



**AgEcon** SEARCH  
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

---

Hanf, E.: Mathematische Modelle als Entscheidungshilfen bei Unsicherheit – Gegenwärtiger Stand, neuere Entwicklungen. In: Langbehn, C., Stamer, H.: Agrarwirtschaft und wirtschaftliche Instabilität. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 13, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1976), S. 93-105.

---



# MATHEMATISCHE MODELLE ALS ENTSCHEIDUNGSHILFEN BEI UNSICHERHEIT - GEGENWÄRTIGER STAND, NEUERE ENTWICKLUNGEN

von

E. Hanf, Hohenheim

---

1	Entscheidungsproblem, -prozeß, -modell	93
2	Mathematische Modelle als Entscheidungshilfen	98
2.1	Simultane Planungs- und Entscheidungsmodelle	98
2.2	Getrennte Modelle für Planung und Entscheidung	100
2.3	Differenzierte Modelle	101
3	Charakterisierung neuerer Entwicklungen	101

---

Planung und Entscheidung mittels mathematischer Methoden bzw. Modelle gehören in den Bereich der vorbeugenden Maßnahmen. Nach vorausgegangenen, teilweise Kapazitäten bindenden Entscheidungen dient Planung der Effizienzsteigerung der Anpassung (MELLWIG, 1972) an veränderte bzw. sich verändernde Umweltsbedingungen. Planung ist eine in die Zukunft gerichtete Aktivität des Unternehmers und daher stets mit der Problematik der Prognostizierbarkeit der Planungsbedingungen verknüpft. Agrarische Planungsprobleme sind im allgemeinen - von Teilbereichskalkulationen sei abgesehen - "simultane Produktions- und Investitionsplanung" (PETERS, 1971).

## 1 Entscheidungsproblem, -prozeß, -modell

Nach allgemeiner Ansicht besteht ein Entscheidungsproblem, wenn

1. ein wirtschaftendes Subjekt über knappe Ressourcen verfügt und
2. die Macht hat, diese Ressourcen in verschiedenen Projekten bzw. Alternativen zu beschäftigen bzw. einzusetzen,
3. auf Grund der Knappheit nicht alle Alternativen realisiert werden können, also eine Wahl getroffen werden muß.
4. Darüber hinaus muß das Subjekt mit dem Einsatz der Ressourcen ein Ziel verfolgen,
5. dem Entscheidenden eine ökonomisch relevante Umwelt gegenüberstehen, deren Zustand im Realisierungszeitpunkt nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden kann.
6. Das Subjekt muß Vorstellungen über den Zielerreichungsgrad haben, der erreicht wird, wenn eine der Alternativen mit einem der möglichen Umweltzustände zusammentrifft.

Demgemäß sind die Konstituenten eines Entscheidungsproblems (MENGENS, 1969):

1. der "Entscheidungsträger" mit Verfügungsgewalt über knappe Ressourcen und einer Zielvorstellung,
2. ein "Aktionenraum", die Menge der Handlungsalternativen,

3. eine Menge von möglichen zukünftigen Umweltzuständen, der "Zustandsraum der Umwelt", und
4. eine Zuordnung, die jedem Zusammentreffen einer Alternative mit einem bestimmten Umweltzustand ein "Ergebnis" bzw. einen "Nutzen" zugeordnet, die "Ergebnis- oder Nutzen-Matrix".

Die Konstituierung der Alternativen und Feststellung der nötigen Inputs und möglichen Outputs heißt "Planung", die Auswahl einer Aktion zur Realisierung heißt "Entscheidung".

Je nach der verfügbaren Information über die Umweltzustände unterscheidet man Entscheidung (SCHNEEWEISS, 1967).

1. "bei Sicherheit", wenn die Menge der Umweltzustände aus genau einem Element besteht,
2. "bei Risiko", wenn über der Menge der Umweltzustände eine Wahrscheinlichkeitsverteilung bzw. eine Dichtefunktion bekannt ist (auch Unsicherheit i.e.S.),
3. "bei Unsicherheit", wenn die Menge der Umweltzustände bekannt ist, aber nur
  - 3.1 subjektive "Vermutungen" über die Parameter der Verteilung quantifiziert werden können, bzw.
  - 3.2 wenn keinerlei Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich sind (auch Ungewißheit i.e.S.).

Die für Modelle des Entscheidungsprozesses relevanten Eigenschaften der Konstituenten des Entscheidungsproblems wurden bereits ausführlich dargestellt, hier nur eine kurze Skizzierung.

Die Menge der als relevant angesehenen Umweltzustände kann einerseits eine Menge diskreter Zustandsvektoren sein, andererseits – und das trifft für die meisten ökonomisch relevanten Umweltmerkmale zu – ein zwar begrenzter, aber kontinuierlicher Teilraum eines Vektorraums sein.

Im ersten Fall können Wahrscheinlichkeiten der "Ereignisse" bekannt sein, im zweiten Fall die Parameter einer multivariaten Verteilung, z.B. eine Multinormalverteilung. Beruhen die Quantifizierungen auf subjektiven Einsichten des Entscheidungsträgers, dann ist es im Hinblick auf das Entscheidungsproblem relevant, zu wissen, ob im Laufe des Realisierungsprozesses Informationen über die Umweltentwicklung gewonnen werden können – und damit eine Verbesserung der Ausgangsinformation möglich ist – oder nicht.

Der Aktionenraum kann ebenfalls sowohl eine Menge diskreter Aktionen, als auch ein kontinuierlicher Vektorraum sein. Die Aktionen ihrerseits können vom Planungszeitpunkt bis zum Planungshorizont zusammenhängende Ketten von Aktionen, Handlungsfolgen sein, d.h. simultan in der Zeit bzw. von Entscheidungszeitpunkt zu Entscheidungszeitpunkt wählbare Einzelaktionen, d.h. diskret in der Zeit.

Die Entscheidungssituationen bzw. -probleme differieren ebenfalls. Sucht man für einen vorgegebenen Planungszeitraum eine einzige zu realisierende Folge von Aktionen, so spricht man von einem einstufigen Prozeß. Sind zu verschiedenen aufeinanderfolgenden Entscheidungszeitpunkten alternative Aktionen realisierbar, so spricht man von mehrstufigen bzw. sequentiellen Prozessen (LAUX, 1971). Dabei kann eine Folge stets identischer Aktionenmengen vorliegen bzw. können den verschiedenen Entscheidungszeitpunkten unterschiedliche Aktionenmengen – insbesondere Anpassungsreaktionen – zugeordnet sein. Darunter wäre hier auch der bereits erwähnte Fall der Reaktionen auf zu Beginn des Planungs- und Entscheidungsprozesses noch unbekanntes Zukunftsentwicklungen zu summieren, d.h., daß variable Aktionenräume vorliegen können. In mehrstufigen Entscheidungsprozessen besteht grundsätzlich die Möglichkeit, anfallende Informationen zu verarbeiten. Dies kann im Sinne klassischer Statistik durch Bildung einer jeweils neuen Ausgangsinformation geschehen bzw. im Sinne der Bayesschen Statistik als beobachtungsbedingte Verbesserung von subjektiven a-priori-Hypothesen über die Parameter der Verteilungen über dem Zustandsraum. Im letzten Falle der mehrstufigen Entscheidungsprozesse bei Informationsverarbeitung mit dem Bayesschen Theorem (MORGAN, 1968) spricht man von adaptiven Prozessen (BELLMANN, 1967; GRIESE, 1972; MURPHY, 1965; STURM, 1970; WEBER, 1970).

Die Eigenschaften des Zustandsraumes, des Aktionenraumes und des Entscheidungsproblems bzw. deren Kombinationen haben Einfluß auf den Bau der sie abbildenden Modelle. Innerhalb der jeweiligen Konstituente sind diese Eigenschaften nicht unabhängig voneinander, aber sie können im Zu-

sammenspiel der drei Komponenten Umwelt, Alternativen, Problem nahezu beliebig kombiniert auftreten. Entsprechend vielfältig sind die mathematischen Modelle.

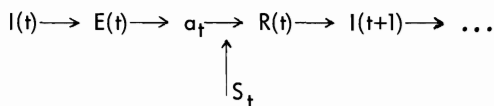
Bemerkt wurde bereits: Agrarplanungen sind simultane Produktions- und Investitionsplanungen. Daraus ergeben sich für die Modelle der Planung und Entscheidungsfindung Konsequenzen:

1. Sie müssen – auf welche Weise auch immer – die Unsicherheit der Prognosen zukünftiger Daten berücksichtigen. Die Vergangenheit des Planungsobjektes und seiner Umwelt liefert gewisse "sichere" Informationen über beobachtbare Abläufe bzw. Entwicklungen. In der Gegenwart, in der die Entscheidung erforderlich ist, wird diese Information zu Prognosen bzgl. der Entwicklung planungsrelevanter Daten des Objektes bzw. der Umwelt verarbeitet.
2. In den meisten Fällen werden die Folgen einer Entscheidung mehrere Produktionsperioden wirken. Die Modelle sollten also dynamisch sein, um zeitliche Interdependenzen zu berücksichtigen.
3. Im Planungszeitraum finden entweder sich wiederholende gleichartige Entscheidungen statt bzw. – was auf mehr Probleme zutrifft – zu gewissen Zeitpunkten ist Anpassung an die tatsächlich eintreffende Umweltsituation möglich. Die Modelle sollten also mehrstufig sein.
4. Das Objekt und seine Umwelt sind beobachtbar. Die anfallenden Informationen können verwendet werden. Sie beeinflussen die Planung, d.h. die Konstituierung der zukünftigen Aktionsräume im Sinne einer Verbesserung bzw. Sicherung des Zielerreichungsgrades und verändern die Prognosen für die zukünftigen Entwicklungen.

Die Modelle können daher als Regelungs-System im Sinne der Systemtheorie und insbesondere als Modelle adaptiver Prozesse verstanden werden.

Im folgenden soll diese Auffassung des Entscheidungsprozesses genauer beschrieben werden.

1. Ein gegebener Informationsstand zum Zeitpunkt  $t$ ,  $I(t)$ , ermöglicht eine Entscheidung  $E(t)$ , die bewirkt, daß aus dem zur Zeit  $t$  verfügbaren Aktionsraum  $A(t)$  eine Aktion  $a_t$  realisiert wird. Im Realisierungszeitraum  $t$ , das ist die zwischen den Entscheidungszeitpunkten  $t$  und  $t+1$  liegende Periode, ereignet sich eine Umwelt  $S_t$ . Durch Zusammenwirken von  $S_t$  und  $a_t$  ergibt sich ein am Objekt beobachtbares Resultat  $R(t)$ , z.B. eine Messung des Zielerreichungsgrades, aber auch Veränderungen der technischen Gegebenheiten des Objektes, Kapazitätenänderungen u.a.m.. Das Zusammentreffen der Kombination Umweltzustand-Aktion ( $a_t, S_t$ ) und des Resultats  $R(t)$  bewirken eine Änderung des Informationsstandes,  $I(t+1)$ , und ermöglichen eine Reaktionsentscheidung.



Dabei ist anzumerken, daß die Zeitpunkte  $t, t+1, \dots$  nicht notwendig äquidistant sind. Sie treten im Sinne der Entropie-Zeit-Definition (MURPHY, 1965) dann ein, wenn

- 1.1 Veränderungen der Umwelt feststellbar und meßbar werden, und/oder wenn
- 1.2 Resultate der Aktionen beobachtbar und verfügbar werden, und wenn
- 1.3 Eingriffsmöglichkeiten in den Prozeß- (bzw. System-)ablauf möglich sind.
2. Die Entscheidung in  $t$  hängt ab vom Informationsstand
  - 2.1  $E(t) = h(I(t))$   
Der Informationsstand  $I(t)$  seinerseits ist ein Datenvektor
  - 2.2  $I(t) = (V(t), R(t-1), A(t), Z(t), ER(t))$ .  
Dabei ist  $V(t)$  die Vergangenheit der Umwelt, also

$$2.3 \quad V(t) = (S_{t-i} / i=1, \dots, t),$$

$R(t-1)$  das Resultat der vorausgegangenen Entscheidung und eine Funktion der vergangenen Aktionen-Ereignis-Kombinationen,

$$2.4 \quad R(1-t) = f((a_{t-i}, S_{t-i}) / i=1, \dots, t).$$

Ferner ist  $A(t)$  der zur Zeit  $t$  verfügbare Aktionsraum, das sind Handlungspläne für den auf  $t$  folgenden Planungszeitraum, die Aktionen  $a_t$  sind in der Regel Anpassungsreaktionen an veränderte Umweltbedingungen zur Verbesserung bzw. Sicherung des Zielerreichungsgrades, die als Folge der vorausgegangenen Entscheidung  $E(t-1)$  in  $t$  erforderlich werden,

$$2.5 \quad A(t) = \{a_t\} = h((a_{t-i}, S_{t-i}) / i=1, \dots, t),$$

sie hängen ab von den Bedingungen, die durch die zurückliegend realisierten Aktionen und Ereignisse geschaffen worden sind.

$Z(t)$  ist die auf Grund der Vergangenheit der Umwelt und unter Umständen (nach Bayes) in Abhängigkeit von zurückliegenden Prognosen gebildete Vorausschau möglicher Zukunftsentwicklungen

$$2.6 \quad Z(t) = f((S_{t-i}, Z(t-i)) / i = 1, \dots, t).$$

$ER(t)$  sind die bei Zusammentreffen der Aktion  $a_i$  und der Umweltprojektion  $Z_i$  erwarteten Resultate  $e_{ij}$ ,

$$2.7 \quad ER(t) = (e_{ij} = f(a_i, Z_i), (a_i, Z_i) \text{ aus } A(t) \times Z(t)).$$

In neuerer Zeit bilden "system"-analytische und "system"-theoretische Überlegungen einen gewichtigen Gesichtspunkt der Planungsforschung. Hier seien nur drei Hinweise auf den System-Charakter des Planungs-Entscheidungs-Prozesses gegeben:

1. Entscheidungsträger, Objekt und Umwelt bilden ein dynamisches Regelsystem (FORRESTER, 1972).  
Geht man davon aus, daß von einzelbetrieblichen Entscheidungen keine nennenswerten Wirkungen auf die relevante ökonomische Umwelt der Preise, der Ertragsschwankungen etc. ausgehen, dann ist diese Umwelt im System eine stochastische Störgröße. Den Regelungscharakter des Systems beschreiben die Abhängigkeiten 2.1 und 2.2: sich ändernde Information bewirkt eine Änderung der Handlungsfolge zur Verbesserung bzw. Sicherung des Zielerreichungsgrades.
2. Umweltänderungen bewirken Informationsveränderungen, daraus resultieren Korrekturänderungen im Aktionsraum. In dieser Kurzfassung des Prozesses nähern wir uns begrifflich dem Gegenstand der Systemtheorie i.e.S., nämlich den Systemen von Differenzen bzw. Differentialgleichungen.
3. Faßt man Entscheidung und Realisierung zusammen,

$$E(t) \longrightarrow a_t = ED(t),$$

dann wird durch

$$3.1 \quad I(O) \longrightarrow ED(O) \longrightarrow R(O)$$

↑  
 $S_O$

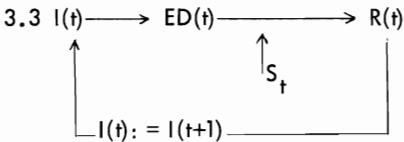
ein einmaliger, einstufiger, statischer Entscheidungsprozeß beschrieben.

$$3.2 \quad I(O) \longrightarrow ED(O) \longrightarrow R(t)$$

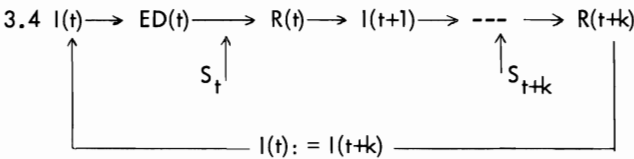
↑     ↑     ...     ↑  
 $S_O$     $S_1$      ...      $S_t$

stellt einen einmaligen, einstufigen, dynamischen und simultanen Entscheidungsprozeß ohne Anpassungsmöglichkeiten und Informationsverarbeitung dar.

Einem mehrstufigen Prozeß sich wiederholender gleichartiger Entscheidungen mit der Möglichkeit, anfallende Informationen zu verarbeiten, also zu lernen (-doing by learning-, MURPHY, 1965) entspricht die Darstellung



Durch Aufgliederung (Analyse) des Entscheidungsprozesses (des Systems) in eine Folge 1) von Entscheidungsakten mit unterschiedlichen Aktionenräumen entsteht ein Zyklus sich wiederholender Entscheidungsfolgen:



Diese Modellvorstellung vom Entscheidungsprozeß, angewandt auf den landwirtschaftlichen Betrieb und die damit verbundenen Entscheidungsprobleme, wird der Tatsache gerecht, daß Investitions-, Organisations-, Arbeitsablauf-, Verteilungs-, Lagerhaltungs-, Ersatz- und Nutzungsdauerentscheidungen und andere mehr (z.B. Finanzierung und Kassenhaltung etc.) während der Produktionsperioden zu ganz unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen und unterschiedliche Anpassungsreaktionen ermöglichen.

Ein dieser Vorstellung entsprechendes Modell eines Planungs-, Entscheidungs- und Informationen verarbeitenden Systems würde aus einer -rekursiven- Verknüpfung sehr unterschiedlicher Operations-Research-Methoden bestehen 2).

Die damit erreichte Betonung des sequentiellen Charakters des Entscheidungsprozesses führt zu flexiblen, der Entwicklung in der Zeit sich anpassenden 3) Entscheidungsfolgen.

Es gilt offenbar:

1. Anpassungsreaktionen sind - soweit voraussehbar - als Eventualpläne zu berücksichtigen,
2. Kontrolle ist notwendig, um geplante Anpassungen durchführen zu können,
3. Informationsgewinnung während des Realisierungszeitraumes ist erforderlich, um neu sich ergebende Reaktionen konstituieren zu können,
4. sequentielle, fortgesetzte Planung ist erforderlich, um bestmögliche Anpassung zu gewährleisten.

Dieser aus der Analyse des Planungs- und Entscheidungsprozesses bzw. des -problems abgeleiteten Modellvorstellungen soll im folgenden das verfügbare und angewandte Methoden- bzw. Modellspektrum gegenübergestellt werden.

- 1) Der Vereinfachung wegen wurde hier für die Menge der Systemelemente eine lineare Anordnung gewählt.
- 2) Solche Modelle existieren zur Zeit für sektorale Probleme.
- 3) Über die risikomindernde Bedeutung durchgeführter Anpassungsentscheidungen wird (nachfolgend durch W. SKOMROCH) an Hand der Ergebnisse von Modellkalkulationen berichtet werden.



## 2 Mathematische Modelle als Entscheidungshilfen

Die Klassifizierung der mathematischen Modelle kann unter einer Reihe von Gesichtspunkten vorgenommen werden. In der folgenden Gliederung werden weniger formale Gesichtspunkte berücksichtigt und dargestellt, als vielmehr inhaltliche Vorgehensweise.

Man kann unterscheiden zwischen Modellen, die

- 2.1 den Planungs- und Entscheidungsprozeß simultan abbilden und solchen, die
- 2.2 aus einem Planungs- und einem übergeordneten Entscheidungsmodell bestehen.

Diese Klassifizierung ist allerdings nicht strikt trennend.

Unter den Modellen der ersten Art finden sich einige häufig angewandte Verfahren. Man kann unterscheiden:

- 2.1.1 Planen mit Sicherheitsäquivalenten,
- 2.1.2 stochastische Optimierung,
- 2.1.3 spieltheoretische Ansätze und
- 2.1.4 Entscheidungsbaumverfahren.

2.1.1 Beim Planen mit Sicherheitsäquivalenten wird die Unsicherheit der Daten dadurch berücksichtigt, daß in den Planungsansätzen - meist lineare Optimierungen - erwartete Werte, Mittelwerte, durch Risikoabzüge bzw. -zuschläge korrigierte Werte oder pessimistische Schätzungen für die planungsrelevanten Daten benutzt werden. Die Entscheidung wird durch Optimierung einer modellimmanenten Zielfunktion geführt, das Risiko der Entscheidung wird mit post-optimalen Methoden - Sensitivitätsanalysen (DINKELBACH, 1969 und GAL, 1973)- untersucht.

2.1.2 Ausgehend vom Ansatz der linearen Optimierung  
-  $\max Z = p'x$  bei  $Ax \leq b, x \geq 0$  -  
und unter Beachtung der Tatsache, daß einige oder alle der Koeffizienten im Zielfunktionsvektor  $p$  bzw. in der Matrix der technischen Koeffizienten  $A$  bzw. im Kapazitätsvektor  $b$  stochastisch variabel sind, bezeichnet man eine Gruppe von Methoden als stochastische Optimierung (ZIMMERMANN, 1974).

2.1.2.1 Liegt Variabilität nur in der Zielfunktion vor, bzw. kann die Variation von Input- und Output-Koeffizienten in die Zielfunktion hochgerechnet werden und kennt man von der multivariaten Verteilung über dem  $p$ -Raum Mittelwerte, Varianzen und Kovarianzen, und ist genau eine Linearkombination dieser Parameter als Nutzen- bzw. Zielfunktion bekannt, wird man ein quadratisches Optimierungsmodell formulieren können (FREUND, 1965; und z. B. BOUSSARD, 1963; oder PETERS, 1971).

2.1.2.2 Ausgehend von der potentiellen Variabilität aller Planungsdaten werden zwei Wege beschritten. Die Verteilung der  $Z$ -Werte wird über dem  $(p, A, b)$ -Ereignisraum durch Analyse oder Simulation vollständig beschrieben - man spricht vom Verteilungsproblem (TINTNER, ZIMMERMANN, 1974), der Entscheidungsmechanismus bleibt dabei offen -. Wegen der auftretenden Schwierigkeiten wird dieser Weg selten gewählt.

2.1.2.3 Dagegen werden in Theorie und Anwendung deterministische Ersatzprobleme formuliert. Dabei unterscheidet man sogenannte

2.1.2.3.1 Kompensationsformulierungen, wobei davon ausgegangen wird, daß nach einer einmal getroffenen Entscheidung das zufällige Ereignis eintritt, aber die Möglichkeit besteht, evtl. auftretende Verletzungen der Restriktionen in einem zweiten Schritt zu korrigieren. Das ist das typische Problem des Two-Stage-Linear-Programming (z. B. BÜHLER, 1971; WERNER, 1973). Charakteristisch für diese Methode ist das Konzept der "penalty-costs" - der Strafkosten für die ereignisbedingte Verletzung von Restriktionen und ihre Berücksichtigung in der Zielfunktion.

- 2.1.2.3.2 Die zweite Möglichkeit bietet das sogenannte Chance-Constrained-Programming. Hierbei werden z.B. der Erwartungswert von Z maximiert, (lineares Problem) bzw. die Varianz von Z minimiert (quadratisches Problem) und die technischen Nebenbedingungen derart transformiert, daß die Wahrscheinlichkeit, eine Restriktion 1) zu verletzen, einen gewissen Wert nicht überschreitet (PRECHT, 1972).

Für beide Wege der deterministischen Ersatzproblem-Formulierung gilt, daß lineare oder quadratische Optimierungsmodelle entstehen können.

- 2.1.3 Zu linearen Optimierungsaufgaben führt die Verwendung der spieltheoretischen Maximin-Regel (HAZELL, 1970) zur Bestimmung optimaler gemischter Strategien. Diese Regel erzeugt Aktionenkombinationen, die für den Fall optimal sind, in dem die Umwelt ihre Strategien (Umweltzustände) derart mischt, daß sie dem Entscheidenden möglichst hohen Schaden zufügt. Zwei Bemerkungen seien zu diesem Konzept gemacht: Erstens trifft die Annahme des rationalen Gegenspielers der Spieltheorie für eine stochastische Umwelt nicht zu, zweitens hat der Begriff der gemischten Strategie in der Spieltheorie den Sinn einer bestimmten, aber zufälligen Mischung reiner Strategien in wiederholten Spielen. Diesem Gesichtspunkt wird in den entscheidungstheoretischen Anwendungen nicht entsprochen.

Zwei verschiedene Ansätze sind gemacht worden. Den reinen Strategien der Spieltheorie entsprechen einerseits

- 2.1.3.1 Aktivitäten des Planungsansatzes, also Produktionsverfahren (MAC INERNEY, 1969) bzw. andererseits

- 2.1.3.2 Organisationen (TADROS-CASLER, 1969, und TRIES, 1973). In beiden Fällen ist die gemischte Strategie eine pessimistische Lösung des Entscheidungsproblems, denn sie geht vom rationalen Verhalten des Gegenspielers Umwelt aus.

In den letzten Jahren wieder stärker diskutiert wird die Anwendung von Entscheidungsbaumverfahren, insbesondere des ihnen entsprechenden Algorithmus, das

- 2.1.4 Dynamic Programming (BELLMANN, 1967; HAX und LAUX, 1972; HENKE, 1973; LAUX, 1971; NEUMANN und GESSNER, 1974).

- 2.1.4.1 In ihrer klassischen Form ist die Methode geeignet, Probleme mit einer sehr niedrigen Zahl von Entscheidungsvariablen zu lösen. Deshalb wird sie in der Agrarplanung vorwiegend für Teilbereichskalkulationen verwendet (z.B. HINRICHS, 1974). Der Vorteil liegt in der Problemlosigkeit bezüglich Ganzzahligkeit und Nichtlinearität. Im Zusammenhang mit systemanalytischen Denkweisen gewinnt Dynamic Programming als Entscheidungsfunktional an Bedeutung.

- 2.1.4.2 Dynamic Programming und Bayessche Statistik sind in den adaptiven Prozessen kombiniert worden. In diesen Modellen werden die Umweltprognosen im Ablauf der Zeit durch die eintretenden Ereignisse in Abhängigkeit von früheren Hypothesen modifiziert und diesen neuen Prognosen geeignete Anpassungsreaktionen zugeordnet. Durch Simulation können Eventualpläne, bei Einführung einer eindeutigen Nutzenfunktion analytische Lösungen ermittelt werden (GRIESE, 1972; HALTER and DEAN, 1971; MURPHY, 1965; STURM, 1970; WEBER, 1970).

Vielfältig ist die Klasse von Modellen, die Planungsvorgang und Entscheidungsakt modelltechnisch trennen. Zwei Vorgehensweisen sollen hierunter insbesondere verstanden werden,

---

1) Ansatz nach MADANSKY bei EVERS, 1967; und HANF, E., 1970.

- 2.2.1 die Erzeugung von "vernünftigen" Aktionsalternativen und Entscheidung nach einem übergeordneten Auswahlkriterium,
- 2.2.2 die Erzeugung "effizienter" Pläne und Entscheidung mittels Indifferenzkurvensystem einer vorgegebenen "Nutzenfunktion" 1).

Sogenannte vernünftige Alternativen können auf verschiedene Weise erzeugt werden, z.B.

- 2.2.1.1 Auswahl nach intuitiv rationalen Kriterien bzw. systematisch überprüft anhand von Bilanzierungsrechnungen,
- 2.2.1.2 durch stochastische Simulation der Variablen-Niveaus im Aktionenraum,
- 2.2.1.3 durch parametrische Optimierung eines linearen Optimierungsmodells in relevanten Bereichen der Datenvariation,
- 2.2.1.4 durch Optimierung von Planungsansätzen unter der Annahme möglicher Datenkombinationen, sogenannte ereignisbedingte Optimierung.

Dem so erstellten Aktionenraum steht ein Umweltzustandsraum gegenüber. Eine Gruppe von Entscheidungskriterien kann angewandt werden, nahezu beliebige Kombinationsmöglichkeiten mit den Aktionenräumen 1. - 4. sind denkbar.

- 2.2.1.5 Entscheidungsvorbereitenden Charakter hat die Risiko-Analyse (MÜLLER-MERBACH, SKOMROCH), bei denen den Z-Werten u.a. die Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden, mit denen sie erreicht werden können.
- 2.2.1.6 Häufig angewandt werden die klassischen Entscheidungsregeln auf die Ergebnis-Matrix, die dem Zusammentreffen einer Aktion mit einem Umweltzustand ein eindeutiges Ergebnis zuordnet. Werden monetäre Größen funktional transformiert, spricht man auch von der "Nutzenmatrix". Die bekanntesten unter diesen Regeln sind das Maximin-, das Hurwicz-, das Bayes-Kriterium, die Laplace-Regel und die Savage-Niehans-Regel - das ist die Maximin-Regel über der Matrix der sogenannten "costs of regret" - (HALTER and DEAN, 1965; MENGES, 1969; SCHNEEWEISS, 1967) 2).
- 2.2.1.7 Zeitweilig wurden andere Funktionale als Entscheidungskriterien herangezogen, z.B. das "infeasibility costs"-Konzept (HANF, E., 1970), das Konzept der Umstellkosten (TRIES, 1973) und andere meßbare Ersatzgrößen für Flexibilität.

Ist eine Transformationsfunktion bekannt, die jeder Aktion einen Nutzen in Abhängigkeit von einem Erwartungswert E der Zielfunktion und einem Variabilitäts- oder Unsicherheitsmaß U (z.B. Mittelwert und Varianz) über einem stochastisch variablen Koeffizientenraum zuordnen, dann kann ein Indifferenzkurvensystem (Linien gleichen Nutzens) bestimmt werden. Bestimmt man nun "effiziente" Pläne durch geeignete Parametrisierung derart, daß z.B.

- 2.2.2.1 jedem erwarteten Wert von Z eine Aktion mit minimaler Varianz bzw.
- 2.2.2.2 jedem erwarteten Wert von U eine Aktion maximaler Zielfunktionserwartung zugeordnet wird,
- 2.2.2.3 jeder maximal erlaubten Abweichung vom mittleren Wert von Z eine Aktion mit maximalem, erwartetem Z-Wert bzw.
- 2.2.2.4 jedem sinnvollen Wert von Z eine Aktion zugeordnet wird, deren Wahrscheinlichkeit maximal ist, diesen Wert zu übertreffen,
- 2.2.2.5 jedem Wert des Risiko-Aversionsparameters k (als U-Maß) im quadratischen Optimie-

---

1) Anzumerken ist, daß die Nutzenkonzeption (DEAN, 1975; DILLON, 1971; HALTER and DEAN, 1971; KOCH, 1974) nicht unumstritten ist, das gilt insbesondere für die Bernoulli-Nutzentheorie (dargestellt z.B. in SCHNEEWEISS, 1967).

2) Die Anwendung dieser Regeln ist umstritten, da sie gewissen, als plausibel geltenden Axiomen nicht vollständig genügen (HALTER and DEAN, 1971).

rungsansatz von Freund die optimale Organisation bezüglich  $Z = f(k, \mu, \Sigma)$  zugeordnet wird,

dann wird unter den effizienten Plänen der mit maximalem Nutzen realisiert 1).

### 2.3 Differenzierte Modelle

Ausgehend von den modernen Wissenschaftsgebieten System-Analyse, -theorie und simulation (z.B. EISGRUBER and LEE, 1971; GROSSKOPF, 1973; KUHLMANN, 1973) wird der zunächst einstufig gedachte Entscheidungsprozeß 2) zergliedert in Folgen von Partialentscheidungen, die ganz unterschiedliche Aktionenräume betreffen können. Das System Planung-Entscheidung-Realisierung-Kontrolle wird in sequentiell geordnete Subsysteme zerlegt, was objektbezogen zu

- 2.3.1 teilintegrierten Planungs-, Entscheidungs- und Informationen verarbeitenden Systemen führt. Dabei können unterschiedliche mathematische Modelle für Teilbereichskalkulationen und -entscheidungen kombiniert werden. Hier finden neuerdings wieder die Entscheidungsbaumverfahren und Dynamic Programming als übergeordnete Modelle der Entscheidungsfindung Anwendung, während in den Entscheidungsknoten des Baumes Partialentscheidungen auf untergeordneter Ebene mit anderen Modellen (lineare Optimierung, Netzpläne) vorbereitet werden (z.B. bei JOCHUM, 1969). Simulation in solchen Modellen kann angewandt werden zum Sichtbarmachen systeminterner Zusammenhänge sowie zur Verdeutlichung der Wirkung externer Störungen der stochastisch gedachten Umwelt (GROSSKOPF, 1973; JOCHUM, 1969; STURM, 1970) 3).
- 2.3.2 Die im engeren Sinne systemtheoretische Betrachtungsweise mit Systemen von Differenzen- bzw. Differentialgleichungssystemen findet in der mikro-ökonomischen Entscheidungstheorie der Investitions- und Organisationsentscheidungen bisher kaum Anwendung, wohl aber im Bereich sektoraler, intersektoraler, regionaler und interregionaler Planung (z.B. FORRESTER, 1972).

### 3 Charakterisierung neuerer Entwicklungen

- 3.1 In anderen speziellen Betriebswirtschaftslehren findet in jüngerer Zeit das Zustandekommen von Entscheidungen mit seinen soziologischen, psychologischen und organisatorischen Aspekten immer größere Beachtung (dazu BERG, 1973; KOCH, 1974; KUPSCH, 1973). Im agrarischen Bereich ist eine parallele Entwicklung kaum zu beobachten. Gründe hierfür sind offenbar die Einfachheit des Systems (Entscheidung, Realisierung und Kontrolle liegen in einer Hand) und die geringe Relevanz (gemessen in der Höhe der zur Disposition stehenden Geldbeträge und Zahl der betroffenen Individuen) der agrarbetrieblichen Entscheidungsfälle.
- 3.2 Algorithmen zur Bearbeitung stochastischer Optimierungsprobleme sind entwickelt worden (dazu ZIMMERMANN, 1974), die Problemerkennntnis ist allerdings bereits vorausgeeilt. Denkweisen der Systemanalyse, Systemtheorie und Informatik führen zu den komplexen Modellen sequentieller Entscheidungsprozesse.

- 
- 1) Es ergeben sich als optimale Aktionen diejenigen, für die im  $(E, U)$ -Koordinatensystem die Kurve der effizienten Pläne eine Indifferenzkurve gerade noch tangiert, d.h. für die die Nutzenfunktion den höchsten Wert annimmt. (Z.B. HAZELL and HOW, 1971; MARUYAMA und KAWAGUCHI, 1971; PETERS, 1971).
  - 2) Man beachte dazu die Konzeption linearer Optimierungsmodelle.
  - 3) Allerdings sind solche System-Modelle zur Zeit erst in Ansätzen auf betriebliche Probleme angewandt worden, im sektoralen Bereich sei hier auf das von DE HAEN beschriebene Korea-Modell verwiesen.

- 3.3 Charakteristisch für diese Entwicklung sind zusammengesetzte Modelle. Als übergeordnetes Entscheidungsfunktional finden häufig Dynamic Programming-Ansätze Anwendung.
- 3.4 Die Auffassung des Entscheidungsprozesses als Sequenz von Reaktionsmöglichkeiten in der Zeit legt die Berücksichtigung der Verarbeitung anfallende Informationen nahe. Durch Verwendung der Verfahren der Bayesschen Statistik ergeben sich so Modelle adaptiver Prozesse.

Diese zum Teil aus Beobachtungen in anderen Problembereichen abgeleiteten Tendenzen werden in Zukunft – zumindest im wissenschaftlichen Bereich – auch Auswirkungen auf die agrarbetriebliche Entscheidungsforschung haben.

## Literatur

- 1 BARRON, F.H.: A Chance Constrained Optimization Model for Risk. *Omega*, Vol. 1 (1973), Nr. 3, S. 363 ff.
- 2 BELLMAN, R.: *Dynamische Programmierung und selbstanpassende Prozesse*. München, Wien, 1967.
- 3 BERG, C.C.: *Individuelle Entscheidungsprozesse: Laborexperimente und Computersimulation*. Wiesbaden, 1973.
- 4 BOUSSARD, J.M.: The Introduction of Risk into a Programming Model: Different Criteria and the Actual Behaviour of Farmers. *European Economic Review*, Vol. 1, Nr. 1, 1969, S. 92 ff.
- 5 BÜHLER, W.: Zur Lösung eines Zwei-Stufen-Risiko-Modells der Stochastischen Linearen Optimierung. *Proceedings in Operations Research*, Würzburg, Wien, 1971.
- 6 BUEHLMANN, H.: *Mathematical Methods in Risk Theory*. Berlin, Heidelberg, New York, 1970.
- 7 DEAN, G.W.: Firm Theory Incorporating Growth and Risk: Integration into Farm Management Research. *Contributed Papers Read at the 15th International Conference of Agricultural Economists Papers 1 - 17*, Oxford, 1975.
- 8 DEUT, J.B. and P.F. BYRNE: Investment Planning by Monte Carlo Simulation. *Review of Marketing and Agricultural Economics*. Vol. 37 (1969), S. 104 ff.
- 9 DEUT, J.B. and J.R. ANDERSON (eds): *System Analysis in Agricultural Management*. Sydney, 1971.
- 10 DILLON, J.L.: An Expository Review of Bernoullian Decision Theory in Agriculture. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, Vol. 39 (1971), Nr. 1.
- 11 DINKELBACH, W.: Zur Frage unternehmerischer Zielsetzungen bei Entscheidungen unter Risiko (Zur Theorie des Absatzes). Wiesbaden, 1973.
- 12 DERS.: *Sensitivitätsanalyse und parametrische Programmierung*. Berlin, Heidelberg, New York, 1969.
- 13 EISGRUBER, L.M. and G.E. LEE: A Systems Approach to Studying the Growth of the Farm Firm. In: (Deut-Anderson, 1971).
- 14 EVERS, W.H.: A New Model for Stochastic Linear Programming. *Management Science*, Vol. 13, Nr. 9, May 1967, S. 680 ff.
- 15 FORRESTER, J.W.: *Grundzüge einer Systemtheorie*. Wiesbaden, 1972.
- 16 FOX, K.A. and J.K. SENGUPTA and E. THORBECKE: *The Theory of Quantitative Economic Policy*. North Holland Publ. Comp., 1973.
- 17 FREUND, R.J.: The Introduction of Risk into a Programming Model. *Econometrica*, Vol. 24 (1965).
- 18 GAL, T.: *Betriebliche Entscheidungsprobleme, Sensitivitätsanalyse und parametrische Optimierung*. Berlin, New York, 1973.
- 19 GRIESE, J.: *Adaptive Verfahren im betrieblichen Entscheidungsprozeß*. Würzburg, Wien, 1972.
- 20 GROSSKOPF, W.: *Simulation-Anwendungsmöglichkeiten in der Agrarökonomie*. *Agrarwirtschaft*, Jahrgang 22 (1973), S. 1 ff.

- 21 HAEGERT, L.: Die Aussagefähigkeit der Dualvariablen und die wirtschaftliche Deutung der Optimalitätsbedingungen beim Chance Constrained Programming (In: H.Hax (Hrsg.), 1970).
- 22 HALTER, A.N. and G.W. DEAN: Decisions under Uncertainty with Research Applications. Cincinnati, Ohio, 1971.
- 23 DIES.: Use of Simulation in Evaluating Management Policies under Uncertainty. Journal of Farm Economics, Vol. 47 (1965), S. 537 ff.
- 24 HANF, C.H.: Optimale Mährescherverschnittbreiten und Witterungsschwankungen. Eine Fallstudie. Arbeitsberichte des Inst. f. landw. Betriebs- und Arbeitslehre der Universität Kiel, Bericht 74/1.
- 25 HANF, E.: Über Entscheidungskriterien bei Unsicherheit. Agrarwirtschaft, Sonderheft 39, 1970.
- 26 HAX, H. (Hrsg.): Entscheidungen bei unsicheren Erwartungen. Köln, Opladen, 1970.
- 27 HAX, H. und LAUX, H.: Flexible Planung - Verfahrensregeln und Entscheidungsmodelle für die Planung bei Ungewißheit. Z.f.betriebsw. Forschung, Heft 5 (1972), S. 318 ff.
- 28 HAZELL, P.B.R.: Game Theory - An Extension of its Application to Farm Planning under Uncertainty. Journal of Agricultural Economics, May 1970.
- 29 HAZELL, P.B.R. and R.B. HOW: Obtaining Acceptable Farm Plans under Uncertainty. In: Policies, Planning and Management for Agricultural Development, Oxford 1971.
- 30 HENKE, M.: Mehrstufige Investitionsentscheidungen bei Ungewißheit - Lösungen auf der Basis der dynamischen Programmierung. Z.f. betriebsw. Forschung, 25 (1973), S. 113.
- 31 HINRICHS, P.: Die Formulierung und dynamische Optimierung von Entscheidungssequenzen. Meisenheim/Glan, 1974.
- 32 MAC INERNEY, J.P.: Maximin Programming - An Approach to Farm Planning under Uncertainty. J. of Agric. Economics, Vol. 18, Nr. 2, 1967.
- 33 DERS.: MAC INERNEY, J.P.: Linear Programming and Game Theory-Models-Some-Extensions. J.of Agric. Economics, Vol. 20, Nr. 2, 1969.
- 34 JOCHUM, H.: Flexible Planung als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen. Dissertation, Saarbrücken, 1969.
- 35 KOCH, H.: Die Problematik der Bernoulli-Nutzen-Theorie - Die Theorie der Sekundäranpassung als ungewißheitstheoretische Konzeption. Jahrbücher der Nationalökonomie und Statistik, Bd. 188 (1974), 3.
- 36 KUHLMANN, F.: Zur Verwendung des systemtheoretischen Simulationsansatzes für die betriebswirtschaftliche Forschung. Agrarwirtschaft, Jahrgang 1973, S. 127 ff.
- 37 KUPSCH, P.U.: Das Risiko im Entscheidungsprozeß. Wiesbaden, 1973.
- 38 LAUX, H.: Flexible Investitionsplanung. Einführung in die Theorie der sequentiellen Entscheidungen bei Unsicherheit. Opladen, 1971.
- 39 LEIBER, F.: Risiko und Versicherung in der tierischen Produktion. Dissertation, Bonn, 1970.
- 40 MARUYAMA, J.: A Truncated Maximin Approach to Farm Planning under Uncertainty with Discrete Probability Distributions. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 54 (1972), S. 192 ff.
- 41 MARUYAMA, J. and T. KAWAGUCHI: An Approach to Farm Planning under Ambiguity. In: Policies, Planning and Management for Agricultural Development, Oxford, 1971.

- 42 MELLWIG, W.: Anpassungsfähigkeit und Ungewißheitstheorie. Tübingen, 1972.
- 43 DERS.: Flexibilität als Aspekt unternehmerischen Handelns. Z.f.betriebsw. Forschung, Jahrgang 24 (1972), S. 72 ff.
- 44 MENGES, G.: Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidungen. Köln, Opladen, 1969.
- 45 MORGAN, B.W.: An Introduction to Bayesian Statistical Decision Processes. Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1968.
- 46 MÜLLER-MERBACH, H.: Operations Research. Berlin, Frankfurt, 3. Aufl. S. 463 ff.
- 47 MURPHY, R.E.: Adaptive Processes in Economic Systems. Academic Press, New York, London, 1965.
- 48 NEUMANN, K. und P. GESSNER: Dynamische Optimierung und ihre Weiterentwicklung. In: Proceedings in Operations Research 3. Würzburg, Wien, 1974.
- 49 PETERS, L.: Simultane Produktions- und Investitionsplanung mit Hilfe der Portfolio-Selection. Berlin, 1971.
- 50 PRECHT, M.: Entscheidungsprobleme bei unvollkommener Information - Ein Beitrag zur Risikosituation der unsicheren Arbeitszeitspannen in der landwirtschaftlichen Betriebsplanung. Bayrisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 1972, Sonderheft 4.
- 51 RUTENBERG, D.P.: Risk Aversion in Stochastic Programming with Recourse. Operations Research, Vol. 21 (1973), S. 377 ff.
- 52 SCHNEEWEISS, H.: Entscheidungskriterien bei Risiko. Berlin, Heidelberg, New York, 1967.
- 53 SCHNEIDER, D.: Anpassungsfähigkeit und Entscheidungsregel unter Ungewißheit. Z.f.betriebsw. Forschung, 1972, S. 745 ff.
- 54 STURM, S.: Mehrstufige Entscheidungen unter Ungewißheit (Zur Theorie adaptiver Prozesse). Meisenheim/Glan, 1970.
- 55 TADROS, M.E. and G.L. CASLER: A Game Theoretic Model for Farm Planning under Uncertainty. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 51, 5, S. 1164 ff.
- 56 TINTNER, G.: Stochastic Linear Programming with Application to Agricultural Economics. In: Proceedings of the 2nd Symposium on Linear Programming. Nat. Bureau of Standards, Washington D.C., S. 197 ff.
- 57 TRIES, B.: Zur Frage der Flexibilitätsbestimmung bei Investitionen dauerhafter Produktionsmittel. Dissertation, Hohenheim, 1973.
- 58 THOMAS, W. and L. BLAKESLEE and L. ROGERS and N. WHITTLESEY: Separable Programming for Considering Risk in Farm Planning. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 54 (1972), Nr. 2.
- 59 WEBER, K.: Entscheidungsprozesse unter Verwendung des Theorems von Bayes. (In: H.Hax (Hrsg.), 1970).
- 60 WEINSCHENCK, G.: Betriebsplanung bei unvollkommener Information. Agrarwirtschaft, 1965, Heft 1.
- 61 WERNER, M.: Ein Lösungsansatz für ein spezielles zweistufiges stochastisches Optimierungsproblem. Z.f. Operations Research, Bd. 17 (1973), S. 119 ff.
- 62 ZIMMERMANN, H.-J.: Neuere Entwicklung auf dem Gebiet der stochastischen Programmierung. In: Proceedings in Operations Research, Vol. 3, Würzburg, Wien, 1974.