

Arbeitsbericht Nr. 37

ATMS-Systeme

von

Dr. Stephan Zelewski

Köln 1991

Alle Rechte vorbehalten.

Abstract

Kontingenzplanungen erlangen vor allem in drei Bereichen besondere Bedeutung: als Langfristplanungen, als Katastrophenplanungen und als kurzfristige Anpassungsplanungen bei hochgradig variablen Planungssituationen. Unter den verschiedenen betriebswirtschaftlichen Ansätzen, die für die drei vorgenannten Planungsbereiche diskutiert werden, entspricht das Konzept der inkrementellen Kontingenzplanung noch am ehesten der betrieblichen Planungspraxis. Ein neuartiges Hilfsmittel für die Verwirklichung solcher inkrementellen Kontingenzplanungen stellen begründungsverwaltende Systeme dar. Zunächst wird ihr allgemeines Leistungsvermögen gewürdigt. Anschließend werden die zugrundeliegenden informationstechnischen Konzepte näher erläutert. Ein ausführlicher diskutiertes Beispiel verdeutlicht schließlich die Fähigkeiten von begründungsverwaltenden Systemen. Die Ausführungen konzentrieren sich auf die subtilste Systemvariante: die ATMS-Systeme. Sie decken sowohl abweichungsspezifische Anpassungsplanungen als auch hypothetische Szenarioplanungen ab. Dabei überlassen sie es der Gestaltungsfreiheit der Planungsträger, wie sie die Gewichte zwischen nachträglichen Plananpassungen und vorsorglichen Szenarioanalysen verteilen möchten.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Das Konzept der Kontingenzplanung	1
2	Überblick über alternative Ansätze für Kontingenzplanungen	3
2.1	Vorherrschende Konzepte	3
2.2	Inkrementelle Kontingenzplanungen	5
3	Begründungsverwaltende Systeme	8
3.1	Übersicht	8
3.2	Übertragung auf Kontingenzplanungen	9
3.3	Erweiterungsperspektiven	10
4	Informationstechnische Aspekte der Begründungsverwaltung	11
4.1	Eine Skizze der wesentlichen Verwaltungsmechanismen	11
4.1.1	Einschränkung auf ATMS-Systeme	11
4.1.2	Der prinzipielle Aufbau eines ATMS-Systems	12
4.1.3	Der Ablauf begründungsverwaltender Aktivitäten	16
4.1.3.1	Ein Überblick	16
4.1.3.2	Verfeinerungen	20
4.1.3.3	Konsequenzen	23
4.2	Anmerkungen zur Implementierung	25
5	Betriebswirtschaftliche Anwendungsperspektiven	26
5.1	Übersicht	26
5.2	Ein verdeutlichendes Beispiel	28
6	Zusammenfassung	38
7	Anmerkungen	39
8	Literaturverzeichnis	54

1 Das Konzept der Kontingenzplanung

Unter dem Begriff der Kontingenzplanung werden Planungskonzepte zusammengefaßt, die sich durch drei Merkmale auszeichnen: die situative Plangültigkeit, die Pluralität von Planungssituationen und die Situationsunsicherheit.

Das Merkmal der situativen Plangültigkeit drückt aus, daß ein Plan nur unter der Bedingung gültig ist, daß die ihm zugrundeliegende Planungssituation zutrifft. Dies erscheint prima facie trivial. Denn jedes Planungskonzept räumt ein, daß ein Plan lediglich gültig sein kann, solange seine Planungsprämissen akzeptiert werden. Die situative Plangültigkeit reicht aber über die allgemeine Prämissenabhängigkeit von Plänen hinaus. Denn sie bezieht sich nicht schlicht auf alle Planungsprämissen. Vielmehr erstreckt sie sich nur auf jene Prämissen, die zwei spezielle Anforderungen erfüllen. Einerseits muß es sich um Prämissen handeln, die als solche *explizit* ausgedrückt worden sind. Im folgenden wird unterstellt, daß jede derart explizierte Planungsprämisse als eine - beliebig komplexe - prädikatenlogische Formel vorliegt¹. Für betriebswirtschaftliche Fragestellungen reicht das Ausdrucksvermögen der Prädikatenlogik (1. Ordnung) vollkommen aus, um alle interessanten Planungsprämissen explizit zu formulieren. Andererseits wird von vornherein eingeräumt, daß die explizierte Planungsprämisse keineswegs notwendig ist. Vielmehr handelt es sich nur um eine denkmögliche - "*kontingente*" - Annahme. Sie kann der Planung zugrundeliegen, muß es aber keineswegs. Solche expliziten und kontingenten Planungsprämissen werden fortan als Planungsannahmen bezeichnet².

Eine Planungssituation ist eine endliche, nicht-leere Menge von Planungsannahmen. Eine Planungssituation heißt vollständig spezifiziert, wenn ihre Annahmenmenge so umfangreich ist, daß sich aus ihr genau ein eindeutig bestimmter Plan ableiten läßt³. Ein Plan, der aus einer vollständig spezifizierten Situation abgeleitet wurde⁴, wird auch als Kontingenzplan angesprochen. Er erweist sich als situativ gültig: Seine Geltung ist nur unter der Bedingung garantiert, daß die zugrundeliegende Planungssituation zutrifft⁵.

Die charakteristische Kontingenz von Planungsannahmen läßt grundsätzlich die Fokussierung auf genau eine Planungssituation zu. Dies ist z.B. für alle "repräsentativen" Planungsansätze der Fall, die nur eine "typische" Planungssituation untersuchen. Das zweite Merkmal von Kontingenzplanungen, die Pluralität von Planungssituationen, bedeutet hingegen, daß mindestens zwei unterschiedliche Planungssituationen betrachtet werden. Diese Planungssituationen werden fortan - sofern keine ausdrücklich abweichenden Festlegungen erfolgen - stets als vollständig spezifizierte Planungssituationen unterstellt⁶. Darüber hinaus wird vorausgesetzt, daß es sich um Planungssituationen handelt, die nicht alle denselben Kontingenzplan implizieren⁷.

Das Merkmal der Situationsunsicherheit drückt schließlich eine Wissenslücke aus: Es ist im Planungszeitraum unbekannt, welche Planungsannahmen im späteren Zeitraum der Planrealisierung tatsächlich zutreffen werden. Folglich besteht a priori Unsicherheit, welche der in Betracht gezogenen Planungssituationen sich a posteriori als zutreffend herausstellen wird⁸.

Die beiden ersten Merkmale von Kontingenzplanungen lassen sich durch drei Axiome AX_n mit $n \in \{1,2,3\}$ formal präzisieren. Sie werden anschließend aufgeführt. Sie setzen lediglich eine modallogische Erweiterung des oben eingeführten prädikatenlogischen Formulierungsrahmens voraus. Sie gestattet es, die Planungsannahmen als Formeln zu qualifizieren, deren Gültigkeit ein Planungsträger für möglich hält⁹. Das dritte Merkmal der Situationsunsicherheit erforderte dagegen den Übergang zu einer epistemischen Logik. Denn erst dann wäre es möglich, den aktuellen Wissensstand eines Planungsträgers im Planungszeitraum formal zu erfassen. Auf diese Komplizierung wird hier verzichtet. Für die Präzisierung der ersten beiden Merkmale von Kontingenzplanungen gilt:

a) situative Planungsgültigkeit:

$$\begin{aligned} AX_1 : <=> (\forall (i \in N_+) \dot{\forall} (J_i \in N_+) : \dots \\ & PS_i = \{PA_{i.1}, \dots, PA_{i.J_i}\} \\ & \wedge (\diamond PA_{i.1}) \wedge \dots \wedge (\diamond PA_{i.J_i}) \\ & \wedge (PA_{i.1}, \dots, PA_{i.J_i} \vdash KP(PS_i))) \end{aligned} \quad 10)$$

b) Pluralität der Planungssituationen:

ba) Existenz verschiedener Planungssituationen:

$$\begin{aligned} AX_2 : <=> (\dot{\forall} (I \in N_+) : I \geq 2 \wedge \dots \\ & (\wedge (i \in \{1, \dots, I\}) : \dots \\ & (\dot{\forall} (J_i \in N_+) : PS_i = \{PA_{i.1}, \dots, PA_{i.J_i}\} \\ & \wedge (\diamond PA_{i.1}) \wedge \dots \wedge (\diamond PA_{i.J_i}) \\ & \wedge (PA_{i.1}, \dots, PA_{i.J_i} \vdash KP(PS_i)))))) \end{aligned} \quad 11)$$

bb) Relevanz der Situationsverschiedenheit:

$$\begin{aligned} AX_3 : <=> (\forall (i_1 \in \{1, \dots, I\}) \forall (i_2 \in (\{1, \dots, I\} - \{i_1\})) : \dots \\ & (PS_{i_1} = \{PA_{i_1.1}, \dots, PA_{i_1.J_{i_1}}\} \\ & \wedge (PA_{i_1.1}, \dots, PA_{i_1.J_{i_1}} \vdash KP(PS_{i_1})) \\ & \wedge PS_{i_2} = \{PA_{i_2.1}, \dots, PA_{i_2.J_{i_2}}\} \\ & \wedge (PA_{i_2.1}, \dots, PA_{i_2.J_{i_2}} \vdash KP(PS_{i_2}))) \\ & \rightarrow (KP(PS_{i_1}) \neq KP(PS_{i_2}))) \end{aligned}$$

Dabei bedeuten:

AX_n :	n-tes Axiom
$KP(PS_i)$:	Kontingenzplan für die i-te Planungssituation
$PA_{i.j}$:	j-te Planungsannahme im Rahmen der i-ten Planungssituation
PS_i :	i-te Planungssituation
\diamond :	Modaloperator der Möglichkeit
\vdash :	Inferenzoperator der Ableitbarkeit
N_+ :	Menge aller positiven Ganzzahlen

2 Überblick über alternative Ansätze für Kontingenzplanungen

2.1 Vorherrschende Konzepte

Kontingenzplanungen sind aus betriebswirtschaftlicher Sicht keineswegs neu, wenn von der prädikatenlogischen Ausformulierung ihrer expliziten Planungsannahmen abgesehen wird. Statt dessen existiert seit geraumer Zeit eine Vielzahl von Planungsansätzen, die sich mit situationsspezifischen Plänen befassen. Die Bezeichnung "Kontingenzplanung" findet dagegen erst in jüngerer Zeit und vornehmlich im angloamerikanischen Raum Verbreitung¹²⁾.

Alle bisher vorgelegten Konzepte für situationsspezifische Pläne reduzieren die betrachteten Planungssituationen auf alternative Umweltsituationen. Es besteht lediglich Unsicherheit darüber, in welcher realen Umwelt die Ausführung eines Plans erfolgen wird. Unsicherheit hinsichtlich des Zutreffens anderer Planungsannahmen, die nicht die Umweltsituation betreffen, findet dagegen keine Beachtung. Beispielsweise kann aber auch Unsicherheit hinsichtlich der Präferenzsysteme der involvierten Planungsträger bestehen. Diese Präferenzvorstellungen werden im allgemeinen nicht zur Beschreibung der "relevanten" Planungsumwelt gerechnet. Dennoch ist es möglich, daß sich die Präferenzsysteme von Planungsträgern in der Zeit, die zwischen dem Aufstellen und dem Verwirklichen von Plänen verstreicht, erheblich verändern. Dies haben HARRALD, MARCUS und WALLACE für die Risikopräferenzen von Planungsträgern anschaulich dargelegt: Die Präferenzen änderten sich schlagartig mit dem Eintritt eines unwahrscheinlichen, aber konsequenzenreichen Tankerunfalls¹³⁾. Daher werden hier Kontingenzplanungen so weit aufgefaßt, daß ihre Planungssituationen durch Planungsannahmen *beliebiger* Art konstituiert werden können. Insbesondere dürfen sich die Planungsannahmen auch auf Aspekte erstrecken, die nicht unmittelbar auf unsichere Umweltentwicklungen bezogen sind.

Wenn von der Verengung auf Umweltsituationen abgesehen wird, findet sich das oben definierte Konzept der Kontingenzplanung in allen Eventualplanungen wieder. Zu dieser Planungsklasse gehören vor allem die Szenarioplanungen¹⁴⁾. Eine Eventualplanung sieht für jede Planungssituation, die in Betracht gezogen worden ist, einen situationsspezifischen Kontingenzplan vor. Die Unsicherheit hinsichtlich der tatsächlich zutreffenden Planungssituation wird nicht beseitigt. Daher erfolgt auch keine Festlegung, welchen der situationsspezifischen Kontingenzpläne ein Planungsträger bevorzugen soll. Diese Planungsoffenheit ist unbefriedigend, weil sie nicht zuläßt, einen eindeutig bestimmten Plan als Resultat der Planungsanstrengungen vorzulegen¹⁵⁾.

Aufgrund des Bestrebens, eindeutig bestimmte Planungsergebnisse zu gewinnen, wird das Konzept der Kontingenzplanungen oftmals modifiziert: Es wird nicht mehr nach mehreren situationsspezifischen Kontingenzplänen als intendierten Endergebnissen gesucht. Sie spielen allenfalls noch als Zwischenresultate eine Rolle. Statt dessen wird versucht, einen eindeutig determinierten Kontingenzplan abzuleiten¹⁶⁾. Bei der Ermittlung eines solchen Kontingenzplans lassen sich zwei grundverschiedene Ansätze unterscheiden: Es werden entweder vollständige oder aber nur partielle Kontingenzpläne aufgestellt.

Vollständige Kontingenzpläne werden bei stochastischen Planungen ermittelt. Stochastische Planungen beruhen auf der Verwendung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen¹⁷⁾. Mit ihrer Hilfe werden den Planungssituationen - direkt oder mittelbar¹⁸⁾ - Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet. Des weiteren wird ein Entscheidungskriterium unterstellt, das eine Aggregation aller situationsabhängigen Planungsergebnisse erlaubt. Es wird genau ein¹⁹⁾ verteilungs- und aggregationsspezifischer Kontingenzplan aufgestellt, der das Entscheidungskriterium bestmöglich erfüllt²⁰⁾. Vollständige Kontingenzpläne vermeiden zwar die unerwünschte Planungsoffenheit von Eventualplanungen. Dafür leidet der stochastische Planungsansatz aber unter zwei anderen, ebenso gravierenden Schwächen.

Erstens beruht er auf der Unterstellung, daß die erforderlichen Wahrscheinlichkeitsverteilungen bekannt sind. Diese Informationsprämisse ist bei realen Planungsproblemen aber nur selten erfüllt. Daher greifen stochastische Kontingenzplanungen in der Regel auf eine von zwei Strategien zurück, um diese Prämissenverletzung zu heilen. Entweder werden die Wahrscheinlichkeitsverteilungen schlicht als "gegeben" vorausgesetzt. Hier liegt eine typische Ausformung des vielfach beklagten Modellplatonismus vor. Oder es wird zu subjektiven Wahrscheinlichkeiten Zuflucht genommen. Dabei wird suggeriert, daß jeder Planungsträger in der Lage sei, diese subjektiven Wahrscheinlichkeiten "problemadäquat" festzulegen. Weder die präsupponierten Adäquanzkriterien noch die empirische Gültigkeit dieser Suggestion werden näher beleuchtet. Dies kann aber kaum akzeptiert werden. Denn einerseits liegen mehrere Untersuchungen vor, die aufzeigen, daß subjektive Wahrscheinlichkeitsschätzungen oftmals noch nicht einmal elementarste Anforderungen der Wahrscheinlichkeitstheorie erfüllen²¹⁾. Andererseits zeigt die betriebliche Praxis, daß sich Planungsträger zumeist nicht mit der Schätzung subjektiver Wahrscheinlichkeiten aufhalten²²⁾.

Zweitens leiden stochastische Kontingenzplanungen unter einer konzeptionellen Inkonsequenz: Zwar beruhen sie auf der Überzeugung, daß kontingente Planungsannahmen, die im Planungszeitraum erfolgten, während der Planverwirklichung keineswegs tatsächlich zutreffen müssen. Dennoch wird der eine verteilungs- und aggregationsspezifische Kontingenzplan für die spätere Realisierung als ausführungsverbindlich festgeschrieben²³⁾. Dieser eine Kontingenzplan mag für die zugrundegelegte Wahrscheinlichkeitsverteilung und für das ebenso vorausgesetzte Entscheidungskriterium "optimal" sein. Aber in derjenigen Planungssituation, die im Zeitraum der Planverwirklichung tatsächlich zutrifft, kann er weitaus schlechter ausfallen als ein anderer möglicher, situationspezifisch ermittelter Plan. Eine nachträgliche Anpassung des "optimalen" Plans an die tatsächliche Planungssituation im Zeitraum der Planverwirklichung wird im Rahmen einer stochastischen Kontingenzplanung jedoch nicht vorgesehen. Sie läßt sich allenfalls dadurch erreichen, daß später eine vollständige Neuauflage der Kontingenzplanung mit veränderter Wahrscheinlichkeitsverteilung erfolgt.

Die problematische Präsupposition einer bekannten Wahrscheinlichkeitsverteilung und die ebenso unbefriedigende Drohung wiederholter Neuplanungen lassen sich vermeiden. Zu diesem Zweck kann von vollständigen zu partiellen Kontingenzplänen übergegangen werden. Diesen Ansatz verfolgt das Konzept der Robusten Planung. Dort wird ein Kontingenzplan nur in dem Ausmaß entfaltet, wie es zur eindeutigen Festlegung des jeweils nächsten, unmittelbar zu verwirklichenden Planungsschritts erforderlich ist. Es handelt sich um die Planung eines robusten ersten Schritts. Dabei fällt ein erster Planungsschritt um so robuster aus, je mehr Planungssituationen mit situationspezifischen Kontingenzplänen, die ihrerseits von dem betrachteten ersten Planungsschritt eingeleitet werden, für möglich erachtet werden. Daher gilt auch: Je robuster ein erster Planungsschritt ist, desto plausibler ist es anzunehmen, daß die später tatsächlich vorliegende Planungssituation eine derjenigen Planungssituationen darstellt, deren situationspezifischen Kontingenzpläne vom ersten Planungsschritt eingeleitet werden. Folglich wird ein erster Planungsschritt ausgewählt, der im Rahmen aller in Betracht gezogenen ersten Planungsschritte die größte Robustheit besitzt. Er wird auch kurz als ein robuster erster Schritt bezeichnet.

Robuste Kontingenzplanungen besitzen zwei bemerkenswerte Vorzüge. Einerseits überwinden sie die unerwünschte Offenheit aller Eventualplanungen, indem sie einen ersten Planungsschritt eindeutig festlegen. Andererseits vermeiden sie die oben skizzierten Unzulänglichkeiten der stochastischen Kontingenzplanungen, indem sie auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen verzichten. Dennoch werden zur Planung unter Unsicherheit robuste Planungsansätze kaum verwendet. Dies mag an zwei Gründen liegen. Erstens erlauben sie nicht die Anwendung der formal eleganten Kalküle, die den stochastischen Kontingenzplanungen zugrundeliegen. Zweitens widerspricht es vermutlich einem diffusen Bedürfnis nach Planungsvollständigkeit, lediglich einen ersten robusten Planungsschritt zu fixieren. Beides liefert aber kein stringentes Argument gegen die Bevorzugung robuster Kontingenzplanungen. Denn die formale Kalküleleganz entscheidet nicht allein über die Angemessen-

heit eines Planungskonzepts. Ebenso wenig läßt sich die Vorliebe für vollständig fixierte Pläne mit der charakteristischen Unsicherheit von Kontingenzplanungen vereinbaren. Die Unkenntnis, welche der denkmöglichen Planungssituationen zukünftig tatsächlich zutreffen wird, spricht vielmehr zugunsten eines möglichst weitreichenden Offenhaltens der Planung. Genau dies leisten aber robuste Kontingenzplanungen. Dies gilt zumindest in dem Ausmaß, wie sie sich mit der Anforderung vereinbaren lassen, wenigstens die jeweils nächste auszuführende Handlung eindeutig zu bestimmen.

Allerdings sehen sich auch robuste Kontingenzplanungen einer wesentlichen Kritik ausgesetzt. Sie stimmen mit Eventualplanungen²⁴⁾ darin überein, daß zunächst für alle Planungssituationen, die in Betracht gezogen werden, die situationsspezifischen Kontingenzpläne ermittelt werden müssen. Denn nur so läßt sich feststellen, wie viele dieser Kontingenzpläne vom jeweils beleuchteten ersten Planungsschritt eingeleitet werden. Dieses Kenntnis ist wiederum erforderlich, um die Robustheit des ersten Planungsschritts zu ermitteln. Daher verursachen robuste Kontingenzplanungen einen erheblichen Ressourceneinsatz. Er ist erforderlich, um alle situationsspezifischen Kontingenzpläne zu erkunden.

2.2 Inkrementelle Kontingenzplanungen

Eine vierte Variante der Kontingenzplanung wird im allgemeinen nicht berücksichtigt, obwohl sie dem tatsächlichen Verhalten realer Planungsträger oftmals recht nahe kommt. Es handelt sich um eine Spielart der inkrementellen Planungsstrategie. Bei dieser Variante wird zunächst irgendeine derjenigen Planungssituationen, die grundsätzlich für möglich gehalten werden, vom Planungsträger als "wahrscheinlichste" oder "plausibelste" Planungssituation ausgezeichnet. Im Gegensatz zu stochastischen Kontingenzplanungen sind dafür weder Wahrscheinlichkeitsverteilungen noch stochastische Entscheidungskriterien erforderlich. Statt dessen reicht es aus, daß genau eine Planungssituation allen anderen vorgezogen wird. Dies bedeutet u.a. auch, daß noch nicht einmal subjektive Eintrittswahrscheinlichkeiten für alle Planungssituationen erforderlich sind. Für die eine ausgewählte Planungssituation wird der zugehörige, situationsspezifische Kontingenzplan abgeleitet. Im Zeitraum der Planverwirklichung wird kontrolliert, ob die Planungsannahmen der früher zugrundegelegten Planungssituation tatsächlich noch zutreffen. Sobald dies nicht mehr der Fall ist, wird darüber entschieden, ob die Annahmenverletzung eine Anpassung an die veränderte Planungssituation erfordert. Falls diese Entscheidung positiv ausfällt, geschieht eine Anpassungsplanung.

Auf den ersten Blick scheint das Konzept rollierender Planung der inkrementellen Kontingenzplanung Genüge zu leisten. Dies gilt jedoch nur mit einer erheblichen Einschränkung. Denn rollierende Planungen beruhen auf *wiederholten Neuplanungen*, die unter veränderten Planungsannahmen ausgeführt werden. Inkrementelle Kontingenzplanungen sehen dagegen zunächst "nur" *Anpassungsplanungen* vor. Mit ihrer Hilfe soll speziell auf jene Aspekte der tatsächlich eingetrossenen Planungssituation reagiert werden, die in der ursprünglich zugrundegelegten Planungssituation falsch vermutet worden waren. Solche Anpassungsplanungen werden fortan auch als abweichungsspezifische Anpassungsplanungen bezeichnet.

Es ist zwar durchaus möglich, die abweichungsspezifische Reaktionsweise einer Anpassungsplanung durch eine allgemeine Neuplanung zu ersetzen. Aber wiederholte Neuplanungen widersprechen konzeptionell den intendierten Anpassungsplanungen. Darüber hinaus würden wiederholte Neuplanungen tendenziell höhere Ressourcen für die Planungsausführung erfordern, als es für Anpassungsplanungen der Fall ist. Denn Anpassungsplanungen können in der Regel auf Teilergebnisse der Planungen für die ehemals zugrundegelegte, aber nachträglich nicht zutreffende Planungssituation zurückgreifen, ohne die Ressourcen für die Ermittlung dieser Teilergebnisse noch einmal aufwenden zu müssen²⁵⁾.

Daher liegen inkrementelle Kontingenzplanungen in "reiner Form" erst dann vor, wenn sie auf abweichungsspezifischen Anpassungsplanungen beruhen. Obwohl "Anpassungsplanungen" des öfteren thematisiert werden, handelt es sich zumeist um - offen bekundete oder verhüllte - wiederholte Neuplanungen. Abweichungsspezifische Anpassungsplanungen sind dagegen bisher kaum ernsthaft untersucht worden. Seltene Ausnahmen existieren zwar. Aber sie bleiben entweder auf programmatische Ansprüche beschränkt, deren konkrete Einlösung noch offensteht²⁶⁾. Dazu gehört z.B. das Konzept des "turnpike scheduling"²⁷⁾. Oder es erfolgen abweichungsspezifische Anpassungsplanungen in kasuistischer Form. Sie beruhen auf einer Sammlung von Anpassungsregeln, deren Zustandekommen und Interdependenz nicht weiter hinterfragt wird. Ihnen fehlt ein ausgereiftes Planungskonzept, in das die Anpassungsregeln kohärent eingebettet wären. Solche abweichungsspezifischen und konkreten, aber konzeptionslosen Anpassungsplanungen werden derzeit vor allem im Zusammenhang mit regelbasierten Expertensystemen erforscht²⁸⁾. Sie sollen im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung dazu dienen, bei unvorhergesehenen Produktionsstörungen die Anpassungsnotwendigkeit von Produktionsplänen zu prüfen und gegebenenfalls entsprechende Plananpassungen durchzuführen.

Angesichts der voranstehenden Übersicht über bisher verfolgte Ansätze für Kontingenzplanungen liegt es nahe, nach einer konzeptionell wohlfundierten Alternative Ausschau zu halten, die eine inkrementelle Kontingenzplanung auf der Basis von abweichungsspezifischen Anpassungsplanungen erlaubt. Genau diese konzeptionelle Lücke läßt sich durch den Einsatz von begründungsverwaltenden Systeme schließen. Ihr Beitrag zu Planungen unter Unsicherheit wird im folgenden näher ausgeführt. Abb. 1 faßt zusammen, wie sich das spezielle Interesse an begründungsverwaltenden Systemen aus dem allgemeinen Konzept der Kontingenzplanung herleiten läßt.

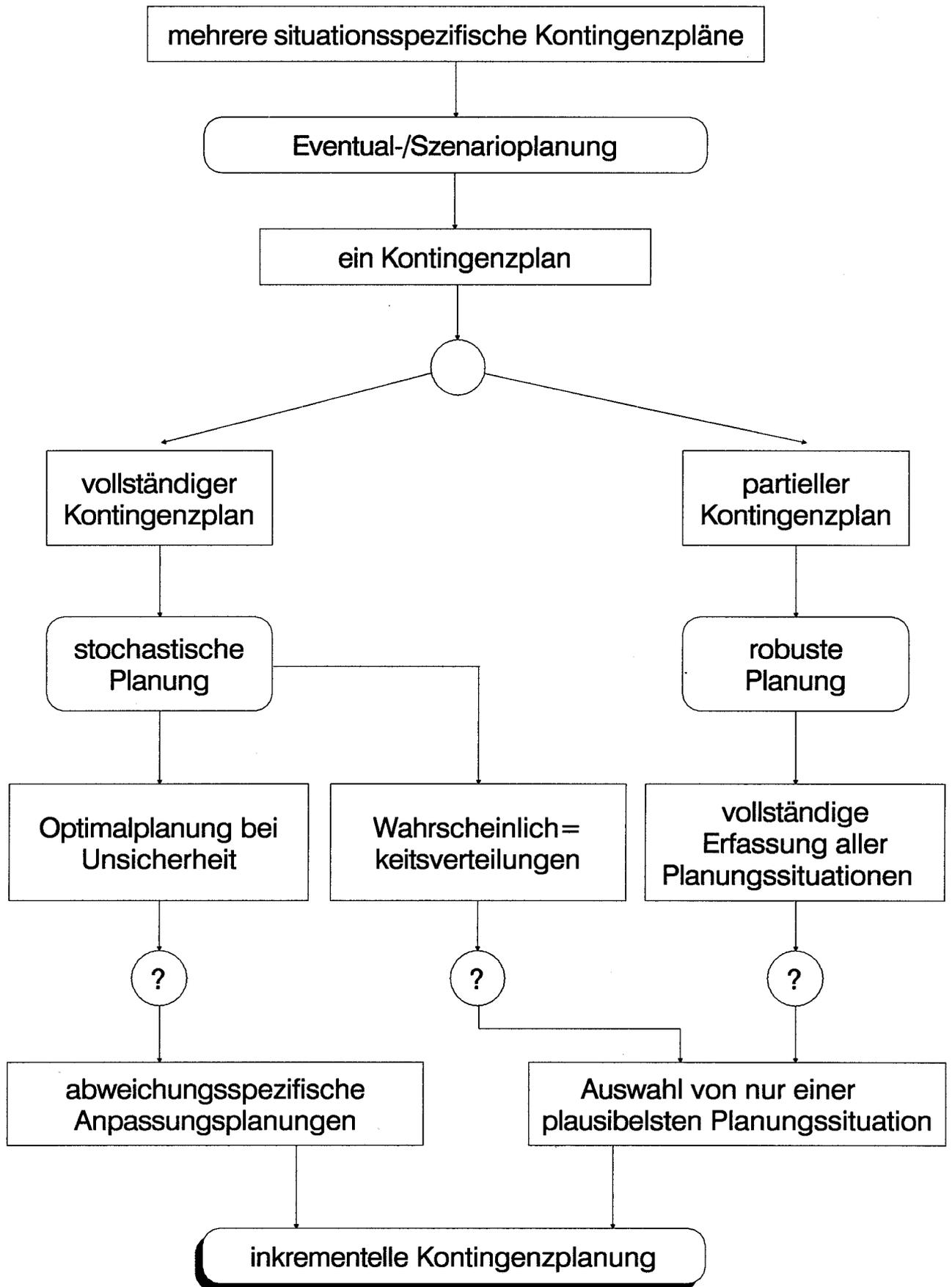


Abb. 1: Alternativen der Kontingenzplanung

3 Begründungsverwaltende Systeme

3.1 Übersicht

Ausgangspunkt ist das Konzept der automatischen Begründungsverwaltung²⁹⁾. Es wurde im Zusammenhang mit der Erforschung Künstlicher Intelligenz (KI) entwickelt. Begründungsverwaltende Systeme dienen im allgemeinen dazu, vorläufige Problemlösungen zu unterbreiten. Dabei wird davon ausgegangen, daß für die Problemlösung zunächst nur unvollständige Informationen als zweifelsfreie Planungsfakten bereitstehen³⁰⁾. Die verbleibenden Informationslücken werden durch zusätzliche Annahmen geschlossen³¹⁾. Sie besitzen hypothetischen Charakter³²⁾. Faktische Informationen und hypothetische Annahmen werden in der gleichen Weise als prädikatenlogische Formeln dargestellt. Auf diese Formelmenge werden KI-Konzepte angewandt, die das Ableiten logischer Konsequenzen ermöglichen (Inferenzkonzepte)³³⁾. Das inferentielle Aufspüren von logischen Konsequenzen der Formelmenge wird so lange fortgesetzt, bis eine vorläufige Problemlösung vorliegt³⁴⁾. Dabei werden alle Formeln, aus denen in einem Inferenzschritt eine andere Formel abgeleitet worden ist, als *Begründung* der abgeleiteten Formel festgehalten³⁵⁾. Der Inferenzzusammenhang zwischen allen Begründungen und den daraus abgeleiteten Formeln, der zur Erkenntnis der vorläufigen Problemlösung geführt hat, läßt sich durch einen Abhängigkeitsgraphen repräsentieren³⁶⁾.

Es kann sich nachträglich herausstellen, daß eine vorläufige Problemlösung zurückgenommen werden muß. Dies ist dann der Fall, wenn im Zeitablauf neue Informationen über das bearbeitete Problem gewonnen werden, die den hypothetischen Annahmen so weit widersprechen, daß die ursprünglich abgeleitete Problemlösung nicht mehr aufrechterhalten werden kann³⁷⁾. Wenn erkannt wird, daß einzelne der hypothetischen Annahmen tatsächlich nicht zutreffen, müssen sie durch andere, an die tatsächliche Informationslage angepaßte Annahmen ersetzt werden³⁸⁾. Die Besonderheit eines begründungsverwaltenden Systems besteht jedoch darin, nach der Revision aller unzutreffenden früheren Annahmen keine vollständig neue Problemlösung erschließen zu müssen. Statt dessen werden im Abhängigkeitsgraphen alle Schlußfolgerungen identifiziert, die aufgrund jener Annahmen erfolgt sind, die nun nicht mehr zutreffen. Diese Schlußfolgerungen erweisen sich angesichts der neuen Informationslage als fehlerhaft. Sie werden daher automatisch zurückgenommen³⁹⁾. Aus der Kenntnis der zurückgenommenen Schlußfolgerungen einerseits und aus den revidierten Annahmen andererseits wird eine neue Problemlösung abgeleitet. Sie ist an den veränderten Informationsstand in "intelligenter Weise" angepaßt⁴⁰⁾. Der Inferenzzusammenhang, der zur Ableitung dieser neuen Problemlösung geführt hat, wird wieder als ein - nunmehr modifizierter - Abhängigkeitsgraph dargestellt. Als Begründungsverwaltung wird derjenige Prozeß bezeichnet, bei dem zwei komplementäre Aktivitäten eines begründungsverwaltenden Systems miteinander wechselwirken:

- o Einerseits werden vorläufige Problemlösungen aus unvollständigen Informationen und hypothetischen Annahmen abgeleitet.
- o Andererseits werden nicht mehr zutreffende Annahmen einschließlich aller Schlußfolgerungen, die früher aus ihnen gezogen worden sind, widerrufen und durch revidierte Annahmen ersetzt.

Aus dem Wechselspiel zwischen dem Ableiten vorläufiger Problemlösungen und Revidieren von lösungsbegründenden Annahmen resultieren neue Problemlösungen. Diese neuen Problemlösungen besitzen im allgemeinen ebenso vorläufigen Charakter. Denn in die Ableitungen der Problemlösungen sind weiterhin alte oder revidierte Annahmen eingeflossen. Auch diese Annahmen können sich später als unzutreffend herausstellen⁴¹⁾.

3.2 Übertragung auf Kontingenzplanungen

Das Konzept der automatischen Begründungsverwaltung eignet sich hervorragend, um die oben skizzierte vierte Option für Kontingenzplanungen zu verwirklichen. Dabei gilt es, zunächst für eine Planungssituation, die als "wahrscheinlichste" oder "plausibelste" ausgezeichnet wurde, den zugehörigen situationsspezifischen Kontingenzplan abzuleiten. Später muß es möglich sein, den Plan nachträglich anzupassen. Dies kann immer dann erforderlich sein, wenn sich die tatsächliche Planungssituation anders entwickelt hat, als es durch die ursprünglichen Planungsannahmen unterstellt worden war.

Ein erster situationsspezifischer Kontingenzplan läßt sich aufstellen, indem das Inferenzvermögen begründungsverwaltender Systeme genutzt wird. Dabei werden die logischen Konsequenzen jener Formelmenge erforscht, die aus allen vorhandenen Informationen und allen ergänzten Annahmen besteht. Die Informationen entsprechen der Gesamtheit desjenigen Planungswissens, das für die Erfüllung einer Planungsaufgabe zur Verfügung steht und nicht in der Gestalt kontingenter Planungsannahmen vorliegt⁴²⁾. Die zusätzlichen Annahmen, die bei begründungsverwaltenden Systemen dem Schließen von Informationslücken dienen, fallen mit den hier interessierenden kontingenten Planungsannahmen weitgehend⁴³⁾ zusammen. Da vollständig spezifizierte Planungssituationen vorausgesetzt wurden, ist der gesuchte situationsspezifische Kontingenzplan notwendig eine logische Konsequenz der ausgezeichneten Planungssituation. Folglich kann er durch Anwendung der Inferenzkonzepte, die im Rahmen der KI-Forschung erarbeitet wurden, ermittelt werden. Auf diesen rein informationstechnischen Aspekt, der zum "gewöhnlichen" Leistungsvermögen von Expertensystemen und theorembeweisenden Automaten gehört, wird hier nicht näher eingegangen⁴⁴⁾.

Dagegen erweist sich die Eigenart begründungsverwaltender Systeme als besonders interessant, bei nachträglicher Veränderung der Informationslage die ursprünglich erschlossenen Konsequenzen zu revidieren. Denn dies erlaubt, die oben skizzierten inkrementellen Kontingenzplanungen mit ihren abweichungsspezifischen Anpassungsplanungen zu verwirklichen. Ausgangspunkt ist eine Abweichung von der ursprünglich unterstellten Planungssituation. Sie tritt immer dann ein, wenn festgestellt wird, daß mindestens eine der situationskonstituierenden Planungsannahmen tatsächlich nicht zutrifft. Die betroffenen Planungsannahmen werden durch neue, nunmehr für zutreffend gehaltene Annahmen ersetzt. Dadurch erfolgt eine Revision der Planungssituation. Ein begründungsverwaltendes System vermag aufgrund seiner oben skizzierten Auswertung von Abhängigkeitsgraphen selbständig zu erkennen, welche seiner früheren Schlußfolgerungen zurückgenommen werden müssen, um der veränderten Planungssituation gerecht zu werden. Es führt selbständig eine Anpassungsplanung aus, die alle zurückgenommenen Schlußfolgerungen durch solche Inferenzen ersetzt, die unter Beachtung der neuen Planungsannahmen zulässig sind. Auf diese Weise wird ein neuer Kontingenzplan abgeleitet, der an die revidierte Planungssituation angepaßt ist⁴⁵⁾. Es handelt sich um eine abweichungsspezifische Plananpassung. Denn der alte Kontingenzplan, der für die ursprünglich ausgezeichnete Planungssituation abgeleitet worden war, wird nur hinsichtlich derjenigen Aspekte abgeändert, die von den zurückgenommenen Schlußfolgerungen und den neuen Planungsannahmen betroffen sind⁴⁶⁾.

Mit der Hilfe begründungsverwaltender Systeme ist es also grundsätzlich möglich, inkrementelle Kontingenzplanungen zu verwirklichen. Inkrementelle Kontingenzplanungen wurden bereits als "typisch menschliche" Planungsweise herausgestellt. In dieser Hinsicht leisten die Früchte der KI-Forschung einen bemerkenswerten Beitrag zur Entwicklung von "kognitiv adäquaten" Informationsverarbeitungssystemen.

3.3 Erweiterungsperspektiven

Bisher wurde nur der "einfache" Fall einer abweichungsspezifischen Anpassungsplanung betrachtet. Dabei lag der Ansatz inkrementeller Kontingenzplanungen zugrunde, von einer wahrscheinlichsten oder plausibelsten Planungssituation auszugehen. Diese Beschränkung auf genau eine Planungssituation braucht jedoch nicht beizubehalten werden. Statt dessen lassen sich auch mehrere Planungssituationen zugrundelegen, die ein Planungsträger zunächst für ähnlich wahrscheinlich oder plausibel hält. Insbesondere kann eine "dialektische" Kontingenzplanung⁴⁷⁾ erfolgen, bei der die Konsequenzen alternativer Planungssituationen erforscht werden. Jede dieser Planungssituationen entspricht einem "Szenario", für das ein spezifischer Kontingenzplan abgeleitet wird.

Die Ermittlung mehrerer Kontingenzpläne für alternative Planungssituationen stellt auf den ersten Blick keine auffällige Erweiterung der Kontingenzplanung dar. Denn sie läßt sich darauf zurückführen, daß ein begründungsverwaltendes System mehrmals *nacheinander* - jeweils auf eine andere Planungssituation - angewendet wird. Dieser iterative Einsatz eines begründungsverwaltenden Systems interessiert hier aber nicht. Vielmehr existiert eine weiterreichende, konzeptionell subtilere Option: Mit der Hilfe eines begründungsverwaltenden Systems ist es möglich, die situationsspezifischen Kontingenzpläne für mehrere alternative Planungssituationen *gleichzeitig* zu ermitteln.

Dies eröffnet eine neuartige Perspektive. Zunächst können für alternative Szenarien die zugehörigen Kontingenzpläne abgeleitet werden. Sobald der Planungsträger neue Informationen über die tatsächlich zutreffende Planungssituation erlangt, vermag ein begründungsverwaltendes System alle erwogenen Planungsszenarien zugleich an den veränderten Informationsstand anzupassen. Dabei erbringt es im wesentlichen zwei Leistungen. Erstens vermag es selbständig festzustellen, in welchen Szenarien alte Planungsannahmen angesichts der neuen Informationslage revidiert werden müssen. Zweitens werden die Kontingenzpläne für alle Szenarien, in denen eine Revision von Planungsannahmen erforderlich ist, automatisch an die neuen Annahmen der veränderten Planungssituationen angepaßt.

Auf diese Weise ist es möglich, einerseits an dem praxisnahen Konzept inkrementeller Anpassungsplanungen festzuhalten. Andererseits läßt sich ebenso das anspruchsvollere Durchspielen alternativer Planungsszenarien einbinden. Dabei werden alle Szenarien zugleich auf den jeweils aktuellen Informationsstand des Planungsträgers ausgerichtet.

Konzeptionelle Grundlage der szenarischen Erweiterung inkrementeller Kontingenzplanungen ist die neuere ATMS-Variante begründungsverwaltender Systeme. Das ATMS-Konzept⁴⁸⁾ wurde maßgeblich von DE KLEER entwickelt und im Jahr 1984 erstmals öffentlich präsentiert. Es gestattet, verschiedene Annahmenmengen, die sich wechselseitig ausschließen, hinsichtlich ihrer logischen Konsequenzen gleichzeitig zu bearbeiten⁴⁹⁾. Dies entspricht aus modallogischer Perspektive einer KRIPKE-Semantik⁵⁰⁾, in der "multiple Welten" koexistieren⁵¹⁾. Jede dieser Welten wird durch eine andere der konkurrierenden Annahmenmengen konstituiert. Jede Annahmenmenge fällt ihrerseits mit einer Menge aus Planungsannahmen zusammen, die eine Planungssituation konstituieren. Daher bedeutet die gleichzeitige Konsequenzenverwaltung multipler Welten, daß Kontingenzpläne für unterschiedliche Planungssituationen (Szenarien) simultan aufgestellt und angepaßt werden.

Bei der Anwendung des ATMS-Konzepts ist es möglich, daß eine Veränderung der Informationslage des Planungsträgers überhaupt keine Plananpassung erfordert. In einem solchen Fall wird zwar erkannt, daß für mindestens eine der ursprünglichen Planungssituationen wenigstens eine ihrer konstitutiven Planungsannahmen tatsächlich nicht zutrifft. Doch kann eine andere Annahmenmenge, welche die entsprechend revidierten Planungsannahmen umfaßt, bereits von vornherein als eine alternative Planungssituation berücksichtigt worden sein. Wenn diese Voraussetzung erfüllt ist, braucht der Kontingenzplan, der für

die erstgenannte ursprüngliche Planungssituation ermittelt wurde, nicht an die neue Informationslage angepaßt zu werden. Statt dessen läßt sich die "Anpassungsplanung" darauf beschränken, diese ursprüngliche Planungssituation nicht weiter zu beachten. Sie wird lediglich durch die zuvor erwähnte alternative Planungssituation abgelöst, deren Annahmenmenge dem aktuellen Informationsstand des Planungsträgers genau entspricht. Das simultane Verwalten alternativer Planungssituationen läßt es daher zu, Anpassungen von veralteten Kontingenzplänen durch das Überwechseln auf alternative Kontingenzpläne zu substituieren⁵²⁾. Die Anzahl solcher Substitutionsmöglichkeiten fällt tendenziell um so größer aus, je mehr alternative Planungssituationen von vornherein in Betracht gezogen worden sind. Das Überwechseln auf alternative, der neuen Informationslage jeweils entsprechende Kontingenzpläne kann im allgemeinen weitaus rascher erfolgen, als die veralteten Kontingenzpläne an die revidierten Planungsannahmen anzupassen⁵³⁾. Daher läßt sich mit dem ATMS-Konzept auch eine Steigerung der Planungseffizienz bei inkrementellen Kontingenzplanungen erzielen⁵⁴⁾.

4 Informationstechnische Aspekte der Begründungsverwaltung

4.1 Eine Skizze der wesentlichen Verwaltungsmechanismen

4.1.1 Einschränkung auf ATMS-Systeme

Bisher wurde das Leistungsvermögen begründungsverwaltender Systeme nur grob umrissen. Im Vordergrund standen die Fähigkeiten, alte Kontingenzpläne beim Eintreten neuer Informationslagen entweder automatisch anzupassen oder aber durch alternative Kontingenzpläne zu ersetzen. Um einen Einblick in die Realisierung dieser Fähigkeiten zu vermitteln, werden Aufbau und Ablauf der Begründungsverwaltung hinsichtlich einiger grundlegender Aspekte skizziert. Dabei liegt das zuletzt erwähnte ATMS-Konzept zugrunde⁵⁵⁾. Allerdings wird weder eine detaillierte noch eine vollständige Beschreibung seiner informationstechnischen Verwaltungsmechanismen beabsichtigt. Statt dessen geht es hier nur darum, ein Gefühl für die subtilen Eigenarten begründungsverwaltender Systeme zu vermitteln.

4.1.2 Der prinzipielle Aufbau eines ATMS-Systems

Ein begründungsverwaltendes ATMS-System ist ein wissensbasiertes System, das im wesentlichen aus drei Komponenten besteht. Erstens liegt ihm eine Wissensbasis zugrunde. Sie umfaßt das gesamte Wissen, das ein Planungsträger besitzt *und* in der Gestalt prädikatenlogischer Formeln expliziert hat⁵⁶). Dieses prädikatenlogisch explizierte Planungswissen kann sich sowohl auf eine zu bearbeitende Planungsaufgabe erstrecken als auch allgemeines, aufgabenunspezifisches Wissen des Planungsträgers umfassen. Zweitens besitzt das ATMS-System eine Inferenzkomponente. Mit ihrer Hilfe können alle logischen Konsequenzen der Formelsammlung der Wissensbasis erschlossen werden. Hinsichtlich seiner Wissensbasis und Inferenzkomponente stimmt ein ATMS-System noch mit dem Grobaufbau konventioneller Expertensysteme überein. Als wesentliche Neuerung kommt jedoch eine dritte Systemkomponente hinzu. Diese Verwaltungskomponente nimmt einerseits alle Schlußfolgerungen⁵⁷) zur Kenntnis, die von der Inferenzkomponente ausgeführt worden sind⁵⁸). Andererseits steuert sie die Aktivitäten der Inferenzkomponente nach Maßgabe derjenigen Annahmen⁵⁹), die ein Planungsträger der Erfüllung einer Planungsaufgabe zugrundegelegt hat⁶⁰). Abb. 2 veranschaulicht das Zusammenspiel der drei Komponenten eines ATMS-Systems⁶¹). Die Beschriftungen der Abbildungskomponenten werden im folgenden näher erläutert.

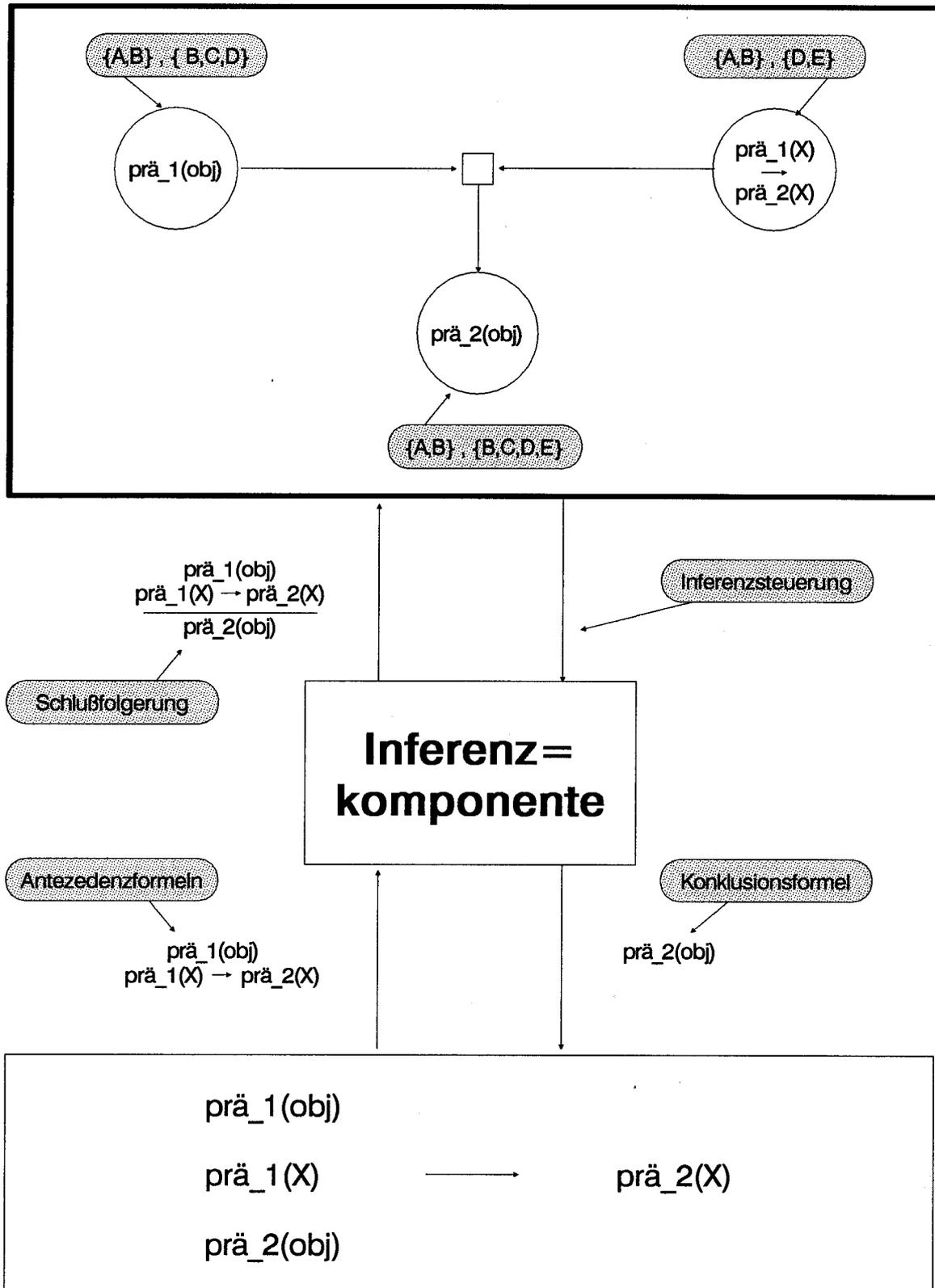
Die Verwaltungskomponente eines ATMS-Systems läßt sich als ein gerichteter Graph - ein "Begründungsnetz" - vorstellen⁶²). Jede prädikatenlogische Formel "for", die seitens der Inferenzkomponente bei ihrer Ableitung eines Kontingenzplans benutzt worden ist, wird in der Verwaltungskomponente durch einen formelspezifischen Netzknoten mit dem Namen "kn_{for}" repräsentiert⁶³). Dieser Netzknoten stellt eine Informationsstruktur dar, die stets aus drei Bestandteilen aufgebaut ist:

- o Die erste Knotenkomponente ist die repräsentierte prädikatenlogische Formel "for". Sie wird allerdings innerhalb der Verwaltungskomponente wie eine aussagenlogische Formel als ein unstrukturiertes Objekt behandelt⁶⁴).
- o Das Knotenlabel "lab_{for}" identifiziert alle widerspruchsfreien Annahmenmengen, zu deren logischen Konsequenzen die Formel "for" gehört⁶⁵).
- o Die Knotenbegründung "beg_{for}"⁶⁶) repräsentiert alle Ableitungsschritte, die von der Inferenzkomponente in der Vergangenheit mit der Formel "for" als Konklusion ausgeführt worden sind⁶⁷).

In gewöhnlichen wissensbasierten Systemen - wie z.B. Expertensystemen - wird implizit unterstellt, daß jede atomare Formel ihrer Wissensbasis gültig ist⁶⁸). Diese Präsupposition wird in begründungsverwaltenden Systemen aufgegeben. Statt dessen werden die epistemischen Urteile, die ein Planungsträger über die Gültigkeit von Formeln⁶⁹) hegt, in der Verwaltungskomponente explizit repräsentiert.

Grundsätzlich werden zwei Fälle unterschieden⁷⁰). Einerseits kann der Planungsträger von der Gültigkeit einer Formel überzeugt sein, aber gleichzeitig einräumen, daß er sich in dieser Gültigkeitsannahme zu täuschen vermag. In diesem Fall liegt eine kontingente Planungsannahme vor⁷¹). Die kontingenten Planungsannahmen entsprechen genau den hypothetischen Annahmen, die oben zur Schließung von Informationslücken eingeführt wurden. Andererseits ist es ebenso möglich, daß der Planungsträger die Gültigkeit einer Formel für notwendig hält. Es handelt sich dann um eine allgemeingültige Planungsprämisse im folgenden speziellen Sinn⁷²): Die Formelgültigkeit hat unter allen denkmöglichen, aber konsistenten Kombinationen von kontingenten Planungsannahmen Bestand⁷³). Die allgemeingültigen Planungsprämissen fallen mit den faktischen Informationen zusammen, über die ein Planungsträger verfügt. Sie bilden die - zumeist unvollständige - Informationsgrundlage für das Lösen eines Planungsproblems. Auch sie wurden schon an früherer Stelle erwähnt.

Verwaltungskomponente



Wissensbasis

Abb. 2: Grobaufbau eines ATMS-Systems

Für jede kontingente Planungsannahme und jede allgemeingültige Planungsprämisse wird in der Verwaltungskomponente eines ATMS-Systems ein Knoten etabliert. Er repräsentiert die prädikatenlogische Formel "for", mit der die Annahme bzw. Prämisse in der zugrundeliegenden Wissensbasis ausgedrückt wird. Einer allgemeingültigen Planungsprämisse "for" wird dabei ein Knoten " kn_{for} " zugeordnet, dessen Knotenlabel die leere Menge " \emptyset " als einziges Element enthält: $lab_{for} = \{\emptyset\}$ ⁷⁴⁾. Seine Knotenbegründung wird als eine Menge vereinbart, die ausschließlich das leere Tupel "()" umfaßt: $beg_{for} = \{()\}$. Eine kontingente Planungsannahme "for" wird dagegen als ein Knoten " kn_{for} " dargestellt, dessen Knotenlabel nur diese Annahme selbst als einelementige Annahmenmenge umfaßt: $lab_{for} = \{\{for\}\}$. Der Knoten besitzt als Knotenbegründung das einstellige Tupel, das aus dem Namen desselben Knotens besteht: $beg_{for} = \{(kn_{for})\}$. Denn jede Formel "for" - und somit auch jede kontingente Planungsannahme "for" - läßt sich immer aus der Annahmenmenge $\{for\}$ ableiten, welche die Formel selbst als Element enthält.

Allgemeingültige Planungsprämissen und kontingente Planungsannahmen werden also in der Verwaltungskomponente zunächst als gleichartige prädikatenlogische Formeln repräsentiert⁷⁵⁾. Ihre unterschiedliche epistemische Qualität findet erst in den Knotenlabeln der formelrepräsentierenden Knoten Berücksichtigung. Sie wird dadurch unterstrichen, daß alle kontingenten Planungsannahmen in der bereits oben eingeführten Weise durch großgeschriebene Ausdrücke "PA"⁷⁶⁾ notiert werden⁷⁷⁾. Die allgemeingültigen Planungsprämissen und alle Formeln, die aus kontingenten Planungsannahmen oder allgemeingültigen Planungsprämissen abgeleitet sind, werden dagegen mit Kleinbuchstaben notiert. Wenn zwischen allgemeingültigen Planungsprämissen und kontingenten Planungsannahmen nicht näher unterschieden werden soll, werden sie gemeinsam als Planungsannahmen bezeichnet⁷⁸⁾. Der Begriff der Annahmenmenge wird dagegen ausschließlich auf kontingente Planungsannahmen bezogen. Denn er bezieht sich stets auf die Knotenlabel der Verwaltungskomponente. Dort führen - wie zuvor dargelegt wurde - nur die kontingenten Planungsannahmen zu nicht-leeren Annahmenmengen.

Zunächst umfaßt die Verwaltungskomponente je einen Knoten für alle Planungsannahmen. Sobald die Inferenzkomponente ihre schlußfolgernden Operationen aufgenommen hat, wird für jede Formel der Wissensbasis, die an der Ableitung einer logischen Konsequenz teilgenommen hat, das Begründungsnetz der Verwaltungskomponente um einen neuen formelrepräsentierenden Knoten erweitert. Dies geschieht allerdings nur dann, wenn die Formel nicht schon zuvor durch einen solchen Knoten erfaßt worden ist. Darüber hinaus bearbeitet die Verwaltungskomponente jeden Knoten, der eine Formel repräsentiert, die als Konklusionsformel aus einem Ableitungsschritt der Inferenzkomponente hervorgegangen ist. In der Knotenbegründung wird eingetragen, auf welche Weise die repräsentierte Konklusionsformeln aus anderen Formeln abgeleitet worden ist. Im Knotenlabel wird vermerkt, unter welchen Annahmenmengen die neu erschlossene Konklusionsformel gültig ist. In der letztgenannten Verwaltung der Knotenlabels liegt die Hauptaufgabe eines ATMS-Systems.

Ein Knotenlabel ist entweder die leere Menge oder aber eine nicht-leere Menge, die ihrerseits aus Mengen⁷⁹⁾ kontingenter Planungsannahmen besteht. Jede Annahmenmenge aus einem Knotenlabel läßt sich als eine Planungssituation auffassen⁸⁰⁾. In synonyme Weise kann auch von einer "Umgebung"⁸¹⁾, von einer "Welt"⁸²⁾ oder von einem Planungsszenario gesprochen werden. Die Verwaltungskomponente überwacht die Konsistenz aller Annahmenmengen aus den Knotenlabeln ihrer Netzknoten. Denn es werden nur solche Annahmenmengen zugelassen, die keinen Selbstwiderspruch enthalten. Zu diesem Zweck werden widersprüchliche Annahmenmengen durch ein ATMS-spezifisches Konstrukt - ein "nogood" - identifiziert. Darauf wird später näher eingegangen. Ein Paar aus einer konsistenten Annahmenmenge und einer Knotenmenge des Begründungsnetzes heißt ein Kontext, wenn es folgende Bedingung erfüllt: Alle Formeln, die von Elementen aus der Knotenmenge repräsentiert werden, können aus der Annahmenmenge und der Menge aller bisher erfolgten Schlußfolgerungen abgeleitet werden⁸³⁾. Ein Kontext umfaßt die Gesamtheit aller

Informationen, die ein ATMS-System für jene Planungssituation bereithält, die durch die kontextzugehörige Annahmenmenge charakterisiert wird.

Die Knotenbegründung ist eine nicht-leere Menge aus Namenstupeln. Jedes Namens-tupel besteht aus Namen von Knoten des Begründungsnetzes⁸⁴). Jeder tupelzugehörige Knotenname verweist auf diejenige Formel, welche die erste Komponente des jeweils benannten Netzknotens bildet. Das Tupel repräsentiert in seiner Gesamtheit einen Ableitungsschritt der Inferenzkomponente: Alle Formeln, die zu Knotennamen aus dem Tupel gehören, bilden die Antezedenzbedingungen einer Inferenzregel, deren Konklusion die Formel "for" des Knotens "kn_{for}" mit der betrachteten Knotenbegründung "beg_{for}" ist. Da diese Formel die Konklusion mehrerer Ableitungsschritte sein kann, die von der Inferenzkomponente ausgeführt worden sind, darf die Knotenbegründung entsprechend viele Tupel aus Knotennamen umfassen. Ebenso ist die leere Menge als Knotenbegründung möglich. Sie bedeutet, daß die knotenzugehörige Formel "for" aus keinen anderen Formeln abgeleitet worden ist. Dies trifft insbesondere auf die bereits erwähnten allgemeingültigen Planungsprämissen zu.

Aufgrund der voranstehenden Festlegungen besteht das Begründungsnetz der Verwaltungskomponente aus Knoten, die folgende generelle Struktur besitzen⁸⁵):

$$kn_{for}: \langle for, lab_{for}, beg_{for} \rangle$$

Beispielsweise wird eine prädikatenlogische Formel "for_p :<=> prozeßende(zeitpunkt)" betrachtet. Sie gehört sowohl zu den logischen Konsequenzen der Annahmenmenge $PS_1 = \{PA_{1.1}, PA_{1.2}\}$ als auch der Annahmenmenge $PS_2 = \{PA_{2.1}, PA_{2.2}, PA_{2.3}\}$. Darüber hinaus wurde sie durch eine vorangehende Operation der Inferenzkomponente bereits genau einmal als die Konklusion zweier Formeln for_a und for_b abgeleitet. Diese beiden Formeln werden im Begründungsnetz der Verwaltungskomponente durch Knoten mit den Namen kn_a bzw. kn_b repräsentiert. Folglich gilt für den Netzknoten kn_p der oben erwähnten Prozeßendeformel for_p:

$$kn_r: \langle prozeßende(zeitpunkt), \dots \\ \{ \{ PA_{1.1}, PA_{1.2} \}, \{ PA_{2.1}, PA_{2.2}, PA_{2.3} \} \}, \{ (kn_a, kn_b) \} \rangle$$

Das Knotenlabel " $\{ \{ PA_{1.1}, PA_{1.2} \}, \{ PA_{2.1}, PA_{2.2}, PA_{2.3} \} \}$ " entspricht dabei den Feststellungen zweier logischer Konsequenzen. Sie können einerseits als Ableitbarkeit der Prozeßendeformel dargestellt werden. Andererseits lassen sie sich in äquivalenter Weise als Ableitbarkeit zweier Subjugate ausdrücken, die in der Prozeßendeformel als Konklusionsformel übereinstimmen. Daher gilt:

$$PA_{1.1}, PA_{1.2} \vdash prozeßende(zeitpunkt) \\ \Leftrightarrow (\vdash ((PA_{1.1} \wedge PA_{1.2}) \rightarrow prozeßende(zeitpunkt)))$$

$$PA_{2.1}, PA_{2.2}, PA_{2.3} \vdash prozeßende(zeitpunkt) \\ \Leftrightarrow (\vdash ((PA_{2.1} \wedge PA_{2.2} \wedge PA_{2.3}) \rightarrow prozeßende(zeitpunkt)))$$

Die Knotenbegründung " $\{ (kn_a, kn_b) \}$ " läßt sich in analoger Weise als Ableitbarkeit der Prozeßendeformel for_p aus den beiden Formeln for_a und for_b oder als Ableitbarkeit des entsprechenden Subjugats darstellen:

$$for_a, for_b \vdash prozeßende(zeitpunkt) \\ \Leftrightarrow (\vdash ((for_a \wedge for_b) \rightarrow prozeßende(zeitpunkt)))$$

Obwohl das Knotenlabel und die Knotenbegründung die gleiche logische Struktur von Ableitungszusammenhängen aufweisen, unterscheiden sich ihre Verwendungen durch ein ATMS-System erheblich. Denn die Ableitungszusammenhänge einer Knotenbegründung werden aus den Ableitungsschritten übernommen, die von der Inferenzkomponente ausgeführt worden sind. Sie stellen *unmittelbare* Ableitungen der knotenzugehörigen Formel aus anderen Formeln dar. Sie beruhen jeweils auf *genau einem* Ableitungsschritt der Inferenzkomponente. Die Ableitungszusammenhänge eines Knotenlabels werden dagegen von der Verwaltungskomponente selbst ermittelt. Sie geben im Regelfall nur die *mittelbare* Ableitbarkeit der knotenzugehörigen Formel wieder. Damit ist die bereits oben angesprochene Möglichkeit gemeint, die Formel aus mindestens einer der Annahmengen des Knotenlabels und aus der Schlußfolgerungsmenge, die von der Inferenzkomponente bisher hervorgebracht worden ist, durch eine *endliche Anzahl* von Inferenzschritten abzuleiten.

4.1.3 Der Ablauf begründungsverwaltender Aktivitäten

4.1.3.1 Ein Überblick

Ein ATMS-System stützt sich bei seinen begründungsverwaltenden Aktivitäten im wesentlichen auf die Informationen, die in den Knotenlabels und Knotenbegründungen seines Begründungsnetzes vorgehalten werden. Um den Ablauf dieser Aktivitäten zu verdeutlichen, wird auf den Überblick zurückgegriffen, der bereits in Abb. 2 präsentiert wurde. Die dort - zunächst unkommentierten - Beschriftungen von Wissensbasis, Inferenz- und Verwaltungskomponente werden nun näher erläutert.

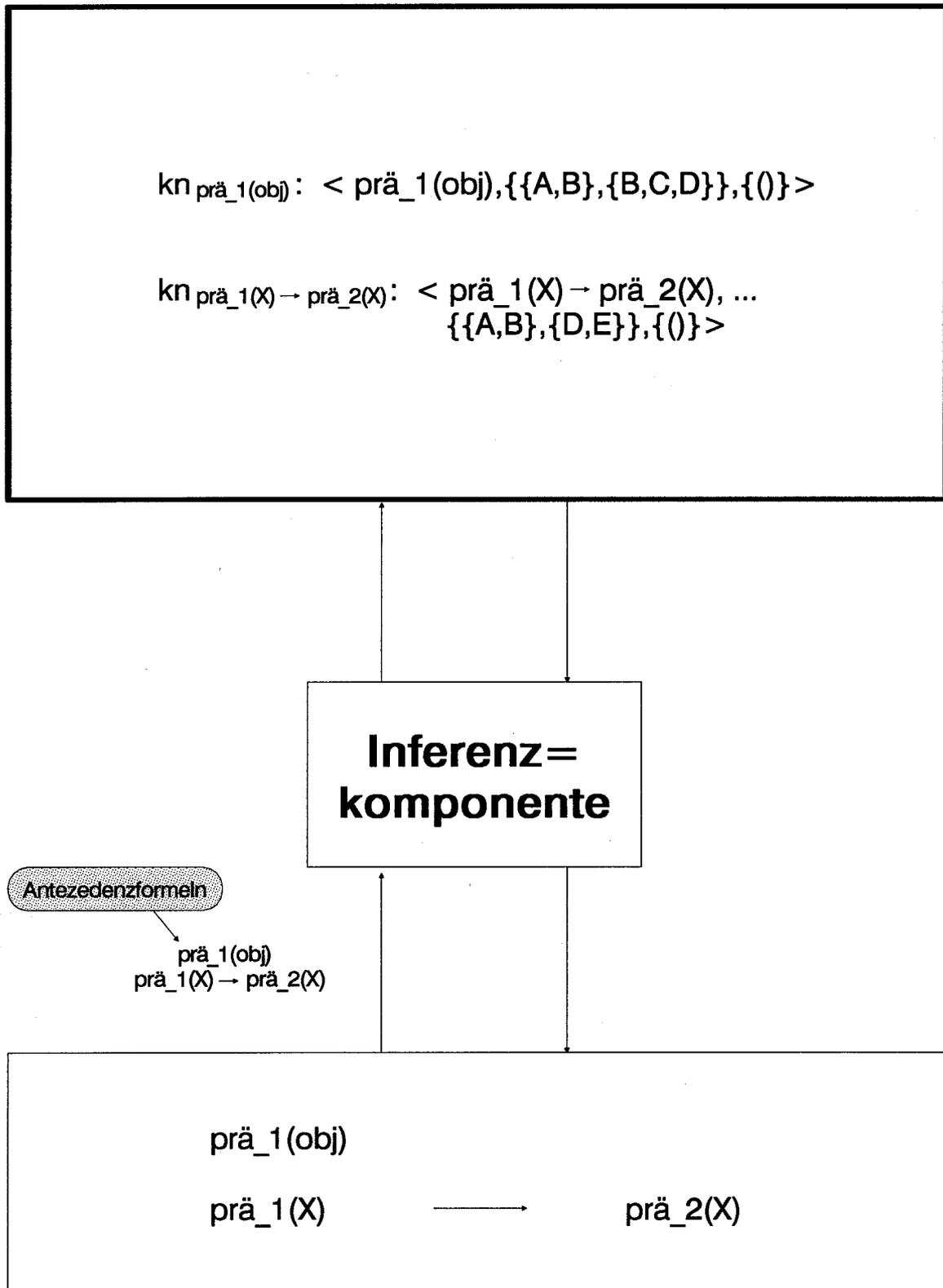
Ausgangspunkt sind zwei beliebige atomare, jeweils einstellige prädikatenlogische Formeln "prä_1(X)" und prä_2(X)¹⁸⁶). Ihre Bedeutungen interessieren hier nicht näher. Die Variable "X" kann durch ein beliebiges Objekt aus dem Anwendungsbereich des ATMS-Systems gebunden werden. In der Wissensbasis befindet sich erstens die atomare Formel "prä_1(obj)". Sie zeigt an, daß sich der Sachverhalt, den das Prädikat "prä_1" ausdrückt, auf das Objekt "obj" erstreckt. Entgegen der sonst üblichen Präsupposition wird jedoch nicht die Gültigkeit dieser Sachverhaltsbehauptung festgelegt. Solche Gültigkeitsurteile bleiben der Verwaltungskomponente vorbehalten. Zweitens enthält die Wissensbasis das Subjugat "prä_1(X) -> prä_2(X)". Die Variable "X" wird dabei implizit durch einen Allquantor gebunden. Daher besitzt das Subjugat die Qualität eines allgemeingültigen Urteils: Auf jedes Objekt, das den Sachverhalt des Prädikats "prä_1" erfüllt, erstreckt sich auch der Sachverhalt des Prädikats "prä_2".

Die Verwaltungskomponente informiert über die drei Planungssituationen PS_i mit $i \in \{1,2,3\}$, die der Planungsträger in Betracht ziehen möchte. Dabei werden die Planungssituationen durch situationsspezifische Kombinationen von kontingenten Planungsannahmen $PA_{i,j}$ gekennzeichnet: $PS_1 = \{PA_{1,1}, PA_{1,2}\}$, $PS_2 = \{PA_{2,1}, PA_{2,2}, PA_{2,3}\}$ sowie $PS_3 = \{PA_{3,1}, PA_{3,2}\}$. Planungsannahmen, die zu unterschiedlichen Planungssituationen gehören, brauchen keineswegs verschieden zu sein. Vielmehr wird hier vorausgesetzt, daß $PA_{1,2} = PA_{2,1}$ und $PA_{2,3} = PA_{3,1}$ gelten. Daher werden der Übersichtlichkeit halber die Planungssituationen mit der Hilfe von paarweise verschiedenen Planungsannahmen A, B, C, D und E reformuliert. Mit $A = PA_{1,1}$, $B = PA_{1,2} = PA_{2,1}$, $C = PA_{2,2}$, $D = PA_{2,3} = PA_{3,1}$ und $E = PA_{3,2}$ gilt daher für die drei Planungssituationen: $PS_1 = \{A, B\}$, $PS_2 = \{B, C, D\}$ und $PS_3 = \{D, E\}$. Der Planungsträger ist davon überzeugt, daß die atomare Formel "prä_1(obj)" in den beiden Planungssituationen PS_1 und PS_2 gültig ist. Daher ist dem formelrepräsentierenden Knoten "kn_{prä_1(obj)}" das Knotenlabel " $\{\{A, B\}, \{B, C, D\}\}$ " zugeordnet. Die Subjunktatformel "prä_1(X) \rightarrow prä_2(X)" hält der Planungsträger dagegen in den Planungssituationen PS_1 und PS_3 für gültig. Folglich besitzt der formelrepräsentierende Knoten "kn_{prä_1(X) \rightarrow prä_2(X)}" das Knotenlabel " $\{\{A, B\}, \{D, E\}\}$ ". Schließlich wird davon ausgegangen, daß weder die atomare Formel noch die Subjunktatformel bisher als Konklusionsformel einer Inferenz abgeleitet worden sind. Deshalb umfassen die Knotenbegründungen beider Knoten nur das leere Namenstupel "()".

Abb. 3 zeigt den Zustand von Wissensbasis und Verwaltungskomponente, bevor die Inferenzkomponente einen Ableitungsschritt ausgeführt hat. Danach wendet die Inferenzkomponente die Inferenzregel des "modus ponens" an. Dadurch leitet sie aus den beiden Antezedenzformeln "prä_1(obj)" und "prä_1(X) \rightarrow prä_2(X)" die Konklusionsformel "prä_2(obj)" ab. Die Konklusionsformel "prä_2(obj)" wird in der Wissensbasis als neu erschlossenes, nunmehr explizit verfügbares Wissen abgelegt. Zugleich wird die Schlußfolgerung "prä_1(obj), prä_1(X) \rightarrow prä_2(X) \vdash prä_2(obj)" an die Verwaltungskomponente mitgeteilt. Abb. 4 gibt wieder, welche Informationen in der Wissensbasis und Verwaltungskomponente vorliegen, nachdem die Inferenzkomponente ihre Schlußfolgerung ausgeführt und die Verwaltungskomponente darauf entsprechend reagiert hat. Sie stimmt mit der früher präsentierten Darstellung aus Abb. 2 inhaltlich weitgehend⁸⁷⁾ überein. In Abb. 2 wurde lediglich eine gefälligere graphische Aufbereitung gewählt⁸⁸⁾.

Die Reaktion der Verwaltungskomponente besteht zunächst darin, in ihrem Begründungsnetz für die atomare Formel "prä_2(obj)" einen formelrepräsentierenden Knoten "kn_{prä_2(obj)}" zu erzeugen. Die Knotenbegründung besteht aus dem Tupel "(kn_{prä_1(obj)}, kn_{prä_1(X) \rightarrow prä_2(X)})". Denn die atomare Formel "prä_2(obj)" wurde in der vorgenannten Schlußfolgerung aus den Antezedenzformeln "prä_1(obj)" und "prä_1(X) \rightarrow prä_2(X)" abgeleitet. Das Knotenlabel des neuen Knotens "kn_{prä_2(obj)}" identifiziert alle Annahmenmengen, unter denen die repräsentierte Formel "prä_2(obj)" - in Anbetracht der bereits vorausgesetzten Planungsannahmen - gültig sein kann. Da beide Antezedenzformeln in derselben Planungssituation $PS_1 = \{A, B\}$ als gültig angenommen werden, ist die Konklusionsformel "prä_2(obj)" unter den Planungsannahmen "A" und "B" ebenso gültig. Hinzu kommen die drei Annahmenmengen $\{A, B, D, E\}$, $\{A, B, C, D\}$ und $\{B, C, D, E\}$. Sie ergeben sich aus der Kombination aller Planungsannahmen, unter denen die beiden Antezedenzformeln - über die Annahmenmenge $\{A, B\}$ hinaus - zugleich gültig sein können. Diese Kombinationsaufgabe wird von der Verwaltungskomponente eines ATMS-Systems automatisch erfüllt. Darüber hinaus unterdrückt sie die beiden Annahmenmengen $\{A, B, D, E\}$ und $\{A, B, C, D\}$, da sie sich als Obermengen aus der bereits identifizierten Annahmenmenge $\{A, B\}$ unmittelbar wiedergewinnen lassen. In dieser Hinsicht wirkt sich die Eigenart des ATMS-Konzepts aus, daß in jedem Knotenlabel nur *minimale* Annahmenmengen expliziert werden⁸⁹⁾. Alle daraus konsistent⁹⁰⁾ rekonstruierbaren Obermengen werden dagegen nur implizit identifiziert. Folglich schrumpft das Knotenlabel für den Knoten der Konklusionsformel auf die beiden Annahmenmengen $\{A, B\}$ und $\{B, C, D, E\}$ zusammen.

Verwaltungskomponente



Wissensbasis

Abb. 3: ATMS-System vor der Ableitung einer Konklusion "prä_2(obj)"

Verwaltungskomponente

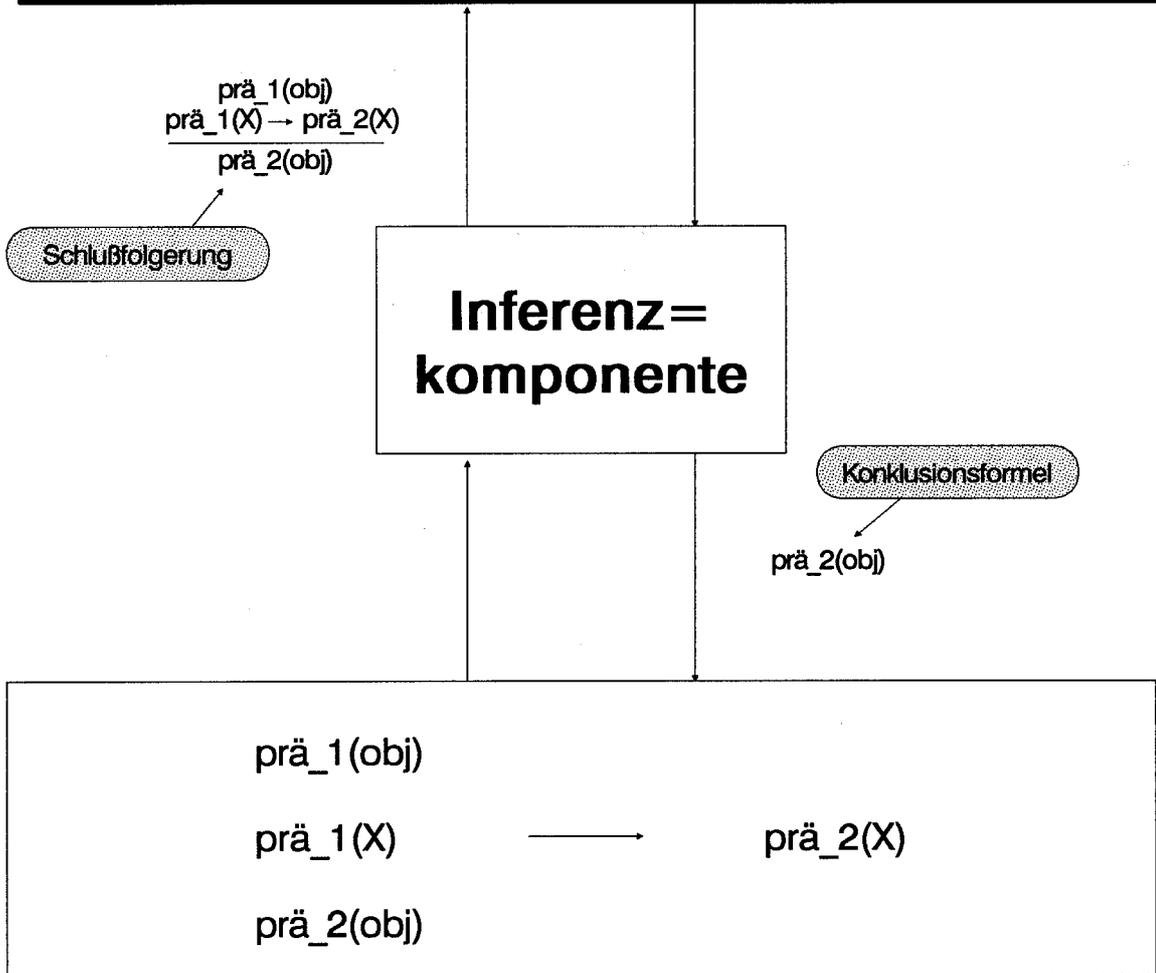
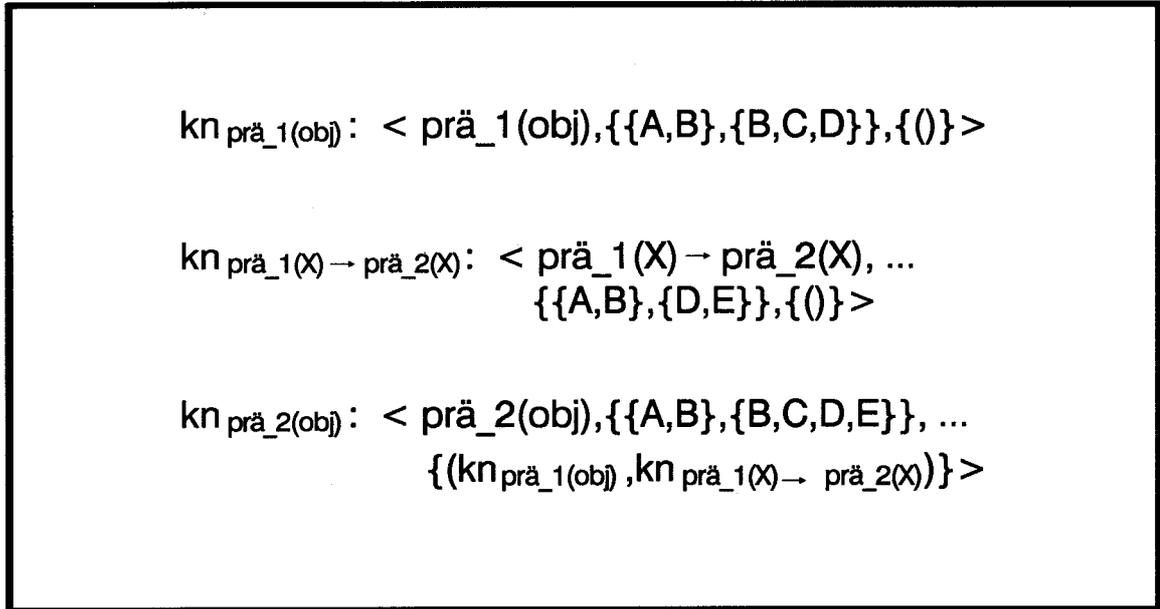


Abb. 4: ATMS-System nach der Ableitung einer Konklusion "prä_2(obj)"

4.1.3.2 Verfeinerungen

Die Art und Weise, wie die mittelbaren Ableitungszusammenhänge zwischen Annahmenmengen, Schlußfolgerungsmengen und Formeln von der Verwaltungskomponente erkannt und verwaltet werden, bildet den informationstechnischen Kern des ATMS-Konzepts. Die zugrundeliegenden Mechanismen können in der hier gebotenen Kürze nicht entfaltet werden. Lediglich die Grundidee wird kurz skizziert⁹¹⁾. Sie beruht darauf, alle Knoten aus dem Begründungsnetz der Verwaltungskomponente in vier disjunkte Klassen aufzuteilen:

- o Jeder "true"-Knoten repräsentiert eine Formel, die für alle denkmöglichen Annahmenmengen gültig ist. Sein Knotenlabel enthält nur die leere Menge als Element. Zu diesen "true"-Knoten gehören alle allgemeingültigen Planungsprämissen⁹²⁾.
- o Jeder "in"-Knoten vertritt eine Formel, welche die logische Konsequenz mindestens einer Annahmenmenge ist. Sein Knotenlabel ist eine Menge aus nicht-leeren Annahmenmengen. Aus jeder dieser Annahmenmengen und der aktuellen Schlußfolgerungsmenge kann die knotenzugehörige Formel abgeleitet werden. Auch alle kontingenten Planungsannahmen, die von einem Planungsträger zu Planungsbeginn vorgegeben werden, stellen "in"-Knoten dar. Denn jede Planungsannahme " PA_i " kann aus der Annahmenmenge $\{PA_i\}$ des Knotenlabels $\{\{PA_i\}\}$ durch die triviale Inferenz " $PA_i \vdash PA_i$ " abgeleitet werden.
- o Jeder "out"-Knoten repräsentiert eine beliebige, aber nicht-kontradiktorische Formel, für die keine Annahmenmenge bekannt ist, deren logische Konsequenz die Formel darstellen würde. Sein Knotenlabel ist die leere Menge.
- o Jeder "false"-Knoten repräsentiert die kontradiktorische Formel " \perp ", die für alle denkmöglichen Annahmenmengen ungültig ist. Sein Knotenlabel ist abermals die leere Menge.

Die annahmenunabhängige Gültigkeit oder Ungültigkeit aller "true"- bzw. "false"-Knoten bedeutet, daß sie von Veränderungen der Annahmenmengen nicht betroffen sind. Ein "true"- oder "false"-Knoten bleibt daher trotz aller Annahmenveränderungen stets ein solcher Knoten. Die Mengen der "true"- bzw. "false"-Knoten können daher während der schlußfolgernden und begründungsverwaltenden Aktivitäten eines ATMS-Systems nur monoton anwachsen, niemals aber Elemente verlieren⁹³⁾.

Frühere "in"- oder "out"-Knoten können dagegen nachträglich zu "true"- oder "false"-Knoten werden. Dies ist immer dann der Fall, wenn erkannt wird, daß die knotenzugehörigen Formeln immer gültig sein müssen bzw. niemals gültig sein können. Darüber hinaus kann jeder "in"- zu einem "out"-Knoten werden und umgekehrt. Denn die Verwaltungskomponente sorgt einerseits dafür, eine Annahmenmenge aus dem Knotenlabel eines "in"-Knotens zu entfernen, wenn die knotenzugehörige Formel keine logische Konsequenz der betroffenen Annahmenmenge ist. Sobald alle Annahmenmengen aus dem Knotenlabel eines ehemaligen "in"-Knotens gestrichen worden sind, liegt ein "out"-Knoten vor. Andererseits kann für einen ehemaligen "out"-Knoten entdeckt werden, daß die von ihm repräsentierte Formel die logische Konsequenz einer Annahmenmenge darstellt. Die zuvor leere Menge des Knotenlabels wird um diese Annahmenmenge erweitert. Danach handelt es sich um einen "in"-Knoten.

Die Fluktuationen zwischen "in"- und "out"-Knoten sowie deren einmaligen Umwandlungen in "true"- oder "false"-Knoten bilden die "Essenz" der Verwaltungskomponente. Dabei repräsentiert die Menge aller "true"- und "in"-Knoten die Gesamtheit aller Formeln, die angesichts der kontingenten Planungsannahmen und allgemeingültigen Planungsprämissen, die von einem Planungsträger vorausgesetzt wurden, gültig sind. Die Formeln der "true"-Knoten sind ohnehin immer gültig. Die Gültigkeit der Formeln, die zu "in"-Knoten gehören, folgt dagegen aus dem Zusammenwirken zweier Gründe: Einerseits zeichnen sich

die kontingenten Planungsausnahmen dadurch aus, daß der Planungsträger von ihrer Gültigkeit überzeugt ist. Andererseits existiert für jeden "in"-Knoten per definitionem mindestens eine Annahmenmenge, aus der die knotenzugehörige Formel vor dem Hintergrund aller bereits erfolgten Schlußfolgerungen abgeleitet werden kann. Eine Formel, die sich aus einer Menge gültiger Formeln ableiten läßt, ist notwendig ebenso gültig⁹⁴⁾. Folglich ist auch jede Formel eines "in"-Knotens gültig. Jeder "out"-Knoten repräsentiert dagegen eine Formel, deren Gültigkeit sich im Rahmen der aktuellen Schlußfolgerungsmenge aus den vorausgesetzten Planungsannahmen nicht ableiten⁹⁵⁾ läßt. Ein "out"-Knoten bedeutet aber keineswegs die Ungültigkeit einer Formel⁹⁶⁾. Er drückt statt dessen lediglich aus, daß sich seine Gültigkeit aus den Planungsannahmen und allen bisher erfolgten Schlußfolgerungen der Inferenzkomponente nicht ableiten läßt. Die fehlende Ableitbarkeit der Gültigkeit einer Formel ist nicht notwendig mit ihrer Ungültigkeit identisch⁹⁷⁾.

In den Abhängigkeitsgraphen einfacher begründungsverwaltender Systeme⁹⁸⁾ wird jede Schlußfolgerung, die von der Inferenzkomponente hervorgebracht worden ist, durch folgerungsrepräsentierende Kanten wiedergegeben. Diese Kanten sind von jedem Knoten, der eine Formel aus der Antezedenzbedingung der Schlußfolgerung repräsentiert, zum Knoten der Konklusionsformel gerichtet. Beispielsweise gilt für eine Schlußfolgerung "for_A for_K", welche die Formel "for_K" als logische Konsequenz der Formel "for_A" ausweist: Die Schlußfolgerung wird im Abhängigkeitsgraphen durch eine Kante repräsentiert, die vom Knoten "kn_A" für die Formel "for_A" zum Knoten "kn_K" für die Formel "for_K" gerichtet ist. Jeder Knoten, der die Formel einer Planungsannahme darstellt, gehört zu den "in"-Knoten. Für jeden anderen Knoten, der nicht die Formel einer Planungsannahme repräsentiert, wird überprüft, ob im Abhängigkeitsgraphen alle seine Eingangskanten von Knoten ausgehen, die ihrerseits zu den "in"-Knoten gehören. Wenn dies der Fall ist, wird der betrachtete Knoten ebenso als "in"-Knoten ausgezeichnet. Andernfalls handelt es sich um einen "out"-Knoten. Um diese Klassifizierung aller Knoten im Abhängigkeitsgraphen durchzuführen, wird von den Knoten der Planungsannahmen ausgegangen. Entlang ihrer Ausgangskanten wird im Abhängigkeitsgraphen jeder nachfolgende Knoten untersucht, ob er zu den "in"- oder zu den "out"-Knoten zählt. Dieses sukzessive Voranschreiten im Abhängigkeitsgraphen wird als "Label-Propagierung" bezeichnet⁹⁹⁾.

Die voranschreitende Auszeichnung von "in"- und "out"-Knoten erfolgt entlang der Kanten des Abhängigkeitsgraphen. Diese Kanten geben ihrerseits die Schlußfolgerungen wieder, die bis zum Zeitpunkt der Label-Propagierung von der Inferenzkomponente ausgeführt worden sind. Daraus folgt unmittelbar, daß die Zugehörigkeit eines Knotens zur Klasse der "in"- oder "out"-Knoten stets von der aktuellen Schlußfolgerungsmenge abhängt. Die Knotenauszeichnung drückt ihrerseits aus, ob die Gültigkeit der knotenzugehörigen Formel aus den vorausgesetzten Planungsannahmen abgeleitet werden kann ("in"-Knoten) oder nicht ("out"-Knoten). Folglich steht die annahmenbezogene Ableitbarkeit bzw. Nichtableitbarkeit von Formelgültigkeiten im Abhängigkeitsgraphen nicht zeitinvariant fest. Vielmehr ergibt sie sich immer aus der aktuellen Verknüpfung der formelrepräsentierenden Knoten des Abhängigkeitsgraphen durch dessen Kanten. Daher hängt die annahmenbezogene Ableitbarkeit bzw. Nichtableitbarkeit von Formelgültigkeiten immer von der aktuellen Schlußfolgerungsmenge ab, die sich in der Kantenmenge des Abhängigkeitsgraphen manifestiert.

Der zuvor skizzierte Mechanismus der "Label-Propagierung" ist auf die Abhängigkeitsgraphen von einfachen begründungsverwaltenden Systemen beschränkt. Er liegt zwar der Funktionsweise von ATMS-Systemen konzeptionell zugrunde. Aber die Knoten aus dem Begründungsgraphen eines ATMS-Systems werden nicht mehr mit simplen "in" oder "out"-Etiketten versehen. Statt dessen besitzen sie die komplexere Informationsstruktur, die oben vorgestellt wurde. Diese Informationsstruktur ermöglicht einerseits das besondere Leistungsvermögen der ATMS-Systeme. Andererseits führt sie dazu, daß sich die Abhängigkeit der Formelgültigkeiten von Planungsannahmen und zuvor erzeugten Schlußfolgerungen nicht mehr so anschaulich darlegen läßt, wie es zuvor für die Abhängigkeitsgraphen aus

einfachen begründungsverwaltenden Systemen skizziert wurde. Daher wird die Weise, in der ATMS-Systeme die Gültigkeit von Formeln ableiten, hier nicht näher erläutert. Statt dessen wird die besondere Qualität der Informationsstrukturen hervorgehoben, die zu den Knoten aus dem Begründungsnetz eines ATMS-Systems gehören.

Sobald die Inferenzkomponente eine neue Schlußfolgerung ausgeführt hat, wird für jede Formel, die an dem Ableitungsschritt teilgenommen hat, aber im Begründungsnetz der Verwaltungskomponente noch nicht repräsentiert ist, ein entsprechender Knoten erzeugt. Darüber hinaus wird die Tupelmengende der Knotenbegründung eines Knotens des Begründungsnetzes genau dann erweitert, wenn die knotenzugehörige Formel als Konklusion eines neuen Ableitungsschritts der Inferenzkomponente in Erscheinung getreten ist. Diese Erweiterung ist das Tupel der Namen aller Knoten, die Formeln aus der Antezedenzbedingung des Ableitungsschritts darstellen. Diese Vorgehensweise stellt sicher, daß die Knotenbegründung alle Informationen über jene Schlußfolgerungen enthält, die bisher von der Inferenzkomponente hervorgebracht worden sind und dabei die knotenzugehörige Formel in jeweils einem Ableitungsschritt aus anderen Formeln abgeleitet haben. Daher wird die aktuelle Schlußfolgerungsmenge bereits durch die Knotenbegründungen aller Knoten des Begründungsnetzes eines ATMS-Systems vollständig wiedergegeben. Folglich ist es im Prinzip nicht mehr erforderlich, die Knoten des Begründungsnetzes durch Kanten zu verknüpfen, deren Gesamtheit - wie in den Abhängigkeitsgraphen einfacher begründungsverwaltender Systeme - die bereits ausgeführten Schlußfolgerungen repräsentiert. Die Kanten des Begründungsnetzes besitzen deshalb redundanten Charakter. Sie werden daher auch oftmals - wie z.B. in Abb. 3 und Abb. 4 - fortgelassen¹⁰⁰).

Nach jeder Schlußfolgerung, die von der Inferenzkomponente neu hervorgebracht wurde, müssen aber nicht nur Knotenbegründungen erweitert und - unter Umständen - neue Knoten zum Begründungsnetz hinzugefügt werden. Darüber hinaus ist es ebenso erforderlich, die Knotenlabel aller bereits vorhandenen Knoten zu aktualisieren und das Knotenlabel für jeden neu kreierten Knoten erstmals zu etablieren. Der hierbei eingesetzte "Label-Algorithmus" ist zu kompliziert, als daß er in der hier gebotenen Kürze näher erläutert werden könnte¹⁰¹). Er stellt aber sicher, daß für jedes Knotenlabel nach jeder neuen Schlußfolgerung gilt¹⁰²): Das Knotenlabel identifiziert alle Annahmenmengen, aus denen die Gültigkeit der knotenzugehörigen Formel angesichts der aktuellen Schlußfolgerungsmenge abgeleitet werden kann¹⁰³). Dabei sind die Annahmenmengen entweder unmittelbar im Knotenlabel enthalten. Oder es handelt sich um Annahmenmengen, die mindestens eine der Annahmenmengen aus dem Knotenlabel als echte Teilmenge umfassen. Daher läßt sich aus dem Knotenlabel unmittelbar erkennen, ob die Gültigkeit der knotenzugehörigen Formel aus den vorausgesetzten Planungsannahmen und allen bisher erfolgten Schlußfolgerungen abgeleitet werden kann:

- o Eine solche Ableitbarkeit der Formelgültigkeit liegt genau dann vor, wenn das Knotenlabel des formelrepräsentierenden Knotens eine nicht-leere Menge ist. Der Knoten stellt in der Regel einen "in"-Knoten dar. Es handelt sich sogar um einen "true"-Knoten, sofern die nicht-leere Menge seines Knotenlabels die leere Menge als Element enthält.
- o Andernfalls - wenn das Knotenlabel die leere Menge ist - kann die Formelgültigkeit nicht abgeleitet werden. Es liegt dann ein "out"- oder ein "false"-Knoten vor je nachdem, ob es sich bei der knotenzugehörigen Formel um keine bzw. um die kontradiktorische Formel handelt.

Aufgrund dieser Zusammenhänge sind "Label-Propagierungen" in einem ATMS-System nicht mehr notwendig. Denn jeder Knoten seines Begründungsnetzes zeigt durch sein Knotenlabel unmittelbar an, ob sich die Gültigkeit der knotenzugehörigen Formel aus den vorausgesetzten Planungsannahmen und der aktuellen Schlußfolgerungsmenge ableiten läßt oder nicht. Darüber hinaus identifiziert das Knotenlabel jedes Knotens einer Formel, deren Gültigkeit ableitbar ist, sämtliche Annahmenmengen, aus denen die Formelgültigkeit angesichts der bis dahin ausgeführten Schlußfolgerungen abgeleitet werden kann. Da diese

Annahmenmengen den früher thematisierten Planungssituationen entsprechen, folgt: Das Knotenlabel jedes Knotens gibt erstens an, ob die Gültigkeit der knotenzugehörigen Formel überhaupt in *irgendeiner* Planungssituation ableitbar ist. Im positiven Fall weist das Knotenlabel zweitens *alle* Planungssituationen aus, in denen die Formelgültigkeit abgeleitet werden kann. Allerdings hängen beide Informationen des Knotenlabels von der aktuellen Schlußfolgerungsmenge ab. Wenn die Inferenzkomponente neue Schlußfolgerungen hinzufügt, ist es möglich, daß diese Informationen wegen veränderter Knotenlabel anders ausfallen als zuvor.

4.1.3.3 Konsequenzen

Der Planungsträger kann sich auf diejenigen Planungssituationen konzentrieren, die ihm am wahrscheinlichsten oder plausibelsten erscheinen. Dabei spielt die Anzahl der Planungssituationen - wenn von der Arbeitsgeschwindigkeit eines ATMS-Systems abgesehen wird - keine entscheidende Rolle. Der Übersichtlichkeit halber wird nur eine exemplarisch ausgewählte Planungssituation betrachtet. Der Planungsträger charakterisiert sie durch eine wohlbestimmte Menge kontingenter Planungsannahmen. Die Verwaltungskomponente ist nun in der Lage, anhand der Knotenlabel festzustellen, welche Formeln angesichts dieser situationsspezifischen Annahmenmenge und vor dem Hintergrund aller bisher erfolgten Schlußfolgerungen als gültig ableitbar sind. Mit dieser Information lassen sich die zukünftigen Schlußfolgerungen der Inferenzkomponente so steuern, daß nur solche Formeln abgeleitet werden, die logische Konsequenzen der betrachteten Annahmenmenge darstellen¹⁰⁴). Auf diese Weise wird das wissenserschließende Operieren der Inferenzkomponente auf genau jene Schlußfolgerungen eingeeengt, die auf die vorausgesetzte Planungssituation zutreffen. Durch die gleichzeitige Verfolgung mehrerer Annahmenmengen ist es ebenso möglich, die Inferenzen simultan auf mehrere interessante Planungssituationen zu fokussieren.

Die Verwaltungskomponente ist auch in der Lage, die ursprünglich vorausgesetzten Annahmen durch neue Planungsannahmen zu erweitern¹⁰⁵). Auf diese Weise läßt sich eine Revision früherer Planungsannahmen durchführen¹⁰⁶). Der Planungsträger braucht lediglich von der Annahmenmenge, welche die früheren Planungsannahmen enthält, zu jener Annahmenmenge überzugehen, in der - *ceteris paribus* - die früheren durch die revidierten Planungsannahmen ersetzt sind. Die Operationen der Inferenzkomponente, die zur Erfüllung einer Planungsaufgabe das Planungswissen der Wissensbasis auswertet, kann dadurch laufend an die aktuelle "Weltsicht" des Planungsträgers angepaßt werden. Diese Weltsicht wird durch die Gesamtheit aller Planungsannahmen beschrieben, von deren Gültigkeit der Planungsträger im Planungszeitpunkt überzeugt ist.

In diesem Überwechseln zu einer revidierten Annahmenmenge liegt eine Besonderheit des ATMS-Konzepts, die schon oben kurz erwähnt wurde: In einfachen begründungsverwaltenden Systemen werden frühere Schlußfolgerungen zurückgenommen, wenn nachträglich erkannt wird, daß die zugrundeliegenden Planungsannahmen nicht mehr zutreffen. Dieses Widerrufen von Schlußfolgerungen wird im ATMS-Konzept durch den Übergang zu neuen Annahmenmengen ersetzt. Dadurch bleiben die alten, aber unter dem aktuellen Informationsstand überholten Schlußfolgerungen erhalten¹⁰⁷). Dies mag auf den ersten Blick befremden. Denn das Vorhalten von Schlußfolgerungen, die obsolet geworden sind, scheint dem Gebot eines sparsamen Umgangs mit knappen Speicherressourcen zu widersprechen.

Dennoch liegt in der Vorgehensweise des ATMS-Konzepts ein besonderer Vorteil. Denn die Schlußfolgerungen, die sich aus einer revidierten Annahmenmenge nicht mehr ableiten lassen, müssen keineswegs für alle Zukunft irrelevant sein. Vielmehr läßt sich vorstellen, daß sich auch die aktuell veränderten Planungsannahmen in späteren Zeitpunkten als unzutreffend herausstellen werden. Dann können die früheren, zwischenzeitlich überholten Schlußfolgerungen wieder Bedeutung erlangen. Es ist durchaus möglich, daß die zukünftigen mit den früheren Planungsannahmen - zumindest partiell - übereinstimmen. Wären in der Zwischenzeit alle früheren Schlußfolgerungen zurückgesetzt worden, die sich mit den revidierten Planungsannahmen nicht mehr vereinbaren ließen, so wäre dieses Inferenzwissen verloren gegangen. Genau dies wird durch das ATMS-Konzept verhindert. Es bewahrt alle Schlußfolgerungen, die einmal von der Inferenzkomponente aufgestellt worden sind. Mit Hilfe seiner Knotenlabel wird vermerkt, unter welchen Planungsannahmen dieses Inferenzwissen angewendet werden kann. Dadurch ist es möglich, frühere Schlußfolgerungen auch bei zukünftigen Veränderungen von Planungsannahmen weiter zu benutzen¹⁰⁸).

Das ATMS-Konzept zeichnet sich daher durch ein "Inferenzgedächtnis" aus. Aufgrund dieses Gedächtnisses vermag es auf zukünftige Veränderungen in der Weltsicht eines Planungsträgers rasch zu reagieren. Denn es nicht mehr nötig, die früher ausgeführten, aber inzwischen zurückgenommenen Schlußfolgerungen zu wiederholen¹⁰⁹). Daher erweist sich das ATMS-Konzept gegenüber fortlaufenden Veränderungen von Planungsannahmen als besonders flexibel. Folglich ist es für die Anwendung auf inkrementelle Kontingenzplanungen geradezu prädestiniert.

Bisher wurde nur die Fähigkeit des ATMS-Konzepts erläutert, diejenigen Schlußfolgerungen zu verwalten, die von einer Inferenzkomponente ausgeführt wurden. Dabei hängen die Gültigkeiten aller Formeln, die an den Ableitungsschritten der Inferenzkomponente beteiligt waren, von Planungsannahmen ab, die in der Verwaltungskomponente als Knotenlabel explizit ausgewiesen werden. Da die Formelgültigkeiten nur in dem Ausmaß zutreffen, wie dies auch für die vorausgesetzten Planungsannahmen der Fall ist, läßt sich die hier diskutierte Eigenschaft des ATMS-Konzepts als ein hypothetisches Schlußfolgern charakterisieren¹¹⁰).

Darüber hinaus zeichnet es sich aber durch eine weitere bemerkenswerte Fähigkeit aus¹¹¹). Es handelt sich um den Aspekt der Konsistenzüberwachung¹¹²): Die Verwaltungskomponente eines ATMS-Systems kann Annahmenmengen, die einen Selbstwiderspruch enthalten, als solche identifizieren¹¹³). Zu diesem Zweck werden in einer separaten Subkomponente sogenannte "nogoods"¹¹⁴) explizit ausgewiesen. Ein "nogood" ist eine minimale Menge aus Planungsannahmen, die sich unmittelbar gegenseitig widersprechen. Sie müssen vom Benutzer eines ATMS-Systems ausdrücklich festgelegt werden. Mit Hilfe dieser "nogoods" vermag die Verwaltungskomponente alle Annahmenmengen zu erkennen und automatisch auszuschließen, die mindestens eine "nogood"-Menge als Teilmenge umfassen. Auf diese Weise wird vermieden, daß der Planungsträger irrtümlich Planungssituationen betrachtet, die inkonsistente Annahmen enthalten. Die daraus gezogenen Schlußfolgerungen wären wertlos ("ex falso quodlibet"). Auf den ersten Blick mag eine solche Konsistenzüberwachung nebensächlich erscheinen. Doch die praktische Erfahrung zeigt immer wieder, daß es Menschen schwer fällt, größere Sammlungen von Planungsannahmen so zu formulieren, daß sie keine Selbstwidersprüche enthalten. Denn oftmals werden die ferneren logischen Konsequenzen der miteinander zusammenhängenden Planungsannahmen nicht mehr vollständig überblickt¹¹⁵). Folglich kann auch ein darin verborgener Widerspruch übersehen werden. Das Erkennen inkonsistenter Annahmenmengen durch ATMS-Systeme erweist sich daher für die Planungspraxis als durchaus beachtenswert¹¹⁶).

4.2 Anmerkungen zur Implementierung

Die zuvor skizzierten Fähigkeiten von ATMS-Systemen, eine "intelligente" Informationsverarbeitung zu leisten, wurden vor weniger als einem Jahrzehnt konzeptionell entfaltet. Insofern überrascht es nicht, daß ATMS-Systeme im Rahmen der praktischen betrieblichen Informationsverarbeitung bisher noch keine Beachtung gefunden haben. Jedoch stehen schon erste Hilfsmittel zur Verfügung, die gestatten, ATMS-Systeme mit Hilfe der Automatischen Informationsverarbeitung zu implementieren. Im wesentlichen handelt es sich um die Expertensystem-Shell KEE¹¹⁷⁾. Sie stellt zunächst leistungsfähige Formalismen für den Aufbau einer Wissensbasis sowie eine ausgereifte Inferenzkomponente zur Verfügung. Insofern liegt ein konventionelles Werkzeug für die Erstellung wissensbasierter Systeme vor. Darüber hinaus bietet KEE aber einen Mechanismus an, der das ATMS-Konzept realisiert¹¹⁸⁾. Daneben wird auch die Expertensystem-Shell NEXPERT OBJECT mit der Fähigkeit "belief revision" angeboten¹¹⁹⁾. In welchem Ausmaß diese Fähigkeit dem Leistungsvermögen von einfachen begründungsverwaltenden Systemen oder gar von ATMS-Systemen entspricht, konnte der Verf. jedoch einschlägigen Shellbeschreibungen bislang noch nicht klar entnehmen.

5 Betriebswirtschaftliche Anwendungsperspektiven

5.1 Übersicht

Inkrementelle Kontingenzplanungen empfehlen sich grundsätzlich, wenn vier charakteristische Voraussetzungen erfüllt sind. Erstens herrscht Unsicherheit, welche Determinanten ein Planungsproblem tatsächlich bestimmen. Zweitens ist diese Unsicherheit so groß, daß keine seriöse Schätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten für alle denkmöglichen Determinantenkombinationen in Betracht kommt. Drittens besitzt der Planungsträger ausgeprägte Überzeugungen darüber, wie die aktuelle Problemlage beschaffen ist. Alle diesbezüglichen Annahmen konstituieren die aktuelle Weltsicht des Planungsträgers. Ihre Gesamtheit repräsentiert die wahrscheinlichste oder plausibelste Planungssituation¹²⁰⁾. Viertens verkennt der Planungsträger keineswegs, daß sich seine Planungsannahmen nachträglich als unzutreffend herausstellen können. Er räumt daher von vornherein den kontingenten Charakter der Planungssituation ein. Die vorgenannten Anwendungsbedingungen für inkrementelle Kontingenzplanungen sind vornehmlich in drei verschiedenartigen Planungsbereichen erfüllt.

Der erste Bereich ist durch die Langfristigkeit des Planungshorizonts gekennzeichnet. Für die Lösung solcher Planungsprobleme sind Langfristprognosen erforderlich, um die Auswirkungen von Planungsalternativen bis hin zum Planungshorizont beurteilen zu können. Aus der immanenten Unsicherheit von Langfristprognosen folgt unmittelbar, daß sie strenggenommen nur die Projektionen plausibler Planungsannahmen darstellen können. Daher liegt es nahe, zunächst von einer Menge kontingenter Planungsannahmen auszugehen und ihre logischen Konsequenzen durch ein ATMS-System erforschen zu lassen. Die Ergebnisse dieser Schlußfolgerungen stellen die gesuchten Projektionen der vorausgesetzten Planungssituation dar. Sobald sich im Zeitablauf herausstellt, daß einige Planungsannahmen tatsächlich nicht zutreffen, werden abweichungsspezifische Anpassungsplanungen ausgelöst.

Besonders interessant ist in dieser Hinsicht die Möglichkeit, das ATMS-System mit einem Frühwarnsystem zu koppeln. Das Frühwarnsystem läßt sich als ein wissensbasiertes System ausgestalten. Seine Wissensbasis umfaßt auch die Planungsannahmen des ATMS-Systems. Durch die kontinuierliche Überwachung natürlichsprachlicher Dokumente vermag das Frühwarnsystem Hinweise darauf zu erkennen, daß die ursprünglich zugrundegelegten Planungsannahmen doch nicht zutreffen. Zu diesem Zweck können z.B. Fachzeitschriften, Tageszeitungen, Magazine oder Meldungen von Nachrichtenagenturen ausgewertet werden. Die hierbei angewandten Konzepte, die einen Zugriff auf natürlichsprachlich verfaßte Informationsquellen erlauben, sind an anderer Stelle ausführlicher dargelegt worden¹²¹⁾. Sobald das Frühwarnsystem entdeckt, daß frühere Planungsannahmen einer Revision bedürfen, teilt es dieses Erkenntnis an das gekoppelte ATMS-System mit. Dort erfolgt eine Anpassungsplanung, die sich auf die Auswirkungen der veränderten Planungsannahmen konzentriert.

Ein zweites Anwendungsfeld inkrementeller Kontingenzplanungen eröffnet sich auf dem Gebiet der Katastrophenplanung¹²²⁾. Mit Katastrophen sind hier keine Naturkatastrophen gemeint, deren Bewältigung in der Regel nicht zum Objekt betriebswirtschaftlicher Planungsanstrengungen gehört. Vielmehr geht es um Katastrophen, die einzelnen Betrieben widerfahren können. Dabei läßt sich beispielsweise an Brand- oder Explosionsfälle in chemischen Großanlagen denken. Ebenso kommen Unfälle beim Transport von Gefahrgütern oder umweltgefährdende Beschädigungen von Tankschiffen¹²³⁾ in Betracht. Die Liste exemplarischer Katastrophenereignisse ließe sich beliebig verlängern. Ihnen gemeinsam ist die große Varietät denkmöglicher Katastrophenursachen und -verläufe. Daher scheidet es

im allgemeinen aus, für jeden vorstellbaren Katastrophenfall einen entsprechenden Eventualplan bereitzuhalten. Allenfalls können in einigen wenigen Szenarien die Reaktionen auf "typische" Katastrophenfälle durchgespielt werden. Damit bleibt aber offen, wie auf solche Katastrophen reagiert werden soll, die nicht alle Annahmen der Szenarien erfüllen.

Genau für solche "untypischen" Katastrophenfälle eignet sich wiederum das Konzept inkrementeller Kontingenzplanungen. Denn sie erfordern keineswegs, die Reaktion auf die Katastrophenfälle vollkommen neu zu planen. Dies wäre unter dem Zeitdruck, einer Katastrophe zu begegnen, oftmals gar nicht möglich. Statt dessen kann sich die abweichungsspezifische Anpassungsplanung darauf beschränken, die bereits erfolgten Szenarioplanungen zu modifizieren. Denn es brauchen nur jene Teilpläne überarbeitet zu werden, die aus Planungsannahmen abgeleitet wurden, die sich nachträglich als unzutreffend herausgestellt haben und durch entsprechend revidierte Annahmen ersetzt worden sind. Darüber hinaus bietet sich das Inferenzgedächtnis von ATMS-Systemen an, um rasch auf die Ergebnisse von Schlußfolgerungen zurückzugreifen, die bereits in früheren Szenarioplanungen erarbeitet wurden und sich nun wiederverwenden lassen¹²⁴⁾.

Das dritte Gebiet, das sich für inkrementelle Kontingenzplanungen empfiehlt, kontrastiert mit dem erstgenannten Anwendungsbereich. Im Gegensatz zu den oben angeführten Langfristplanungen betrifft es ausgesprochen kurzfristige Planungsaufgaben. Sie zeichnen sich durch Planungsumwelten aus, die sich schnell, häufig und regellos verändern. Dies kann dazu führen, daß die Determinanten der Planungsaufgaben in kurzen Zeitabständen - z.B. wöchentlich oder sogar täglich - in unvorhergesehener Weise variieren. Solche Verhältnisse liegen z.B. bei der Planung und Steuerung zahlreicher industrieller Produktionsprozesse vor. Insbesondere sind davon Produktionssysteme betroffen, die das Organisationsprinzip der Werkstattfertigung befolgen oder als Flexible Fertigungssysteme ausgelegt sind. Dort können Auftragsstornierungen, plötzlich durchzuschleusende Eilaufträge oder Störungen der technischen Anlagen bewirken, daß die ursprünglichen Produktionspläne schon nach wenigen Stunden veraltet sind. Daher spielen Produktionspläne, die über einen Tag hinaus reichen, für die Steuerung des aktuellen Produktionsgeschehens oftmals keine ernsthafte Rolle. Folglich wird häufig darauf verzichtet, überhaupt eine tagesgenaue Feinplanung durchzuführen. Statt dessen wird die tägliche Produktionssteuerung den Mitarbeitern "vor Ort" - also z.B. den Meistern oder den Mitarbeitern in einem Fertigungsleitstand - überlassen.

Auch in dieser Hinsicht kann auf das Vermögen inkrementeller Kontingenzplanungen zurückgegriffen werden, abweichungsspezifische Anpassungsplanungen durchzuführen. Es wird zwar weiterhin ein Produktionsplan aufgrund von Annahmen über die zukünftige Produktionssituation entworfen. Aber angesichts der raschen Situationsveränderlichkeit spielt die Kontingenz der Planungsannahmen von vornherein eine ausschlaggebende Rolle: Der ursprüngliche Produktionsplan wird nur als eine Hypothese gewertet, der mangels anderer Informationen zunächst gefolgt wird. Er besitzt daher eine "faute de mieux"-Charakteristik. Sobald jedoch Erkenntnisse darüber vorliegen, daß mindestens eine der ursprünglichen Planungsannahmen revidiert werden muß, erfolgt eine entsprechende, wiederum abweichungsspezifische Anpassungsplanung. Da eine rasche, häufige und unvorhersehbare Veränderlichkeit der Produktionssituation vorausgesetzt wurde, bilden solche Anpassungsplanungen den qualitativen Kern der Produktionsplanung und -steuerung.

5.2 Ein verdeutlichendes Beispiel

Inkrementelle Kontingenzplanungen, die auf begründungsverwaltenden Systemen beruhen, lassen sich für realistische Planungsaufgaben nicht in knapper und übersichtlicher Form präsentieren. Dies liegt vornehmlich an zwei Gründen. Einerseits bindet das anspruchsvolle Konzept begründungsverwaltender Systeme erhebliche Ressourcen für die Automatische Informationsverarbeitung. Dies gilt insbesondere auch für das hier bevorzugte ATMS-Konzept. Ein solcher Ressourceneinsatz kann aber in der Regel nur für umfangreiche Planungsaufgaben wirtschaftlich gerechtfertigt werden. Andererseits setzen begründungsverwaltende Systeme eine Aufbereitung des planungsrelevanten Wissens in prädikatenlogischer Form voraus. Prädikatenlogische Wissensrepräsentationen fallen jedoch schon für bescheidene Aufgabenstellungen zumeist recht voluminös aus. Hinzu kommt die prädikatenlogische Formelnotation, die im betriebswirtschaftlichen Bereich meist wenig vertraut ist.

Aus beiden voranstehenden Gründen folgt, daß eine vollständig ausgearbeitete Fallstudie für den realistischen Einsatz eines begründungsverwaltenden Systems wegen ihres Umfangs und ihrer Unübersichtlichkeit keinen nennenswerten didaktischen Wert besäße. Daher wird im folgenden eine radikal vereinfachte Planungsaufgabe betrachtet. Darüber hinaus wird darauf verzichtet, ihre Beschreibung durch prädikatenlogische Formeln vollständig zu entfalten. Statt dessen werden nur einige wenige Formeln verwendet, um an entscheidenden Stellen einen Einblick in die Funktionsweise eines begründungsverwaltenden Systems zu vermitteln.

Die betrachtete Planungsaufgabe gehört zum ersten der drei voranstehend skizzierten Anwendungsbereiche für inkrementelle Kontingenzplanungen. Sie erstreckt sich auf ein Planungsproblem aus dem Bereich der Lieferantenauswahl. Sein Zeithorizont reicht mehrere Monate in die Zukunft. Er schließt eine hochgradige Unsicherheit darüber ein, welche Lieferanten in diesem Zeitraum tatsächlich lieferfähig und -willig sein werden. Dabei können sich produktionstechnische Einflüsse auf die Lieferfähigkeit auswirken. Die Lieferwilligkeit hängt dagegen von produktionpolitischen Einflüssen ab. Es liegen keine sicheren Informationen darüber vor, welche tatsächlichen Ausprägungen die produktionstechnischen und -politischen Einflußgrößen annehmen werden. Daher werden die Informationslücken bei der Planung der Lieferantenauswahl durch entsprechende Planungsannahmen geschlossen.

Das Problem der Lieferantenauswahl betrifft das Vorhaben der sowjetischen Republik Estland, Banknoten für die erhoffte republikeneigene Währung "Kronen" herstellen zu lassen¹²⁵⁾. Im Frühjahr und Sommer 1990 wurde versucht, Lieferanten für das erforderliche Spezialpapier, die Druckplatten und die damit zu druckenden Banknoten zu gewinnen. Spezialpapier und Druckplatten konnten tatsächlich bereitgestellt werden. Das "Kronen"-Beispiel erstreckt sich deshalb nur noch auf das Teilproblem, einen Auftragnehmer für den abschließenden Banknotendruck als Endlieferanten auszuwählen.

Aus produktionstechnischer Sicht kommt ein potentieller Lieferant nur dann als Auftragnehmer in Betracht, wenn er für den relevanten Produktionszeitraum über freie Produktionskapazität verfügt. Im Jahr 1990 herrschte bei den etablierten Banknotendruckereien allgemeine Hochkonjunktur. Daher ließ sich in der ersten Jahreshälfte nicht mit zufriedenstellender Sicherheit vorhersehen, welche der Druckereien in der zweiten Jahreshälfte freie Kapazitäten besitzen würde, um einen Druckauftrag der Republik Estland abwickeln zu können.

Die unsichere Kapazitätslage wird überlagert durch die produktionpolitische Frage, ob eine Druckerei überhaupt bereit ist, der Republik Estland zu einer eigenständigen Währung zu verhelfen. Politische Rücksichtnahmen können im sensiblen Bereich des Banknotendrucks erhebliche Bedeutung erlangen. Ebenso ist mit politischen Einflußnahmen zu rechnen, die von den Regierungen in den Heimatländern der Druckereien ausgehen. Planungs-

träger in der Republik Estland gingen von der Überzeugung aus, daß US-amerikanische Druckereien keine politischen Bedenken tragen würden. Europäische Druckereien würden sich dagegen als Hauptauftragnehmer vermutlich zurückhalten, um das Klima des zukunftssträchtigen Osthandels nicht zu beeinträchtigen. Allenfalls wären sie bereit, als Subauftragnehmer anderer Lieferanten einzuspringen, wenn sie dadurch in der Öffentlichkeit nicht als Hersteller der Banknoten in Erscheinung treten.

In die engere Lieferantenauswahl gelangten vier Druckereien: Die "US Banknotes" in New York, die "Jeffries Banknotes" in Los Angeles, die "Thomas De La Rue" in London sowie eine - nicht näher benannte - "Zentralbankdruckerei" in Südeuropa. Abb. 5 führt auf, welche kontingenten Annahmen die Planungsträger in der Republik Estland für die vorgenannten vier Unternehmungen hinsichtlich ihrer freien Produktionskapazitäten und ihrer Lieferwilligkeit verfolgt haben¹²⁶). Dabei wird aus der Perspektive der Lieferwilligkeit nur das eine Planungsszenario betrachtet, das die zuvor beschriebenen Mutmaßungen über die produktionspolitischen Einstellungen der Druckereien wiedergibt. Sollten sich diese Überzeugungen der Planungsträger nachträglich als unzutreffend herausstellen, müßten andere - der neuen Informationslage angemessene - Planungsannahmen über die Produktionspolitiken der jeweils betroffenen Druckereien gefaßt werden. Mit den modifizierten Planungsannahmen könnte eine abweichungsspezifische Anpassungsplanung erfolgen. Dies wird hier

```
UO  :<=>    (nationalität(X,"US") ^ druckerei(X))
      -> offensiv(X)

ELD  :<=>    (nationalität(X,"EU") ^ druckerei(X)
             potentieller_lieferant(X))
      -> defensiv(X)

ESO  :<=>    (nationalität(Z,"EU") ^ druckerei(Z)
             ^ potentieller_sublieferant(Z))
      -> offensiv(Z)

K1F  :<=> kapazität("US_Banknotes",frei)
K1A  :<=> kapazität("US_Banknotes",ausgeschöpft)

K2F  :<=> kapazität("Jeffries_Banknotes",frei)
K2A  :<=> kapazität("Jeffries_Banknotes",ausgeschöpft)

K3F  :<=> kapazität("Thomas_De_La_Rue",frei)
K3A  :<=> kapazität("Thomas_De_La_Rue",ausgeschöpft)

K4F  :<=> kapazität("Zentralbankdruckerei",frei)
K4A  :<=> kapazität("Zentralbankdruckerei",ausgeschöpft)

nogood{K1F,K1A}
nogood{K2F,K2A}
nogood{K3F,K3A}
nogood{K4F,K4A}
```

Abb. 5: Kontingente Planungsannahmen für das Kronen-Beispiel

aber nicht ausgeführt. Bezüglich der produktionstechnischen Voraussetzungen wird dagegen von vornherein in alternativen Szenarien geplant: Für jede der vier Druckereien werden die beiden kontingenten Fälle berücksichtigt, daß ihre Produktionskapazitäten entweder frei oder aber ausgeschöpft sind. Entsprechende "nogoods" zeigen an, daß sich diese beiden Planungsannahmen für dieselbe Druckerei gegenseitig ausschließen.

Abb. 6a/b führt weitere Planungsannahmen auf, die jedoch nicht als kontingent betrachtet werden. Vielmehr handelt es sich um allgemeingültige Planungsprämissen. Die vier ersten legen lediglich fest, welche Objekte als Druckereien in Erwägung gezogen werden können. Zwei subjugatförmige Prämissen deklarieren jede Druckerei als einen potentiellen (Sub-)Lieferanten, sobald ein (Sub-)Lieferant für ein Druckerzeugnis gesucht wird. Hinzu kommen die Nationalitätenfeststellungen der vier berücksichtigten Druckereien. Ihre Allgemeingültigkeit ist rein definitorisch gegeben. Gleiches gilt für die beiden Subjugate, die den Bereich europäischer Nationalitäten mitbestimmen. Die übrigen Subjugate stellen Annahmen der Planungsträger über das Verhalten potentieller Auftragnehmer und Subauftragnehmer dar. Diese Verhaltensannahmen werden innerhalb des Beispiels als unumstößlich behandelt. Sie könnten aber ebenso - mit größerem Verwaltungsaufwand - als kontingente Planungsannahmen reformuliert werden. Schließlich konstituiert die letzte Planungsprämissen durch ihr selbsterklärendes Prädikat "lieferantensuche("Estland")"¹²⁷⁾ das hier untersuchte Auswahlproblem.

Alle prädikatenlogischen Formeln, die in Abb. 5 und Abb. 6a/b kontingente Planungsannahmen bzw. allgemeingültige Planungsprämissen spezifizieren, gehören auch zur Wissensbasis des ATMS-Systems¹²⁸⁾. Darüber hinaus umfaßt die Wissensbasis auch das Prädikat "auftragsannahme(X,Y)". Es drückt aus, daß ein potentieller Lieferant, für den die Variable "X" steht, den Produktionsauftrag desjenigen Kunden, der durch die Variable "Y" vertreten wird, annimmt¹²⁹⁾. Das Auswahlproblem der Planungsträger ist daher gelöst, wenn die Inferenzkomponente durch Auswertung der Wissensbasis die Formel "auftragsannahme(lieferant,"Estland")" abzuleiten vermag. Dabei bezeichnet das Konstantensymbol "lieferant" einen beliebigen, aber wohlbestimmten Lieferanten. Die Konstante "Estland" vertritt dagegen die Planungsträger der Republik Estland, die den Druckauftrag vergeben möchten.

Abb. 7 zeigt ein Begründungsnetz aus der Verwaltungskomponente des ATMS-Systems. Jeder seiner kreisförmigen Knoten repräsentiert eine prädikatenlogische Formel. Das zugehörige Knotenlabel für die zugrundeliegenden Planungsannahmen wird rechts neben dem Knoten als "Kartusche" dargestellt¹³⁰⁾. Eine graphische Wiedergabe der Knotenbegründungen unterbleibt, weil sie aus der topologischen Verknüpfung der Netzknoten und -kanten ersichtlich sind. Alle Annahmen und Formeln werden durch Kurznotationen vertreten. Dabei werden einerseits die Kurznotationen vorausgesetzt, die bereits in

```
d1  :<=> druckerei("US_Banknotes")
d2  :<=> druckerei("Jeffries_Banknotes")
d3  :<=> druckerei("Thomas_De_La_Rue")
d4  :<=> druckerei("Zentralbankdruckerei")

p1  :<=> (lieferantensuche(Y) ^ druckerei(X))
      -> potentieller_lieferant(X)

ps  :<=> (sublieferantensuche(X) ^ druckerei(Z))
      -> potentieller_sublieferant(Z)
```

Abb. 6a: Allgemeingültige Planungsprämissen für das Kronen-Beispiel

n1 :<=> nationalität("US_Banknotes","US")
n2 :<=> nationalität("Jeffries_Banknotes","US")
n3 :<=> nationalität("Thomas_De_La_Rue","GB")
n4 :<=> nationalität("Zentralbankdruckerei","Südeuropa")
ng :<=> nationalität(X,"GB") -> nationalität(X,"EU")
ns :<=> nationalität(X,"Südeuropa") -> nationalität(X,"EU")

lfo :<=> (lieferantensuche(Y) ^ potentieller_lieferant(X)
 ^ kapazität(X,frei) ^ offensiv(X))
 -> auftragsannahme(X,Y)

lfd :<=> (lieferantensuche(Y) ^ potentieller_lieferant(X)
 ^ kapazität(X,frei) ^ defensiv(X))
 -> auftragsablehnung(X,Y)

lad :<=> (lieferantensuche(Y) ^ potentieller_lieferant(X)
 ^ kapazität(X,ausgeschöpft) ^ defensiv(X))
 -> auftragsablehnung(X,Y)

lao :<=> (lieferantensuche(Y) ^ potentieller_lieferant(X)
 ^ kapazität(X,ausgeschöpft) ^ offensiv(X))
 -> sublieferantensuche(X)

sfd :<=> (sublieferantensuche(X) ^ potentieller_sublieferant(Z)
 ^ kapazität(Z,frei) ^ defensiv(Z))
 -> subauftragsablehnung(Z,X) 131

sfo :<=> (sublieferantensuche(X) ^ potentieller_sublieferant(Z)
 ^ kapazität(Z,frei) ^ offensiv(Z))
 -> subauftragsannahme(Z,X)

sa :<=> (sublieferantensuche(X) ^ potentieller_sublieferant(Z)
 ^ kapazität(Z,ausgeschöpft))
 -> subauftragsablehnung(Z,X)

lsf :<=> (lieferantensuche(Y)
 ^ potentieller_lieferant(X)
 ^ sublieferantensuche(X)
 ^ potentieller_sublieferant(Z)
 ^ subauftragsannahme(Z,X))
 -> auftragsannahme(X,Y)

lse :<=> lieferantensuche("Estland")

Abb. 6b: Allgemeingültige Planungsprämissen für das Kronen-Beispiel

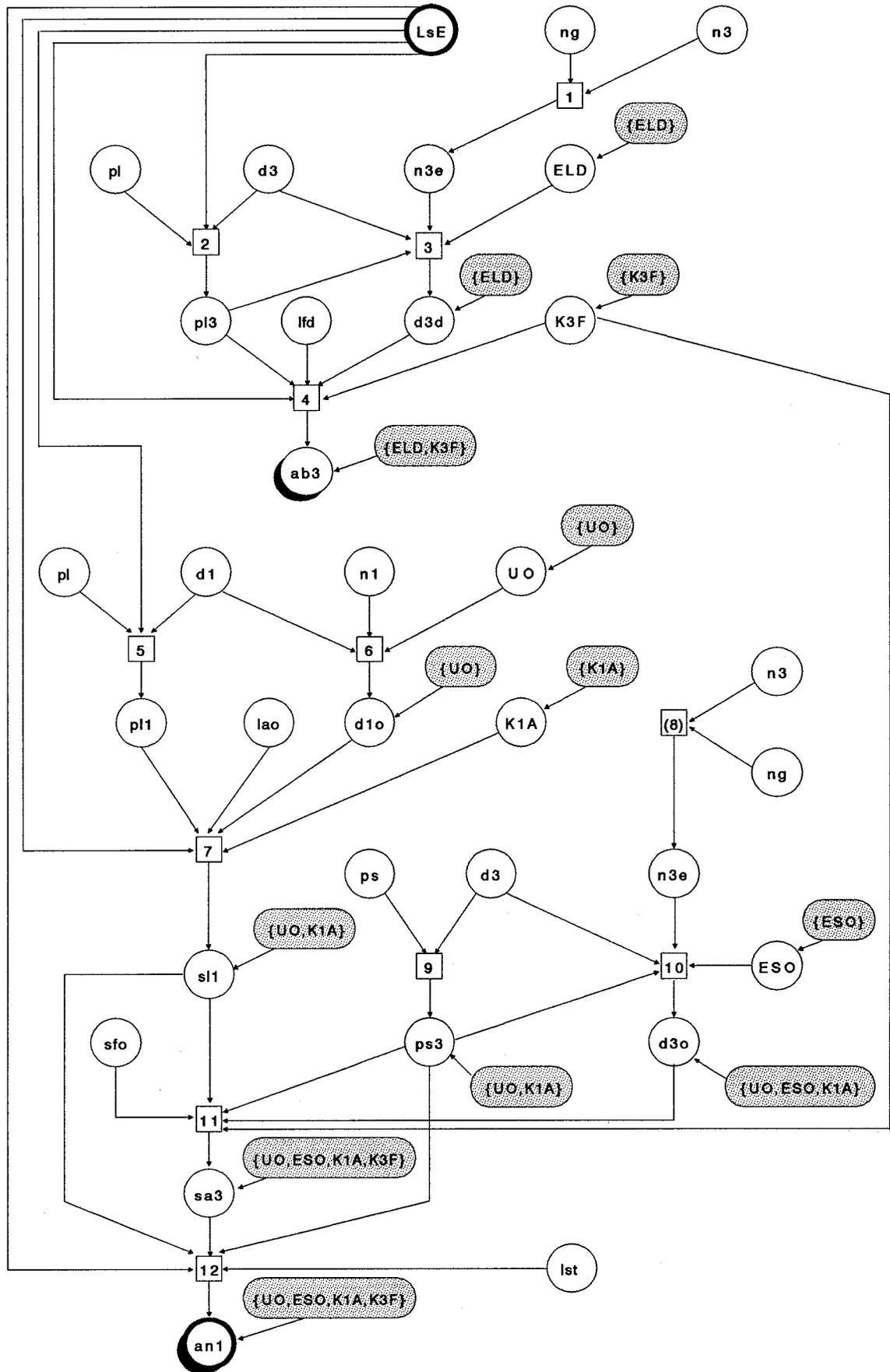


Abb. 7: Begründungsnetz für die Lieferantenauswahl in der kontingenten Planungssituation $PS_1 = \{UO, ESO, K1A, K3F\}$

Abb. 5 und Abb. 6a/b eingeführt wurden. Andererseits sind durch die Ableitungsschritte der Inferenzkomponente des ATMS-Systems neue Formeln erzeugt worden, die im Begründungsnetz der Abb. 7 durch entsprechende neue Knoten repräsentiert werden. Die Kurznotationen für diese ergänzten Formeln werden in Abb. 8 festgelegt. Der Übersichtlichkeit halber werden in Abb. 7 einige Knoten dupliziert¹³²). Alle Schlußfolgerungen werden durch kleine quadratische Knoten wiedergegeben. Um die jeweils interessierenden Schlußfolgerungen eindeutig identifizieren zu können, werden sie durchlaufend numeriert¹³³).

Die siebte Abbildung gibt den Zustand der Verwaltungskomponente des ATMS-Systems wieder, nachdem seine Inferenzkomponente eine erste logisch zulässige Lieferantenauswahl erschlossen hat: Die US-amerikanische Druckerei "US Banknotes" wurde als direkter Auftragnehmer ausgewählt¹³⁴). Sie greift ihrerseits auf die britische Druckerei "Thomas De La Rue" als Subauftragnehmer zurück¹³⁵). Diese Lösung des Auswahlproblems ist gültig, falls die kontingenten Planungsannahmen "UO", "ESO", "K1A" und "K3F" tatsächlich zutreffen. Es handelt sich einerseits um die beiden Verhaltensannahmen, daß US-amerikanische und europäische Druckereien produktionspolitisch "offensiv" agieren, sofern sie als Lieferanten (UO) bzw. als Sublieferanten (ESO) auftreten. Andererseits sind die produktionstechnischen Annahmen betroffen, daß die Kapazität des Lieferanten "US Banknotes" zwar ausgeschöpft ist (K1A), dafür aber der Sublieferant "Thomas De La Rue" über freie Kapazität verfügt (K3F). Daher liegt eine Problemlösung vor, die auf jeden Fall für die Planungssituation $PS_1 = \{UO, ESO, K1A, K3F\}$ gültig ist. Darüber hinaus ist dieselbe Problemlösung aber auch für alle Planungssituationen gültig, deren Annahmengen jeweils eine konsistente Obermenge zur Annahmengenmenge der Planungssituation PS_1 darstellen¹³⁶). Z.B. bedeutet die Auswahl der beiden vorgenannten Druckereien ebenso eine gültige Problemlösung für die Planungssituation $PS_1^* = \{UO, ELD, ESO, K1A, K2F, K3F, K4F\}$.

```
ab3 :<=> auftragsablehnung("Thomas_De_La_Rue", "Estland")
an1 :<=> auftragsannahme("US_Banknotes", "Estland")
d1o :<=> offensiv("US_Banknotes")
d3d :<=> defensiv("Thomas_De_La_Rue")
d3o :<=> offensiv("Thomas_De_La_Rue")
n3e :<=> nationalität("Thomas_De_La_Rue", "EU")
pl1 :<=> potentieller_lieferant("US_Banknotes")
pl3 :<=> potentieller_lieferant("Thomas_De_La_Rue")
ps3 :<=> potentieller_sublieferant("Thomas_De_La_Rue")
sa3 :<=> subauftragsannahme("Thomas_De_La_Rue", "US_Banknotes")
sl1 :<=> sublieferantensuche("US_Banknotes")
```

Abb. 8: Zusätzliche Kurznotationen für das Begründungsnetz der Abb. 7

Das Begründungsnetz der Abb. 7 dient nur der Veranschaulichung. Daher wurde es gerade so umfangreich gestaltet, daß es sich noch als zusammenhängende Graphik auf einer Seite präsentieren läßt. Dafür muß aber in Kauf genommen werden, daß das Begründungsnetz weder minimal noch vollständig ist¹³⁷). Das Begründungsnetz fällt nicht minimal aus, weil es auch Ableitungsschritte der Inferenzkomponente wiedergibt, die zunächst in die Irre geführt haben. Davon betroffen ist das obere Drittel des Begründungsnetzes, das im Knoten mit der Kurznotation "ab3" endet. Dieser Knoten repräsentiert die Konklusionsformel, daß die britische Druckerei "Thomas_De_La_Rue" trotz freier Produktionskapazität (K3F) ablehnen wird, den Druckauftrag anzunehmen. Dies gilt unter der Verhaltensannahme, daß europäische Druckereien die defensive Produktionspolitik verfolgen, nicht als (Haupt-)Lieferanten in Erscheinung treten zu wollen (ELD). Dieser erfolglose Ableitungsversuch der Inferenzkomponente wird im Begründungsnetz ebenso festgehalten wie das erfolgreiche Auffinden eines Paares aus einem Haupt- und einem Sublieferanten in den unteren zwei Dritteln der Abb. 7. Denn auf diese Weise läßt sich die Inferenzkomponente davor bewahren, bei späteren Anlässen nochmals den erfolglosen Weg zu beschreiten. Dies ist ein Aspekt des oben erwähnten Inferenzgedächtnisses.

Das Begründungsnetz verhält sich ebensowenig vollständig. Statt dessen wurde auf eine Reihe von Ableitungsmöglichkeiten verzichtet, die von der Inferenzkomponente auf der Wissensbasis ausgeführt werden können. Beispielsweise hätten auch die logischen Konsequenzen der Annahme erforscht werden können, daß die Produktionskapazität der dritten Druckerei "Thomas_De_La_Rue" nicht frei, sondern ausgeschöpft ist (K3A). Dann wäre das obere Drittel der Abb. 7 anders ausgefallen. Grundsätzlich kann die Inferenzkomponente eines ATMS-Systems den gesamten Lösungsraum für das betrachtete Auswahlproblem erforschen. Er wird von allen denkmöglichen konsistenten Annahmenkombinationen und den entsprechend variierenden Planungssituationen aufgespannt. Aus diesem breiten Inferenzspektrum wird nur eine weitere gültige Problemlösung exemplarisch betrachtet. Abb. 9 zeigt das Begründungsnetz für diese zweite Problemlösung¹³⁸). Zusätzlich ist in ihrem oberen Drittel der erfolglose Ableitungsversuch für die oben erwähnte Alternativannahme "K3A" dargestellt¹³⁹). Das Begründungsnetz der Abb. 9 ist analog zum Begründungsnetz der Abb. 7 konstruiert¹⁴⁰). In Abb. 10 werden wiederum die Kurznotationen jener Formeln festgelegt, die noch nicht in Abb. 5 oder Abb. 6a/b als kontingente Planungsannahmen bzw. als allgemeingültige Planungsprämissen erfaßt worden sind.

Die zweite gültige Problemlösung aus der Abb. 9 bezieht sich auf die leicht modifizierte Planungssituation $PS_2 = \{UO, ESO, K1A, K4F\}$ ¹⁴¹). Sie unterscheidet sich von der zuerst behandelten Planungssituation PS_1 lediglich dadurch, daß die kontingente Planungsannahme hinsichtlich freier Produktionskapazität nicht mehr auf die britische Druckerei "Thomas De La Rue" (K3F), sondern auf die südeuropäische "Zentralbankdruckerei" bezogen wird (K4F). Die zweite Problemlösung ist abermals auch für alle Planungssituationen gültig, deren Annahmenmengen jeweils eine konsistente Obermenge zur Annahmenmenge der Planungssituation PS_2 bilden. Beispielsweise trifft dies auf die Planungssituation $PS_2^* = \{UO, ELD, ESO, K1A, K2F, K3F, K4F\}$ zu. Wegen $PS_2^* = PS_1^*$ besitzen die Planungsträger in dieser Planungssituation die Freiheit, zwischen zwei gültigen Lösungen ihres Auswahlproblems zu entscheiden: Wenn sie die Druckerei "US_Banknotes" als Hauptlieferanten "vorschieben", können sie zwischen den beiden Sublieferanten "Thomas De La Rue" und "Zentralbankdruckerei" auswählen. Oder die Sublieferantenauswahl bleibt dem Hauptlieferanten, also der Druckerei "US_Banknotes", überlassen.

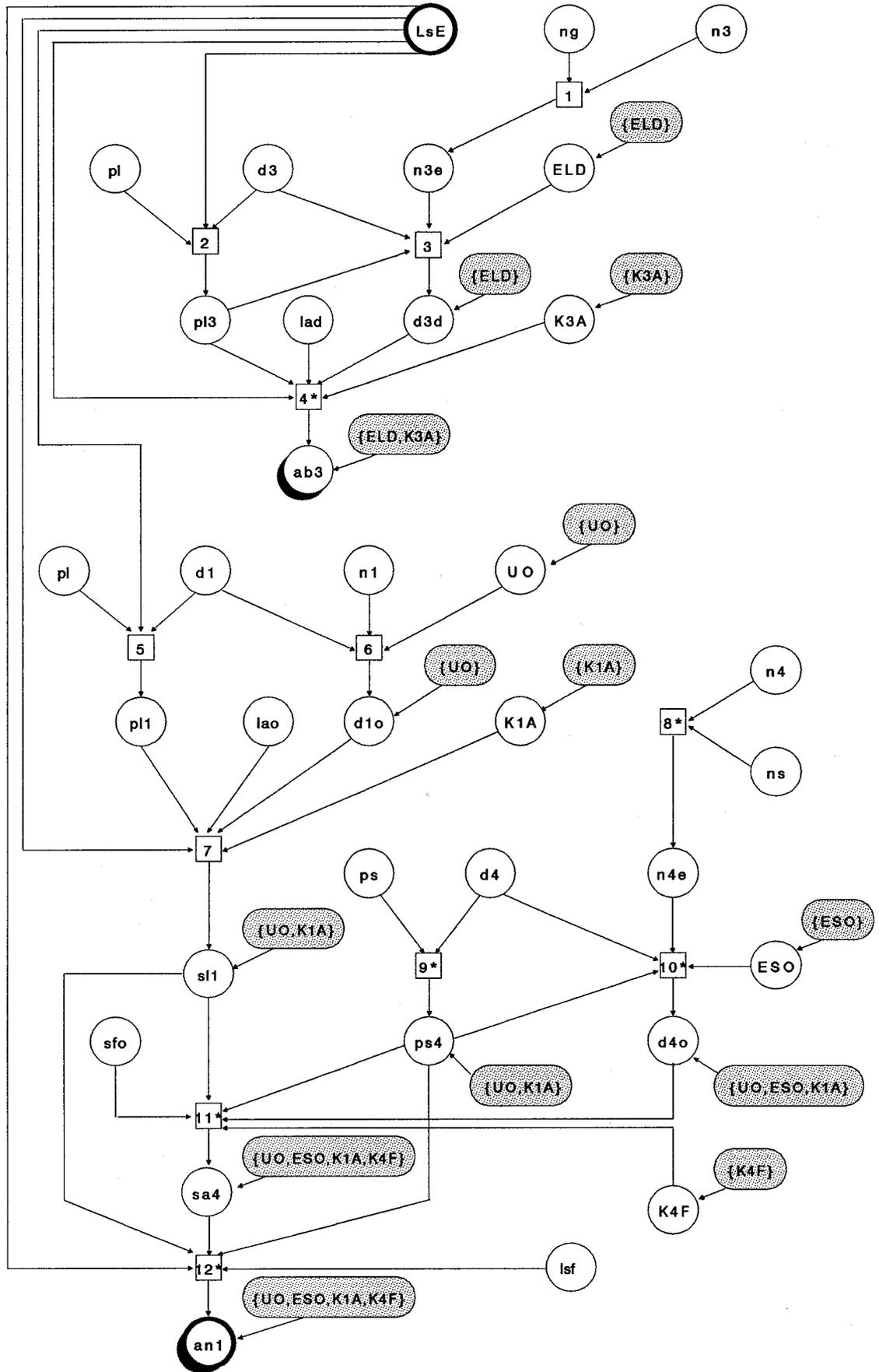


Abb. 9: Begründungsnetz für die Lieferantenauswahl in der kontingenten Planungssituation $PS_2 = \{UO, ESO, K1A, K4F\}$

```
ab3 :<=> auftragsablehnung("Thomas_De_La_Rue","Estland")
an1 :<=> auftragsannahme("US_Banknotes","Estland")
d1o :<=> offensiv("US_Banknotes")
d3d :<=> defensiv("Thomas_De_La_Rue")
d4o :<=> offensiv("Zentralbankdruckerei")
n3e :<=> nationalität("Thomas_De_La_Rue","EU")
n4e :<=> nationalität("Zentralbankdruckerei","EU")
p1l :<=> potentieller_lieferant("US_Banknotes")
p13 :<=> potentieller_lieferant("Thomas_De_La_Rue")
ps4 :<=> potentieller_sublieferant("Zentralbankdruckerei")
sa4 :<=> subauftragsannahme("Zentralbankdruckerei","US_Banknotes")
s1l :<=> sublieferantensuche("US_Banknotes")
```

Abb. 10: Zusätzliche Kurznotationen für das Begründungsnetz der Abb. 9

Abschließend wird die Planungssituation $PS_3 = \{UO, ELD, ESO, K1A, K3A, K4F\}$ betrachtet. Ihre Annahmenmenge ist eine konsistente Obermenge der Annahmenmenge von Planungssituation PS_2 . Daher besitzt die Planungssituation PS_3 dieselbe gültige Problemlösung wie die Planungssituation PS_2 . Allerdings stellt die Annahmenmenge der Planungssituation PS_3 keine Obermenge der Annahmenmenge der Planungssituation PS_1 dar. Dies wird durch das Element "K3F" verhindert, das zur Annahmenmenge der Planungssituation PS_1 , nicht aber zur Annahmenmenge der Planungssituation PS_3 gehört¹⁴²⁾. Daher ist es nicht möglich, aus der Annahmenmenge der Planungssituation PS_3 und allen bis dahin erfolgten Ableitungsschritten der Inferenzkomponente die Gültigkeit der ersten Problemlösung für die dritte Planungssituation abzuleiten. Dies bedeutet aber nicht, daß die erste Problemlösung für die dritte Planungssituation ungültig sein muß. Denn das ATMS-System vermag zunächst nur Aufschlüsse darüber zu vermitteln, welche Problemlösungen in welchen Planungssituationen *gültig* sind. Mit der situationsspezifischen *Ungültigkeit* von Problemlösungen befaßt es sich dagegen nicht direkt. Ungültigkeitsurteile sind erst dann möglich, wenn der kombinatorische Raum aller denkmöglichen konsistenten Planungssituationen *endlich* ist und das ATMS-System diesen Lösungsraum *vollständig* erforscht hat.

In dem hier erörterten einfachen "Kronen-Beispiel" lassen sich beide Voraussetzungen erfüllen. Nach der vollständigen Erforschung des zulässigen Lösungsraums würde ein Begründungsnetz vorliegen¹⁴³⁾, in dem die Gültigkeit der ersten Problemlösung unter der dritten Planungssituation nicht abgeleitet werden kann. Da qua Voraussetzung keine weiteren Ableitungen mehr möglich sind, folgt indirekt: Die erste Problemlösung ist angesichts der dritten Planungssituation tatsächlich ungültig. Dieses Resultat leuchtet intuitiv unmittelbar ein. Denn die erste Problemlösung sieht als Subauftragnehmer die britische Druckerei "Thomas De La Rue" vor. Deren Kapazität wird aber in der dritten Planungssituation als "ausgeschöpft" angenommen. Daher scheidet die erste Problemlösung aus produktionstechnischen Gründen aus.

Die Planungsträger wissen nicht, welche der kontingenten Planungssituationen tatsächlich zutrifft. Sie besitzen aber den Freiheitsgrad, mit Hilfe des ATMS-Systems diejenigen Problemlösungen zu erforschen, die für alternative Planungssituationen gültig sind. Dabei können sie diesen Freiheitsgrad in zwei unterschiedlichen Extremen - und allen dazwischen liegenden Übergangsformen - nutzen:

- o Entweder lösen die Planungsträger ihr Auswahlproblem nur für eine Planungssituation, die sie als wahrscheinlichste oder plausibelste Situation betrachten. Falls sich mindestens eine Planungsannahme aus dieser Planungssituation nachträglich als unzutreffend herausstellt, muß mit entsprechend revidierten Planungsannahmen eine abweichungsspezifische Anpassungsplanung erfolgen.
- o Oder die Planungsträger lassen das ATMS-System von vornherein den gesamten Lösungsraum erforschen. Dann kennen sie die gültigen Problemlösungen für alle denkmöglichen konsistenten Planungssituationen. Sie brauchen daher nur die Planungssituation zu spezifizieren, die sie aktuell für zutreffend halten. Das ATMS-System antwortet darauf unmittelbar mit einer Problemlösung, die für diese Planungssituation gültig ist.

Für das oben vorgelegte Beispiel bedeutet der voranstehend skizzierte Freiheitsgrad, daß sich die Planungsträger darauf beschränken können, die erste Problemlösung für die Planungssituation $PS_1 = \{UO, ESO, K1A, K3F\}$ zu ermitteln. Falls nachträglich bekannt wird, daß die britische Druckerei "Thomas De La Rue" - entgegen der Planungsannahme "K3F" - über keine freie Produktionskapazität verfügt (K3A), muß die Planungssituation PS_1 verworfen werden. Denn die beiden Annahmen "K3F" und "K3A" schließen sich gegenseitig aus. Dies wurde schon in Abb. 5 durch ein entsprechendes "nogood" ausgedrückt. Falls statt dessen an die freie Kapazität der südeuropäischen "Zentralbankdruckerei" geglaubt wird (K4F) und sich keine anderen Planungsannahmen als unzutreffend herausgestellt haben, muß das ATMS-System auf die neue Planungssituation $PS_4 = \{UO, ESO, K1A, K3A, K4F\}$ angesetzt werden. Durch Operationen seiner Inferenzkomponente wird es für die Planungssituation PS_4 dieselbe Problemlösung erschließen, die schon oben für die Planungssituation $PS_2 = \{UO, ESO, K1A, K4F\}$ ermittelt wurde. Denn die Annahmenmenge der Planungssituation PS_4 ist eine konsistente Obermenge der Annahmenmenge der Planungssituation PS_2 . Da aber ursprünglich nur die eine Planungssituation PS_1 berücksichtigt wurde, liegt das Wissen über die gültige Problemlösung der Planungssituation PS_2 nicht vor. Statt dessen muß es durch eine abweichungsspezifische Anpassungsplanung gewonnen werden.

Diese Anpassungsplanung braucht im Begründungsnetz der Abb. 7, das für die Planungssituation PS_1 aufgestellt wurde, nur diejenigen Schlußfolgerungen zurückzunehmen, die vormals aus der - nunmehr unzutreffenden - Planungsannahme "K3F" gezogen worden waren¹⁴⁴). Sie werden ersetzt durch neue Ableitungen der Inferenzkomponente, die sich jetzt mit der Planungsannahme "K4F" vereinbaren lassen¹⁴⁵). Alle anderen Schlußfolgerungen, die zur Ableitung der Lösung des Auswahlproblems für die Planungssituation PS_2 erforderlich sind, aber von der Revision der Planungsannahme "K3F" zugunsten der neuen Planungsannahme "K4F" nicht betroffen sind, bleiben dagegen erhalten¹⁴⁶). Sie werden dem "Inferenzgedächtnis" der Verwaltungskomponente entnommen. Daher brauchen sie von der Inferenzkomponente nicht noch einmal abgeleitet zu werden. Deswegen besitzt die Anpassungsplanung einen abweichungsspezifischen Charakter. Das Anpassungsergebnis ist ein Begründungsnetz, das mit dem Netz der Abb. 9 hinsichtlich der Problemlösung für die Planungssituation PS_2 übereinstimmt¹⁴⁷).

Anstatt die abweichungsspezifische Anpassungsplanung vorzunehmen, hätten die Planungsträger auch von vornherein die beiden Planungssituationen PS_1 und PS_2 als alternative Szenarien berücksichtigen können. Dies bereitet zunächst einen höheren Planungsaufwand, als er bei der Lösungsermittlung für nur eine Planungssituation anfällt. Dafür brauchen die Planungsträger aber anlässlich der Erkenntnis, daß die Planungsannahme "K3F" nicht zutrifft, keine Anpassungsplanung auszuführen. Denn das ATMS-System vermag von sich aus festzustellen, daß die Annahmenmenge der neuen Planungssituation PS_4 eine konsistente Obermenge der Annahmenmenge der bereits untersuchten Planungssituation PS_2 ist. Daher kann das ATMS-System unmittelbar - ohne weitere Aktivitäten seiner Inferenzkomponente - mitteilen, daß die zweite Problemlösung ebenso für die vierte Planungssituation gültig ist.

6 Zusammenfassung

Kontingenzplanungen erlangen vor allem in drei Bereichen besondere Bedeutung: als Langfristplanungen, als Katastrophenplanungen und als kurzfristige Anpassungsplanungen bei hochgradig variablen Planungssituationen. Unter den verschiedenen betriebswirtschaftlichen Ansätzen, die für die drei vorgenannten Planungsbereiche diskutiert werden, entspricht das Konzept der inkrementellen Kontingenzplanung noch am ehesten der betrieblichen Planungspraxis. Ein neuartiges Hilfsmittel für die Verwirklichung solcher inkrementellen Kontingenzplanungen stellen begründungsverwaltende Systeme dar. Ihre subtilste Variante, die ATMS-Systeme, decken sowohl abweichungsspezifische Anpassungsplanungen als auch hypothetische Szenarioplanungen ab. Dabei überlassen sie es der Gestaltungsfreiheit der Planungsträger, wie sie die Gewichte zwischen nachträglichen Plananpassungen und vorsorglichen Szenarioanalysen verteilen möchten. Dies schließt auch beliebige Kombinationen zwischen beiden Planungsextremen ein.

7 Anmerkungen

1) Die gesamten Ausführungen zu begründungsverwaltenden Systemen setzen voraus, daß die thematisierten Planungsaufgaben in prädikatenlogischer Weise beschrieben sind. Diese Prämisse beruht auf zwei Gründen. Einerseits läßt sich die Funktionsweise begründungsverwaltender Systeme am übersichtlichsten erläutern, wenn sie auf prädikatenlogisch ausgestaltete Inferenzkomponenten und Wissensbasen zugreifen. Vgl. dazu vor allem die Ausführungen im 4. Kapitel. Andererseits läßt sich im Kontext der Prädikatenlogik ein präzises Kalkül aufstellen, das die Erfüllung von Planungsaufgaben auf das Ausführen logischer Schlußfolgerungen (Inferenzen) zurückführt. Eine kompakte, aber gehaltreiche Darstellung dieses prädikatenlogischen Planungskalküls bietet z.B. BIBEL (1989), S. 49ff. Vgl. insbesondere S. 52 zur prädikatenlogischen Repräsentation beliebiger Planungsaufgaben. Es braucht lediglich vorausgesetzt zu werden, daß diese Aufgaben in problemtheoretischer Weise durch Ausgangssituationen, situationstransformierende Aktionen und erwünschte Zielsituationen beschrieben werden. Vgl. ebenso zur Lösung von Planungsproblemen durch prädikatenlogische Inferenzen HERTZBERG (1986), S. 150ff., und HERTZBERG (1989), S. 20ff.

2) Später wird der Begriff der Planungsannahmen so weit gefaßt, daß er auch alle weiterhin expliziten, aber allgemeingültigen (notwendigen) Planungsprämissen einschließt. Er wird dann als Oberbegriff zu allgemeingültigen Planungsprämissen und kontingenten Planungsannahmen verwandt. Zunächst bleiben aber Planungsannahmen auf den Fall kontingenter Annahmen beschränkt.

3) Aus der vollständigen Spezifizierung einer Planungssituation wird die inkonsistente Situationsspezifizierung von vornherein ausgegrenzt. Eine Planungssituation ist genau dann inkonsistent spezifiziert, wenn ihre Planungsannahmen so festgelegt sind, daß kein Plan existiert, der alle Annahmen zugleich erfüllt.

4) Diejenige vollständig spezifizierte Planungssituation, aus der ein Plan abgeleitet wurde, wird auch als dessen zugrundeliegende Planungssituation bezeichnet.

5) Da die Plangültigkeit von der zugrundeliegenden Planungssituation abhängt, wird auch von einem situationsspezifischen Kontingenzplan gesprochen. Weil alle inkonsistenten Situationsspezifizierungen ausgeschlossen wurden, impliziert jeder vollständig spezifizierte Planungssituation genau einen situationsspezifischen Kontingenzplan. Die Umkehrung trifft jedoch nicht zu. Denn derselbe Kontingenzplan kann auch dann noch gelten, wenn die zugrundeliegende Planungssituation nicht mehr zutrifft. Es lassen sich andere Planungssituationen vorstellen, die zufällig so beschaffen sind, daß unter ihnen der betrachtete Kontingenzplan immer noch gültig ist. Ob solche anderen Planungssituationen existieren, bleibt jedoch offen. Daher besteht eine *Garantie* für die Gültigkeit des Plans nur in dem Ausmaß, in dem seine zugrundeliegende Planungssituation tatsächlich zutrifft.

6) Dabei handelt es sich um eine "Metaprämisse", die nicht zu den explizierten und kontingenten Planungsannahmen gehört. Zwar wird auch die o.a. Metaprämisse explizit ausgesprochen. Aber einerseits wird sie nicht als prädikatenlogisch ausformulierte Planungsannahme ("Objektprämisse") in die Konstitution einer Planungssituation einbezogen. Andererseits wird sie auch nicht als kontingent betrachtet. Vielmehr muß sie von allen betrachteten Planungssituationen erfüllt werden. Sie besitzt daher notwendigen Charakter. Die voranstehenden Ausführungen treffen ebenso auf die nachfolgend genannte Planungsvoraussetzung zu.

7) Dadurch wird keineswegs ausgeschlossen, daß mehrere Planungssituationen denselben Kontingenzplan implizieren dürfen. Das wurde schon in einer der voranstehenden Anmerkungen erwähnt. Es entstünde aber kein "interessantes" Planungsproblem, wenn zufällig alle Planungssituationen denselben Kontingenzplan implizieren würden. In diesem Fall wäre die Differenzierung zwischen den Planungssituationen überflüssig, weil sie hinsichtlich der abzuleitenden Pläne zu keinem Unterschied führten. Daher erlangt die Pluralität von Planungssituationen erst dann Bedeutung, wenn mindestens zwei Planungssituationen zu verschiedenen situationsspezifischen Kontingenzplänen führen. Auf diesen "interessanten" Planungsfall wird die Kontingenzplanung eingeschränkt.

8) Darüber hinaus steht noch nicht einmal fest, ob überhaupt eine der erwogenen Planungssituationen später tatsächlich vorliegen wird. Denn es läßt sich durchaus vorstellen, daß die kontingenten Planungsannahmen keineswegs alle denkmöglichen realen Sachverhalte abdecken. Statt dessen kann es auch dazu kommen, daß die berücksichtigten Planungssituationen die später real vorliegende Situation überhaupt nicht erfaßt haben. Vgl. dazu HARRALD (1990), S. 17. Kontingenzplanungen befassen sich aber nur mit denjenigen Planungssituationen, die im Planungszeitraum durch die explizierten, kontingenten Planungsannahmen identifiziert worden sind. Daher wird die Problematik des nachträglichen Nichtzutreffens *aller* Planungssituationen hier nicht weiter thematisiert.

9) Es wurde schon in einer der voranstehenden Anmerkungen angedeutet, daß die Planungsannahmen später in die einerseits allgemeingültigen Planungsprämissen und andererseits kontingenten Planungsannahmen ausdifferenziert werden. Daher müßte aus modallogischer Sicht zwischen der Notwendigkeit bzw. Möglichkeit

von Formelgültigkeiten unterschieden werden. Von dieser Präzisierung wird jedoch aus drei Gründen abgesehen. Erstens ist die vorgenannte Differenzierung noch gar nicht erfolgt. Bislang werden alle Planungsannahmen als kontingente Annahmen behandelt. Zweitens besteht in dieser Ausarbeitung kein Interesse an einer ausgefeilten modallogischen Behandlung begründungsverwaltender Systeme. Alle später vorgetragenen Erörterungen bleiben im wesentlichen auf einen prädikatenlogischen Argumentationsrahmen beschränkt. Allenfalls am Rande wird auf modallogische Aspekte hingewiesen, wie z.B. auf die KRIPKE-Semantik möglicher Welten. Drittens läßt sich die Beschränkung der anschließenden Axiome auf die Möglichkeit von Formelgültigkeiten auch aus modallogischer Perspektive rechtfertigen. Denn jede modallogisch notwendige Formel ist zugleich auch eine modallogisch mögliche Formel.

10) Die betrachtete Planungssituation PS_i ist vollständig spezifiziert, weil aus ihr genau ein Kontingenzplan $KP(PS_i)$ abgeleitet werden kann. Dabei wird ein konsistentes Ableitungssystem (Inferenzsystem) vorausgesetzt. Es stellt sicher, daß aus den Planungsannahmen einer unveränderten Planungssituation PS_i stets immer nur derselbe Kontingenzplan $KP(PS_i)$ abgeleitet werden kann. Andernfalls wäre das Ableitungssystem widersprüchlich: Falls es möglich wäre, aus der Planungssituation PS_i mindestens zwei *verschiedene* Kontingenzpläne $KP_1(PS_i)$ und $KP_2(PS_i)$ abzuleiten, ließe sich einerseits das Konjugat " $KP_1(PS_i) \wedge KP_2(PS_i)$ " ableiten. Andererseits müßte " $KP_1(PS_i) \rightarrow \neg(KP_2(PS_i))$ " wegen der vorausgesetzten Unterschiedlichkeit der beiden Kontingenzpläne gelten. Daraus folgte die inkonsistente Kontradiktion: " $\neg(KP_2(PS_i)) \wedge KP_2(PS_i)$ ".

11) Die Annahmenmengen zweier verschiedener Planungssituationen PS_{i1} und PS_{i2} brauchen keineswegs disjunkt zu sein. Statt dessen dürfen sie durchaus teilweise dieselben Planungsannahmen umfassen. $PA_{i1,j1} = PA_{i1,j2}$ für $PA_{i1,j1} \in PS_{i1}$ und $PA_{i1,j2} \in PS_{i2}$ ist also durchaus erlaubt. Aber aus der Identifizierung von Planungssituationen mit Mengen aus Planungsannahmen folgt, daß zwei Planungssituationen nur dann verschieden sein können, wenn sie sich hinsichtlich mindestens einer Planungsannahme unterscheiden.

12) Vgl. HARRALD (1990), S. 14ff.; LEE (1990), S. 1106ff.

13) Vgl. HARRALD (1990), S. 16f.

14) Flexible Planungen rechnen auch dazu, sofern für die Zustandsübergänge ihrer dynamischen Planungsmodelle keine Wahrscheinlichkeitsverteilungen (oder Dichtefunktionen) vorgesehen werden.

15) In dieser Hinsicht wirkt sich vor allem das Axiom AX_3 aus. Es verhindert, daß zufällig alle Planungssituationen denselben Kontingenzplan implizieren. In diesem Fall wäre das Planungsergebnis durch diesen einen Kontingenzplan eindeutig determiniert.

16) Dieser Kontingenzplan kann dann aber keinen situationsspezifischen Plan mehr darstellen. Denn es wurden mehrere Planungssituationen mit mindestens zwei verschiedenen situationsspezifischen Kontingenzplänen vorausgesetzt.

17) Wahrscheinlichkeitsverteilungen werden hier als pars pro toto betrachtet. Strenggenommen treffen sie nur auf diskrete Modellierungen stochastischer Phänomene zu. Bei kontinuierlichen Modellierungen müßten dagegen Dichtefunktionen verwendet werden. Auf ihre gesonderte Berücksichtigung wird nachfolgend der Übersichtlichkeit halber verzichtet.

18) Oftmals werden Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht unmittelbar auf die oben definierten Planungssituationen bezogen. Beispielsweise werden im Rahmen der Flexiblen Planung Eintrittswahrscheinlichkeiten auf die alternativen Zustandsübergänge bezogen, die in jedem Zustand eines dynamischen Planungsmodells offenstehen. In diesem Fall liegt eine vollständig spezifizierte Planungssituation vor, wenn ihre Planungsannahmen genau eine Modellentwicklung festlegen, die vom Ausgangszustand des Planungsmodells zu genau einem seiner Endzustände führt. Die stochastische Verknüpfung der Eintrittswahrscheinlichkeiten für alle dabei erfolgenden Zustandsübergänge ist dann die mittelbar determinierte Eintrittswahrscheinlichkeit der betrachteten Planungssituation. Im Regelfall werden die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Zustandsübergängen, die für *verschiedene* Referenzzustände gelten, als stochastisch unabhängig unterstellt. Unter dieser zusätzlichen Planungsprämisse errechnet sich die Eintrittswahrscheinlichkeit der Planungssituation als das Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeiten aller involvierten Zustandsübergänge.

19) Es können auch mehrere verteilungs- und aggregationsspezifische Kontingenzpläne existieren, die das Entscheidungskriterium in derselben bestmöglichen Weise erfüllen. Dann erfolgt die Auswahl genau eines dieser Kontingenzpläne willkürlich.

20) Dabei spielt es keine Rolle, auf welche Weise der verteilungs- und aggregationsspezifische Kontingenzplan ermittelt worden ist. Entweder kann eine enge Anlehnung an das ursprüngliche Konzept der Kontingenzplanung erfolgen. Dann werden zunächst situationsspezifische Kontingenzpläne aufgestellt, aus denen erst später genau ein Kontingenzplan durch Überlagerung von Wahrscheinlichkeitsverteilung(en) und Entscheidungskriterium ausgewählt wird. Dies ist z.B. der Fall, wenn aus allen situationsspezifischen Kontingenzplänen derjenige selektiert wird, der zu einer Planungssituation mit maximaler Eintrittswahrscheinlich-

keit gehört. Oder es wird von vornherein auf die Konstruktion situationsspezifischer Kontingenzpläne verzichtet. Dann werden Wahrscheinlichkeitsverteilung(en) und Entscheidungskriterium so eingesetzt, daß sofort ein verteilungs- und aggregationspezifischer Kontingenzplan resultiert. Diese Vorgehensweise liegt z.B. der Flexiblen Planung zugrunde, wenn den Zustandsübergängen ihrer dynamischen Planungsmodelle Wahrscheinlichkeitsverteilungen zugeordnet sind. Als Entscheidungskriterium gilt dann im allgemeinen, einen Plan auszuwählen, der für das vorausgesetzte mono- oder multidimensionale Formalzielsystem des Planungsträgers einen extremalen bzw. nicht-dominierten Erwartungswert besitzt.

21) Ein instruktives, leicht nachzuvollziehendes Beispiel findet sich bei ALLMAN (1990), S. 49ff. Es schildert ein Experiment, in dem Probanden ihre subjektiven Wahrscheinlichkeiten dafür festlegen sollten, daß auf eine kurz beschriebene Person vorgegebene Persönlichkeitsmerkmale (Beruf und Hobbys) zutreffen. Dabei wurde der Kombination aus zwei Persönlichkeitsmerkmalen eine höhere Wahrscheinlichkeit zugeschrieben, als es für jedes einzelne der beiden kombinierten Merkmale der Fall war. Dies widerspricht aber der notwendigen Eigenschaft jeder in sich konsistenten Wahrscheinlichkeitsschätzung, daß die Wahrscheinlichkeiten von Sachverhaltskombinationen niemals größer sein können als die Wahrscheinlichkeiten jedes involvierten einzelnen Sachverhalts. Das Resultat des Experiments überrascht um so mehr, als es u.a. mit Probanden durchgeführt wurde, die an der Stanford Business School ein "entscheidungswissenschaftliches" Ausbildungsprogramm besuchten und bereits Fortgeschrittenenkurse in Statistik belegt hatten. Der experimentellen Untersuchung kann daher keineswegs vorgehalten werden, sie habe ihre Resultate durch die Befragung von statistischen Laien provoziert.

22) Dies haben schon frühe Studien von CYERT und MARCH eindrucksvoll belegt. Besonders pointiert haben sie in CYERT (1963), S. 119f., auf eine fundamentale Diskrepanz hingewiesen. Sie bestehe zwischen stochastischen Problemformulierungen der betriebswirtschaftlichen Theorie einerseits und den wahrscheinlichkeitsfreien Problemhandhabungen der betrieblichen Praxis andererseits: "... much of modern decision theory has been concerned with the problems of decision making under risk and uncertainty. The solutions involved have been largely procedures for finding certainty equivalents ... Our studies indicate quite a different strategy on the part of organizations. *Organizations avoid uncertainty ... they achieve a reasonably manageable decision situation by avoiding planning where plans depend on predictions of uncertain future events ...*" (S. 119; kursive Hervorhebungen durch den Verf.). Die gleiche Diskrepanz findet sich bei SIEBEN (1990), S. 77. Vgl. zur vorherrschenden Praxis der Unsicherheitsvermeidung auch CYERT (1963), S. 102 u. 113; SIEBEN (1990), S. 191. Ein *realitätsnahes* Planungskonzept kann diese deutliche Distanz der betrieblichen Praxis gegenüber wahrscheinlichkeitsbasierten Planungsmodellen nicht unbeachtet lassen.

23) Besonders deutlich schlägt sich dies im "commitment" bei LEE (1990), S. 1106 u. 1108, nieder.

24) Für stochastische Kontingenzplanungen kann die nachfolgende Feststellung ebenso zutreffen, muß es aber nicht. Die Ermittlung aller situationsspezifischen Kontingenzpläne entfällt beispielsweise, wenn zunächst aus allen Planungssituationen genau eine wahrscheinlichste Situation ausgewählt wird. Die daran anschließende Bestimmung desjenigen Kontingenzplans, der von dieser Planungssituation impliziert wird, erfordert dann weitaus weniger Ressourcen als die Ermittlung aller situationsspezifischen Kontingenzpläne. Allerdings treten dann wieder die beiden o.a. Vorbehalte in Kraft, die gegenüber der präsupponierten Kenntnis einer Wahrscheinlichkeitsverteilung und gegenüber der Verbindlichkeit des vollständigen Kontingenzplans erhoben wurden.

25) Dies wird später anhand eines Beispiels für begründungsverwaltende Systeme verdeutlicht.

26) Zumindest ist sie in allgemein zugänglichen Quellen nicht dokumentiert.

27) Vgl. zur Anpassungsstrategie des "turnpike scheduling" VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 303f.; ROSE, H. (1989), S. 83.

28) Dazu gehören insbesondere die Arbeiten von MERTENS (1988a), S. 14ff.; MERTENS (1988b), S. 23ff., und ROSE, H. (1989), S. 55ff., über Plananpassungen im Bereich der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung.

29) Vgl. zu begründungsverwaltenden Systemen (truth/reason maintenance systems) DOYLE (1977a); DOYLE (1977b), S. 247; DOYLE (1979a), S. 232ff.; DOYLE (1979b), S. 117ff.; McDERMOTT (1979), S. 564; McDERMOTT (1980), S. 47 u. 65ff.; GOODWIN (1982), S. 2ff.; DOYLE (1983), S. 349ff.; DE KLEER (1984), S. 80f.; REINFRANK (1985), S. 59ff., insbesondere S. 63ff.; DOYLE (1985), S. 87ff.; REINFRANK (1986), S. 11ff.; DE KLEER (1986a), S. 129ff.; DE KLEER (1986c), S. 216ff.; HUBER (1986), S. 97; WINSLETT (1986), S. 421; ROSE, D. (1986), S. 528ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 362ff. (dort als nondeduktives Schließen); VAN MARCKE (1987), S. 263ff.; NARDI (1987), S. 563ff.; BROWN (1987), S. 973ff.; PUPPE (1987), S. 100ff.; REINFRANK (1988), S. 2 u. 7ff., insbesondere S. 9ff.; MORRIS (1988), S. 384 u. 388ff.; DRESSLER (1988), S. 64ff.; FREITAG (1988), S. 2ff.; FIDELAK (1988), S. 28ff.; ZELEWSKI (1988), S. 55f.; PETRIE (1989), S. 54ff.; DRESSLER (1989b), S. 13ff.,

insbesondere S. 17ff.; REINFRANK (1989), S. 20; SCHNUPP (1989), S. 68; vgl. auch die weiteren Beiträge in dem Sammelwerk STOYAN (1988).

Der Begriff der begründungsverwaltenden Systeme lehnt sich an die nachfolgend erläuterten Begründungen (justifications) an, die in den vorgenannten "truth maintenance systems" eine herausragende Rolle spielen. Von "Begründungsverwaltung" spricht auch explizit STOYAN (1988), Titel und Vorwort. Des weiteren erinnern Formulierungen daran, wie sie sich bei DOYLE (1979a), S. 232 ("The TMS ... maintains 'proofs' of ... beliefs."), und DOYLE (1979b), S. 121 ("... a truth maintenance system ... maintains ... deductions."; Unterstreichungen im Original hier unterlassen), finden. Der sonst dominierende Begriff "truth" erscheint dem Verf. dagegen deplaziert, weil logische Wahrheitswerte nicht im Zentrum des Interesses stehen. Gleicher Ansicht ist z.B. GOODWIN (1982), S. 2. Inhaltlich treffender mutet die Diktion "reason maintenance" an; vgl. REINFRANK (1985), S. 59 u. 61; STOYAN (1988), Vorwort; REINFRANK (1988), S. 1f.; DRESSLER (1988), S. 64; FREITAG (1988), S. 2; PETRIE (1989), S. 54f. Weitere Begriffsvarianten finden sich bei GOODWIN (1982), S. 2 ("Tenebility Maintenance System" und "dependency net update"); FIDELAK (1988), S. 28 (Abhängigkeitsverwaltung).

30) Unter Informationen werden hier stets "faktische" Informationen verstanden. Dabei handelt es sich um Informationen, die ein Planungsträger für unmittelbar gültig hält. Dafür kommen vor allem Beschreibungen realer Sachverhalte in Betracht. Es wird keineswegs bestritten, daß auch solche "Beschreibungen" nicht objektiv gegeben sind, sondern stets von subjektiven Konzeptualisierungsleistungen des Planungsträgers abhängen. Aber die Phase der Problemkonzeptualisierung wird im hier erörterten Kontext als abgeschlossen vorausgesetzt. Daher wird die stets vorhandene Möglichkeit, die Gültigkeit von "Fakten" dadurch in Frage zu stellen, daß die zugrundeliegende Problemkonzeptualisierung bezweifelt wird, nicht weiter berücksichtigt. Ebenso kann es sich bei den "faktischen" Informationen um definitorische Setzungen des Planungsträgers handeln. Es liegen dann "terminologische Fakten" vor. Später wird im Kontext von ATMS-Systemen der Begriff faktischer Informationen durch das Synonym der allgemeingültigen Planungsprämissen ersetzt. Diese Begriffsablösung hat den Vorteil, daß nur noch auf die unmittelbare, von keinem Dritten abhängige Gültigkeit der Planungsprämissen abgestellt wird. Dadurch wird vollkommen offengelassen, ob diese Planungsprämissen z.B. den Charakter einer Beschreibung realer Sachverhalte oder einer terminologischen Festlegung besitzen. Darüber hinaus können sie ihre Allgemeingültigkeit auch aus beliebigen anderen epistemischen Quellen herleiten. Schließlich wird im Begriff der "Planungsprämisse" der oben erläuterte Bezug auf die jeweils zugrundeliegende Problemkonzeptualisierung deutlicher, als es bei einer "faktischen Information" der Fall ist. Dennoch wird hier zunächst am Informationsbegriff festgehalten. Er erlaubt eine intuitiv zugänglichere Einführung in das Konzept begründungsverwaltender Systeme. Insbesondere gestattet er eine anschauliche Bezugnahme auf Informationslücken, die ein Planungsträger *nach* seiner Problemkonzeptualisierung wahrnimmt und durch entsprechende Annahmen schließt.

Um Mißverständnisse zu vermeiden, wird deutlich darauf hingewiesen, daß die hier betrachteten faktischen Informationen umfassender definiert sind als die "Fakten" aus dem Bereich der prädikatenlogischen Programmierung. Dort werden als Fakten ausschließlich *atomare* Formeln zugelassen. Hier können faktische Informationen jedoch durch beliebig komplex zusammengesetzte Formeln repräsentiert werden. Vgl. dazu auch das später präsentierte Beispiel. Dort stellen die Verhaltensannahmen der Planungsträger Subjugate mit umfangreichen Antezedenzen dar. Zugleich handelt es sich bei diesen Subjugaten um faktische Informationen, weil sie von den Planungsträgern als allgemeingültige Planungsprämissen vorausgesetzt werden. Sie gelten als Planungsfakten, an deren Gültigkeit - im Rahmen der Problemkonzeptualisierung - kein Zweifel zugelassen wird.

31) Bei solchen Annahmen (assumptions) handelt es sich vor allem um Voreinstellungen (default values), die dem Hintergrundwissen des Planungsträgers entstammen. Sie stellen Plausibilitätsannahmen über die Ausprägung eines Sachverhalts dar. Sie werden so lange aufrechterhalten, wie keine widersprechenden Informationen über die tatsächliche Sachverhaltsausprägung zur Verfügung stehen. Die Beschäftigung mit solchen Voreinstellungen nimmt in der KI-Forschung einen breiten Raum ein; vgl. zu diesem "default reasoning" z.B. REITER (1978), S. 210ff.; DOYLE (1979a), S. 234f.; DOYLE (1979b), S. 124ff.; REITER (1980), S. 82ff.; MCDERMOTT (1980), S. 44f. (normic statements); REITER (1981), S. 270ff.; CHRISTALLER (1982), S. 63f.; COHEN (1982), S. 115ff.; HABEL (1983), S. 132ff.; WEBBER (1983), S. 43f.; MOORE (1985), S. 77f.; REINFRANK (1985), S. 29, 33 u. 38ff.; LUKASZEWICZ (1985), S. 403ff.; DOYLE (1985), S. 87; DE KLEER (1986b), S. 166ff. u. 188f.; ZELEWSKI (1986a), S. 380f.; POOLE (1988), S. 30ff.; MORRIS (1988), S. 384ff.; KONOLIGE (1988), S. 343ff.; DELGRANDE (1988), S. 63ff.; BECKSTEIN (1988), S. 160 u. 169f.; BREWKA (1989), S. 88ff., insbesondere S. 90f., 93 u. 95; DRESSLER (1989b), S. 17f.

32) Der hypothetische Charakter einer Annahme drückt aus, daß ein Planungsträger aufgrund seiner Problemkonzeptualisierung die Annahme nicht als eine faktische Beschreibung realer Sachverhalte begreift. Vielmehr erkennt er für jede Annahme an, daß sie das Resultat konzeptualisierungsspezifischer Einflüsse ist. Jede Annahme trifft daher nur unter der Hypothese zu, daß die Problemkonzeptualisierung "adäquat" erfolgt ist. Zwar trifft dieser Vorbehalt grundsätzlich auch auf alle "faktischen" Informationen zu. Dies wurde schon

kurz zuvor dargelegt. Aber der wesentliche Unterschied zwischen faktischen Informationen und hypothetischen Annahmen besteht in ihrer epistemischen Qualität für einen Planungsträger: Der Planungsträger behandelt faktische Informationen so, als ob sie - über jeden Zweifel erhabene - Beschreibungen realer Sachverhalte wären. Dagegen geht er mit hypothetischen Annahmen in dem Bewußtsein um, daß sie keineswegs so zutreffen müssen, wie sie aus seiner Problemkonzeptualisierung hervorgegangen sind. Bei der detaillierten Erläuterung der Informationsverarbeitung durch begründungsverwaltende Systeme werden die hypothetischen Annahmen später durch das Synonym der kontingenten Planungsannahmen ersetzt. Sie stehen dann den allgemeingültigen Planungsprämissen gegenüber, die an die Stelle der faktischen Informationen treten.

33) Eine Formel "for_K" ist die logische Konsequenz einer anderen Formel "for_A" genau dann, wenn das Subjugat "for_A -> for_K" allgemeingültig ist. Die Allgemeingültigkeit eines Subjugats kann aufgrund der Vollständigkeit und Korrektheit prädikatenlogischer Beweissysteme mit der Ableitbarkeit der Formel "for_K" aus der Formel "for_A" identifiziert werden. Mit "-" als Ableitungsoperator eines prädikatenlogischen Beweissystems gilt daher: Das Subjugat "for_A -> for_K" ist genau dann allgemeingültig, wenn sich "for_A ⊢ for_K" beweisen läßt. Der Nachweis, daß "for_A ⊢ for_K" tatsächlich zutrifft, erfolgt in einem Beweissystem durch rein syntaktisch definierte Ableitungs- oder Inferenzregeln. Ein Ableitungsschritt (Inferenzschritt) ist die Anwendung genau einer Ableitungsregel (Inferenzregel). Der Prozeß, in dem durch die Ausführung endlich vieler Ableitungsschritte die Ableitbarkeit einer Formel "for_K" aus einer anderen Formel "for_A" nachgewiesen wird, heißt eine Schlußfolgerung. Die beiden involvierten Formeln werden als Antezedenzformel "for_A" und Konklusionsformel "for_K" der Schlußfolgerung bezeichnet. Sowohl der Ableitungs- und Inferenzbegriff als auch der Schlußfolgerungsbegriff werden im folgenden synonym verwendet.

34) Es ist auch möglich, daß die Unlösbarkeit eines Problems erkannt wird. Dies ist dann der Fall, wenn ein Planungsproblem untersucht wird, dessen Planungssituation durch widersprüchliche Planungsannahmen inkonsistent spezifiziert ist. Es wurden aber schon oben vollständig spezifizierte Planungssituationen vorausgesetzt, aus denen alle inkonsistenten Situationsspezifizierungen ausgeschlossen sind. Daher wird auf unlösbare Probleme nicht weiter eingegangen.

35) Der Begründungsbegriff wird terminologisch inkohärent verwendet. Einmal werden nur die Antezedenzformeln, aus denen eine Konklusionsformel abgeleitet wurde, als eine Begründung (justification) jener Konklusionsformel behandelt; vgl. DE KLEER (1986a), S. 146 u. 148; NARDI (1987), S. 566. Andere Male wird die Schlußfolgerung (Inferenz), in der eine Konklusions- aus mindestens einer Antezedenzformel abgeleitet wird, in ihrer Gesamtheit als Begründung angesprochen; vgl. DE KLEER (1986b), S. 164 u. 167f.; HAAG (1988), S. 115ff.; REINFRANK (1988), S. 9; BECKSTEIN (1988), S. 154. Der Verf. hält sich hier an die erste Begriffsvariante. Sie liegt vor allem der Knotenstruktur des ATMS-Konzepts zugrunde, auf das später ausführlicher eingegangen wird.

36) Dies wird besonders ausführlich dargestellt von LONDON (1978), S. 6ff., 78ff. u. 179ff.; GOODWIN (1982), S. 1ff.; REINFRANK (1985), S. 63ff.; REINFRANK (1988), S. 8ff. Zumeist wird der Abhängigkeitsgraph als ein "dependency net(work)" oder ein "Begründungsnetz" bezeichnet. Der Abhängigkeitsgraph ist zwar keine obligatorische Komponente von begründungsverwaltenden Systemen. Es wird aber hier auf seiner Grundlage argumentiert, weil er besonders anschaulich ist.

37) Es bleiben also solche Informationen über das bearbeitete Problem unberücksichtigt, die zwar den ursprünglich vorausgesetzten Annahmen zuwiderlaufen, aber keine Revision der zunächst abgeleiteten Problemlösung erfordern. Denn diese Problemlösung kann sich als so robust erweisen, daß sie gegenüber manchen Variationen von Planungsannahmen gültig bleibt.

38) Diese revidierten Annahmen könnten nunmehr auch zu den verfügbaren Informationen gerechnet werden, falls es sich nicht um neue hypothetische Annahmen, sondern um faktisches Wissen handelt. Von einer solchen Transformation von Annahmen in Informationen wird hier aber der Übersichtlichkeit halber abgesehen. Statt dessen wird offen gelassen, ob die veränderte Informationslage entweder zu neuem faktischen Wissen oder aber nur zu neuen hypothetischen Annahmen führt. Um nicht eine komplizierende Fallunterscheidung vornehmen zu müssen, wird nachfolgend ausschließlich auf neue hypothetische Annahmen Bezug genommen. Sie gelten als pars pro toto, schließen also die Alternative des neuen faktischen Wissens implizit mit ein.

39) Das Kernkonzept dieses retrograden Erschließens von Schlußfolgerungen, die zurückgenommen werden müssen, bildet das problemsensitive Backtracking (dependency-directed backtracking); vgl. STALLMAN (1977), S. 135ff.; STALLMAN (1979), S. 37ff. u. 58ff.; DOYLE (1979a), S. 233ff., insbesondere S. 235ff.; DOYLE (1979b), S. 124f. u. 127ff.; SACERDOTI (1979), S. 1080; MCDERMOTT (1980), S. 47 u. 67f.; DOYLE (1980), S. 9f.; DE KLEER (1984), S. 80; REINFRANK (1985), S. 60f., 71ff., 90 u. 92f.; REINFRANK (1986), S. 14ff.; DE KLEER (1986a), S. 136f.; DE KLEER (1986c), S. 205; DE KLEER (1986d), S. 913ff.; ZELEWSKI (1986a), S. 362; STEEL (1987), S. 207ff., insbesondere S. 208f.; DRESSLER (1988), S. 66f.; BECKSTEIN (1988), S. 159; MORRIS (1988), S. 397; REINFRANK (1988), S. 16f.; DRESSLER (1989b), S. 16; PETRIE (1989), S. 56.

Das Konzept des problemsensitiven Backtrackings unterscheidet sich deutlich von dem konventionellen Backtracking-Konzept, das mitunter auch als chronologisches Backtracking angesprochen wird. Beide Backtrackingvarianten setzen voraus, daß in einem Problemgraphen nach Lösungen für ein Planungsproblem gesucht wird. Das Konzept der Problemgraphen wird in ZELEWSKI (1986a), S. 241, näher beschrieben. Bei einer solchen Lösungssuche kann der Fall eintreten, daß der Suchprozeß in einem Knoten - z.B. infolge Inkonsistenzerkennnis - abgebrochen werden muß. Dann wird seitens des chronologischen Backtrackings zu demjenigen Knoten zurückgeschritten, der dem Abbruchknoten am nächsten liegt und noch nicht vollständig untersucht worden ist. Dieses Zurückschreiten verhält sich in dem Sinne "blind", daß die Ursache für den Abbruch der Lösungssuche keine Berücksichtigung findet. Das problemsensitive Backtracking kehrt dagegen nicht notwendig zu diesem nächstliegenden Knoten zurück. Statt dessen schreitet es zu jenem Knoten zurück, der den inkonsistenzbedingten Abbruch der Lösungssuche verursacht hat. Dieser Knoten wird mit der Hilfe eines Abhängigkeitsgraphen ermittelt, in dem alle Ableitungsschritte für die Lösungssuche im Problemgraphen festgehalten sind. Dem Rückwärtsschreiten im Problemgraphen liegt daher eine analoge Rückwärtsbewegung im Abhängigkeitsgraphen zugrunde. Allerdings erfolgt das "intelligente" Rückwärtsschreiten in Problem- und Abhängigkeitsgraphen nur bei "einfachen" begründungsverwaltenden Systemen. Verfeinerte Varianten - wie das nachfolgend vorgestellte ATMS-Konzept - kommen ohne eine solche Retroduktion aus. Darauf wird in Kürze näher eingegangen.

40) Die alte vorläufige Problemlösung wird nur so weit modifiziert, wie es nötig ist, damit sich die neue vorläufige Problemlösung mit allen aktuell verfügbaren Informationen - und den nicht zurückgenommenen Annahmen - konsistent vereinbaren läßt. Es wird darauf verzichtet, mit "roher Gewalt" (brute force) vorzugehen. Dies wäre bei konventioneller Problemlösungstechnik der Fall, die erfordert, einen Problemlösungsprozeß vollständig zu wiederholen, sobald sich die problemdefinierende Informationslage derart verändert hat, daß die ursprüngliche Problemlösung nicht mehr zutrifft. Begründungsverwaltende Systeme erlauben daher eine intelligente Lösungsanpassung anstelle einer rohen Wiederholung der Lösungsermittlung. Dies wird besonders klar von REINFRANK (1985), S. 58f. (in umfassenderem Kontext), dargelegt. Allerdings muß auch der Ressourceneinsatz in Rechnung gestellt werden, der für die Begründungsverwaltung selbst erforderlich ist und beträchtlichen Umfang annehmen kann; vgl. DE KLEER (1984), S. 79 u. 81; REINFRANK (1985), S. 73 u. 86.

41) Erst wenn es gelingt, durch Informationszuwachs alle Annahmen durch Informationen zu ersetzen, die faktisches Wissen darstellen, wird eine stabile Problemlösung erreicht. Im Regelfall gestattet die Informationslage aber nicht, alle Annahmen durch faktisches Wissen zu ersetzen.

42) Auf dieses zusätzliche Planungswissen, das über die hier besonders interessierenden kontingenten Planungsannahmen hinausreicht, wird im folgenden nicht mehr ausdrücklich hingewiesen.

43) Darüber hinaus umfassen die Annahmen aber auch die allgemeingültigen Planungsprämissen, auf die in Kürze näher eingegangen wird. Sie treten erst bei ATMS-Systemen in Erscheinung. Bei der einführenden Charakterisierung inkrementeller Kontingenzplanungen haben sich noch keine Rolle gespielt.

44) Bereits in der ersten Anmerkung wurde auf ein Kalkül hingewiesen, das die Erfüllung von Planungsaufgaben auf das Ausführen logischer Schlußfolgerungen (Inferenzen) zurückführt.

45) Dies schließt auch den Sonderfall ein, in dem das System erkennt, daß der "neue" Kontingenzplan mit dem alten zusammenfällt. Dann hat sich die frühere vorläufige Lösung des Planungsproblems als so robust erwiesen, daß sie auch in der revidierten Planungssituation Bestand hat.

46) Dies wird später in einem Beispiel verdeutlicht.

47) Vgl. zum allgemeinen Konzept dialektischer Planungen MITROFF (1979), S. 3ff.; MASON (1981), S. 106ff.; GAITANIDES (1986), S. 113ff.; MITROFF (1987), S. 137ff., insbesondere S. 143ff.

48) ATMS ist ein Akronym für: Automated Truth Maintenance System. Das ATMS-Konzept wird näher beschrieben oder hinsichtlich seiner Anwendungsmöglichkeiten gewürdigt bei DE KLEER (1984), S. 81ff.; REINFRANK (1985), S. 86ff.; DE KLEER (1986a), S. 128ff., insbesondere S. 141ff.; DE KLEER (1986b), S. 163ff.; DE KLEER (1986c), S. 197ff.; DE KLEER (1986d), S. 910ff.; MORRIS (1986), S. 13ff.; STRUSS (1986), S. 19ff.; DRESSLER (1987), S. 185ff.; NARDI (1987), S. 564ff.; PUPPE (1987), S. 100f.; HAAG (1988), S. 114ff.; REINFRANK (1988), S. 15 u. 17f.; DRESSLER (1988), S. 68ff.; ARLABOSSE (1988), S. 8ff.; BECKSTEIN (1988), S. 162ff.; FIDELAK (1988), S. 28ff.; PETRIE (1989), S. 54ff.; DRESSLER (1989a), S. 17ff.; DRESSLER (1989b), S. 17; WEDEKIND (1989), S. 25f.; ZELEWSKI (1990), S. 62.

49) Vgl. zur inhärenten Parallelität des ATMS-Konzepts DE KLEER (1986c), S. 222; BECKSTEIN (1988), S. 163. Allerdings kann diese Parallelität nur dann ausgeschöpft werden, wenn Automatische Informationsverarbeitungssysteme zur Verfügung stehen, die als Multiprozessorsysteme eine echte Parallelverarbeitung zu leisten vermögen. Gemeint sind Systeme vom MIMD-Typ (Multiple Instructions/Multiple Data). In den hier präsentierten Erläuterungen des ATMS-Konzepts wird dagegen auf den konventionellen Fall einer sequentiellen Informationsverarbeitung Bezug genommen. Dies hat den Vorzug, daß die derart dargelegten Sachverhalte

dem sequentiellen Auffassungsmuster des menschlichen Denkens eher entsprechen als die Schilderung paralleler Prozesse.

50) Vgl. zur modallogischen KRIPKE-Semantik multipler oder möglicher Welten VAN EMDE BOAS (1978), S. 2ff.; MANNA (1979), S. 386ff.; BIBEL (1989), S. 55, 59 u. 61.

51) Vgl. zur Charakteristik des ATMS-Konzepts, auf das Instrument multipler Welten zurückzugreifen, MORRIS (1986), S. 13ff.; NARDI (1987), S. 563ff.; ARLABOSSE (1988), S. 9ff. Von maßgeblichen Vertretern des ATMS-Konzepts werden die alternativen Annahmenmengen allerdings nicht in modallogischer Weise als "Welten" angesprochen. Vielmehr herrscht dort die Bezeichnung "environment" für eine Menge zusammengehörender Annahmen vor; vgl. z.B. DE KLEER (1986a), S. 143.

52) Bei jeder solchen Substitution entfällt das Zurücknehmen von ungültig gewordenen Schlußfolgerungen, das "einfache" begründungsverwaltende Systeme durchführen, um Kontingenzpläne an veränderte Informationslagen anzupassen. Daher wird auch das Rückwärtsschreiten in Abhängigkeitsgraphen eingespart, das dem Zurücknehmen von Schlußfolgerungen zugrundeliegt. Aus diesem Grunde wird beim ATMS-Konzept von einer Backtracking-freien Planungsstrategie gesprochen; vgl. DE KLEER (1984), S. 79 u. 82; REINFRANK (1985), S. 87; PETRIE (1989), S. 57.

53) Daher werden begründungsverwaltende Systeme insbesondere für Anpassungsplanungen unter Realzeitbedingungen in Erwägung gezogen; vgl. FIDELAK (1988), S. 28. Vgl. auch die späteren Ausführungen zum "Inferenzgedächtnis" von ATMS-Systemen.

54) Allerdings muß beim ATMS-Konzept auch der zusätzliche Ressourcenaufwand in Rechnung gestellt werden, der erforderlich ist, um die simultane Begründungsverwaltung für multiple Welten auszuführen. Er kann durchaus erheblichen Umfang annehmen. Vgl. dazu die Hinweise auf Effizienzprobleme bei DE KLEER (1986b), S. 190, 193 u. 195; DE KLEER (1986c), S. 215; DE KLEER (1986d), S. 912; HAAG (1988), S. 113, 118ff. (mit pessimistisch stimmenden Überslagsbetrachtungen) u. 131; DRESSLER (1988), S. 81.

55) Um den Anschluß an die hier behandelte Thematik der Kontingenzplanung zu wahren, werden Notationen und Terminologie aus der Literatur zum ATMS-Konzept nicht unmittelbar übernommen. Statt dessen werden sie an die oben eingeführten planungsbezogenen Festlegungen angepaßt.

56) In das Planungswissen gehen im allgemeinen sowohl alle faktischen Informationen als auch alle hypothetischen Annahmen ein. Beide Wissenskomponenten wurden schon an früherer Stelle anläßlich der Vorstellung begründungsverwaltender Systeme eingeführt. Dabei wird in der Wissensbasis aber nicht zwischen Informations- und Annahmencharakter der wissensrepräsentierenden Formeln unterschieden. Dies geschieht erst in der Verwaltungskomponente eines begründungsverwaltenden Systems. Dort werden alle faktischen Informationen als allgemeingültige Planungsprämissen und alle hypothetischen Annahmen als kontingente Planungsannahmen behandelt. Dies geschieht allerdings nur in dem Ausmaß, in dem die betroffenen Informationen bzw. Annahmen bereits als Antezedenz- oder Konklusionsformeln an den Ableitungsschritten der Inferenzkomponente teilgenommen haben. Darauf wird im folgenden noch näher eingegangen.

57) Diese Schlußfolgerungen werden zwar in der "Fig. 1" von DE KLEER (1986a), S. 141, als Begründungen ("Justifications") bezeichnet. Bei den Begründungen handelt es sich jedoch strenggenommen nur um die Antezedenzbedingungen von Schlußfolgerungen. Tatsächlich teilt die Inferenzkomponente aber nicht nur diese Antezedenzbedingungen, sondern auch die daraus gefolgerten Konklusionen mit. Auf diese begriffliche Unzulänglichkeit wurde schon früher hingewiesen.

58) Vgl. BECKSTEIN (1988), S. 154.

59) Diese Annahmen werden in der Literatur zu begründungsverwaltenden Systemen oftmals als "beliefs" thematisiert; vgl. wiederum Fig. 1 bei DE KLEER (1986a), S. 141. Die Annahmen werden im folgenden als allgemeingültige Planungsprämissen und kontingente Planungsannahmen präzisiert. Sie lassen sich mit den oben eingeführten faktischen Informationen bzw. hypothetischen Annahmen identifizieren. Darauf wird noch zurückgekommen.

60) Vgl. BECKSTEIN (1988), S. 154, der sich allerdings auf Schlußfolgerungszusammenhänge - anstatt der hier in den Vordergrund gestellten Planungsannahmen - bezieht.

61) Die Abbildung beruht auf der "Fig. 1" bei DE KLEER (1986a), S. 141. Darüber hinaus orientiert sich die Beschriftung der Knoten an DE KLEER (1986a), S. 148 u. 150f. Jedoch wird die Darstellung der "Fig. 1" hier um den Aspekt der Wissensbasis erweitert. Ebenso erfolgt eine Adaption der Notation und Terminologie an die nachfolgenden Ausführungen. Des weiteren werden die involvierten Planungsannahmen modifiziert. Schließlich bleibt das "nogood", das DE KLEER betrachtet, unberücksichtigt. Alle voranstehend angedeuteten Abweichungen zielen auf eine größere Transparenz des Beispiels ab.

62) In ATMS-Systemen spielen nur die Netzknoten und ihre assoziierten Informationsstrukturen eine wesentliche Rolle. Die Netzkanten werden dagegen kaum näher gewürdigt. Die Bezeichnung "Begründungsnetz" erinnert daher in erster Linie nur noch an die Abhängigkeitsnetze, die gewöhnlichen begründungsverwaltenden Systemen zugrundeliegen. Denn die spezielle Art der Begründungsverwaltung von ATMS-Systemen führt dazu, daß die Verwaltungsmechanismen weitgehend ohne Bezugnahme auf Netzkanten auskommen. Allerdings liegen solche Netzkanten auch in ATMS-Systemen weiterhin vor: Von einem formelrepräsentierenden Netzknoten weist eine Kante zu einem anderen formelrepräsentierenden Netzknoten, wenn die Inferenzkomponente einen Ableitungsschritt ausgeführt hat, in dessen Antezedenzbedingung die erste repräsentierte Formel enthalten war und dessen Konklusion aus der zweiten repräsentierten Formel bestand. Die Kanten des Begründungsnetzes spiegeln daher Ableitungsschritte, die von der Inferenzkomponente ausgeführt worden sind, in der Verwaltungskomponente wider. Dieser Charakter der Netzkanten in den Verwaltungskomponenten von ATMS-Systemen läßt sich - mit einigen Mühen - aus der Rubrik "Consequents" bei DE KLEER (1986a), S. 152, entnehmen. Vgl. dazu auch die Erwähnung der "justification links" bei DE KLEER (1986a), S. 159.

Eine präzise inhaltliche Deutung der Kanten aus den Begründungsnetzen von ATMS-Systemen findet sich dagegen bei BECKSTEIN (1988), S. 155: Das Begründungsnetz stellt strenggenommen einen gerichteten, azyklischen, *bipartiten* Graphen dar (vgl. dazu auch die Darstellungen der Begründungsnetze in Abb. 2, 7 u. 9). Der erste Knotentyp umfaßt alle formelrepräsentierenden Knoten. Nur diese Formelknoten werden in der Literatur zum ATMS-Konzept als Netzknoten explizit thematisiert. Es handelt sich um die Netzknoten, die oben ausführlicher vorgestellt werden. Daneben existiert ein zweiter Knotentyp. Jeder seiner Knoten repräsentiert einen Ableitungsschritt, der von der Inferenzkomponente erzeugt worden ist. Die Kanten, die in einen solchen Inferenzknoten hineinlaufen, gehen jeweils von einem Formelknoten aus, der eine Antezedenzformel aus dem Ableitungsschritt des Inferenzknotens darstellt. Die eine Kante, die aus einem Inferenzknoten hervorkommt, führt zu einem Formelknoten, der die Konklusionsformel aus dem Ableitungsschritt des Inferenzknotens ist. Die Ableitungsschritte von ATMS-Systemen bleiben jeweils auf nur eine Konklusionsformel beschränkt, weil sie auf dem Konzept der HORN-Klausel-Logik beruhen. Sie zeichnet sich dadurch aus, daß die Konklusionen ihrer Ableitungsschritte jeweils aus genau einer atomaren Formel - der Konklusionsformel - bestehen. In seiner Gesamtheit stellt das Begründungsnetz einen Ableitungszusammenhang zwischen Formeln auf HORN-Klausel-Basis dar. Da alle Formeln innerhalb der Verwaltungskomponente als Aussagen behandelt werden, liegt ein aussagenlogischer Ableitungszusammenhang vor. Vgl. zur Rückführung der Schlußfolgerungen, die von der Verwaltungskomponente eines ATMS-Systems beherrscht werden, auf HORN-Klauseln BECKSTEIN (1988), S. 166. Vgl. ebenso, allerdings ohne explizite Nennung des Begriffs der HORN-Klauseln, DE KLEER (1986a), S. 142f.; BECKSTEIN (1988), S. 154. Vgl. zum aussagenlogischen Charakter des Ableitungszusammenhangs, der in der Verwaltungskomponente wiedergegeben wird, DE KLEER (1986a), S. 141f.; DE KLEER (1986b), S. 166 u. 175; BECKSTEIN (1988), S. 155. Vgl. darüber hinaus zu Versuchen, ATMS-Systeme auf allgemeine Klauseln zu erweitern, die das Ausdruckspotential der Prädikatenlogik vollständig erschließen, DE KLEER (1986b), S. 170ff. in Verbindung mit S. 175ff.; BECKSTEIN (1988), S. 166ff. Auf diese Erweiterungsperspektiven wird hier aber nicht näher eingegangen, weil sie zu erheblichen logischen Schwierigkeiten führen. Sie werden von BECKSTEIN (1988), S. 167ff., ausführlicher diskutiert.

Die bipartite Natur des Begründungsnetzes wird nur selten ausdrücklich erwähnt. Sie tritt aber offen zu Tage in den Abbildungen bei REINFRANK (1988), S. 8f. (Fig. 1 u. 2). Am Rande wird darauf hingewiesen, daß diese Bipartitheit einen bemerkenswerten Ansatzpunkt bietet, um Begründungsnetze darzustellen: Jedem Formelknoten eines Begründungsnetzes entspricht im Petrinetz ein stellenartiger Knoten. Jeder Inferenzknoten eines Begründungsnetzes wird im Petrinetz als ein transitionsartiger Knoten behandelt. Das Schalten der Transitionen im Petrinetz gibt dann die Ausführung eines Ableitungsschritts wieder. In diesem Beitrag interessiert das Petrinetz-Konzept aber nicht weiter. Daher wird auf seine interessante Verwandtschaft mit den bipartiten Begründungsnetzen von ATMS-Systemen hier nicht näher eingegangen.

63) Bei der Formel "for" kann es sich sowohl eine faktische Information aus dem Planungswissen des ATMS-Systems als auch um eine hypothetische Planungsannahme handeln. Beide werden auf prädikatenlogischer Ebene in derselben Weise als Formeln "for" repräsentiert.

64) Dieses unstrukturierte Objekt wird in der Literatur zum ATMS-Konzept gewöhnlich als "datum" angesprochen.

65) Diese Identifizierung ist im allgemeinen keine unmittelbare Wiedergabe aller Annahmenmengen. Vielmehr schließt die Identifizierung auf mittelbare Weise auch konsistente Obermengen ein. Das wird später näher erläutert. Auch auf den Aspekt der Konsistenzsicherung wird anhand der "nogoods" noch zurückgekommen.

66) Im Rahmen des ATMS-Konzepts wird die Knotenbegründung zumeist als "justification" angesprochen.

67) Wie diese Repräsentation konkret erfolgt, wird in Kürze erläutert.

68) Die Gültigkeitsstati aller wahrheitsdefiniten zusammengesetzten Formeln ergeben sich dann aufgrund der allgemeinen prädikatenlogischen Semantik. Formeln sind wahrheitsdefinit, wenn sie entweder keine Variablen enthalten oder wenn alle ihre Variablen durch jeweils einen Quantor gebunden sind.

69) Hinsichtlich der Behandlung von Formelgültigkeiten in begründungsverwaltenden Systemen sind zwei Besonderheiten zu beachten. Erstens erfolgt keine Beschränkung auf atomare Formeln. Denn jede Formel aus der Wissensbasis des zugrundeliegenden wissensbasierten Systems kann in der Verwaltungskomponente des begründungsverwaltenden Systems als eine gültige Formel ausgezeichnet werden. Dies schließt auch beliebig komplex zusammengesetzte Formeln ein. Wie dies geschieht, wird nachfolgend erläutert. Zweitens kämpfen begründungsverwaltende Systeme mit besonderen Schwierigkeiten, wenn sie die Gültigkeit der Negate von atomaren Formeln behandeln sollen. Dies gilt zumindest für die hier betrachtete ATMS-Variante. Daher wird zumeist von der Voraussetzung ausgegangen, daß alle Formeln in der zugrundeliegende Wissensbasis definite HORN-Klauseln - also entweder Regelklauseln oder aber atomare Formeln (Fakten) - darstellen. Von dieser Voraussetzung wird auch im folgenden ausgegangen. Vgl. zu den Problemen, die Negate von atomaren Formeln im ATMS-Konzept bereiten, DE KLEER (1986b), S. 173f. u. 176f.; BECKSTEIN (1988), S. 169f.; vgl. darüber hinaus zu ähnlichen Schwierigkeiten bei anders konzipierten begründungsverwaltenden Systemen BECKSTEIN (1988), S. 158ff.

70) Die zwei Fälle decken die beiden modallogischen Qualitäten der Möglichkeit (Kontingenz) und der Notwendigkeit ab. Die dritte modallogische Qualität - die Unmöglichkeit - wird dagegen nicht erfaßt. Sie ließe sich zwar durch die Notwendigkeit einer Formel ausdrücken, die das Negat einer für unmöglich gehaltenen Formel darstellt. Aber die Schwierigkeiten des ATMS-Konzepts beim Umgang mit negierten atomaren Formeln wurden bereits dargelegt. Daher wird die modallogische Unmöglichkeit im Kontext von ATMS-Systemen in der Regel überhaupt nicht in Betracht gezogen. Auch hier wird darauf nicht weiter eingegangen.

71) Da die kontingenten Planungsannahmen bloß das Überzeugtsein eines Planungsträgers wiedergeben, werden sie zumeist als "beliefs" thematisiert. Das wurde hinsichtlich des Zusammenspiels zwischen Inferenz- und Verwaltungskomponente bereits angedeutet.

72) Mit der Allgemeingültigkeit einer Formel ist nicht die logische Allgemeingültigkeit gemeint. Vielmehr zielt der "allgemeine" Charakter der Formelgültigkeit auf die Gesamtheit aller denkmöglichen, konsistenten Kombinationen von kontingenten Planungsannahmen ab. Allerdings kann eine Brücke zur prädikatenlogischen Allgemeingültigkeit geschlagen werden. Aus prädikatenlogischer Perspektive heißt eine Formel allgemeingültig, wenn sie unter allen zulässigen Interpretationen für ein syntaktisch definiertes Formelsystem gültig ist. Wenn diese zulässigen Interpretationen mit den konsistenten Kombinationen kontingenter Planungsannahmen gleichgesetzt werden, fallen beide Allgemeingültigkeitskonzepte zusammen. Allerdings handelt es sich dabei nur um eine grobe Analogie. Denn Interpretationen für Formelsysteme sind in der prädikatenlogischen Semantik gehaltreicher festgelegt, als die hier betrachteten kontingenten Planungsannahmen.

73) Dieser Sachverhalt kann auch so ausgedrückt werden, daß die betroffene Planungsprämisse unabhängig von allen kontingenten Planungsannahmen eines Planungsträgers gültig sein soll. Dieser Aspekt der invarianten Prämissengültigkeit legt es nahe, die Planungsprämisse als ein "Fakt" zu bezeichnen; vgl. BECKSTEIN (1988), S. 154. Dennoch sind solche Fakten eines ATMS-Systems deutlich von den äquivoken Fakten gewöhnlicher prädikatenlogischer Wissensbasen zu unterscheiden. Dies folgt aus zwei Gründen. Erstens sind die Fakten aus einer prädikatenlogischen Wissensbasis immer atomare Formeln. Dies muß auf die allgemeingültigen Planungsprämissen aus der Verwaltungskomponente eines ATMS-Systems keineswegs zutreffen. Zweitens besitzen die Fakten einer Wissensbasis nur den prädikatenlogischen Status der "Gültigkeit". Die allgemeingültigen Planungsprämissen aus einer Verwaltungskomponente zeichnen sich dagegen durch ihren modallogischen Charakter der Notwendigkeit aus.

74) Die Festlegung der leeren Annahmenmenge ergibt sich aus einer Eigenart des ATMS-Konzepts: In den Knotenlabeln werden nicht alle Annahmenmengen aufgeführt, unter denen die knotenzugehörige Formel gültig ist. Vielmehr umfassen die Knotenlabel nur *minimale* Annahmenmengen. Sie zeichnen sich durch folgende Eigenschaft aus: Wenn eine Formel von einem Knoten repräsentiert wird, dessen Knotenlabel die Annahmenmenge PS_i umfaßt, dann ist die Formel nicht für diese Annahmenmenge PS_i selbst gültig, sondern auch für jede konsistente Obermenge dieser Annahmenmenge. Alle inkonsistenten Obermengen werden durch die "nogoods" ausgeschlossen, auf die später zurückgekommen wird. Eine allgemeingültige Planungsprämisse ist nun eine Formel, die unter jeder denkmöglichen, aber konsistenten Kombination von Planungsannahmen gelten soll. Jede solche konsistente Annahmenkombination ist eine konsistente und nicht-leere Annahmenmenge. Jede solche Annahmenmenge ist wiederum eine konsistente Obermenge der leeren Menge. Folglich identifiziert das Knotenlabel, das *nur* die leere Menge umfaßt, für eine allgemeingültige Planungsprämisse alle denkmöglichen konsistenten Kombinationen von Planungsannahmen. Daher ist eine knoten-

zugehörige Formel genau dann allgemeingültig, wenn das Knotenlabel die leere Menge enthält; vgl. BECKSTEIN (1988), S. 164.

75) Wegen dieser Gleichartigkeit können sowohl allgemeingültige Planungsprämissen als auch kontingente Planungsannahmen in der Wissensbasis des ATMS-Systems als unterschiedslose prädikatenlogische Formeln dargestellt werden. Dies wird durch das später präsentierte Beispiel verdeutlicht. Alle dort behandelten Prämissen und Annahmen besitzen die gleiche prädikatenlogische Formelgestalt.

76) Die Großschreibung wurde aber nur auf die hypothetischen (Planungs-)Annahmen bezogen. Dem entspricht hier die Reservierung der Großschreibung für alle kontingenten Planungsannahmen. Denn hypothetische und kontingente Planungsannahmen stellen synonyme Benennungen desselben Sachverhalts dar.

77) Diese Hervorhebung aller kontingenten Planungsannahmen wird auch in der Literatur gepflegt, die sich mit ATMS-Systemen befaßt. Vgl. dazu die Quellen, die früher zum ATMS-Konzept angeführt wurden.

78) Der Begriff der Planungsannahmen erstreckt sich daher auf *alle* Wissensbestandteile, die in die wissensbasierte Lösung eines Planungsproblems eingehen und nicht zum Metawissen der Inferenz- oder Verwaltungskomponente gehören. Zu den Planungsannahmen zählen daher sowohl die früher erörterten faktischen Informationen (allgemeingültige Planungsprämissen) als auch die hypothetischen Annahmen (kontingente Planungsannahmen), die zur Schließung von Informationslücken eingeführt wurden.

79) Als Grenzfall der Mengen kontingenter Planungsannahmen ist auch die leere Annahmenmenge zugelassen. Sie wurde schon oben benutzt, um das Knotenlabel einer allgemeingültigen Planungsprämisse festzulegen.

80) Strenggenommen liegt eine Planungssituation im allgemeinen erst dann vor, wenn zu den kontingenten Planungsannahmen aus einer Annahmenmenge des Knotenlabels alle allgemeingültigen Planungsprämissen hinzugefügt werden. Denn Planungssituationen wurden eingangs als vollständig spezifizierte Zusammenfassungen von Planungsannahmen festgelegt, die es gestatten, einen situationsspezifischen Kontingenzplan abzuleiten. Eine solche Ableitungsmöglichkeit besteht aber in der Regel erst dann, wenn auch die allgemeingültigen Planungsprämissen einbezogen werden. Von dieser Präzisierung wird im folgenden abgesehen, wenn - im Sinne einer vereinfachenden Annäherung - Annahmenmengen aus Knotenlabels als Planungssituationen angesprochen werden.

81) Diese Diktion herrscht in der Literatur zu ATMS-Systemen vor. Dort wird zumeist von "environments" geredet.

82) Darauf nimmt die modallogische Ausdeutung von ATMS-Systemen Bezug, die sich auf die KRIPKE-Semantik möglicher Welten beruft. Sie wurde bereits erwähnt.

83) Vgl. zum Konstrukt der Kontexte DE KLEER (1986a), S. 143; BECKSTEIN (1988), S. 155 u. 162.

84) Auch das leere oder nullstellige Tupel "()" ist zugelassen. Es wurde schon oben für die Knotenbegründung allgemeingültiger Planungsprämissen benutzt.

85) Vgl. DE KLEER (1986a), S. 146f.

86) Die Notation entspricht den Konventionen der prädikatenlogischen Programmiersprache PROLOG. Sie wird hier als bekannt vorausgesetzt.

87) Die einzige Ausnahme betrifft die Beschriftung der Kanten, die zwischen Wissensbasis, Inferenz- und Verwaltungskomponente verlaufen. In Abb. 2 wurden die Kantenanschriften aus Abb. 4 und Abb. 3 zusammengefaßt.

88) Darüber hinaus verdeutlicht der Vergleich von Abb. 2 und 4 die bereits erläuterte Eigenart des ATMS-Konzepts, daß es nicht darauf angewiesen ist, die "Knoten" der Verwaltungskomponente in ein Begründungsnetz einzubetten. Denn die Abb. 4 führt alle erforderlichen Informationen der Verwaltungskomponente in den dreigliedrigen Informationsstrukturen " $\langle \dots \rangle$ " der formelrepräsentierenden Knoten auf. Abb. 2 drückt die gleichen Informationen in einem Begründungsnetz aus. Dabei handelt es sich - wie bereits erwähnt - um einen bipartiten Graphen mit zwei Knotentypen. Die kreisförmigen Knoten repräsentieren Formeln. Der eine quadratische Knoten vertritt eine Schlußfolgerung der Inferenzkomponente. Die topologische Verknüpfungsweise der Kanten und Knoten des Begründungsnetzes enthält bereits implizit alle Informationen über den Ableitungszusammenhang der drei involvierten Formeln. Daher brauchen die Knotenbegründungen aus den Informationsstrukturen der Abb. 4 in der Abb. 2 nicht explizit angeführt zu werden. Die Knotenlabel aus den Informationsstrukturen der Abb. 4 werden dagegen in der Abb. 2 als erläuternde Anschriften der kreisförmigen Formelknoten in "Kartuschen" berücksichtigt.

89) Darauf wurde schon in früheren Anmerkungen aufmerksam gemacht.

90) Die konsistenten Obermengen zeichnen sich dadurch aus, daß sie zu keinem Selbstwiderspruch führen. Jeder solche Widerspruch wird im ATMS-Konzept dadurch erkannt, daß die betroffene Obermenge ein "nogood" als Teilmenge umfaßt. Darauf wurde schon kurz hingewiesen. Das hier betrachtete Beispiel berücksichtigt der Einfachheit halber keine "nogoods". Daher wirkt sich die Einschränkung auf konsistente Obermengen noch nicht restriktiv aus. Im später präsentierten, ausführlicheren "Kronen-Beispiel" werden dagegen auch "nogoods" beachtet.

91) Vgl. zu einer ausführlichen Darstellung der Informationsverarbeitung, die in der Verwaltungskomponente eines ATMS-Systems stattfindet, DE KLEER (1986a), S. 148ff., insbesondere S. 150ff.

92) Weitere "true"-Knoten, die keine allgemeingültigen Planungsprämissen darstellen, werden später im Zusammenhang mit dem Begründungsnetz der Abb. 7 vorgestellt.

93) Vgl. DE KLEER (1986a), S. 145f.

94) Alle prädikatenlogischen Inferenzregeln besitzen einen gültigkeitsbewahrenden Charakter.

95) Ableitungszusammenhänge sind rein syntaktisch definiert. Sie bestehen daher nur zwischen Formeln. Aber die Korrektheit und Vollständigkeit prädikatenlogischer Beweissysteme stellt sicher, daß eine Formel, die aus einer gültigen Formel abgeleitet werden kann, ebenso gültig sein muß. Daher wird auch die vereinfachende Diktion zugelassen, die Gültigkeit der erstgenannten Formel sei aus der Gültigkeit der zweiten Formel "abgeleitet" worden.

96) Vgl. BECKSTEIN (1988), S. 157.

97) Denn die fehlende Ableitbarkeit der Formelgültigkeit kann auch darauf beruhen, daß die bisher hervorgebrachte Schlußfolgerungsmenge zu klein ist. Falls sie erweitert würde, ließe sich dagegen die Formelgültigkeit aus ihr und der Gesamtheit aller Planungsannahmen ableiten. Die Unmöglichkeit, die Gültigkeit einer Formel aus der aktuellen Schlußfolgerungsmenge und allen Planungsannahmen abzuleiten, kann erst dann mit der Ungültigkeit der Formel identifiziert werden, wenn das "negation by failure"-Prinzip hinzugezogen wird; vgl. BECKSTEIN (1988), S. 157. Dieses Ableitungsprinzip spielt im Rahmen der logischen Programmierung eine herausragende Rolle. Dennoch wird es hier nicht weiter beachtet, weil seine Anwendung dazu führt, daß die Korrektheit prädikatenlogischer Beweissysteme nicht mehr garantiert werden kann.

98) Dort werden nur "in"- und "out"-Knoten berücksichtigt. Auf die "true"- und "false"-Knoten von ATMS-Systemen wird daher hier nicht eingegangen.

99) Vgl. zu solchen Label-Propagierungen z.B. BECKSTEIN (1988), S. 157f. u. 161. Bei gewöhnlichen begründungsverwaltenden Systemen werden den Knoten der Abhängigkeitsgraphen die Bezeichnungen "in" und "out" für die jeweils betroffene Knotenklasse unmittelbar als Knotenlabel zugeordnet. Daher rührt der Name "Label-Propagierung". In ATMS-Systemen besitzen die Knotenlabel aber eine kompliziertere, bereits oben erläuterte Zusammensetzung aus Annahmenmengen.

100) Dies erklärt die früher festgestellte Vernachlässigung des Kantenaspekts durch Quellen, die sich dem ATMS-Konzept widmen.

101) Vgl. statt dessen die Beschreibung des "label-update algorithm" bei DE KLEER (1986a), S. 151f.; vgl. ebenso DRESSLER (1988), S. 77ff.; BECKSTEIN (1988), S. 164f.

102) Vgl. BECKSTEIN (1988), S. 164.

103) Die Menge der Annahmenmengen eines Knotenlabels erfüllt dabei vier charakteristische Eigenschaften: Konsistenz, Korrektheit, Vollständigkeit und Minimalität. Sie spielen für die Funktionsweise und Fähigkeiten von ATMS-Systemen eine herausragende Rolle. Dennoch wird hier auf ihre nähere Erläuterung verzichtet, weil die informationstechnischen Details des ATMS-Konzepts eingangs ausgeklammert wurden. Vgl. statt dessen die ausführliche Erläuterung der Labeleigenschaften bei DE KLEER (1986a), S. 144f.; DE KLEER (1986b), S. 166; BECKSTEIN (1988), S. 163f. Die Bedeutung der vier Eigenschaften von Knotenlabeln läßt sich aber kurz zusammenfassen. Sie garantieren, daß jedes Knotenlabel die *kleinste* Menge von in sich *konsistenten* Annahmenmengen darstellt, aus denen die Formel des zugrundeliegenden Knotens durch bisher erfolgte Ableitungsschritte der Inferenzkomponente gewonnen werden kann; vgl. BECKSTEIN (1988), S. 163. Auf den Aspekt der Minimalität wurde bereits an früherer Stelle im Zusammenhang mit den Knotenlabeln für allgemeingültige Planungsprämissen eingegangen. Ebenso wurde darauf zurückgegriffen, als die Behandlung einer Schlußfolgerung durch die Verwaltungskomponente erläutert wurde. Dort wurden zwei konsistente Annahmenmengen nicht in das Knotenlabel eines Knotens aufgenommen, weil sie sich als Obermengen einer anderen Annahmenmenge wiedergewinnen ließen.

104) Vgl. dazu die Abfrage "holds?" bei BECKSTEIN (1988), S. 166. Mit ihrer Hilfe läßt sich feststellen, ob die Formel, die zu einem Knoten aus dem Begründungsnetz gehört, zu einem "Kontext" gehört. Kontexte wurden

oben als Gesamtheiten aus einer Annahmenmenge und allen Formeln, die sich aus dieser Annahmenmenge ableiten lassen, eingeführt. Folglich liefert eine Antwort auf die Frage "holds?" auch Aufschluß darüber, ob sich eine Formel aus einer bestimmten Annahmenmenge ableiten läßt. Vgl. zum gleichen Sachverhalt MORRIS (1986), S. 15; BECKSTEIN (1988), S. 164.

105) Vgl. dazu die Operation "assume" bei DRESSLER (1988), S. 76; BECKSTEIN (1988), S. 166.

106) Es könnte auch daran gedacht werden, die Planungsannahmen, die früher als zutreffend erachtet wurden, deren Nichtzutreffen aber inzwischen bekannt geworden ist, nachträglich als unzutreffend zu kennzeichnen. Diese Option scheidet jedoch für ATMS-Systeme aus. Denn sie verwalten nur die Schlußfolgerungen, die aus Annahmen gezogen werden, von deren Zutreffen ein Planungsträger im Zeitpunkt seiner Schlußfolgerungen überzeugt ist. Das Nichtzutreffen einer Annahme läßt sich daher nicht unmittelbar darstellen. Zwar wäre es vorstellbar, das Nichtzutreffen einer Annahme indirekt als das Zutreffen ihres Negats auszudrücken. Aber auch dieser Ansatz wird hier nicht weiter verfolgt. Denn ATMS-Systemen bereitet es erhebliche Schwierigkeiten, mit Negaten korrekt umzugehen. Darauf wurde schon an früherer Stelle hingewiesen.

107) Vgl. BECKSTEIN (1988), S. 162f.

108) Vgl. BECKSTEIN (1988), S. 162.

109) Die Möglichkeit, frühere Schlußfolgerungen wiederzuverwerten, braucht sich allerdings keineswegs immer in einer - gegenüber einfachen begründungsverwaltenden Systemen - relativ raschen Anpassung an veränderte Planungssituationen niederzuschlagen. Vielmehr tritt eine Anpassungsbeschleunigung erst dann ein, wenn zur Anpassung an eine neue Planungssituation Schlußfolgerungen der Inferenzkomponente nötig sind, die bereits früher im Rahmen alter Planungssituationen ausgeführt wurden. Diese Voraussetzung ist aber bei praktischen Planungsproblemen oftmals erfüllt. Vgl. dazu auch den entsprechenden Hinweis bei der Diskussion des später präsentierten "Kronen-Beispiels".

110) Vgl. BECKSTEIN (1988), S. 156.

111) BECKSTEIN (1988), S. 155, nennt noch eine dritte Eigenschaft: die Fähigkeit zur Generierung von Erklärungen. Denn jeder Knoten aus dem Begründungsnetz kann durch Rückwärtsschreiten - entgegengesetzt zur Richtung der Netzkanten - durch jene Knoten "erklärt" werden, die dem Referenzknoten vorangehen. Alle involvierten Knoten repräsentieren Formeln. Die dazwischenliegenden Kanten geben einen Ableitungszusammenhang wieder. Daher gilt ebenso: Die Formel des Referenzknotens läßt sich durch die Formeln aller voranstehenden Knoten und die zwischendurch erfolgten Ableitungsschritte der Inferenzkomponente "erklären". Der Verf. sieht darin aber keine herausragende Eigenschaft von ATMS-Systemen - oder anderen begründungsverwaltenden Systemen. Denn ein solches Zurückverfolgen von Ableitungsschritten einer Inferenzkomponente beherrschen zahlreiche konventionelle wissensbasierte Systeme. Darüber hinaus möchte er dem Auflisten von Formeln und Ableitungsschritten keine echte Erklärungsfähigkeit zuerkennen. Denn es handelt sich nur um eine Rekonstruktion informationstechnisch bedingter Operationen. Mit den Ansprüchen menschlicher Systembenutzer an eine "adäquate" Erklärung hat dies oftmals wenig gemeinsam.

112) Er wird hier nur am Rande erwähnt, weil er nicht unmittelbar auf inkrementelle Kontingenzplanungen bezogen ist.

113) Vgl. MORRIS (1986), S. 14; NARDI (1987), S. 565f. u. 569f.; DRESSLER (1988), S. 80f.; BECKSTEIN (1988), S. 155f. u. 159.

114) Vgl. zum Konstrukt der "nogoods" DOYLE (1979a), S. 236f.; DOYLE (1979b), S. 129f.; REINFRANK (1985), S. 71f., 83, 88 u. 93; MORRIS (1986), S. 14f.; REINFRANK (1986), S. 15; DE KLEER (1986a), S. 137 u. 147f.; DE KLEER (1986b), S. 168; BECKSTEIN (1988), S. 158f.; HAAG (1988), S. 116 u. 123; REINFRANK (1988), S. 17; DRESSLER (1988), S. 72ff. u. 79ff.; DRESSLER (1989b), S. 14ff.

115) Das trifft vor allem auch auf Anpassungsplanungen zu, die für die hier betrachteten inkrementellen Kontingenzplanungen eine große Rolle spielen. Denn bei umfangreichen Annahmenmengen kann sich schnell folgender Fehler einschleichen: Eine einzelne Planungsannahme wird zur Anpassung an eine neue Planungssituation revidiert, ohne dabei zu beachten, daß sie sich mit irgendeinem anderen Element aus der voluminösen Annahmenmenge nicht vereinbaren läßt.

116) Zwar muß der Planungsträger auch weiterhin bestimmen, welche Planungsannahmen sich *unmittelbar* widersprechen. Doch diese Aufgabe fällt in der Regel nicht sehr schwer. Im späteren "Kronen-Beispiel" muß der Planungsträger etwa festlegen, daß die Produktionskapazität einer Unternehmung nicht gleichzeitig "frei" und "ausgeschöpft" sein kann. Die darüber hinaus gehende Verwaltung *beliebig umfangreicher* Annahmenmengen, in denen minimale Mengen aus unmittelbar widersprüchlichen Annahmen enthalten sein können, leistet dagegen das ATMS-System. Der konsistenzüberwachende Beitrag des ATMS-Systems liegt daher nicht in der *qualitativen* Dimension, die ursprüngliche Ursache einer Inkonsistenz aufzudecken. Dies muß der Systembenutzer durch die Spezifizierung der "nogoods" ermöglichen. Statt dessen deckt das ATMS-System den

quantitativen Aspekt ab, große und unübersichtliche Annahmenmengen von allen inkonsistenten Teilmengen frei zu halten.

Die voranstehenden Ausführungen zur Konsistenzüberwachung beziehen sich nur auf Annahmenmengen, deren Selbstwidersprüchlichkeit anhand von "nogoods" aufgedeckt wird. Daneben kann ein ATMS-System aber auch erkennen, daß es inkonsistent wäre, die Gültigkeit einer bestimmten Formel in irgendeiner Planungssituation anzunehmen. Diese Erkenntnis resultiert immer dann, wenn die Formel im Begründungsnetz durch einen "false"-Knoten repräsentiert wird. Es handelt sich dann um eine kontradiktorische Formel "1", die in keiner Planungssituation als gültig angenommen werden darf. Die Knotenbegründung des "false"-Knotens enthält die Knotennamen aller Formeln, die als Antezedenzformeln in Ableitungsschritten eingegangen sind, welche die kontradiktorische Formel als Konklusion umfassen. Ausgehend vom "false"-Knoten und den Knotennamen seiner Knotenbegründung kann im Begründungsnetz zurückgeschritten werden, um zu ermitteln, welche Schlußfolgerungen in ihrer Gesamtheit die zuletzt erschlossene kontradiktorische Konklusionsformel hervorgebracht haben. Insofern werden als Ursachen von Inkonsistenzen nicht nur selbstwidersprüchliche Annahmenmengen identifiziert. Vielmehr werden ebenso jene Schlußfolgerungen aufgedeckt, die zu den beobachteten Inkonsistenzen geführt haben.

Allerdings stellen inkonsistente Annahmenmengen und inkonsistenzhervorbringende Schlußfolgerungen nur zwei Facetten desselben Phänomens dar. Denn die Schlußfolgerungen, die in der kontradiktorischen Konklusionsformel eines "false"-Knotens enden, lassen sich stets zu mindestens einer Knotenmenge des Begründungsnetzes zurückverfolgen, deren Knoten die Planungsannahmen aus einer inkonsistenten Annahmenmenge repräsentieren. Dies folgt aus einer einfachen Überlegung: Jede kontradiktorische Formel kann innerhalb der Prädikatenlogik auf mindestens ein Konjugat aus einer atomaren Formel und deren Negat zurückgeführt werden. Negate von atomaren Formeln werden jedoch in der hier betrachteten Basisversion von ATMS-Systemen nicht als prädikatenlogische Negate repräsentiert. Dies liegt an den bereits erwähnten Schwierigkeiten der Negatbehandlung. Statt dessen werden zwei Planungsannahmen, von denen die eine das Negat der jeweils anderen ist, durch zwei nicht-negierte Formeln ausgedrückt. Zusätzlich werden die beiden Formeln in einem "nogood" zusammengefaßt. Es bedeutet, daß die beiden Formeln, die sich gegenseitig negieren, niemals zugleich gültig sein können. Folglich wird in einem ATMS-System eine kontradiktorische Formel nicht auf ein Konjugat aus einer atomaren Formel und deren Negat, sondern auf zwei nicht-negierte Formeln aus einem "nogood" zurückgeführt. Daher korrespondiert die Aufdeckung von Schlußfolgerungen, die zu einer kontradiktorischen Formel geführt haben, mit inkonsistenten Annahmenmengen, die mindestens eine "nogood"-Menge als Teilmenge umfassen. Vgl. dazu auch das später diskutierte "Kronen-Beispiel". Dort wird die kontradiktorische Formel, welche die Verfügbarkeit und die gleichzeitige Nichtverfügbarkeit einer Produktionskapazität ausdrückt, durch zwei nicht-negierte Formeln abgedeckt: Die eine weist die Produktionskapazität als "frei", die andere als "ausgeschöpft" aus. Ein Ableitungsschritt würde eine kontradiktorische Konklusion hervorbringen, wenn seine Antezedenzbedingung die beiden vorgenannten Formeln zugleich umfaßt.

117) KEE steht für: Knowledge Engineering Environment.

118) Vgl. MORRIS (1986), S. 13ff.; NARDI (1987), S. 564f.; HARMON (1989), S. 342 u. 351.

119) Vgl. HARMON (1989), S. 344 u. 352.

120) Der Planungsträger kann auch einige wenige alternative Planungssituationen für ähnlich wahrscheinlich oder plausibel halten. Dieser Ansatz der Szenarioplanung wird von der inkrementellen Kontingenzplanung eingeschlossen. Das wurde schon oben dargelegt. Der Übersichtlichkeit halber wird diese Komplizierung hier nicht weiter explizit thematisiert. Sie gilt aber als implizit einbegriffen.

121) Vgl. ZELEWSKI (1986b), S. 12ff., insbesondere S. 18ff.; ZELEWSKI (1987), S. 260ff., insbesondere S. 262ff.

122) Vgl. als Überblick zu Katastrophenplanung und "Disaster Management" BELARDO (1984), S. 29ff.

123) Vgl. HARRALD (1990), S. 14ff.

124) Dabei kann es sich z.B. um Schlußfolgerungen handeln, die früher ausgeführt wurden, aber nicht zu einer gewünschten Problemlösung geführt haben. Unter Umständen tragen sie jedoch unter den veränderten, untypischen Planungsbedingungen dazu bei, eine Problemlösung abzuleiten.

125) Die Fallstudie beruht auf einem realen Druckauftrag der Republik Estland; vgl. o.V. (1990), S. 17f.

126) Allen prädikatenlogischen Formeln, die in Abb. 5 kontingente Planungsannahmen spezifizieren, werden durch definitorenische Äquivalenzen entsprechende Kurznotationen zugeordnet. Gleiches gilt für die Formeln, die in Abb. 6a/b allgemeingültige Planungsprämissen wiedergeben. Diese Kurznotationen dienen in den späteren Abb. 7 und Abb. 9 dazu, die formelrepräsentierenden Knoten von Begründungsnetzen besonders kompakt darstellen zu können.

127) Es wurde vereinbart, die Notationskonventionen der prädikatenlogischen Programmiersprache PROLOG zu übernehmen. Dort sind Ausdrücke, die von einem Großbuchstaben eingeleitet werden, für *Variablen* vorbehalten. Daher muß die *Konstante* "Estland" als eine Zeichenfolge (string) in Anführungszeichen eingeschlossen werden, um sie als Nichtvariable zu kennzeichnen. Diese Notationsweise liegt auch weiteren Formeln in den Abb. 5ff. zugrunde.

128) Die Wissensbasis wird hier nicht explizit dargestellt.

129) In der Wissensbasis gilt die implizite, aber allgemein übliche Vereinbarung, daß jede Variable aus jeder Formel, die mindestens eine Variable umfaßt, durch einen Allquantor gebunden ist.

130) Der Übersichtlichkeit halber werden nur solche Knotenlabel in den Kartuschen explizit ausgewiesen, die aus nicht-leeren Annahmenmengen bestehen. Knotenlabel, die ausschließlich die leere Annahmenmenge umfassen, werden dagegen in der Abb. 7 nicht dargestellt. Sie gelten als implizit vereinbart, um die graphische Netzrepräsentation auf die "wesentlichen" Aspekte zu fokussieren. Knotenlabel mit leeren Annahmenmengen besitzen alle "true"-Knoten. Dabei handelt es sich einerseits um alle Knoten, die allgemeingültige Planungsprämissen repräsentieren. Dies folgt unmittelbar aus der vorausgesetzten Allgemeingültigkeit dieser Prämissen. Andererseits bleibt ein Knoten auch dann auf ein Knotenlabel mit leerer Annahmenmenge beschränkt, wenn er die Konklusionsformel eines Ableitungsschritts repräsentiert, für den gilt: Alle Antezedenzformeln des Ableitungsschritts werden von Knoten repräsentiert, deren Knotenlabel ihrerseits jeweils nur aus der leeren Annahmenmenge bestehen. Dies trifft in Abb. 7 z.B. auf den Knoten zu, der die Formel mit der Kurznotation "pl3" vertritt. Er gehört zwar nicht zu den allgemeingültigen Planungsprämissen. Doch er stellt die unmittelbare logische Konsequenz solcher allgemeingültigen Planungsprämissen dar. Folglich ist auch seine repräsentierte Formel "pl3" allgemeingültig im oben definierten Sinne: Sie ist für *jede* Planungssituation gültig. Das Knotenlabel umfaßt nur die leere Menge, da *jede* Annahmenmenge eine Obermenge zur leeren Menge ist.

131) Diese Verhaltensannahme ist für das Beispiel nicht notwendig, da sich alle vier betrachteten Druckereien zumindest als Sublieferanten offensiv verhalten. Dennoch wird die Verhaltensannahme aufgeführt, damit der Annahmenkatalog auch die Verhaltensweisen anderer Druckereien abdeckt, die bei alternativen Beispielformulierungen ins Blickfeld geraten könnten.

132) Es handelt sich um die Knoten, welche die fünf Formeln mit den Kurznotationen "d3", "ng", "n3", "n3e" und "pl" repräsentieren. Die Duplikate dieser Knoten können miteinander identifiziert werden. Das resultierende Begründungsnetz fiele kompakter, aber auch erheblich intransparenter aus. Daher wird auf diese Kompaktifizierung verzichtet.

133) Eine tiefere Bedeutung besitzen diese Knotennummern nicht. Lediglich auf eine Besonderheit ist hinzuweisen: Die Knotennummer "8" ist in Abb. 7 eingeklammert, weil die achte Schlußfolgerung mit der ersten zusammenfällt. Das ATMS-System braucht aber dieselbe Schlußfolgerung nicht mehrfach zu ziehen, weil es über ein Inferenzgedächtnis verfügt. Daher wird von ihm die Schlußfolgerung, daß es sich bei der Druckerei "Thomas_De_La_Rue" um eine europäische Druckerei handelt, nur genau einmal gezogen. Die doppelte Anführung dieser Schlußfolgerung in den Knoten "1" und "8" dient lediglich einer übersichtlicheren graphischen Darstellung.

134) Dies drückt das Prädikat $\text{an1} : \Leftarrow \Rightarrow \text{auftragsannahme}(\text{"US_Banknotes"}, \text{"Estland"})$ aus.

135) Das wird durch das Prädikat $\text{sa3} : \Leftarrow \Rightarrow \text{subauftragsannahme}(\text{"Thomas_De_La_Rue"}, \text{"US_Banknotes"})$ bestimmt.

136) Eine Obermenge ist nur dann konsistent, wenn sie keinem der explizit festgehaltenen "nogoods" widerspricht. Beispielsweise stellt die Annahmenmenge $\{\text{UO}, \text{ELD}, \text{ESO}, \text{K1A}, \text{K1F}, \text{K2F}, \text{K3F}, \text{K4F}\}$ zwar eine Obermenge der Annahmenmenge von Planungssituation PS_1 dar. Aber ihr Annahmenpaar $\{\text{K1A}, \text{K1F}\}$ verletzt die Bedingung "nogood $\{\text{K1A}, \text{K1F}\}$ ". Denn es wäre selbstwidersprüchlich zu unterstellen, daß die Kapazität der Druckerei "US_Banknotes" zugleich frei (K1F) und ausgeschöpft (K1A) ist.

137) Ein Begründungsnetz wird hier als minimal bezeichnet, wenn es ausschließlich jene Ableitungsschritte der Inferenzkomponente repräsentiert, welche die jeweils betrachtete Lösung eines Planungsproblems hervorgebracht haben. Das Begründungsnetz gilt dagegen als vollständig, wenn es alle Ableitungsschritte wiedergibt, die von der Inferenzkomponente auf der zugrundeliegenden Wissensbasis ausgeführt werden können. Diese Netzvollständigkeit ist allerdings nur so lange wohldefiniert, wie die Menge aller ausführbaren Ableitungsschritte endlich ist. Dies muß keineswegs der Fall sein. Für Wissensbasen mit unendlich großem Inferenzraum wird die Vollständigkeit eines Begründungsnetzes daher grundsätzlich nicht betrachtet.

138) Die Integration der beiden Begründungsnetze aus Abb. 7 und Abb. 9 ergibt ein Begründungsnetz, das die beiden zuerst ermittelten gültigen Problemlösungen gemeinsam wiedergibt. Da dieses integrierte Begründungsnetz jedoch recht umfangreich ausfällt, wird es hier nicht mehr abgebildet.

139) Die Konklusion, daß die dritte Druckerei wegen ausgeschöpfter Produktionskapazität den Druckauftrag ablehnt, mag zwar einem "vernünftigen" Betrachter trivial erscheinen. Doch muß dieses Urteil beachten, daß die Inferenzkomponente über kein inhaltliches Verständnis der Formeln verfügt, aus denen sie - in rein syntaktischer Weise - Ableitungen vornimmt. Daher besitzt eine semantisch triviale Schlußfolgerung aus informationstechnischer Perspektive die gleiche syntaktische Qualität wie eine Ableitung, die eine inhaltlich "anspruchsvollere" logische Konsequenz aufdeckt.

140) Daher gelten die dort vorgetragenen Erläuterungen und Anmerkungen hier analog. Es wird darauf verzichtet, sie nochmals - in entsprechend angepaßter Form - zu wiederholen.

141) Die zweite Problemlösung ist ebenso für die Planungssituation $PS_2' = \{UO, ESO, K1A, K3A, K4F\}$ gültig, da ihre Annahmenmenge eine konsistente Obermenge der Annahmenmenge der Planungssituation PS_2 ist. Das schließt die zuvor erwähnte Ersetzung der Planungsannahme "K3F" durch die Planungsannahme "K3A" ein.

142) Es könnte zwar daran gedacht werden, die Annahmenmenge $PS_3' = \{UO, ELD, ESO, K1A, K3A, K3F, K4F\}$ zu bilden. Sie ist eine Obermenge der Planungssituation $PS_1 = \{UO, ESO, K1A, K3F\}$. Doch es handelt sich um keine konsistente Obermenge. Denn sie umfaßt das "nogood" $\{K3A, K3F\}$ als Teilmenge.

143) Dieses Begründungsnetz wird wegen seines exorbitanten Umfangs hier nicht mehr abgebildet.

144) Die zurückzunehmenden Schlußfolgerungen treten bei einem Vergleich der beiden Begründungsnetze in Abb. 7 und Abb. 9 unmittelbar zu Tage: Es handelt sich um die Schlußfolgerungen Nr. 8, 9, 10, 11 und 12 aus dem Begründungsnetz der Abb. 7. Sie werden im Begründungsnetz der Abb. 9 durch die Schlußfolgerungen Nr. 8*, 9*, 10*, 11* und 12* abgelöst.

145) Vgl. dazu die voranstehende Anmerkung.

146) Die drei Schlußfolgerungen Nr. 5, 6 und 7 gelten unverändert fort. Sie nehmen sowohl im Begründungsnetz der Abb. 7 als auch im Begründungsnetz der Abb. 9 an der Ableitung der Problemlösungen für die Planungssituationen PS_1 bzw. PS_2 teil.

147) Diese Übereinstimmung gilt nur für die Planungssituation $PS_2 = \{UO, ESO, K1A, K4F\}$ und die dafür gültige zweite Lösung des Auswahlproblems. Zu ihr gehören die unteren zwei Drittel des Begründungsnetzes der Abb. 9. Dagegen erstreckt sich das oberste Drittel auf den erfolglosen Ableitungsversuch einer Problemlösung aus den Planungsannahmen "ELD" und "K3A". Sie gehören nicht zur zweiten Problemlösung, die in der Planungssituation PS_2 gültig ist. Die oben erwähnte Übereinstimmung zwischen der abweichungsspezifischen Anpassungsplanung einerseits und der von vornherein erfolgten Planung für die Situation PS_2 andererseits bezieht sich daher nicht auf das oberste Drittel des Begründungsnetzes aus der Abb. 9.

8 Literaturverzeichnis

- ALLMAN, W.F.:** Menschliches Denken - Künstliche Intelligenz, Von der Gehirnforschung zur nächsten Computer-Generation, München 1990.
- ARLABOSSE, F.; JEAN-BART, B.; PORTE, N.; DE RAVINEL, B.:** An Efficient Problem Solving Architecture Using ATMS - Tested on a Non-Toy Case Study; in: AI Communications, Vol. 1 (1988), S. 6-15.
- BECKSTEIN, C.:** Zur Logik der Logik-Programmierung - Ein konstruktiver Ansatz -, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen 1988. (Auch erschienen als: Informatik-Fachberichte 199, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988.)
- BELARDO, S.; KARWAN, K.R.; WALLACE, W.A.:** Managing the Response to Disasters Using Microcomputers; in: Interfaces, Vol. 14 (1984), No. 2, S. 29-39.
- BIBEL, W.; DEL CERRO, L.F.; FRONHÖFER, B.; HERZIG, A.:** Plan Generation by Linear Proofs: On Semantics; in: Metzger, D. (Hrsg.): GWAI-89, 13th German Workshop on Artificial Intelligence, 18.-22.09.1989 in Eringerfeld, Proceedings, Informatik-Fachberichte 216, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 49-62.
- BREWKA, G.:** Nonmonotonic Logics - A Brief Overview; in: AI Communications, Vol. 2 (1989), S. 88-97.
- BROWN, A.L.; GAUCAS, D.E.; BENANAV, D.:** An Algebraic Foundation for Truth Maintenance; in: o.V.: IJCAI 87 - Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 23.-28.08.1987 in Mailand, o.O. (Los Altos) 1987, Vol. 2, S. 973-980.
- CHRISTALLER, T.:** Konsistenzüberprüfungen bei sich verändernden Wissensbasen; in: Wahlster, W. (Hrsg.): GWAI-82, 6th German Workshop on Artificial Intelligence, 27.09.-01.10.1982 in Bad Honnef, Informatik-Fachberichte 58, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 63-71.
- COHEN, P.R.; FEIGENBAUM, E.A. (Hrsg.):** The Handbook of Artificial Intelligence, Vol. III, London - Los Altos 1982.
- CYERT, R.M.; MARCH, J.G.:** A Behavioral Theory of the Firm, Englewood Cliffs 1963.
- DE KLEER, J.:** Choices Without Backtracking; in: o.V.: Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-84, 06.10.1984 in Austin, Los Altos 1983, S. 79-85. [Anmk. des Verf.: Druckfehler in "1983"; gemeint ist wohl: "1984".]
- DE KLEER, J.:** An Assumption-based TMS; in: Artificial Intelligence, Vol. 28 (1986), S. 127-162 (a).
- DE KLEER, J.:** Extending the ATMS; in: Artificial Intelligence, Vol. 28 (1986), S. 163-196 (b).
- DE KLEER, J.:** Problem Solving with the ATMS; in: Artificial Intelligence, Vol. 28 (1986), S. 197-224 (c).
- DE KLEER, J.; WILLIAMS, B.C.:** Back to Backtracking: Controlling the ATMS; in: proceedings aaai-86, fifth national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Los Altos 1986, Vol. 2, S. 910-917 (d).
- DELGRANDE, J.P.:** An Approach to Default Reasoning Based on a First-Order Conditional Logic: Revised Report; in: Artificial Intelligence, Vol. 36 (1988), S. 63-90.
- DOYLE, J.:** Truth Maintenance Systems for Problem Solving, Master of Science-Thesis und Technical Report No. 419, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts) 1977 (a).
- DOYLE, J.:** Truth Maintenance Systems for Problem Solving; in: o.V.: 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-77, Proceedings of the Conference, 22.-25.08.1977 in Cambridge (Massachusetts), o.O. (Pittsburgh) 1977, Vol. 1, S. 247 (b).
- DOYLE, J.:** A Glimpse of Truth Maintenance; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 1, S. 232-237 (a). [Anmk. des Verf.: inhaltlich nicht identisch mit Doyle (1979b).]

- DOYLE, J.:** A Glimpse of Truth Maintenance; in: Winston, P.H.; Brown, R.H. (Hrsg.): Artificial Intelligence: An MIT Perspective, Vol. 1: Expert Problem Solving - Natural Language Understanding - Intelligent Computer Coaches - Representation and Learning, Cambridge (Massachusetts) - London 1979, S. 117-135 (b). [Anmk. des Verf.: inhaltlich nicht identisch mit Doyle (1979a).]
- DOYLE, J.; LONDON, P.:** A Selected Descriptor-Indexed Bibliography to the Literature on Belief Revision; in: SIGART Newsletter, No. 71 (1980), S. 7-23.
- DOYLE, J.:** The Ins and Outs of Reason Maintenance; in: Bundy, A. (Hrsg.): IJCAI-83, Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 08.-12.08.1983 in Karlsruhe, Los Altos 1983, Vol. 1, S. 349-351.
- DOYLE, J.:** Reasoned Assumptions and Pareto Optimality; in: o.V.: Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-85, 19.-23.08.1985 in Los Angeles, o.O. (Los Altos) 1985, Vol. 1, S. 87-90.
- DRESSLER, O.:** Erweiterungen des Basic ATMS; in: Morik, K. (Hrsg.): GWAI-87, 11th German Workshop on Artificial Intelligence, 28.09.-02.10.1987 in Geseke, Proceedings, Informatik-Fachberichte 152, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987, S. 185-194.
- DRESSLER, O.:** Assumption-based Truth Maintenance; in: Stoyan, H. (Hrsg.): Begründungsverwaltung - Beiträge zu einem Workshop über Reason Maintenance, am 09.10.1986 in Berlin, Proceedings, Informatik-Fachberichte 162, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 63-85.
- DRESSLER, O.; FARQUHAR, A.:** Problem Solver Control Over the ATMS; in: Metzger, D. (Hrsg.): GWAI-89, 13th German Workshop on Artificial Intelligence, 18.-22.09.1989 in Eringerfeld, Proceedings, Informatik-Fachberichte 216, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 17-26 (a).
- DRESSLER, O.; FREITAG, H.:** Truth Maintenance Systeme; in: Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung, Erfahrungen., 3. Jg. (1989), Heft 2, S. 13-19 (b).
- FIDELAK, M.; LISCHKA, C.; VOB, H.:** Repräsentation der Dynamik technisch-physikalischer Systeme; in: Hoschka, P. (Hrsg.): Forschungsgruppe Expertensysteme - Aus der Arbeit der Forschungsgruppe Expertensysteme, Arbeitspapiere der GMD 337, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn, Sankt Augustin 1988, 5. Beitrag.
- FREITAG, H.; REINFRANK, M.:** A Non-Monotonic Deduction System Based on (A)TMS, TEX-B Memo 29-88, Frankfurt - Karlsruhe - Sankt Augustin ... 1988.
- GAITANIDES, M.; LÜTKE SCHWIENHORST, R.:** Analyse strategischer Risiken als Anwendung Dialektischer Planung; in: Strategische Planung, Bd. 2 (1986), S. 109-125.
- GOODWIN, J.W.:** An Improved Algorithm for Non-monotonic Dependency Net Update, Research Report LITH-MAT-R-82-23, Software Systems Research Center, Linköping Institute of Technology, Linköping 1982.
- HAAG, A.; ZETZSCHE, F.; ZINSER, G.:** Die Behandlung von Alternativen in der Planung: Erfahrungen mit ATMS-basierten Expertensystemarchitekturen; in: Hertzberg, J.; Günter, A. (Hrsg.): Beiträge zum 2. Workshop Planen und Konfigurieren, Arbeitspapiere der GMD 310, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH/Bonn, Sankt Augustin 1988, S. 113-132.
- HABEL, C.:** Logische Systeme und Repräsentationsprobleme; in: Neumann, B. (Hrsg.): GWAI-83, 7th German Workshop on Artificial Intelligence, 19.-23.09.1983 in Dassel/Solling, Informatik-Fachberichte 76, Berlin - Heidelberg - New York ... 1983, S. 118-142.
- HARMON, P.; MAUS, R.; MORRISSEY, W.:** Expertensysteme: Werkzeuge und Anwendungen, München - Wien 1989.
- HARRALD, J.R.; MARCUS, H.S.; WALLACE, W.A.:** The EXXON Valdez: An Assessment of Crisis Prevention and Management Systems; in: Interfaces, Vol. 20 (1990), No. 5, S. 14-30.
- HERTZBERG, J.:** Planerstellungs-Methoden der Künstlichen Intelligenz; in: Informatik-Spektrum, Bd. 9 (1986), S. 149-161.
- HERTZBERG, J.:** Planen - Einführung in die Planerstellungsmethoden der Künstlichen Intelligenz, Mannheim - Wien - Zürich 1989.

- HUBER, A.:** Wissensbasierte Echtzeit-Steuerung in CIM; in: CIM Management, 2. Jg. (1986), Nr. 4, S. 94-97.
- KONOLIGE, K.:** On the Relation between Default and Autoepistemic Logic; in: Artificial Intelligence, Vol. 35 (1988), S. 343-382.
- LEE, Y.R.; SHI, Y.; YU, P.L.:** Linear Optimal Designs and Optimal Contingency Plans; in: Management Science, Vol. 36 (1990), S. 1106-1119.
- LONDON, P.E.:** Dependency Networks as a Representation for Modelling in General Problem Solvers, Dissertation, University of Maryland, Ann Arbor 1978. [Anmk. des Verf.: auch erschienen als: Report TR-691, Department of Computer Science, University of Maryland.]
- LUKASZEWICZ, W.:** Nonmonotonic Logic for Default Theories; in: O'Shea, T. (Hrsg.): Advances in Artificial Intelligence, Proceedings of the Sixth European Conference on Artificial Intelligence, ECAI-84, 05.-07.09.1984 in Pisa, Amsterdam - New York - Oxford 1985, S. 403-412.
- MANNA, Z.:** The Modal Logic of Programs; in: Maurer, H.A. (Hrsg.): Automata, Languages and Programming, Sixth Colloquium, 16.-20.07.1979 in Graz, Lecture Notes in Computer Science 71, Berlin - Heidelberg - New York 1979, S. 385-409.
- MASON, R.O.; MITROFF, I.I.:** Challenging Strategic Planning Assumptions - Theory, Cases, and Techniques, New York - Chichester - Brisbane - Toronto 1981.
- MCDERMOTT, D.; DOYLE, J.:** An Introduction to Non-Monotonic Logic; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 1, S. 562-567.
- MCDERMOTT, D.; DOYLE, J.:** Non-Monotonic Logic; in: Artificial Intelligence, Vol. 13 (1980), S. 41-72.
- MERTENS, P.:** Expertensysteme in der Produktion - Eine Bestandsaufnahme, Arbeitspapiere der Informatik-Forschungsgruppe VIII, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen 1988 (a).
- MERTENS, P.:** Wissensbasierte Systeme im Produktionsbereich: Bestandsaufnahme; in: Mertens, P.; Wiendahl, H.-P.; Wildemann, H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 7-38 (b).
- MITROFF, I.I.; EMSHOFF, J.R.:** On Strategic Assumption-Making: A Dialectical Approach to Policy and Planning; in: Academy of Management Review, Vol. 4 (1979), No. 1, S. 1-12.
- MITROFF, I.I.; MASON, R.O.:** Dialectical Pragmatism: A Progress Report on an Interdisciplinary Program of Research on Dialectical Inquiring Systems; in: van Gigch, J.P. (Hrsg.): Decision Making about Decision Making: Metamodels and Metasystems, Cambridge (Massachusetts) - Tunbridge Wells 1987, S. 137-147.
- MOORE, R.C.:** Semantical Considerations on Nonmonotonic Logic; in: Artificial Intelligence, Vol. 25 (1985), S. 75-94.
- MORRIS, P.H.; NADO, R.A.:** Representing Actions with an Assumption-Based Truth Maintenance System; in: o.V.: proceedings aaai-86, fifth national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Los Altos 1986, Vol. 1, S. 13-17.
- MORRIS, P.H.:** The Anomalous Extension Problem in Default Reasoning; in: Artificial Intelligence, Vol. 35 (1988), S. 383-399.
- NARDI, B.A.; PAULSON, E.A.:** Multiple Worlds with Truth Maintenance in AI Applications; in: du Boulay, B.; Hogg, D.; Steels, L. (Hrsg.): Advances in Artificial Intelligence - II, Seventh European Conference on Artificial Intelligence, ECAI-86, 20.-25.07.1986 in Brighton, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987, S. 563-572.
- o.V.:** Estland auf der Suche nach einer Druckerei für die neuen Kronen - Geschenk eines Emigranten an die alte Heimat / Trennung vom Rubel im nächsten Jahr; in: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Ausgabe vom 31.10.1990 (Nr. 254), S. 17-18.
- PETRIE, C.J.:** Reason Maintenance in Expert Systems; in: Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung, Erfahrungen., 3. Jg. (1989), Heft 2, S. 54-60.

- POOLE, D.:** A Logical Framework for Default Reasoning; in: Artificial Intelligence, Vol. 36 (1988), S. 27-47.
- PUPPE, F.:** Diagnostisches Problemlösen mit Expertensystemen, überarbeitete Version der Dissertation "Assoziatives diagnostisches Problemlösen mit dem Expertensystem-Shell MED2", Universität Kaiserslautern 1986, Informatik-Fachberichte 148, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987.
- REINFRANK, M.:** An Introduction to Non-Monotonic Reasoning, MEMO-SEKI-85-02, Fachbereich Informatik, Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern 1985.
- REINFRANK, M.; BEETZ, M.; FREITAG, H.; KLUG, J.:** KAPRI - A Rule-Based Non-Monotonic Inference Engine with an Integrated Reason Maintenance System, SEKI Report SR-86-03, Fachbereich Informatik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1986. [Anmk. des Verf.: abweichende Schreibweisen auf Cover und Titelblatt; hier letztes zugrundegelegt.]
- REINFRANK, M.:** Reason Maintenance Systems; in: Stoyan, H. (Hrsg.): Begründungsverwaltung - Beiträge zu einem Workshop über Reason Maintenance, am 09.10.1986 in Berlin, Proceedings, Informatik-Fachberichte 162, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 1-26.
- REINFRANK, M.:** Begründungsverwaltung (Reason/Truth Maintenance); in: Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung, Erfahrungen., 3. Jg. (1989), Heft 2, S. 20.
- REITER, R.:** On Reasoning by Default; in: Waltz, D. (Hrsg.): Proceedings of TINLAP-2, Workshop on Theoretical Issues in Natural Language Processing - 2, im Juli 1978 in Chicago, o.O. (New York) 1978, S. 210-218.
- REITER, R.:** A Logic for Default Reasoning; in: Artificial Intelligence, Vol. 13 (1980), S. 81-132.
- REITER, R.; CRISCUOLO, G.:** On Interacting Defaults; in: Drinan, A. (Hrsg.): Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-81, 24.-28.08.1981 in Vancouver, o.O. (Menlo Park) 1981, Vol. 1, S. 270-276.
- ROSE, D.; LANGLEY, P.:** STAHLp: Belief Revision in Scientific Recovery; in: o.V.: proceedings aaai-86, fifth national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Los Altos 1986, Vol. 1, S. 528-532.
- ROSE, H.:** Computergestützte Störungsbewältigung beim Durchlauf von Produktionsaufträgen unter besonderer Berücksichtigung wissensbasierter Elemente, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen - Nürnberg 1989.
- SACERDOTI, E. D.:** Problem Solving Tactics; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 2, S. 1077-1085.
- SCHNUPP, P.; NGUYEN HUU, C. T.; BERNHARD, L. W.:** Expert Systems Lab Course, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989.
- SIEBEN, G.; SCHILDBACH, T.:** Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie, 3. Aufl., Düsseldorf 1990.
- STALLMAN, R. M.; SUSSMAN, G. J.:** Forward Reasoning and Dependency-Directed Backtracking in a System for Computer-Aided Circuit Analysis; in: Artificial Intelligence, Vol. 9 (1977), S. 135-196.
- STALLMAN, R. M.; SUSSMAN, G. S.:** Problem Solving About Electrical Circuits; in: Winston, P. H.; Brown, R. H. (Hrsg.): Artificial Intelligence: An MIT Perspective, Vol 1: Expert Problem Solving - Natural Language Understanding - Intelligent Computer Coaches - Representation and Learning, Cambridge (Massachusetts) - London 1979, S. 33-91.
- STEEL, S.:** On Trying to Do Dependency-Directed Backtracking by Searching Transformed State Spaces (and Failing); in: Hallam, J.; Mellish, C. (Hrsg.): Advances in Artificial Intelligence, Proceedings of the 1987 AISB Conference, 06.-10.04.1987 in Edinburgh, Chichester - New York - Brisbane ... 1987, S. 207-221.
- STOYAN, H. (Hrsg.):** Begründungsverwaltung - Beiträge zu einem Workshop über Reason Maintenance, am 09.10.1986 in Berlin, Proceedings, Informatik-Fachberichte 162, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988.

- STRUSS,P.:** Multiple Representation of Structure and Function, Draft (Paper) 4/23/86, München 1986.
- VAN DYKE PARUNAK,H.:** Manufacturing Experience with the Contract Net; in: Huhns,M.N. (Hrsg.): Distributed Artificial Intelligence, London - Los Altos 1987, S. 285-310.
- VAN EMDE BOAS,P.:** The Connection between Model logic and Algorithmic logics; in: Winkowski,J. (Hrsg.): Mathematical Foundations of Computer Science 1978, Proceedings of the 7th Symposium, 4.-8.09.1978 in Zakopane, Lecture Notes in Computer Science 64, Berlin - Heidelberg - New York 1978, S. 1-15.
- VAN MARCKE,K.:** A Parallel Algorithm for Consistency Maintenance in Knowledge Representation.; in: du Boulay,B.; Hogg,D.; Steels,L. (Hrsg.): Advances in Artificial Intelligence - II, Seventh European Conference on Artificial Intelligence, ECAI-86, 20.-25.07. 1986 in Brighton, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987, S. 263-275.
- WEBBER,B.L.:** Logic and Natural Language; in: Computer, Vol. 16 (1983), S. 43-46.
- WEDEKIND,H.:** Eine logische Analyse des Verhältnisses von Anwendungs- und Datenbanksystemen; in: Härder,T. (Hrsg.): Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft, GI/SI-Fachtagung, 01.-03.03.1989 in Zürich, Proceedings, Informatik-Fachberichte 204, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 19-42.
- WINSLETT,M.:** Is Belief Revision Harder than You Thought?; in: o.V.: proceedings aaai-86, fifth national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Los Altos 1986, S. 421-427.
- ZELEWSKI,S.:** Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz - Eine informationstechnisch-betriebswirtschaftliche Analyse, Bd. 1-3, Dissertation (unter dem Titel: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz - Bestandsaufnahme und Bewertungsansätze aus informationstechnisch-betriebswirtschaftlicher Perspektive unter besonderer Berücksichtigung produktionswirtschaftlicher Aspekte -), Universität Köln 1985, Witterschlick/Bonn 1986 (a).
- ZELEWSKI,S.:** Konzepte für Frühwarnsysteme und Möglichkeiten zu ihrer Fortentwicklung durch Beiträge der Künstlichen Intelligenz, Arbeitsbericht Nr. 7, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1986 (b).
- ZELEWSKI,S.:** Frühwarnung und Künstliche Intelligenz - Möglichkeiten zur Fortentwicklung von Frühwarnsystemen durch Beiträge der Künstlichen Intelligenz; in: Die Unternehmung, 41. Jg. (1987), S. 256-265.
- ZELEWSKI,S.:** Expertensysteme für Prozeßplanung und -steuerung in der Fabrik der Zukunft - Ein Überblick über Konzepte und erste Prototypen, Arbeitsbericht Nr. 22, Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Universität Köln, Köln 1988.
- ZELEWSKI,S.:** PPS-Expertensysteme für die Terminfeinplanung und -steuerung - Teil 1: Konzepte; in: Information Management, 5. Jg. (1990), Heft 1, S. 56-65.

Verzeichnis der Arbeitsberichte des
Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre,
Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft
der Universität zu Köln

(bis Sommer 1986: Seminar für Allgemeine
Betriebswirtschaftslehre und Fertigungswirtschaft)

- Nr. 1: ZELEWSKI,STEPHAN: Entscheidungsmodelle zur Verschrottung von Fertigungshilfsmitteln, Köln 1984.
- Nr. 2: KERN,WERNER; ZELEWSKI,STEPHAN: Ein Zuordnungsmodell für Meßgeräte in Energie-Informations-Systemen, Köln 1985.
- Nr. 3: KERN,WERNER; PETERS,ULRICH: Energiebewirtschaftung in industriellen Betrieben - Bericht über eine Befragung, Köln 1985.
- Nr. 4: BOOS,JOCHEN: Lokalisierung von Meßstellen für ein Informations-System zur Energiebewirtschaftung in industriellen Betrieben - Entwicklung eines OR-Modells mit einem Lösungsvorschlag, Köln 1986.
- Nr. 5: ZELEWSKI,STEPHAN: Ansätze der Künstlichen Intelligenz-Forschung zur Unterstützung der Netzplantechnik, Köln 1986.
- Nr. 6: ZELEWSKI,STEPHAN: Schnittstellen bei betrieblichen Informationssystemen - eine Darstellung aus systemtheoretischer und betriebswirtschaftlicher Sicht, Köln 1986.
- Nr. 7: ZELEWSKI,STEPHAN: Konzepte für Frühwarnsysteme und Möglichkeiten zu ihrer Fortentwicklung durch Beiträge der Künstlichen Intelligenz, Köln 1986.
- Nr. 8: ZELEWSKI,STEPHAN: Das Konzept der unscharfen Mengen unter besonderer Berücksichtigung ihrer linguistischen Interpretation - eine Lösung für unscharfe Probleme?, Köln 1986.
- Nr. 9: ZELEWSKI,STEPHAN: Der tau-Wert: Aspekte eines neueren spieltheoretischen Ansatzes zur fairen Preisbildung aus kostenrechnerischer Perspektive, Köln 1986.
- Nr. 10: ZELEWSKI,STEPHAN: Competitive Bidding aus der Sicht des Ausschreibers - ein spieltheoretischer Ansatz, Köln 1986.
- Nr. 11: ZELEWSKI,STEPHAN: Netztheoretische Ansätze zur Konstruktion und Auswertung von logisch fundierten Problembeschreibungen, Köln 1986.
- Nr. 12: ZELEWSKI,STEPHAN: Netztheoretische Fundierung von parallelen Algorithmen für die Lösung linear-ganzzahliger OR-Modelle, Köln 1986.
- Nr. 13: ZELEWSKI,STEPHAN: Intelligente Informationsbanksysteme - benutzerfreundliche Instrumente für die Informationsvermittlung?, Köln 1986.
- Nr. 14: ZELEWSKI,STEPHAN: Komplexitätstheorie - ihr Beitrag zur Klassifizierung und Beurteilung von Problemen des Operations Research, Köln 1986.
- Nr. 15: ZELEWSKI,STEPHAN: Der Informationsbroker, Köln 1986.

- Nr. 16: ZELEWSKI,STEPHAN: Soziale Verantwortbarkeit von Technologien, Köln 1986.
- Nr. 17: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme - Übersicht über Konzeptionen und betriebswirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten, Köln 1986.
- Nr. 18: ZELEWSKI,STEPHAN: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz für Industrieanwendungen - Ein Überblick, Köln 1987.
- Nr. 19: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme im "Büro der Zukunft" - Ein Überblick über Anwendungsperspektiven und Bewertungsaspekte, Köln 1987.
- Nr. 20: KUMMER,SEBASTIAN: Computerunterstützung schöpferischer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, Köln 1987.
- Nr. 21: ZELEWSKI,STEPHAN: Betriebswirtschaftliche Aspekte des industriellen Einsatzes von Expertensystemen - Anwendungsmöglichkeiten und Bewertung, Köln 1988.
- Nr. 22: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme für Prozeßplanung und -steuerung in der Fabrik der Zukunft - Ein Überblick über Konzepte und erste Prototypen, Köln 1988.
- Nr. 23: ZELEWSKI,STEPHAN: Expertensysteme zur Sicherung der Betriebsbereitschaft in der Fabrik der Zukunft, Köln 1988.
- Nr. 24: ZELEWSKI,STEPHAN: Ansätze zur Bewertung des Einsatzes Künstlicher Intelligenz in Industrieunternehmen - aus produktiver und sozialer Sicht, Köln 1988.
- Nr. 25: HÖLSCHER,ANDREAS: Unterstützung der Forschung und Entwicklung in der Pharmaindustrie durch externe Informationen - Möglichkeiten und Grenzen, Köln 1988.
- Nr. 26: SCHRÖDER,HANS-HORST: Entwicklungsstand und -tendenzen bei PPS-Systemen, Köln 1989.
- Nr. 27: ZELEWSKI,STEPHAN: Eine Metakritik an der Kritik konventioneller Rationalitätsauffassungen durch kulturwissenschaftlich fundierte Konzepte praktischer und prozeduraler Rationalität, Köln 1989.
- Nr. 28: ZELEWSKI,STEPHAN: Petrinetze für die Konstruktion und Konsistenzanalyse von logisch orientierten Problembeschreibungen, Köln 1989.
- Nr. 29: ELLE,HANS-DIETER: Aufgeklärter Konstruktivismus - Ein Beitrag zur erkenntnis- und wissenschaftsprogrammatistischen Diskussion innerhalb der Betriebswirtschaftslehre, Köln 1989.
- Nr. 30: ZELEWSKI,STEPHAN: CAP-Expertensysteme - Anwendungsaspekte Künstlicher Intelligenz im Bereich der Arbeitsplanung, Köln 1989.
- Nr. 31: DOCHNAL,HANS-GUIDO: Darstellung und Analyse von OPT (Optimized Production Technology) als Produktionsplanungs- und -steuerungskonzept, Köln 1990.
- Nr. 32: ZELEWSKI,STEPHAN: Schwache Argumente gegen die starke KI-These - Ein Beitrag zur Diskussion über Searle's chinesisches Zimmer, Köln 1990.
- Nr. 33: SCHWICKERT,GABI: Organisatorische Aspekte einer Implementierung von Qualitätsstrategien in Industriebetrieben, Köln 1990.

- Nr. 34: VATTEROTH, HANS-CHRISTIAN: Pflichtenheft für die computergestützte Personalplanung auf der Basis von Personalinformationssystemen - Anforderungen an Standard-Software, Köln 1990.
- Nr. 35: KERN, WERNER: Die Zeit als Dimension betriebswirtschaftlichen Denkens und Handelns, Köln 1991.
- Nr. 36: SCHÜTZ, HANS-WERNER: Diversifizierung in der deutschen Eisen- und Stahlindustrie - Eine betriebswirtschaftliche Analyse exemplarischer Entwicklungslinien, Köln 1991.
- Nr. 37: ZELEWSKI, STEPHAN: ATMS-Systeme, Köln 1991.