

Konzepte einer computergestützten Planung

Prof. Dr. Eckart Zwicker
In Plötzeneder, H. (Hrsg.),
Computergestützte Unternehmensplanung

Stuttgart 1977

Zwicker, E., Konzepte einer computergestützten Planung.

**In: Plötzeneder, H. (Hrsg.),
Computergestützte Unternehmensplanung, Stuttgart
1977,**

Konzepte einer computergestützten Planung

Eckart Zwicker, Technische Universität Berlin

Zusammenfassung

Es wird zwischen drei verschiedenen Planungskonzepten unterschieden, der Regelkreisplanung sowie der extremierenden und experimentellen Planung. Ziel der Regelkreisplanung ist es, einen vorgegebenen Sollwert möglichst weitgehend zu realisieren. Eine modellmäßige Fassung dieses Konzeptes führt zu fluktuationsminimierenden, mehrstufigen Entscheidungsmodellen, welche in der technischen Regelungstheorie seit langem gebräuchlich sind. Es wird gezeigt, daß die rudimentären Ansätze einer Regelkreisplanung sich bei ihrer Verschärfung selbst aufheben. Die extremierende Planung wird als Alternative diskutiert und an Beispielen illustriert. Ihrer methodischen Klarheit und Einsichtigkeit als allgemeiner Verhaltensmaxime stehen enge operationelle Grenzen in der Anwendbarkeit gegenüber. Als Alternative wird die experimentelle Planung erörtert. Sie stellt ein Verfahren dar, mit dem durch Konsequenzenaufweisungen der subjektive Hypothesenansatz eines Entscheiders in sich konsistent gemacht wird. Die Anwendung dieses Planungsverfahrens unter Verwendung rechnergestützter Dialogverfahren wird diskutiert und in seinen Möglichkeiten erörtert.

1. EINFÜHRUNG

Grob umrissen läßt sich eine Planung wie folgt charakterisieren: Ein Planer entwirft "Abbilder" des zu planenden Systems unter der Annahme, daß bestimmte von ihm realisierbare Maßnahmen zum Tragen kommen. Er wählt das Abbild eines Systems aus, welches seinen Zielvorstellungen am stärksten entspricht und beschließt, die diesem Abbild zu Grunde liegenden Maßnahmen herbeizuführen.

Im Rahmen einer computergestützten Planung sind diese oft vagen mentalen Abbilder so weit zu konkretisieren, daß sie durch einen inhaltlich deutbaren Symbolismus, d.h. ein Symbolmodell repräsentiert werden können. In den folgenden Betrachtungen wollen wir uns auf Symbolmodelle beschränken, die durch Differenzengleichungen und algebraische Gleichungen beschrieben werden können und unter dieser Einschränkung zwei Planungskonzepte miteinander vergleichen, die man als Regelkreis- und Extremalplanung bezeichnen kann.

2. DIE REGELKREISPLANUNG VON BETRIEBEN

Als erstes wenden wir uns der Regelkreisplanung von Betrieben zu. Viele Personen neigen dazu, mit dem Wort Planung die folgende Vorstellung zu verbinden: In einer Planung wird immer ein bestimmter Sollwert (oder ein System von Sollwerten) vorgegeben. Dieser Sollwert wird mit dem realisierten Istwert verglichen und es wird überlegt, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um die aufgetretenen Abweichungen zu beseitigen. In diesem Sinne bemerkt Kromschröder: Die Kontrolle des Soll mit dem Ist stellt "eine wirtschaftliche wie jedem zielgerichteten Handeln immanente Funktion dar." (1)

Macht man sich einen derartigen Planungsbegriff zu eigen, so liegt es nahe, Planung als einen Regelkreisprozeß zu sehen. Die übliche Deutung eines Systems als Regelkreis ist weitgehend bekannt und läßt sich anhand von Abb. 1 demonstrieren. Eine beobachtbare Größe eines Systems, deren Erreichung von einer bestimmten Personengruppe angestrebt wird, wird als Führungs- oder Sollgröße bezeichnet. Die Maßnahmen, mit denen dieses Ziel angestrebt wird, sind die Stellgrößen. Ihre Bestimmung soll bewirken, daß die Ausgangs- oder Istgröße möglichst weitgehend mit der Führungsgröße übereinstimmt.

Dieses Vorhaben wird durch äußere unbeeinflußbare Umstände gestört, die als Störgrößen

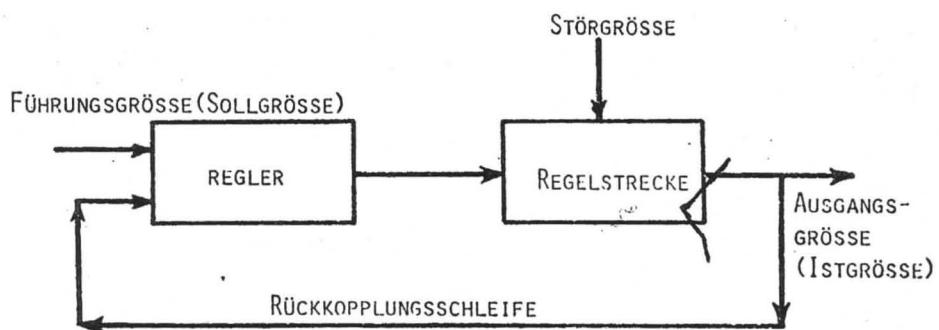


Abb. 1

Grundschema eines kybernetischen Systems oder Regelkreises

bezeichnet werden. Typisches Kennzeichen eines kybernetischen Systems oder Regelkreises ist es, daß die Dimensionierung der Stellgröße in Abhängigkeit von der in der Vorperiode beobachteten Soll-Ist-Abweichung erfolgt. Diese Berücksichtigung der realisierten Istgröße findet durch die Rückkopplungsschleife in Abb. 1 ihren Ausdruck. Der Regler umfaßt den Systembereich, in dem sich die Festlegung der Stellgröße in Abhängigkeit von der Führungsgröße und der Ausgangsgröße vollzieht. Die Regelstrecke charakterisiert demgegenüber den Bereich, in dem die gewählten Stellgrößen und unvorhersehbaren Störgrößen zur Wirkung kommen und eine bestimmte Realisation der Ausgangsgröße zur Folge haben. Die Auffassung, daß sich eine Planung stets in Form einer Regelung vollziehen soll, führt zu einer Forderung, die als Postulat der Regelkreisplanung bezeichnet werden soll. Diese Forderung lautet: Die betriebliche Planung soll in Form von Regelkreisen realisiert werden. Unter der getroffenen Voraussetzung die "alternativen Systemabbilder" durch

Gleichungssysteme abilden zu können, führt dies zu der stärker konkretisierten Forderung: Beschreibe ein betriebliches System mit Hilfe stochastischer Differenzengleichungen und versuche, die kontrollierbaren Variablen so zu spezifizieren, daß die vorgegebenen Sollwerte möglichst stark eingehalten werden.

Akzeptieren wir (zumindest vorläufig) diese Forderung, dann fragt es sich, in welchem Umfang derartige bisher nur vage charakterisierten Regelkreisplanungen mit Computerunterstützung durchgeführt werden können. Zur Modellierung und Alternativenerierung derartiger betrieblicher Regelkreismodelle stehen heute leistungsfähige EDV-Simulationssprachen wie DYNAMO und CSMP zur Verfügung. (2)

Sucht man nach der Anwendung derartiger computergestützter Regelkreisplanungsmodelle in der Praxis, so kann man feststellen, daß solche Modelle kaum angewendet werden. Einige nur aus zwei Gleichungen bestehende betriebliche Regelkreismodelle sind von Simon und Baetge formuliert aber nicht praktisch erprobt worden. (3) Das einzige dem Verfasser bekannte Modell einer Regelkreisplanung stammt von Forrester. Es setzt sich aus ca. 80 Gleichungen zusammen und beschreibt den Bestell- und Fertigungsbereich der Sprague Electric Company in Boston. (4) Die heutige Anwendung von Computern im Rahmen dieses Planungskonzeptes bezieht sich fast ausschließlich auf die Entwicklung und Analyse von Sollwertsystemen. Im Sinne einer Regelkreisplanung werden hierdurch nur in sich abgestimmte Sollwerte vorgegeben, deren Realisierung nunmehr im Sinne einer Mehrfachregelung anzustreben ist. Der gesamte in Abbildung 1 dargestellte Prozeß einer Stellgrößenbestimmung, Störgrößeneinwirkung und Rückkopplung wird damit nicht in die Modellformulierung einbezogen und daher auch nicht im Hinblick auf eine verbesserte Stellgrößenbestimmung am Modell untersucht.

Beschäftigen wir uns vorerst mit dem Problem der Bildung von Sollwertsystemen und gehen daran anschließend der Frage nach, inwieweit es angemessen ist, die Modellbildung wie in den angeführten Beispielen auf das gesamte System zu erweitern.

Sollwerthierarchien können im Rahmen komplexer Definitionssysteme sowohl nach dem Bottom-Up-Verfahren und Top-Down-Verfahren entwickelt werden. Beim Bottom-Up-Verfahren werden die Sollwerte der oberen Hierarchieebenen sukzessive aus den Sollwerten der unteren Ebene ermittelt. Im Rahmen des Top-Down-Verfahrens werden aus einem vorgegebenen obersten Sollwert die Sollwerte der niedrigeren Hierarchieebenen abgeleitet. Das Top-Down-Verfahren ist aufwendiger als das Bottom-Up-Verfahren, weil durch die Vorgabe eines Sollwertes die Menge der alternativ auswählbaren Sollwerte der darunterliegenden Ebenen eingeschränkt wird und diese Einschränkung bei der Festlegung der nachfolgenden Sollwerte berücksichtigt werden muß. Als Beispiel einer Sollwerthierarchie sei das sogenannte Du Pont System angeführt. Die oberste Zielvariable im Rahmen des Du Pont Systems ist die Eigenkapitalrentabilität R, die in die folgenden Definitionsketten aufgespalten wird: (5)

$$\begin{aligned}
 \text{HR} &= \text{VU} * \text{UG} \\
 \text{VU} &= \text{U} / \text{V} \\
 \text{UG} &= \text{G} / \text{U} \\
 \text{G} &= \text{U} - \text{K} \\
 \text{K} &= \text{HK} + \text{VK} + \text{LK} + \text{VWK} \\
 \text{V} &= \text{AV} + \text{UV} \\
 \text{UV} &= \text{VR} + \text{FO} + \text{LM}
 \end{aligned}$$

Mit

R:	Return on Investment	VU:	Vermögensumschlag
UG:	Umsatzgewinn	U:	Umsatz
V:	Vermögen	G:	Gewinn
K:	Kosten	HK:	Herstellungskosten
VK:	Verkaufskosten	LK:	Lagerkosten
VWK:	Verwaltungskosten	AV:	Anlagevermögen
UV:	Umlaufvermögen	VR:	Vorräte
FO:	Forderungen	LM:	Liquide Mittel

Angenommen, es sei von der Unternehmensleitung als Return on Investment $R = 0,20$ festgelegt, so sind die ableitbaren Sollwertalternativen für den Vermögensumschlag VU und den Umsatzgewinn UG aus Gründen der logischen Konsistenz auf die in Abb. 2 den Kurvenzug bildenden Wertepaare eingeschränkt. (6)

Mit absteigender Ebene der Definitionshierarchie ergeben sich entsprechende Einschränkungen der Sollwertkombinationen.

Bei der Anwendung des Top-Down-Verfahrens ist es auch denkbar, daß die Sollwerte nicht unter Vorgabe des obersten Sollwertes sukzessiv abgeleitet werden. Vielmehr besteht auch die Möglichkeit, daß ein Planer im ersten Ansatz ohne eine vorherige Konsistenzprüfung auf

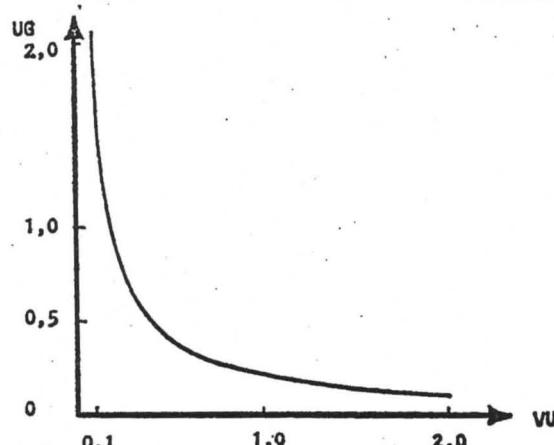


Abb. 2

Kombinationen möglicher Sollwerte zwischen Umsatzgewinn und Vermögensumschlag für eine Sollrentabilität von $R = 0,2$

verschiedenen Ebenen verschiedene Sollwerte (z.B. Sollgewinn und Sollumsatz) angibt und mit Hilfe eines Computerprogrammes geprüft wird, ob sich diese Sollwerte miteinander vereinbaren und ob weitere Sollwerte zusätzlich zu spezifizieren sind. Treten Inkonsistenzen auf, so wird der Planer auf diese aufmerksam gemacht. Ein derartiges Verfahren

wird beispielsweise im Rahmen der Simulationssprache CORPLAN bei einem deutschen Unternehmen der Lebensmittelbranche praktiziert.

Solche Sollwertuntersuchungen knüpfen dabei ausschließlich an bestimmte Definitionssysteme an. Bekanntlich enthalten betriebliche Planungsmodelle einen hohen Anteil von Definitionsgleichungen. In sogenannten "Accounting Models" bestehen teilweise bis zu 95 % aller Gleichungen aus diesem Typ. Unter diesen Umständen kann ein Modell ohne Schwierigkeiten zwei- bis dreihundert Definitionsgleichungen besitzen. Angesichts eines derartigen Umfanges wird ersichtlich, daß die Entwicklung eines Sollwertesystems der Definitionsrößen keine Trivialität ist.

Die praktische Relevanz dieser Sollwertanalysen ist unbestritten.

- Grinyer und Wooler stellten in einer Befragung von 42 Anwendern computergestützter Planungsmodelle fest, daß 23 sogenannte "backwards iterations" durchführten, d.h. alternative Sollwerteruierungen im Rahmen von Sollwertesystemen. (7)
- eine Untersuchung von 38 Planungssprachen durch Grinyer und Wooler ergab, daß 12 Sprachen Programme zur Durchführung von Sollwertanalysen besitzen. (8)

Ein Algorithmus zur Entwicklung konsistenter Sollwertesysteme ist von Stübl aufgezeigt worden und wird in dem von Stübl und Schneider entwickelten betrieblichen Modellierungssystem IFFICUS angewendet. (9)

Die weitere Anwendung eines Computers kann im Rahmen der Sollwertbestimmung der Entwicklung bedingter Sollwerthierarchien dienen. Hier handelt es sich um eine Verfeinerung des beschriebenen Verfahrens der Entwicklung eines hierarchischen Sollwertesystems.

Man kann sich vorstellen, daß es für die Motivation der Entscheidungsträger von ausschlaggebender Bedeutung ist, ob die ihnen vorgegebenen Sollwerte nicht von Umständen abhängen, die sie nicht zu verantworten haben. In einem bedingten Sollwertesystem wird versucht, die Sollrößen in Abhängigkeit von der von einem Entscheidungsträger nicht beeinflußbaren Umständen wie Kaufkraftentwicklung oder Produktionsauslastung zu formulieren. Ein Beispiel ist die Plankostenrechnung, in der die Sollkosten in Abhängigkeit von dem vom Produktionsleiter nicht beeinflußbaren Beschäftigungsgrad formuliert werden. Die Entwicklung eines durch eine Definitionshierarchie miteinander verknüpften Systems von bedingten Sollwerten dürfte ohne die Verwendung eines Rechners mit großen Schwierigkeiten verbunden sein.

Während wir uns bisher nur auf die Festlegung der Sollwerte im Rahmen eines kybernetischen Planungskonzeptes konzentriert haben, wenden wir uns jetzt der Frage zu, welche Zielrichtung eine konsequente Anwendung der Regelkreisplanung besitzen muß: Wenn man die kybernetische Planung in Analogie zu den Planungsmethoden der Regelungstheorie sieht, dann kann ihre Weiterentwicklung nur durch die Forderung erfüllt werden, ein mathematisches Modell des Regelungsprozesses zu entwickeln und dieses Modell zu optimieren. Das erstrebenswerte Endziel einer Regelkreisplanung läßt sich damit in folgender Weise umreissen:

Entwickle ein stochastisches Differenzengleichungsmodell des zu planenden betrieblichen Systems. Bestimme eine als Planungsziel anzustrebende Führungsgröße für eine Zustands-

variable. Interpretiere die Realisation der betreffenden Zustandsvariablen als Regelgröße und die stochastischen Variablen des Modells als Störgrößen, durch deren Auftreten die Abweichungen zwischen Führungs- und Regelgröße (Soll-Ist) bewirkt werden. Deute die Aktionsvariablen des Modells als Stellgrößen, deren Werte in Abhängigkeit von der Soll-Ist Differenz so zu wählen sind, daß diese minimiert wird.

Als Beispiel sei das in Abb. 3 dargestellte Regelsystem eines Lagers angeführt.

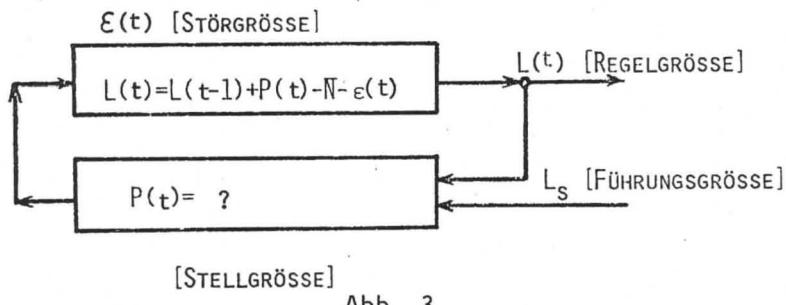


Abb. 3

Lagerhaltungssystem als Regelkreis

$L(t)$ beschreibt den Lagerbestand in Periode t , $N(t)$ die normalverteilte Nachfrage nach Lagergütern, wobei $N(t) = \bar{N} + \epsilon(t)$. \bar{N} repräsentiert den Mittelwert der Normalverteilung, während $\epsilon(t)$ eine normalverteilte stochastische Variable mit dem Mittelwert Null darstellt. L_s stellt die Führungsgröße des Regelkreises dar. In Übereinstimmung mit der Forderung nach Praktizierung einer Regelkreisplanung und in Übereinstimmung mit der Optimierung technischer Regelkreise müßte nunmehr für $P(t)$ eine Entscheidungsvorschrift gefunden werden, welche für einen bestimmten Planungszeitraum die Abweichungen zwischen $L(t)$ und L_s minimiert.

Als Zielgröße kann beispielsweise der Erwartungswert der quadratischen Abweichung gewählt werden. Die Forderung nach einer konsequenten Regelkreisplanung erfordert damit die Entwicklung von Entscheidungsmodellen mit dem Ziel der Fluktuationsminimierung um einen Sollwert. Es fragt sich, ob dieses Endziel einer Regelkreisplanung zugleich auch das Endziel jeder Planung ist. Dies wäre der Fall, wenn Planung, wie einzelne Autoren behaupten, immer eine Regelkreisplanung ist. Um dies zu beurteilen, soll das Konzept der Extremalplanung entwickelt und der Regelkreisplanung gegenübergestellt werden.

3. DIE EXTREMALPLANUNG

Die Extremalplanung geht von der Existenz eines dynamischen Modells eines Betriebes aus. Der dynamische Charakter liegt darin begründet, daß die Realisationen bestimmter Zustandsvariablen der Vorperiode wie Kassen- oder Lagerbestand die Höhe der Zielgröße in den Folgeperiode des Betrachtungszeitraumes beeinflussen. Ist $U(t)$ eine Periodenkomponente der Zielgröße Z wie Periodengewinn oder Periodenkosten, so ist es das Ziel einer Extremalplanung, den Erwartungswert¹⁾ der Summe der Periodenkomponenten über einen vorgegebenen Planungszeitraum zu extremieren, d.h.

$$Z = U(1) + U(2) + \dots + U(T) \rightarrow \text{Extremum}$$

Sind $Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_n(t)$ die Zustandsvariablen des Modells, so kann man im Rahmen der dynamischen Programmierung nachweisen, daß die Wahl einer optimalen Aktionsvariablen

1) Es können auch andere Entscheidungsprinzipien zur Anwendung kommen, die beispielsweise neben dem Erwartungswert auch die Standardabweichung von Z mit einbeziehen.

$A^*(t)$ durch eine Verhaltensvorschrift der Art

$$A^*(t) = F[z_1(t-1), z_2(t-1), \dots, z_n(t-1)]$$

ausgedrückt werden.

Als Beispiel sei das von Holt, Modigliani, Muth und Simon beschriebene Modell einer Farbenfabrik angeführt. (10) Die Aktionsvariablen des Modells sind der Arbeitskräftebestand $ABK(t)$ und die Produktionsmenge $PRM(t)$ im Monat. Der Lagerbestand $LBS(t)$ wird durch die Bestandsgleichung

$$LBS(t) = LBS(t-1) + PRM(t) - N(t)$$

beschrieben. $N(t)$ ist die monatliche Nachfrage. ENAF der Erwartungswert der Nachfrage. Wird $LBS(t)$ negativ, so repräsentiert es die unbefriedigte Nachfrage. Die monatlichen Gesamtkosten $K(t)$ werden durch folgende Gleichung gekennzeichnet:

$$\begin{aligned}
 K(t) = & 340,0 ABK(t) && \text{Arbeitskosten} \\
 & + 64,3 [ABK(t) - ABK(t-1)]^2 && \text{Einstellungs- und Entlassungskosten} \\
 & + 0,2 [PRM(t) - 5,67 * ABK(t)]^2 && \\
 & + 51,2 * PRM(t) - 281 * ABK(t) && \text{Überstundenkosten} \\
 & + 0,0825 [LBS(t) - 320]^2
 \end{aligned}$$

Das Modell enthält zwei Zustandsvariable K und L und zwei Aktionsvariable ABK und PRM . Als Zielgröße Z des Modells soll der Erwartungswert der Stückkosten eines bestimmten Planungszeitraumes T gelten. d.h.:

$$Z = E \left\{ \sum_{t=1}^T K(t) / PRM(t) \right\}$$

Den Autoren gelang es, für einen unendlichen Planungshorizont die in Abb. 4 dargestellten optimalen Entscheidungsregeln für $ABK(t)$ und $PRM(t)$ zu ermitteln.

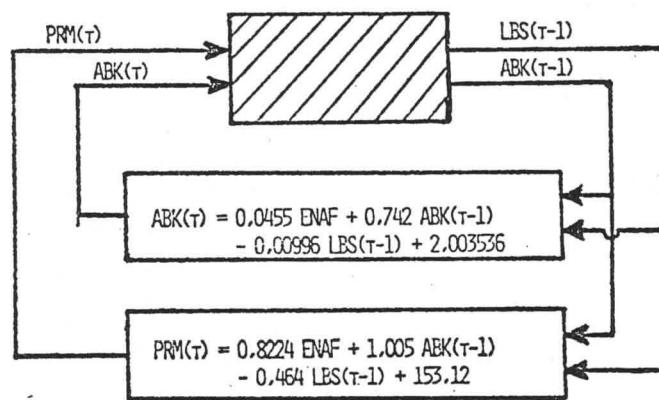


Abb. 4

Praktizierung der von Holt, Modigliani, Muth und Simon ermittelten optimalen Strategie im Falle einer Farbenfabrik

Die Extremalplanung ist mit einem Modell, welches aufgrund der Forderung nach Realisierung einer totalen Regelkreisplanung entwickelt wurde, vergleichbar, weil beiden

Planungskonzepten ein dynamisches stochastisches Modell zu Grunde liegt. Damit liegt die Frage nahe, in welcher entscheidungslogischen Beziehung diese beiden Planungskonzepte zueinander stehen.

4. VERGLEICH DER REGELKREISPLANUNG MIT DER EXTREMALPLANUNG

Der generelle Anwendungszwang einer Regelkreisplanung wäre widerlegt, wenn die Regelkreis- und Extremalplanung nicht miteinander identisch wären. Gerade dies ist aber der Fall. Denn es gibt Systeme, die den Forderungen der Extremalplanung nicht aber den der Regelkreisplanung genügen. Als Beispiel kann das beschriebene Farbenfabrikmodell angeführt werden. Das beschriebene System ist kein Regelkreissystem: es ist keine Sollgröße vorgegeben und die Zielgröße beschreibt kein zu minimierendes Fluktuationsmaß.

Geht man davon aus, daß die Befolgung des ökonomischen Prinzips die Minimierung des Aufwandes oder die Maximierung des Ertrages verlangt, dann ist es schwierig, plausible Beispiele zu finden, in denen sich die Minimierung der Fluktuation um einen Sollwert mit diesem Ziel vereinbart. Eine derartige Vereinbarkeit wäre nur dann möglich, wenn die Minimierung der Fluktuation einer bestimmten Ist-Größe (z.B. des Personal-, Lager- oder Auftragsbestandes) an einen festgelegten Sollbestand ein gewinn- oder kostenkonformes Subziel darstellen würde. Eine Unterstellung, von der zum Beispiel Forrester in seinem Modell der Sprague Electric Company ausgeht.

Wenn die Regelkreisplanung auch in ihrer unbestimmten Fassung ein sehr ansprechendes Planungsverfahren darstellt, so zeigt sich, daß die Verschärfung und totale Anwendung ihres Grundkonzeptes zu einem Dilemma führt. Steht erst ein Modell zur Beschreibung des zu beeinflussenden Systems zur Verfügung, dann hebt sich die Regelkreisplanung (in den meisten Fällen) selbst auf und ist durch eine nicht fluktuationsminierende Extremalplanung der beschriebenen Art zu ersetzen. Der Praktizierung einer über eine Sollwertsystembestimmung hinausgehende computergestützte Regelkreisplanung stehen daher grundsätzliche Bedenken gegenüber.

Umso mehr stellt sich die Frage, welche Aufgabe Computer im Rahmen der Extremalplanung übernehmen können. Das bedeutet konkreter: Welche Möglichkeiten stehen zur Verfügung, unter Verwendung von Computern betriebliche Zusammenhänge durch stochastische Differenzengleichungen zu beschreiben und daran anschließend optimale Entscheidungsregeln abzuleiten? Wenden wir uns zuerst der letzten Frage nach der Entwicklung optimaler Entscheidungsregeln zu. Aus der Theorie mehrstufig stochastischer Prozesse ist bekannt, daß man optimale Strategien zwar unter Verwendung von Computern im Rahmen der dynamischen Programmierung ermitteln kann: Schon bei drei Zustandsvariablen ist die Anzahl der zu speichernden Strategien aber so hoch, daß auch leistungsfähige Rechner diesen "Fluch der Dimension" (Bellmann) nicht zu beheben vermögen. Da betriebliche Planungsmodelle in der Regel eine beträchtlich höhere Anzahl von Zustandsvariablen besitzen, ist die Entwicklung optimaler Entscheidungsregeln zur Zeit nicht möglich.

Die Anwendung von stochastischen Modellen wird auch dadurch erschwert, daß viele Manager

offenbar nicht bereit sind, sich mit stochastischen Problemen vertraut zu machen. Da man bei vielen Zusammenhängen oft keine statistischen Schätzungen vornehmen kann, sondern auf subjektive Wahrscheinlichkeitsschätzungen angewiesen ist, ist dies ein ernsthaftes Problem. Wie Grinyer und Wooler berichten, wurde die Entwicklung stochastischer Modelle bei der Rover Motor Company gestoppt, weil die Unternehmensleitung nicht bereit war, sie zu verwenden. Ähnliche Probleme gab es auch bei der amerikanischen Firma Wells Fargo. (11) Die beiden Autoren fanden in ihren Untersuchungen, daß von 64 Firmen nur 16 u.a. auch stochastische Modelle verwenden, jedoch in nur sehr geringem Umfang. (12) Im Folgenden wollen wir aus den genannten Gründen davon ausgehen, daß allein deterministische Differenzengleichungen zur Beschreibung betrieblicher Systeme und darauf aufbauend zur Entwicklung computergestützter Planungsmodelle Anwendung finden sollen.

Es sei kurz angemerkt, daß dieses Vorgehen eine Parallele in der Entwicklung makroökonomischer Modelle findet. Auch makroökonomische Modelle werden heute fast ausschließlich in "determinisierter Form" angewendet. Dies Verfahren ist nicht unproblematisch. So haben Howery und Kelejian gezeigt, daß im Falle von nichtlinearen Modellen, in denen die stochastischen Variablen durch ihre Erwartungswerte ersetzt werden, der auf diese Weise durch Simulation ermittelte Zeitpfad nicht zwingend mit dem Zeitpfad des Erwartungswertes des ursprünglich stochastischen Modells übereinzustimmen braucht. (13) Wenn die Hypothesengleichungen eines betriebswirtschaftlichen Modells durch statistische Schätzungen ermittelt werden, trifft diese Abweichungsgefahr der Zeitpfade auch für determinisierte betriebliche Planungsmodelle zu.

Ungeachtet dieser Einwände gehen die folgenden Betrachtungen von der Anwendung deterministischer Differenzengleichungsmodelle aus. Unter diesen Voraussetzungen stellt sich erneut die Frage nach dem Einsatz von Computern zur Entwicklung und Anwendung dieser Modelle.

Es sollen drei Fälle der Untersuchung derartiger Modelle mit Hilfe eines Computers unterschieden werden.

Erstens: Man kann eine "Um-Zu-Untersuchung" vornehmen.

Zweitens: Man kann das Modell zu optimieren versuchen und man kann drittens eine "Wenn-Dann-Untersuchung" des Modells durchführen.

Eine "Um-Zu-Untersuchung" geht von der Fragestellung aus: welche Werte der Aktionsvariablen muß ich wählen, um die vorgegebenen Sollwerte einer Anzahl von Zielgrößen zu realisieren. Dieses Verfahren, welches nur im Rahmen eines deterministischen Modells möglich ist, unterscheidet sich von der Sollwertsystementwicklung einer Regelkreisplanung dadurch, daß die Sollwertbestimmung nicht bei den Definitionsgleichungen stehen bleibt, sondern bis zu den Aktionsvariablen durchgeführt wird.

Der Gedanke einer "Um-Zu-Untersuchung" wurde von Tinbergen unter dem Namen "Fixed Target Policy Models" in die Literatur eingeführt und diskutiert. (14) Die Anwendung derartiger Um-Zu-Untersuchungen erhöhen die Durchsichtigkeit eines Planungsansatzes und liefern einem Planer wertvolle Anregungen für seine Entscheidungsfindung.

Der Optimierung deterministischer Betriebsmodelle in Form von Differenzengleichungen sind heute noch relativ enge Grenzen gesetzt. Lineare Modelle wie sie von Jakob, Seelbach

und Max entwickelt wurden, können bei nicht zu großem Umfang im Rahmen der linearen Programmierung gelöst werden. (15) Nichtlineare Modelle dagegen können zumeist nur mit Hilfe nicht zwingend zu einem Optimum führender Suchverfahren analysiert werden. Die Grenzen dieser Verfahren verhindern jedoch trotz beachtlicher Entwicklungen auch heute noch eine weitgehende Anwendung. (16)

Die Untersuchung von Grinyer und Wooler zeigen, daß Optimierungen von Betriebsmodellen äußerst selten vorgenommen wurden. Vorwiegend wurde mit Wenn-Dann-Untersuchungen gearbeitet. (17)

Die geringe Durchführung von Optimierungen mag nicht nur aus der Tatsache resultieren, daß es bisher wenige Verfahren gibt, ihr liegt vielmehr auch die Auffassung zu Grunde, daß die Ungenauigkeit der Modelle die Berechnung eines Optimums zu einem fragwürdigen Zahlenspiel werden lassen. Diese kritische Einstellung gegenüber einer Optimierung ist zugleich mit der Auffassung verbunden, komplexe betriebliche Differenzengleichungsmodelle dienen allein dem Zweck, dem Management ein Verständnis für das Systemverhalten oder "Gefühl für die Auswirkungen von Entscheidungen" zu liefern.

Entsprechend dieser Auffassung soll im Folgenden eine Konzeption präzisiert werden, die als experimentelle Planung bezeichnet wird. Diese Konzeption, die auf der Anwendung von Computern fußt, ist nicht primär entscheidungslogisch, sondern induktionslogisch ausgerichtet, weil sie ein Verfahren aufweist, in dem ein Entscheider durch eine "experimentelle Planung" seinen ursprünglichen Hypothesenansatz verbessern kann.

5. DIE EXPERIMENTELLE PLANUNG

Experimentelle Planungen lassen sich schlagwortartig als Wenn-Dann-Untersuchungen zur Verbesserung von subjektiven Entscheiderhypothesen bezeichnen. Ziel einer experimentellen Planung ist es, das subjektive Situationsbild eines Entscheiders durch ein symbolsprachliches Modell auszudrücken, es logisch konsistent und in der Glaubwürdigkeitsbeurteilung des Entscheiders stimmig zu machen. Mit Hilfe derartiger Symbolmodelle, die das subjektive Vorstellungsbild des Entscheiders im Hinblick auf die Auswirkungen alternativer Maßnahmen zum Ausdruck bringen, wird schließlich die Zielerfüllung zu beurteilen versucht.

Diese gedrängte Kennzeichnung des Verfahrens soll anhand des in Abb. 5 dargestellten Flußdiagrammes und ergänzender Bemerkungen detailliert werden.

Die Phase der Entscheidergewinnung ist keine selbstverständliche Voraussetzung, sondern deswegen von Bedeutung, weil das gesamte Planungsverfahren auf der Person des Entscheiders fußt. Denn ein wesentlicher Teil des Planungsvorganges besteht darin, das (subjektive) Vorstellungsbild des Entscheiders stimmig zu machen.

Die Phase der Hypothesenaufstellung zeichnet sich dadurch aus, daß der Entscheider aus den konkurrierenden Hypothesen diejenige auswählt, der er die höchste subjektive Wahrscheinlichkeit beimißt.

Beispielsweise kann ein Entscheider zu dem Ergebnis kommen, daß der für ein Produkt gel-

tende Zusammenhang zwischen dem Preis und der abgesetzten Menge durch einen bestimmten Funktionsverlauf beschrieben werden kann. In Übereinstimmung mit dem Urteil des Entscheiders wird diese subjektiv geschätzte Hypothese als Entscheiderhypothese ausgewählt und im Rahmen einer Simulationssprache symbolisiert. In gleicher Weise werden weitere Hypothesen über bestimmte Systemzusammenhänge ermittelt, bis man letztlich zu einem Hypothesensystem gelangt, welches das vom Entscheider zu beeinflussende System beschreibt. Es liegt die Frage nahe, welche Beziehungen zwischen dieser Art der Hypothesengewinnung und der Gewinnung von Hypothesen anhand statistischer Schätzungen bestehen. Grundsätzlich gilt: dieses Verfahren der Hypothesengewinnung schließt es nicht aus, daß durch statistische Methoden gewonnene Hypothesen in den Katalog der Entscheiderhypothesen mitaufgenommen werden. Beispielsweise hat Palda den Zusammenhang zwischen Umsatz $U(t)$ und Werbeausgaben $W(t)$ eines von einer Konservenfabrik erstellen Produktes durch folgende anhand statistischer Schätzungen gefundene Hypothese beschrieben: (18)

$$U(t) = 212 + 0,628U(t-1) + 0,537W(t)$$

Würde der für diese Firma zuständige Entscheider aufgefordert, die seiner Meinung nach glaubwürdigste Hypothese über den Zusammenhang zwischen dem Umsatz und den Werbeausgaben mitzuteilen, dann läge es nahe, daß er die oben angeführte Hypothese übernimmt. Entschließt er sich jedoch, eine andere seiner Meinung nach glaubwürdigere Hypothese mitzuteilen, dann würde im Sinne der vorgetragenen Konzeption allein diese als Entscheiderhypothese zur Kenntnis genommen. Es wird also von einer Priorität der subjektiven Schätzung gegenüber einer statistischen Schätzung ausgegangen.

Im allgemeinen darf man jedoch unterstellen, daß unstrittige und bekannte technologische Zusammenhänge, wie zum Beispiel bestimmte Verbrauchsfunktionen, ohne Änderungen von einem rationalen Entscheider übernommen werden. Dies ist auch deswegen wahrscheinlich, weil in vielen Fällen der Begriff des Entscheiders nicht als eine Person, sondern als die endgültige Meinungsäußerung eines Entscheidungsgremiums zu verstehen ist. Bevor dieses Gremium entsprechend seinen Beschußregeln als "Entscheider" seine glaubwürdigsten Hypothesen mitteilt, findet zumeist zwischen den Gremienmitgliedern eine Diskussion über den Glaubwürdigkeitsgrad konkurrierender Hypothesen statt. In derartigen Diskussionen werden sich (wahrscheinlich?) die Hypothesen als überlegen erweisen, die durch statistisches Datenmaterial und empirische Untersuchungen am stärksten abgesichert sind.

Die Phase der logischen Konsistenzprüfung dient dazu, dem Entscheider Widersprüche zwischen seinen Hypothesen vor Augen zu führen und diese so zu modifizieren, daß sie widerspruchsfrei werden.

Ein Entscheider hat beispielsweise eine bestimmte Hypothese über die Preis-Absatz-Funktion eines Erzeugnisses formuliert. Weiterhin behauptet er, daß ein Umsatz von 10 Millionen das im Höchstfalle erreichbare Niveau sei. Zeigt sich nunmehr bei Akzeptierung der Preis-Absatz-Funktion, daß es Preisfestlegungen gibt, in denen der Umsatz über 10 Millionen steigt, dann liegt ein Widerspruch vor.

Die bisherige Darstellung unterscheidet sich, abgesehen von der geforderten Priorität

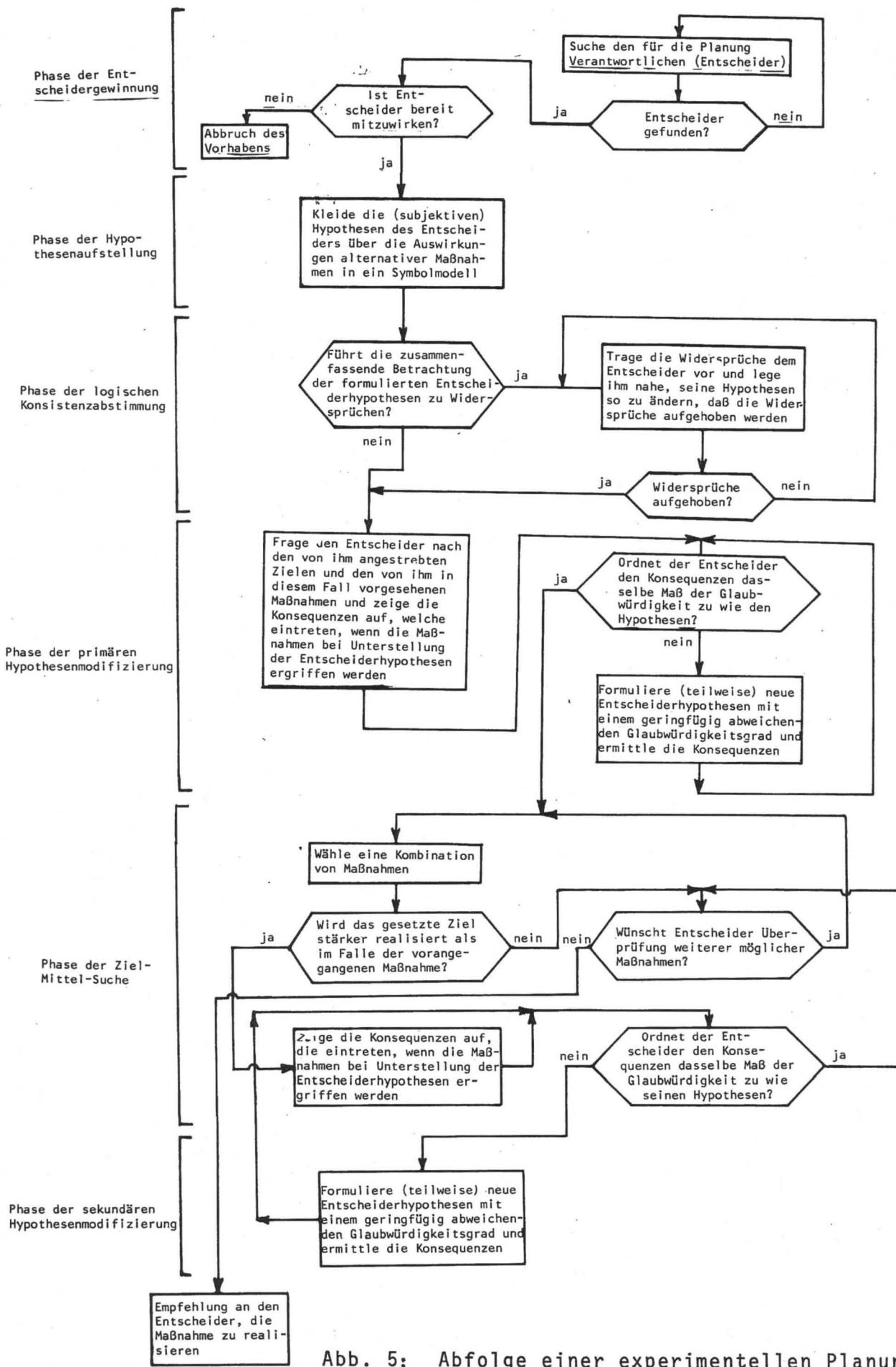


Abb. 5: Abfolge einer experimentellen Planung

der Subjektivität, nicht wesentlich von den üblichen Phasen einer Modellentwicklung. Unterstellen wir nunmehr, daß auf die beschriebene Weise ein Simulationsmodell entwickelt worden sei, und ein Entscheider mit einem solchen Modell im Rahmen eines Dialogsystems "Wenn-Dann-Untersuchungen" vornimmt, dann kann man sich die (vielleicht naiv klingende) Frage stellen: Welchem Zweck dienen derartige Wenn-Dann-Untersuchungen? Sie können zum einen dazu dienen, die Auswirkungen bestimmter Aktionsvariablen zu ermitteln. Diese Bestrebungen, sobald sie stärker formalisiert werden, münden in die Entwicklung von Suchverfahren. Andererseits kann eine Wenn-Dann-Untersuchung auch dazu dienen, einen ursprünglichen Modellansatz zu "verbessern".

Dieser Gedanke, der mehr oder weniger deutlich gerade im Hinblick auf die Untersuchung eines Modelles im Rahmen von Dialogsystemen geäußert wird, soll im folgenden so rekonstruiert werden, daß die Möglichkeiten und Grenzen eines solchen Verfahrens durchsichtiger werden.

Der Prozeß, der zu einer Verbesserung eines ursprünglichen Modellansatzes führen soll, wird als Phase der primären und sekundären Hypothesenmodifizierung bezeichnet. Vorab seien kurz einige grundsätzliche Bemerkungen zur Verbesserung einer Hypothese vorgenommen. Die Verbesserung einer Hypothese vollzieht sich im allgemeinen im Lichte neuer Informationen: Die Annahme einer bestimmten Preis-Absatzfunktion ändert sich möglicherweise, wenn bekannt wird, daß die Konkurrenz ein neues Produkt auf den Markt gebracht hat. Präziser gefaßt bedeutet dies: Es wird eine Modifizierung der Glaubwürdigkeitsgrade der konkurrierenden Hypothesen einer Preis-Absatzfunktion durch den Entscheider vorgenommen, möglicherweise mit der Konsequenz, daß einer anderen Ausprägung der Preis-Absatzfunktion die höchste Glaubwürdigkeit beigemessen wird.

Der Versuch, diese Modifizierung von Glaubwürdigkeitsgraden konkurrierender Hypothesen als ein rationales normatives Verfahren zu fassen, kommt in dem Bayesschen Theorem zum Ausdruck.

In der Regel werden sich Entscheider bei der Umbewertung ihrer Hypothesen nicht nach dem Bayesschen Theorem richten, in ihren Köpfen werden aber bestimmte (bisher unbekannte) Modifizierungsmechanismen zum Tragen kommen. Eine derartige rationale oder irrationale Modifizierung der Glaubwürdigkeitsgrade setzt jedoch stets voraus, daß dem Entscheider neue Informationen zufließen. Wie sollte sonst eine "Verbesserung" der Hypothesen möglich sein? Im Falle der hier beschriebenen Methode der "Hypothesenverbesserung" fließen dem Entscheider jedoch keine neuen Informationen zu. Der Informationsstand des Entscheiders soll sich vielmehr seit Beginn der ersten Planungsphase nicht verändert haben. Die dennoch angestrebte "Verbesserung" des Ansatzes basiert auf der Ermittlung bestimmter Konsequenzen, die sich immer dann einstellen, wenn die ermittelten Entscheiderhypothesen wahr sein sollten. Es handelt sich um Konsequenzen, die ein Entscheider durch seine Hypothesen zwar mitbehauptet hat, deren zwingender "Mitgültigkeit" er sich aber während der Hypothesenformulierung nicht bewußt war.

Diese Konsequenzen werden dem unveränderten Informationsstand des Entscheiders gegenübergestellt. Wenn der Entscheider einer aufgedeckten Konsequenz K, fußend auf seinem unver-

änderten Informationsstand, einen Glaubwürdigkeitsgrad zuordnet, welcher erheblich von dem Glaubwürdigkeitsgrad abweicht, den er seiner Entscheiderhypothese H beigemessen hat, dann ergibt sich ein Widerspruch. Denn akzeptiert man den Glaubwürdigkeitsgrad der Hypothese (oder des Hypothesensystems) und ist K eine zwingende Konsequenz von H , so muß auch K aus logisch zwingenden Gründen derselbe Glaubwürdigkeitsgrad beigemessen werden. Treten derartige Widersprüche bei einer Konsequenzenaufdeckung zu Tage, dann bietet sich das skizzierte Verfahren einer Hypothesenverbesserung an. Der Grundgedanke soll kurz an einem einfachen Beispiel demonstriert werden:

Der Entscheider hält zwei konkurrierende Hypothesen H_1 und H_2 für erschöpfend. H_1 mißt er einen Glaubwürdigkeitsgrad von $2/3$, H_2 von $1/3$ an. Aus H_1 bzw. H_2 werden die Konsequenzen K_1 bzw. K_2 ermittelt. Der Entscheider wird gefragt, welche Glaubwürdigkeitsgrade er K_1 und K_2 beimißt. Angenommen, er ordnet K_1 die Glaubwürdigkeit $1/3$ und K_2 die Glaubwürdigkeit $2/3$ zu, dann zeigt sich der bereits beschriebene Widerspruch.

Der Entscheider wird auf diesen Widerspruch aufmerksam gemacht und gebeten, seine Glaubwürdigkeitsbeurteilungen noch einmal zu überdenken. Er wird nunmehr versuchen, sein subjektives Situationsbild auch in Bezug auf die Glaubwürdigkeitsgrade stimmig zu machen.

Im Fall des angeführten Beispieles gibt es hierzu verschiedene Möglichkeiten. Eine dieser Möglichkeiten besteht darin, daß der Entscheider angesichts der hohen Glaubwürdigkeit von K_2 zu der Auffassung kommt, daß H_2 "doch" eine größere Glaubwürdigkeit beizumessen sei als H_1 und damit im Gegensatz zum ersten Ansatz H_2 als Entscheiderhypothese zu wählen sei. Dieses hier zum Ausdruck kommende Verfahren der Hypothesenmodifizierung durch Glaubwürdigkeitsabstimmungen von Hypothesen und Implikationen erhält seine Begründung mit der Akzeptierung der Annahme, daß ein in den Glaubwürdigkeitszuordnungen stimmiges Vorstellungsbild eines Entscheiders "besser" (oder genauer: wirklichkeitsnäher) ist als ein unstimmiges Vorstellungsbild. Im Normalfall dürfte ein Modell aber nicht nur aus einer sondern aus mehreren Hypothesen mit unterschiedlichen Glaubwürdigkeitsgraden bestehen. In diesem Fall kann man von dem Grundsatz ausgehen, daß der Glaubwürdigkeitsgrad der Konsequenz nicht geringer sein darf als der Glaubwürdigkeitsgrad der Hypothese unter den Prämissen mit dem geringsten Glaubwürdigkeitsgrad. Problematisch ist jedoch, unter welchen Umständen man in diesem Fall von einer Stimmigkeit der Glaubwürdigkeitsgrade sprechen kann.¹⁾

In der praktischen Anwendung wird ein Entscheider sicher nicht nach seinen numerischen Glaubwürdigkeitsgräden gefragt. Diese scharfe Fassung diente nur zur klaren Verdeutlichung des Verfahrens. Im allgemeinen wird man nur den Entscheider fragen, wie er die Glaubwürdigkeit einer Konsequenz beurteilt und ob er im Hinblick auf seine ursprüngliche Hypothese die Glaubwürdigkeit der Konsequenz zu akzeptieren bereit ist.

Das skizzierte Verfahren ist auch nur dann relevant, wenn tatsächlich erhebliche Differenzen in den Glaubwürdigkeitsgraden auftreten. Dies setzt wiederum voraus, daß die aufgedeckten Konsequenzen dem Entscheider nicht von vornherein bewußt waren. Der Fall nicht bekannter Konsequenzen eines hypothetischen Ansatzes hängt im wesentlichen von der Komplexität des vorliegenden Hypothesensystems ab. Daher dürfte die Fruchtbarkeit des

1) Vernünftig ist es beispielsweise anzunehmen, daß die Änderungsraten der Glaubwürdigkeitsgrade der Modellhypothesen und -konsequenzen gleich sein müssen.

beschriebenen Verfahrens einer Hypothesenmodifizierung mit wachsender Komplexität der hypothetischen Zusammenhänge zunehmen.

Als einfaches Beispiel sei die Planung einer Unternehmung angeführt, deren Zielgröße in Form des sogenannten Return on Investment auf die bereits erörterten hierarchisch gegliederten Definitionsgleichungen zurückgeführt werden kann. Wird ein bestimmtes Investitionsvorhaben geplant, so führt dies zu bestimmten Änderungen der definitorischen Grundgrößen wie Umsatz, Anlagevermögen, Gewinn, Umlaufvermögen, etc. Zeigt es sich beispielsweise, daß im Rahmen der unterstellten Hypothesen ein Return on Investment von $R = 40\%$ eintreten würde, und hält der Entscheider diese Konsequenz "für völlig unwahrscheinlich", so ist zu überlegen, welche Hypothesen oder Schätzwerte zu modifizieren sind oder ob die Konsequenz bei näherer Betrachtung nicht doch wahrscheinlicher ist als ursprünglich angenommen wurde. In einem anderen Fall hat man die Verzögerungscharakteristik zwischen Bestellungen und Liefereingängen sowie Fertigungs-ein- und -ausgängen ermittelt. Ermittelt man nunmehr durch Simulation die Verzögerungscharakteristik dieser beiden kaskadierenden Systeme und ergibt sich eine "unwahrscheinliche" Verzögerungscharakteristik, so kann entsprechend dem geschilderten Verfahren vorgegangen werden.

Derartige Konsequenzeneruierungen können in praktisch relevanten Fällen nur mit Hilfe von Computersimulationen durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Technik kann das hier skizzierte Verfahren der Glaubwürdigkeitsabstimmung zwischen Prämissen und Konsequenzen erst zu seiner vollen Entfaltung kommen. In Anbetracht der Tatsache, daß der Engpaß jeder betrieblichen Modellentwicklung durch das Fehlen zuverlässiger Hypothesen bedingt ist, ist jede Möglichkeit zu einer besseren Hypothesenfindung zu nutzen. Unter diesem Aspekt ist der vorliegende Versuch zu sehen, die Wenn-Dann-Untersuchungen eines Modelles an einem Rechner als ein induktionslogisch akzeptables Verfahren der Hypothesenverbesserung zu rekonstruieren.

Man sollte allerdings die an eine experimentelle Planung zu stellenden Erwartungen nicht allzu hoch ansetzen. Wenn ein Entscheider falsche Vorstellungen über die zu beschreibenden Zusammenhänge besitzt, so ist auch ein auf ihrer Grundlage entwickeltes Symbolmodell falsch und die ermittelten Konsequenzen nicht zwingend richtig. Andererseits müssen Entscheider aber Entscheidungen treffen, ohne daß sie vorher wissen, ob ihr Vorstellungsbild total oder nur "ein wenig" falsch ist. In solchen Situationen kann sich die experimentelle Planung als eine methodische Hilfe zur Ordnung des Gedankenfeldes eines Entscheider erweisen.

Literatur

- (1) Kromschröder, B., Ansätze zur Optimierung des Kontrollsystems der Unternehmung, Berlin 1972, S. 21
- (2) s. Pugh, A., DYNAMO-Users Manual, 5. ed., Cambridge 1976
IBM Form SH 19-7001-2 Continuous System Modelling Program III (CSMP III) Program Reference Manual, Ontario Canada 1972
Zwicker, E., Kurshandbuch: Praktische Anwendung von System Dynamics am Beispiel einzelbetrieblicher Modelle, TU Berlin, 1974
- (3) Baetge, J., Betriebswirtschaftliche Systemtheorie, Opladen 1974
Simon, H.A., On the Application of Servomechanism Theory in the Study of Production Control, in: Econometrica 20 (1952), S. 247 - 268
- (4) s. Forrester, J.W., Industrial Dynamics, Cambridge 1965, S. 208 ff.
- (5) s. Weston, F.J., Management Finance, New York 1962
- (6) Vgl. hierzu Zwicker, E., Möglichkeiten und Grenzen der betrieblichen Planung mit Hilfe von Kennzahlen, im ZfB 46 (1976), S. 226 - 244
- (7) Grinyer, P.H., Wooler, J., Corporate Models Today, A New Tool for Financial Management, London 1975, S. 205
- (8) dieselben, S. 252 ff.
- (9) s. Stübel, G., Methodologische und Softwareengineering orientierte Untersuchungen für ein Unternehmensmodell verschiedener Strukturiertheitsgrade, Diss. Stuttgart 1975, S. 119 ff. Dieses Programmsystem ist an der TU-Berlin implementiert.
- (10) Vgl. Holt, C.C., Modigliani, F., Muth, J.F., Simon, H., Planning Production, Inventory and Work Force, New York 1960, S. 51 ff.
- (11) Grinyer, P.H., Wooler, J., a.a.O., S. 27 f.
- (12) Dieselben, S. 205
- (13) Howery, P., Kelejian, H.H., Simulation versus Analytical Solutions, in: Naylor, T.H., (Hrsg.) The Design of Computer Simulation Experiments, Durham 1969
- (14) Tinbergen, J., On the Theory of Economic Policy, Amsterdam 1955
- (15) s.z.B. Jacob, H., Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, in: ZfB 34 (1964) S. 487 ff. und S. 551 ff.
- (16) s. Wilde, D.J., Optimum Seeking Methods, Englewood Cliffs 1964
Buffa, E.S., Taubert, W.H., Evaluation of Direct Computer Search Methods for the Aggregate Planning Problem, in: Industrial Management Review, Fall 1976, S. 20 ff.
Krallmann, H., Heuristische Optimierung von Simulationsmodellen mit dem Razor Search Algorithmus, Diss. Mannheim 1976
- (17) Grinyer, P.H., Wooler, J., a.a.O., S. 204
- (18) Palda, K.S., The Measurement of Cummulative Advertising Effect, Englewood 1964