-W.: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßkette (EPK)", in: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 89, Saarbrücken 1992.

- Klemm, U.: Automatische Erstellung eines Netzplans aus der Reihenfolgetabelle und seine graphengesteuerte Auswertung nach CPM, in: Elektronische Datenverarbeitung 1966, 8, S. 66-70.
- Leszak, M.; Eggert, H.: Petri-Netze-Methoden und -Werkzeuge - Hilfsmittel zur Entwurfs-spezifikation und -validation von Rechensystemen, Berlin at al. 1989.
- Reisig, W.: Petrinetze - Eine Einführung, Berlin at al. 1982.
- Scheer, A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme - Grundlagen der Unterneh-mensmodellierung, 2. Aufl., Berlin et al. 1992.
- Scheer, A.-W.: ARIS-Methodenbuch - Fachkonzept, Saarbrücken 1993.
- Scheer, A.-W.; Hoffmann, W.; Wein, R.: HP OpenCAM - Offene Strukturen mit der ARIS-Architektur, in: CIM Management 2/1993, S. 52-55.
- Scheschonk, G.: Design/CPN - Das Simulationswerkzeug für hierarchische Petri-Netze auf der Basis von Design/OA, in: Balzert, H.(Hrsg.): CASE - Systeme und Werkzeuge, 2. Aufl., Mannheim at al. 1990, S. 167-189.
- Spang, S: Informationsmodellierung im Investitionsgütermarketing, Wiesbaden 1993.

Die Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik (IWi) im Institut für empirische Wirtschaftsforschung an der Universität des Saarlandes erscheinen in unregelmäßiger Folge.

* Die Hefte 1 - 31 werden nicht mehr verlegt.

- Heft 32: A.-W. Scheer: Einfluß neuer Informationstechnologien auf Methoden und Konzepte der Unternehmensplanung, März 1982, Vortrag anläßlich des Anwendergespräches "Unternehmensplanung und Steuerung in den 80er Jahren in Hamburg vom 24. - 25.11.1981
- Heft 33: A.-W. Scheer: Disposition- und Bestellwesen als Baustein zu integrierten Warenwirtschaftssystemen, März 1982, Vortrag anläßlich des gdi-Seminars "Integrierte Warenwirtschafts-Systeme" in Zürich vom 10. - 12. Dezember 1981
- Heft 34: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS - Ein Ansatz zur Entwicklung prüfungsgerechter Software-Systeme, Mai 1982
- Heft 35: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS-D, Konzept einer computergestützten Prüfungsumgebung, Juli 1982
- Heft 36: A.-W. Scheer: Rationalisierungserfolge durch Einsatz der EDV - Ziel und Wirklichkeit, August 1982, Vortrag anläßlich der 3. Saarbrücker Arbeitstagung "Rationalisierung" in Saarbrücken vom 04. - 06. 10.1982
- Heft 37: A.-W. Scheer: DV-gestützte Planungs- und Informationssysteme im Produktionsbereich, September 1982
- Heft 38: A.-W. Scheer: Interaktive Methodenbanken: Benutzerfreundliche Datenanalyse in der Marktforschung, Mai 1983
- Heft 39: A.-W. Scheer: Personal Computing - EDV-Einsatz in Fachabteilungen, Juni 1983
- Heft 40: A.-W. Scheer: Strategische Entscheidungen bei der Gestaltung EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, August 1983, Vortrag anläßlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. - 28.09.1983
- Heft 41: H. Krcmar: Schnittstellenprobleme EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, August 1983, Vortrag anläßlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. - 28.09.1983
- Heft 42: A.-W. Scheer: Factory of the Future, Vorträge im Fachausschuß "Informatik in Produktion und Materialwirtschaft" der Gesellschaft für Informatik e. V., Dezember 1983
- Heft 43: A.-W. Scheer: Einführungsstrategie für ein betriebliches Personal-Computer-Konzept, März 1984
- Heft 44: A.-W. Scheer: Schnittstellen zwischen betriebswirtschaftlicher und technische Datenverarbeitung in der Fabrik der Zukunft, Juli 1984
- Heft 45: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS-D, Ein Werkzeug zur Messung der Qualität von Software-Systemen, August 1984
- Heft 46: H. Krcmar: Die Gestaltung von Computer am-Arbeitsplatz-Systemen - ablauforientierte Planung durch Simulation, August 1984
- Heft 47: A.-W. Scheer: Integration des Personal Computers in EDV-Systeme zur Kostenrechnung, August 1984

- Heft 48: A.-W. Scheer: Kriterien für die Aufgabenverteilung in Mikro-Mainframe Anwendungssystemen, April 1985
- Heft 49: A.-W. Scheer: Wirtschaftlichkeitsfaktoren EDV-orientierter betriebswirtschaftlicher Problemlösungen, Juni 1985
- Heft 50: A.-W. Scheer: Konstruktionsbegleitende Kalkulation in CIM-Systemen, August 1985
- Heft 51: A.-W. Scheer: Strategie zur Entwicklung eines CIM-Konzeptes - Organisatorische Entscheidungen bei der CIM-Implementierung, Mai 1986
- Heft 52: P. Loos, T. Ruffing: Verteilte Produktionsplanung und -steuerung unter Einsatz von Mikrocomputern, Juni 1986
- Heft 53: A.-W. Scheer: Neue Architektur für EDV-Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung, Juli 1986
- Heft 54: U. Leismann, E. Sick: Konzeption eines Bildschirmtext-gestützten Warenwirtschaftssystems zur Kommunikation in verzweigten Handelsunternehmen, August 1986
- Heft 55: D. Steinmann: Expertensysteme (ES) in der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) unter CIM-Aspekten, November 1987, Vortrag anlässlich der Fachtagung "Expertensysteme in der Produktion" am 16. und 17.11.1987 in München
- Heft 56: A.-W. Scheer: Enterprise wide Data Model (EDM) as a Basis for Integrated Information Systems, Juli 1988
- Heft 57: A.-W. Scheer: Present Trends of the CIM Implementation (A qualitative Survey) Juli 1988
- Heft 58: A.-W. Scheer: CIM in den USA - Stand der Forschung, Entwicklung und Anwendung, November 1988
- Heft 59: R. Herterich, M. Zell: Interaktive Fertigungssteuerung teilautonomer Bereiche, November 1988
- Heft 60: A.-W. Scheer, W. Kraemer: Konzeption und Realisierung eines Expertenunterstützungssystems im Controlling, Januar 1989
- Heft 61: A.-W. Scheer, G. Keller, R. Bartels: Organisatorische Konsequenzen des Einsatzes von Computer Aided Design (CAD) im Rahmen von CIM, Januar 1989
- Heft 62: M. Zell, A.-W. Scheer: Simulation als Entscheidungsunterstützungsinstrument in CIM, September 1989
- Heft 63: A.-W. Scheer: Unternehmens-Datenbanken - Der Weg zu bereichsübergreifenden Datenstrukturen, September 1989
- Heft 64: C. Berkau, W. Kraemer, A.-W. Scheer: Strategische CIM-Konzeption durch Eigenentwicklung von CIM-Modulen und Einsatz von Standardsoftware, Dezember 1989
- Heft 65: A. Hars, A.-W. Scheer: Entwicklungsstand von Leitständen[®][1], Dezember 1989
- Heft 66: W. Jost, G. Keller, A.-W. Scheer: CIMAN - Konzeption eines DV-Tools zur Gestaltung einer CIM-orientierten Unternehmensarchitektur, März 1990
- Heft 67: A.-W. Scheer: Modellierung betriebswirtschaftlicher Informationssysteme (Teil 1:

Logisches Informationsmodell), März 1990

- Heft 68: W. Kraemer: Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen in betriebswirtschaftlichen Anwendungsgebieten, März 1990
- Heft 69: A.-W. Scheer, R. Bartels, G. Keller: Konzeption zur personalorientierten CIM-Einführung, April 1990
- Heft 70: St. Spang, K. Ibach: Zum Entwicklungsstand von Marketing-Informationssystemen in der Bundesrepublik Deutschland, September 1990
- Heft 71: D. Aue, M. Baresch, G. Keller: URME_L, Ein Unte_RnehmensModE_Llierungsansatz, Oktober 1990
- Heft 72: M. Zell: Datenmanagement simulationsgestützter Entscheidungsprozesse am Beispiel der Fertigungssteuerung, November 1990
- Heft 73: A.-W. Scheer, M. Bock, R. Bock: Expertensystem zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation, November 1990
- Heft 74: R. Bartels, A.-W. Scheer: Ein Gruppenkonzept zur CIM-Einführung, Januar 1991
- Heft 75: M. Nüttgens, St. Eichacker, A.-W. Scheer: CIM-Qualifizierungskonzept für Klein- und Mittelunternehmen (KMU), Januar 1991
- Heft 76: Ch. Houy, J. Klein: Die Vernetzungsstrategie des Instituts für Wirtschaftsinformatik - Migration vom PC-Netzwerk zum Wide Area Network (noch nicht veröffentlicht)
- Heft 77: W. Kraemer: Ausgewählte Aspekte zum Stand der EDV-Unterstützung für das Kostenmanagement: Modellierung benutzerindividueller Auswertungssichten in einem wissensbasierten Controlling-Leitstand, Mai 1991
- Heft 78: H. Heß: Vergleich von Methoden zum objektorientierten Design von Softwaresystemen, August 1991
- Heft 79: A.-W. Scheer: Konsequenzen für die Betriebswirtschaftslehre aus der Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien, Mai 1991
- Heft 80: G. Keller, J. Kirsch, M. Nüttgens, A.-W. Scheer: Informationsmodellierung in der Fertigungssteuerung, August 1991
- Heft 81: A.-W. Scheer: Papierlose Beratung - Werkzeugunterstützung bei der DV-Beratung, August 1991
- Heft 82: C. Berkau: VOKAL (System zur Vorgangskettendarstellung und -analyse), Teil 1: Struktur der Modellierungsmethode - Dezember 1991 (wird nicht verlegt)
- Heft 83: A. Hars, R. Heib, Ch. Kruse, J. Michely, A.-W. Scheer: Concepts of Current Data Modelling Methodologies - Theoretical Foundations - 1991
- Heft 84: A. Hars, R. Heib, Ch. Kruse, J. Michely, A.-W. Scheer: Concepts of Current Data Modelling Methodologies - A Survey - 1991
- Heft 85: W. Hoffmann, M. Nüttgens, A.-W. Scheer, St. Scholz: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 1: Produktionsplanung), Oktober 1991

- Heft 86: A.-W. Scheer: Koordinierte Planungsinself: Ein neuer Lösungsansatz für die Produktionsplanung, November 1991
- Heft 87: M. Nüttgens, G. Keller, S. Stehle: Konzeption hyperbasierter Informationssysteme, Dezember 1991
- Heft 88: W. Hoffmann, B. Maldener, M. Nüttgens, A.-W. Scheer: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 2: Produktionssteuerung), Januar 1992
- Heft 89: G. Keller, M. Nüttgens, A.-W. Scheer: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßketten (EPK)", Januar 1992 (noch nicht veröffentlicht)
- Heft 90: C. Berkau, A.-W. Scheer: VOKAL (System zur Vorgangskettendarstellung), Teil 2: VKD-Modellierung mit Vokal, Dezember 1991 (wird nicht verlegt)
- Heft 91: C. Berkau: Konzept eines controllingbasierten Prozeßmanagers als intelligentes Multi-Agent-System, Januar 1992
- Heft 92: A. Hars, R. Heib, Chr. Kruse, J. Michely, A.-W. Scheer: Approach to classification for information engineering - methodology and tool specification, August 1992
- Heft 93: M. Nüttgens, A.-W. Scheer, M. Schwab: Integrierte Entsorgungssicherung als Bestandteil des betrieblichen Informationsmanagements, August 1992
- Heft 94: Chr. Kruse, A.-W. Scheer: Modellierung und Analyse dynamischen Systemverhaltens, Oktober 1992
- Heft 95: R. Backes, W. Hoffmann, A.-W. Scheer: Konzeption eines Ereignisklassifikationssystems in Prozeßketten, November 1992
- Heft 96: P. Loos: Die Semantik eines erweiterten Entity-Relationship-Modells und die Überführung in SQL-Datenbanken, November 1992
- Heft 97: Chr. Kruse, M. Gregor: Integrierte Simulationsmodellierung in der Fertigungssteuerung am Beispiel des CIM-TTZ Saarbrücken, Dezember 1992
- Heft 98: R. Heib: Konzeption für ein computergestütztes IS-Controlling, Dezember 1992
- Heft 99: H. Heß: Gestaltungsrichtlinien zur objektorientierten Modellierung, Dezember 1992
- Heft 100: P. Loos: Representation of Data Structures Using the Entity Relationship Model and the Transformation in Relational Databases, January 1993
- Heft 101: W. Hoffmann, J. Kirsch, A.-W. Scheer: Modellierung mit Ereignisgesteuerten Prozeßketten (Methodenbuch, Stand: Dezember 1992), Januar 1993
- Heft 102: P. Loos: Konzeption einer graphischen Rezeptverwaltung und deren Integration in eine CIP-Umgebung - Teil 1, Juni 1993
- Heft 103: wird noch nicht verlegt
- Heft 104: A. Traut; T. Geib; A.-W. Scheer: Sichtgeführter Montagevorgang - Planung, Realisierung, Prozeßmodell, Juni 1993
- Heft 105: A. Hars; V. Zimmermann; A.-W. Scheer: Entwicklungslinien für die computergestützte Modellierung von Aufbau- und Ablauforganisation, Dezember 1993

Heft 106: W. Hoffmann; R. Wein; A.-W. Scheer: Konzeption eines Steuerungsmodells für Informationssysteme - Basis für die Real-Time-Erweiterung der EPK (rEPK), Dezember 1993

Heft 107: R. Chen, A.-W. Scheer: Modellierung von Prozeßketten mittels Petri-Netz-Theorie, Februar 1994