



**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.*

- Koester, U. und Schmitz, P. M.: Anmerkungen (zu G. Schmitt und E. Seebohm: Einige grundsätzliche Bemerkungen zur Diskussion um den Grenzausgleich). - *Agrarwirtschaft* 29 (1980), S. 11-14.
- Niehans, J.: Monetary and Fiscal Policies in Open Economies under Fixed Exchange Rates. An Optimizing Approach. - *Journal of Political Economy* 76 (1968), S. 893-943.
- Polak, J. J.: Coordination of National Economic Policies. - Group of Thirty, Occasional Papers. New York 1981.
- Priebe, H.: Landwirtschaftspolitik. - In: vander Groeben, H. und Mestmäcker, E. J. (Hrsg.): Ziele und Methoden der europäischen Integration. Frankfurt (Main) 1972, S. 148-171.
- Priebe, H.: Ziele und Grundlagen der EG-Agrarpolitik. - In: Priebe, H., Scheper, W. und von Urff, W.: Agrarpolitik in der EG - Probleme und Perspektiven. Baden-Baden 1984, S. 155-168.
- Putnam, R.: The Western Economic Summits. A Political Interpretation. - In: Merlini, C. (Hrsg.): Economic Summits and Western Decision Making. London, Canberra 1983, S. 43-88.
- Ritson, C. und Tangermann, S.: The Economics and Politics of Monetary Compensatory Amounts. - *European Review of Agricultural Economics* 6 (1979), S. 119-164.
- Sachs, J.: International Policy Coordination in a Dynamic Macroeconomic Model. - National Bureau of Economic Research, Working Paper. Cambridge (Mass.) 1983.
- Sachs, J. und Oudiz, G.: Macroeconomic Policy Coordination among the Industrial Economies. - *Brookings Papers on Economic Activity* 1984, S. 1-64.
- Schmitt, G.: Warum die Agrarpolitik ist, wie sie ist, und nicht, wie sie sein sollte. - *Agrarwirtschaft* 33 (1984 a), S. 129-136.
- Schmitt, G.: Eine Lösung der Agrarprobleme in der Europäischen Gemeinschaft durch eine „Renationalisierung“ der Agrarpolitik? - *Göttinger Schriften zur Agrarökonomie*, H. 57, 1984 b, S. 1-45.
- Schmitt, G.: Ideologien, Interessenverbände, Bürokratie und ökonomische Theorie der Agrarpolitik. - *Agrarwirtschaft* 34 (1985), S. 10-19.
- Schmitt, G. und Tangermann, S.: Zur Auswirkung der Agrarpreisstützung auf die landwirtschaftlichen Einkommen. - In: Grosskopf, W. und Köhne, M.: Einkommen in der Landwirtschaft - Entstehung, Verteilung, Verwendung und Beeinflussung. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e. V., Bd. 21. Münster-Hiltrup 1984, S. 759-793.
- Schmitt, G. und Seebohm, E.: Einige grundsätzliche Bemerkungen zur Diskussion um den Grenzausgleich. - *Agrarwirtschaft* 28 (1979), S. 245-254.
- Schmitt, G., Seebohm, E. und Witzke, H. von: Erwiderung: Des Kaisers neue Kleider oder: Grenzausgleich und kein Ende der Diskussion? - *Agrarwirtschaft* 29 (1980), S. 14-21.
- Sohmen, E.: Allokationstheorie und Wirtschaftspolitik. - Tübingen 1976.
- Tangermann, S.: Anmerkungen (zu G. Schmitt und E. Seebohm: Einige grundsätzliche Bemerkungen zur Diskussion um den Grenzausgleich). - *Agrarwirtschaft* 29 (1980), S. 9-11.
- Tangermann, S.: Hat die Reform der Agrarpolitik Aussichten auf Erfolg? - *Agrarwirtschaft* 33 (1984), S. 229-236.
- Thoroe, C.: Renationalisierung der Einkommenspolitik - Ein integrationsfeindlicher Weg zur Reform der gemeinsamen Agrarpolitik? - *Loccumer Protokolle* 5/1980, S. 32-49.
- Thoroe, C.: Common Budgeting in an Enlarged Community. - In: Donges, J. B. et al.: The Second Enlargement of the European Community. Kieler Studien 171. Tübingen 1982, S. 211-229.
- Thoroe, C.: „Renationalisierung“ der gemeinsamen Agrarpolitik: Irrweg oder Ausweg? - *Göttinger Schriften zur Agrarökonomie*, H. 57, 1984, S. 46-57.
- Tumler, J.: Strong and Weak Elements in the Concept of European Integration. - In: Machlup, F., Fels, G. und Müller-Groeling, H.: Reflections on a Troubled World Economy. Essays in Honour of Herbert Giersch. London 1983, S. 29-56.
- Vaubel, R.: Strategies for Currency Unification. The Economics of Currency Competition and the Case for a European Parallel Currency. - *Kieler Studien* 156. Tübingen 1978.
- Vaubel, R.: Internationale Absprachen oder Wettbewerb in der Konjunkturpolitik. - Walter Eucken Institut. Tübingen 1980.
- Vaubel, R.: Coordination or Competition among National Macroeconomic Policies? - In: Machlup, F., Fels, G. und Müller-Groeling, H.: Reflections on a Troubled World Economy. Essays in Honour of Herbert Giersch. London 1983, S. 3-28.
- Vaubel, R.: Von der normativen zu einer positiven Theorie der internationalen Organisationen. - Vortrag, Tagung des Vereins für Socialpolitik. Probleme und Perspektiven der weltwirtschaftlichen Entwicklung. Travemünde, 17.-19.9.1984.
- Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Orientierungskriterien für landwirtschaftliche Preis- und Einkommenspolitik. - *Berichte über Landwirtschaft*, Bd. 50, 1972, S. 793-808.

## ***Kontrolltheoretische Konzepte als Grundlagen für die Entwicklung von Entscheidungshilfsmitteln***

Prof. Dr. E. Berg, Bonn, Prof. Dr. S. B. Harsh, East Lansing und Prof. Dr. F. Kuhlmann, Gießen\*)

### **Einführung**

Der Übergang zu anspruchsvolleren Produktionstechniken hat die Betriebsführung zu einer zunehmend komplexeren Aufgabe werden lassen. Parallel dazu stieg auch die Notwendigkeit, rechnergestützte Betriebsführungshilfsmittel zu entwickeln. Die jüngsten Fortschritte im Bereich der Computer- und Kommunikationstechnologie haben die

\*) Prof. Dr. E. Berg, Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn; Prof. Dr. S. B. Harsh, Department of Agricultural Economics, Michigan State University, East Lansing (Michigan), USA; Prof. Dr. F. Kuhlmann, Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre der Justus-Liebig-Universität Gießen. - Deutsche Fassung eines Vortrages anlässlich des 4. Kongresses der European Association of Agricultural Economists (EAAE) vom 3.-7. September 1984 in Kiel.

BERG/HARSH/KUHLMANN

Möglichkeit eines Ein-  
trüchlich erweitert. In-  
stangfähiger: Mikrocomp  
Preise eröffnen neue M  
betriebl. Information

Nur wenige beständi  
mathe. Modelle r  
dung (vgl. Berg  
dangmodelle (vgl. Berg  
werden) diese die wirt  
dangmodelle (vgl. Berg  
werden deshalb zusätzl  
Entscheidungsprobleme  
quantit. für die Struktur  
dargest.

Da Unternehmens  
stellen, sind die gew  
lter Natur: nach Streu  
ren Behandlung Gegen  
re ist. Hiermit erfolgt  
schiedene Kontrollze  
stellt und auf ihre Kö  
Entscheidungsprobleme  
des Beitrags bilden em  
der Entwicklung entsp  
werden können.

! Entscheidungsprobleme

In systemtheoret  
dangproblem geklä  
Inputs oder Instrumen  
Entscheidungsproble  
len sowie schließlich die  
Verordnung beteiligt  
stügenden Inputs em  
struktur in Form von  
daraus in eine Zeitfakt  
deutlich diesen Zusam

Komponenten

Input

Output

Unternehmens-  
Gestaltung des System  
Niveau der Kontrollthe  
Im Zusammenhang  
Das Faktum, welche  
ig verändert und damit  
wie i. B. Entscheidungs

\*) Eine vollständige  
Systeme findet sich bei W. A.

Möglichkeiten eines Einsatzes derartiger Hilfsmittel beträchtlich erweitert. Insbesondere die Verfügbarkeit leistungsfähiger Mikrocomputer zu vergleichsweise niedrigen Preisen eröffnet neue Möglichkeiten für die Entwicklung betrieblicher Informationssysteme.

Notwendiger Bestandteil derartiger Systeme sind mathematische Modelle zur Unterstützung der Entscheidungsfindung (vgl. Berg, 1985). Der Nutzen solcher Entscheidungsmodelle hängt dabei in starkem Maße davon ab, inwieweit diese die wesentlichen Merkmale des Entscheidungsproblems korrekt erfassen. Im vorliegenden Beitrag werden deshalb zunächst die hauptsächlichen Merkmale von Entscheidungsproblemen kurz analysiert und deren Konsequenzen für die Struktur von Entscheidungshilfsmitteln dargelegt.

Da Unternehmen im Prinzip dynamische Systeme darstellen, sind ein großer Teil der Entscheidungsprobleme ihrer Natur nach Steuerungs- und Regelungsprobleme, deren Behandlung Gegenstand der modernen Kontrolltheorie ist. Hiermit befaßt sich der Hauptteil des Beitrages. Verschiedene kontrolltheoretische Konzepte werden dargestellt und auf ihre Relevanz für bestimmte Kategorien von Entscheidungsproblemen hin untersucht. Den Abschluß des Beitrags bilden einige Hinweise auf Methoden, die bei der Entwicklung entsprechender Modelle herangezogen werden können.

## 1 Entscheidungsprobleme und Modellanforderungen

In systemtheoretischer Darstellung ist ein Entscheidungsproblem gekennzeichnet durch die kontrollierbaren Inputs oder Instrumentvariablen, ferner durch die vom Entscheidungsträger unbeeinflussbaren oder exogenen Größen, sowie schließlich durch eine Systemstruktur, die die Verbindung herstellt zwischen den kontrollierbaren und exogenen Inputs einerseits und Outputs bzw. Zustandsvariablen in Form von Kennwerten andererseits, die wiederum in eine Zielfunktion einmünden\*1). Schaubild 1 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

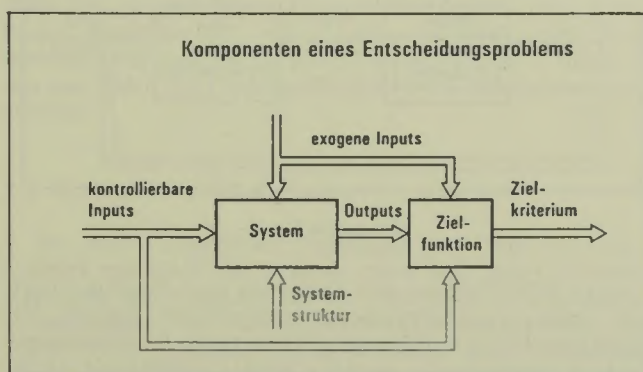


Schaubild 1

Unternehmerische Entscheidungen können sowohl die Gestaltung der Systemstruktur als auch die Festlegung des Niveaus der kontrollierbaren Inputs zum Gegenstand haben. Im erstgenannten Fall geht es dabei um Entscheidungen über Faktoren, welche die Unternehmensstruktur nachhaltig verändern und damit längerfristige Auswirkungen haben, wie z. B. Entscheidungen über die Aufnahme neuer Betriebs-

zweige. Maßnahmen zur Gestaltung der Systemstruktur lassen sich demzufolge in den Bereichen der strategischen Entscheidungen einordnen (Harsh et al., 1981, S. 8). Demgegenüber beinhaltet die Festlegung des Niveaus der kontrollierbaren Inputs kurzfristige oder taktische Entscheidungen, die unter einer gegebenen Systemstruktur in relativ kurzen Abständen wiederholt getroffen werden müssen. Beispiele hierfür sind etwa Fütterungsprobleme, der Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln oder Vermarktungsentscheidungen.

Sofern bei wiederholt zu treffenden Entscheidungen die Auswirkungen von Einzelmaßnahmen in die nachfolgenden Entscheidungszeiträume hineinreichen, liegt ein dynamisches Entscheidungsproblem vor, für dessen Lösung entsprechende dynamische Modelle erforderlich sind. Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf diese Kategorie von Problemen.

Ein weiteres Charakteristikum vieler Entscheidungsprobleme ist die Tatsache, daß die Konsequenzen der einzelnen Handlungsalternativen nicht mit Sicherheit vorhersehbar sind. Diese Unsicherheit resultiert aus unvollkommenen Informationen über die künftige Ausprägung exogener Einflußgrößen sowie über die wahren Werte relevanter Systemparameter. Da im Zeitablauf ständig neue Daten über das Systemverhalten verfügbar werden, besteht die Möglichkeit, den Grad der Unsicherheit durch Einbeziehung des jeweils letzten Informationsstandes in bestimmten Grenzen schrittweise zu vermindern. Modelle, die derartige Lernprozesse explizit berücksichtigen, bezeichnet man als adaptive Modelle. Für Entscheidungshilfsmittel, die auf betriebseigenen Kleinrechnern installiert werden sollen, ist diese Modellform von besonderer Bedeutung, da nur sie eine automatische Anpassung der Modellparameter an sich ändernde Bedingungen gewährleistet.

## 2 Optimale Kontrolle dynamischer Systeme

Entscheidungsprobleme der oben skizzierten Art sind ihrer Natur nach dynamische Kontrollprobleme. Dies bedeutet, daß ihre Lösung die Bestimmung einer optimalen Politik verlangt, die eine Zielfunktion der folgenden prinzipiellen Form maximiert bzw. minimiert (vgl. u. a. Kirk, 1970; Aoki, 1976 sowie Rausser und Hochmann, 1979):

$$J = \int g(x(t), u_c(t), u_e(t), t) dt + h(x(T), T)$$

Dabei kennzeichnet  $t$  den Zeitindex und  $T$  das Ende des Planungshorizonts.  $x(t)$  ist der Vektor der Zustandsvariablen des zu kontrollierenden Systems, während  $u_c(t)$  und  $u_e(t)$  die Vektoren der kontrollierbaren und exogenen Inputs repräsentieren. Über die Funktion  $g$  werden die Werte von  $x(t)$ ,  $u_c(t)$  und  $u_e(t)$  in einwertiges Zielkriterium überführt. So könnte der erste Ausdruck in der obigen Gleichung beispielsweise dem Gegenwartswert der über den Zeitraum  $T$  kumulierten Gewinne entsprechen. Der Ausdruck  $h(x(T), T)$  kennzeichnet den Zielbeitrag des Endwertes des Zustandsvektors. Seine Berücksichtigung ist wichtig in den Fällen, in denen das zu kontrollierende System über das Ende des Planungszeitraumes hinaus fortbesteht.

Falls das System durch ein zeitkontinuierliches Modell repräsentiert wird, läßt sich der Zusammenhang zwischen den exogenen und kontrollierbaren Inputs einerseits und den Zustandsvariablen andererseits durch ein System von Differentialgleichungen erster Ordnung herstellen:

\*1) Eine ausführliche Beschreibung der Merkmale dynamischer Systeme findet sich bei Manetsch und Park (1977).

$$dx/dt = a(x(t), u_c(t), u_e(t), t)$$

Diese werden üblicherweise als Zustandsfunktionen (Niemeyer, 1977, S. 71) bzw. in der englischsprachigen Literatur als "equations of motion" (Rausser und Hochmann, 1979, S. 28) bezeichnet.

Entsprechend der spezifischen Art der Formulierung, die für die gesuchte optimale Politik gewählt wird, lassen sich verschiedene kontrolltheoretische Konzepte unterscheiden: die (offene) Steuerung (open-loop control), die Regelung (closed-loop control) sowie als Spezialform letzterer die adaptive Regelung (adaptive control). Nachfolgend sollen die wesentlichen Unterschiede zwischen diesen Konzepten dargestellt werden.

2.1 Steuerung und Regelung

Die Prinzipien der Steuerung und Regelung sind in Schaubild 2 wiedergegeben. Die wesentlichen Komponenten einer kontrolltheoretischen Systemabbildung sind dabei die zu kontrollierende Komponente, die das reale System (d. h. das Unternehmen oder Teile davon) repräsentiert, sowie die Steuereinheit bzw. der Regler, durch welche die Niveaus der kontrollierbaren Inputs zu jedem Zeitpunkt bestimmt werden.

Letztere beinhalten in der Regel ein mathematisches Modell des realen Systems (vgl. Kuhlmann et al., 1982; Kuhlmann, 1984). Die Unterschiede zwischen beiden Konzepten liegen in der Formulierung der optimalen Politik. Im Falle der Steuerung (open-loop control) liefert die Lösung des Optimierungsproblems den Zeitpfad aller kontrollierbaren Inputs. Die optimale Politik ist damit allein eine Funktion der Zeit und des jeweiligen Anfangszustands, d. h. es gilt:

$$u^*(t) = f_s(x(0), t)$$

Es ist unmittelbar einsichtig, daß die Festlegung der Instrumentvariablen für den gesamten Planungszeitraum zum aktuellen Entscheidungszeitpunkt nur unter bestimmten Bedingungen eine sinnvolle Vorgehensweise darstellt, nämlich dann

- wenn das Entscheidungsproblem deterministisch ist, d. h. das System selbst sowie der Zeitpfad aller exogenen Variablen vollständig bekannt ist, oder
- Anpassungsmaßnahmen innerhalb des Planungszeitraumes nicht vorgenommen werden können, oder
- die exogenen und Zustandsvariablen des Systems nicht beobachtbar sind.

Wenn diese Voraussetzungen nicht vorliegen, besteht dagegen die Möglichkeit, die ursprüngliche Politik im Zeitablauf entsprechend den dann jeweils vorliegenden Informationen über die tatsächlichen Werte der exogenen und Zustandsvariablen zu revidieren. Derartige Möglichkeiten werden bei der Steuerung nicht beachtet. Demgegenüber finden sie explizit Berücksichtigung beim Konzept der Regelung (closed-loop oder feedback control), das im unteren Teil von Schaubild 2 dargestellt ist. Die optimale Politik wird in diesem Fall als Funktion der zum jeweiligen Zeitpunkt beobachteten Ausprägung des Zustandsvektors und des Vektors der exogenen Inputs dargestellt:

$$u^*(t) = f_r(x(t), u_e(t), t)$$

In dieser Form beschreibt die optimale Politik somit eine Entscheidungsregel, die es erlaubt, die Werte der Instru-

mentvariablen im Zeitablauf zu bestimmen, nachdem entsprechende Beobachtungen vorliegen. Dieses Prinzip wird in der betriebswirtschaftlichen Literatur zuweilen auch als flexible Planung bezeichnet (Laux, 1971; Haax und Laux, 1972).

Auf die meisten betriebswirtschaftlichen Fragestellungen treffen die Bedingungen der Regelung zweifelsohne eher zu als die der Steuerung. Andererseits stellt die Ableitung einer optimalen Politik in diesem Fall ein komplexes mathematisches Problem dar. Dies gilt vor allem für gesamtbetriebliche Planungen aufgrund der zahlreichen Interdependenzen innerhalb des Systems. Insbesondere im Bereich der strategischen Entscheidungen wird deshalb zumeist das Steuerungskonzept bevorzugt. Beispiele hierfür sind etwa mehrperiodische Modelle der linearen Programmierung.

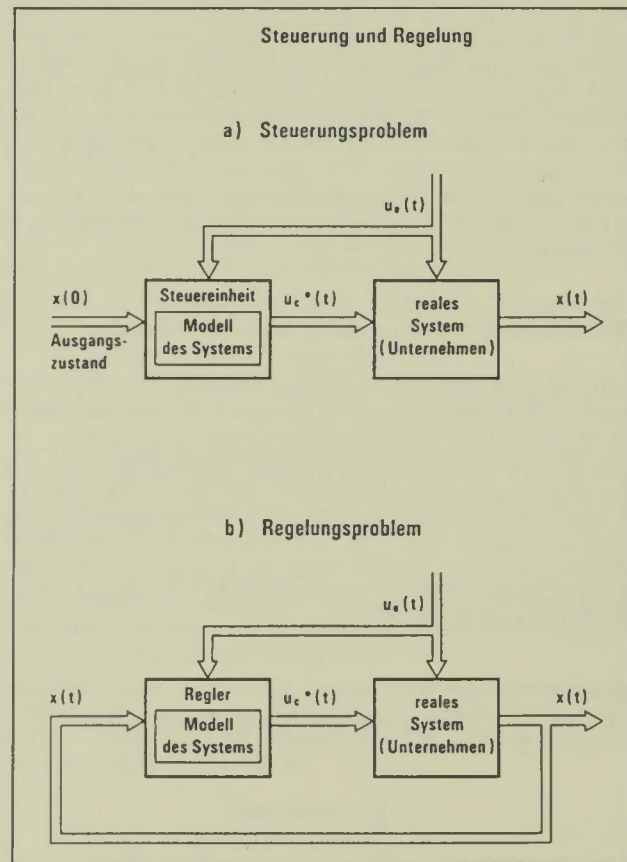


Schaubild 2

Eine Kombination von Steuerung und Regelung liegt vor, wenn die Ergebnisse der strategischen Planung als Sollwerte für die kurzfristige oder taktische Entscheidungsfindung herangezogen werden. Diese Konstellation ist in Schaubild 3 wiedergegeben. Die Steuereinheit (strategisches Entscheidungsmodell) liefert dabei die erwarteten bzw. Sollwerte für die Zustandsvariablen des Gesamtsystems (x\*(t)). Eine Untermenge von x\*(t) dient sodann als Referenz- oder Zielgröße für Kurzfristplanungen in einzelnen Teilbereichen. Diese wiederum folgen dem Konzept der Regelung, wobei zumeist versucht wird, die Abweichungskosten von den Sollwerten zu minimieren. Von Zeit zu Zeit werden die Sollwerte aktualisiert, indem die strategische Planung auf der Basis des dann vorliegenden Systemzustands wiederholt wird. Auf diese Weise entsteht insgesamt ein Regelkreis, der jedoch nicht durch alle Phasen des Entscheidungsablaufes hindurch geschlossen ist.

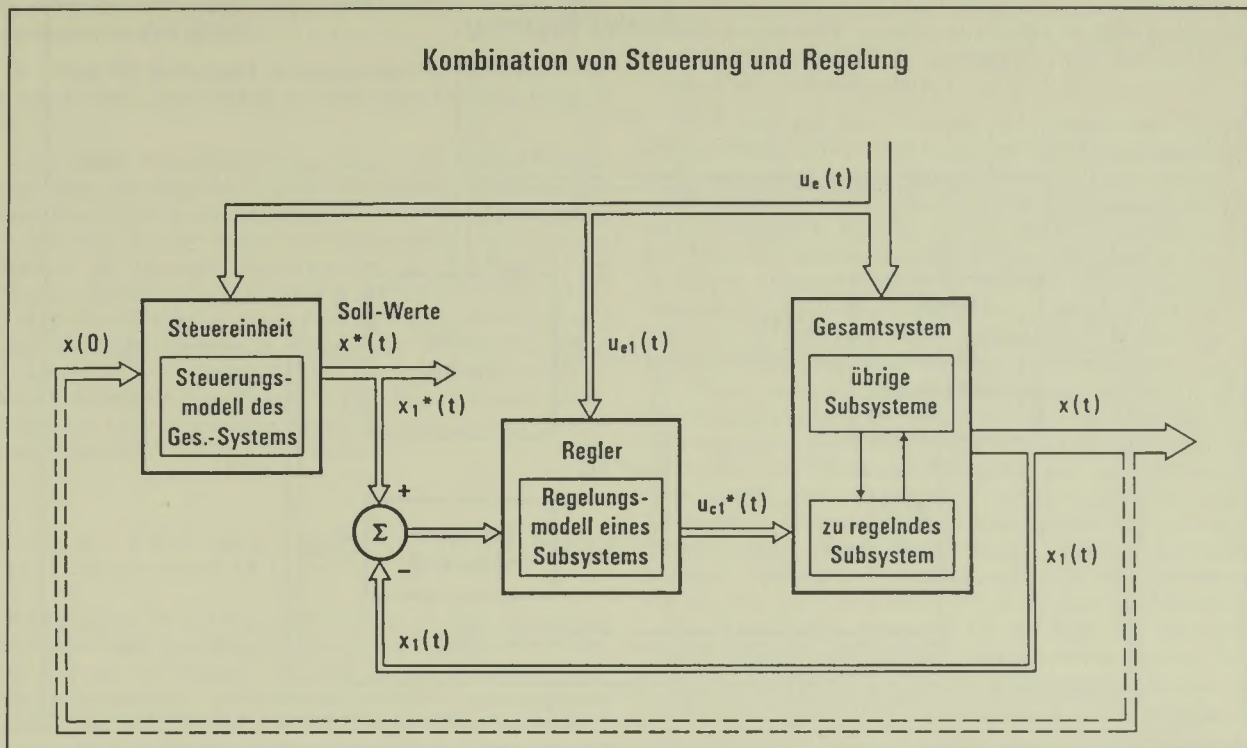


Schaubild 3

Die in Schaubild 3 dargestellte Konstellation charakterisiert weitgehend den Ablauf praktischer Betriebsführung. In dieser Hinsicht symbolisiert das Steuerglied die Planungsaktivitäten, mit denen Sollwerte geschaffen werden. Im Rahmen der täglichen Entscheidungsfindung wird dann versucht, möglichst nahe an diese Sollwerte heranzukommen. Dies entspricht im Prinzip dem Regelungsproblem in Schaubild 3. Allerdings basieren diese Entscheidungen in der Praxis eher auf Daumenregeln und Erfahrungswissen der Betriebsleiter als auf formalen Modellen. Mit der Verfügbarkeit preisgünstiger Kleinrechner ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, insbesondere die kurzfristige Entscheidungsfindung durch geeignete Modelle zu unterstützen und damit die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zu erhöhen.

## 2.2 Adaptive Regelungskonzepte

Der zuvor dargestellte Regelungsansatz trägt der Unsicherheit innerhalb des Systems selbst und seiner Umwelt Rechnung und verwertet bei der Entscheidungsfindung alle Informationen, die zu dem Zeitpunkt verfügbar sind, in welchem die optimale Politik bestimmt wird. Allerdings bleibt unberücksichtigt, daß künftig anfallende Informationen zu einer verbesserten Modellabbildung und damit auch zu fundierteren Entscheidungen in der Zukunft führen können. Mit der Einbeziehung dieser Effekte zusätzlicher Informationen gelangt man in den Bereich adaptiver Regelungskonzepte.

Im weitesten Sinne des Wortes beinhaltet der Ausdruck „adaptiv“ lediglich die systematische Verwertung laufend anfallender Informationen im Entscheidungsprozeß. Allerdings können diese in verschiedener Form in den Prozeß eingehen. Da das Regelungskonzept an sich bereits von der laufenden Beobachtung der Zustandsvariablen des Systems Gebrauch macht, wird bisweilen auch schon auf einfache

Regelkreise der Begriff adaptiv angewandt. Im Rahmen dieses Beitrages wird indessen erst dann von adaptiver Regelung gesprochen, wenn die laufend anfallenden Informationen nicht nur zur Bestimmung des jeweiligen Niveaus der Instrumentvariablen herangezogen werden, sondern gleichzeitig auch der Verbesserung der Modellabbildung dienen.

Gemäß dieser Definition hat das adaptive Regelungsproblem die in Schaubild 4 dargestellte Form. Jede neue Beobachtung wird dazu benutzt, die Anpassung der Modellparameter an die reale Welt zu verbessern. Die Anwendung adaptiver Kontroll- oder Regelungskonzepte impliziert damit, daß die wahren Werte der Systemparameter nicht mit Sicherheit bekannt sind, bzw. sich im Zeitablauf ständig ändern.

Um weitere Einsichten in die Implikationen adaptiver Systeme zu gewinnen, sei zunächst angenommen, daß ein stochastisches System geregelt werden soll, von welchem die Verteilungsgesetze für die Parameter und exogenen Einflußgrößen bestmöglich bekannt sind. In diesem Fall sind die möglichen Abweichungen zwischen prognostiziertem und tatsächlichem Verhalten rein zufällig. Da bezüglich der stochastischen Prozesse nichts mehr hinzulernt werden kann, würde die optimale Politik - wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben - allein als Funktion der beobachteten exogenen und Zustandsvariablen dargestellt.

Falls hingegen künftige Beobachtungen zu verbesserten Parameterschätzungen führen können, ist ein neues Element zu berücksichtigen. Nunmehr ist die optimale Politik zusätzlich auch eine Funktion des jeweiligen Wissensstandes über die unbekannt Systemkomponenten, üblicherweise ausgedrückt in Form von Parametern oder Momenten entsprechender Verteilungsfunktionen. Sie erhält damit die allgemeine Form

$$u^*(t) = f_a(x(t), u_e(t), p_t(a), t),$$

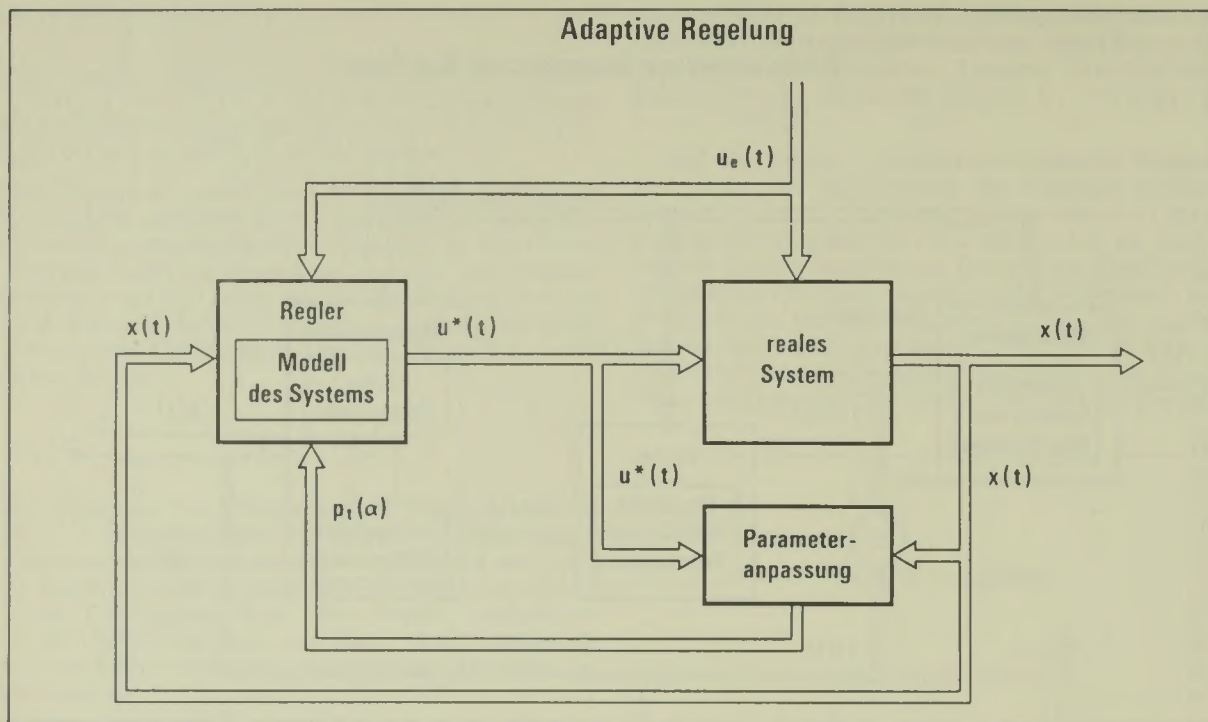


Schaubild 4

wobei  $p_t(a)$  die zum Zeitpunkt  $t$  vorliegende Schätzung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die unbekannt Parameter  $a$  angibt. Auf diese Weise erhält das Entscheidungsproblem eine neue Dimension, nämlich die des Experimentierens. Da in vielen Fällen die jeweils getroffene Entscheidung selbst die Art und den Umfang der dadurch entstehenden Zusatzinformation beeinflusst, bestimmt sie die Zielfunktion in zweifacher Hinsicht: Neben dem direkten Effekt über die Kausalitäten innerhalb des Systems entsteht ein indirekter Zielbeitrag dadurch, daß die Verbesserung der Modellabbildung die Effizienz künftiger Entscheidungen erhöht. Dies wird allgemein als „dualer Effekt“ der Regelung bezeichnet (Feldbaum, 1965). Die volle Berücksichtigung dieser Dualität verlangt, daß sowohl die direkten Effekte der Regelung als auch die erwarteten Auswirkungen künftiger Lernprozesse gemeinsam bei der Optimierung erfaßt werden. In diesem Fall impliziert die resultierende optimale Politik ein sog. „aktives Lernen“. In der entscheidungstheoretischen Literatur entspricht dieses Prinzip der sog. „preposteriori-Analyse“ im Sinne des Bayesschen Theorems (vgl. Raiffa und Schlaifer, 1961; Anderson et al., 1977).

Im Gegensatz dazu lernt das System zufällig oder „passiv“, wenn die Parameteranpassung und die eigentliche Regelung voneinander unabhängig gehandhabt werden. In diesem Fall basiert die optimale Politik allein auf dem aktuellen Stand der Parameterschätzung, ohne daß künftige Lerneffekte berücksichtigt werden. Sobald neue Beobachtungswerte vorliegen, werden die Modellparameter aktualisiert und eine neue optimale Politik ermittelt. Auf diese Weise läuft ebenfalls ein schrittweiser Lernprozeß ab, jedoch ohne die für aktives Lernen typische zielgerichtete Informationssuche. Regelungskonzepte dieser Art werden auch als „open-loop feedback“ bezeichnet, um zu verdeutlichen, daß der Regelkreis im Gegensatz zum vorherigen Fall nicht durch alle Phasen hindurch geschlossen ist (Aoki, 1967; Rausser und Hochman, 1979).

Aktiv adaptive Konzepte sind die komplexeste Form der Regelung und es ist bislang noch nicht gelungen, analytische Lösungen für Probleme dieser Art herzuleiten. Stattdessen wurden eine Reihe numerischer Lösungsansätze entwickelt (vgl. Rausser und Hochman, 1979, S. 265 ff.). In Simulationsstudien durchgeführte Tests dieser Ansätze deuten darauf hin, daß ihre Effizienz in starkem Maße von der spezifischen Problemstellung abhängt. In vielen Fällen erwiesen sich dabei die komplexeren aktiv adaptiven Ansätze als nicht wesentlich leistungsfähiger als open-loop-feedback-Konzepte, die wesentlich geringere rechen-technische Anforderungen stellen (vgl. dazu Rausser und Hochman, 1979, S. 288 ff.). Daraus ergibt sich, daß man sich beim gegenwärtigen Stand der kontrolltheoretischen Forschung in der Entwicklung von Entscheidungshilfsmitteln, bei denen Parameteranpassungsmechanismen prinzipiell als notwendig erachtet werden, eher auf passiv lernende Konzepte konzentrieren sollte, da die Vorteile der komplexeren Ansätze deren Nachteile in rechen-technischer Hinsicht zumeist nicht wettmachen können (Norman, 1976). Dies gilt insbesondere dann, wenn die Modelle auf Mikrocomputern implementiert werden sollen, da deren Kapazität begrenzt ist und lange Modellausführungszeiten die Benutzerfreundlichkeit stark vermindern.

### 3 Die Bedeutung adaptiver Regelungskonzepte für verschiedene Betriebsführungsaufgaben

Für die Entwicklung von Entscheidungshilfsmitteln ist es wichtig zu wissen, für welche Arten von Betriebsführungsaufgaben adaptive Regelungskonzepte von besonderem Nutzen sind. Generell läßt sich sagen, daß für eine sinnvolle Anwendung derartiger Konzepte zwei Voraussetzungen erfüllt sein müssen:

1. Es handelt sich um ein relativ neues System, so daß über seine Parameter noch wenige Informationen vorlie-

gen, oder die Systemparameter im Zeitablauf ändern. 2. Es fallen im Zeitablauf an, so daß Lerneffekte sind. Aus diesen Voraussetzungen im Hinblick auf die Systemparameteränderungen im Zeitablauf. 3.1 Regelungs- theoretischen Prozeß. Kurzfristige Entscheidungs- Produktion beziehen sich sowie auf die Festlegung, Produktionsprozesse. Ent- gramme sind von besond- haltung, da hier die Kraft Einzelne nach Mög- tentials erfolgt. Beim Ein- automaten und Geräte- messung fallen in kurzfrist- Schätzung und infolgedes- ökonomischer Vorteile zu- angezogen werden können, sem Fall erforderlich, we- Zeitablauf ständig veränd- welchen Ansatzes wären die- die wesentlichen Zusammen- Mäckerzeugung abläuft, in- passung der Temperaturwä- den anfallenden Nebenwert- stimmung der optimalen jeweils aktuellen Parameter- In der Regel- und bei- Regelungskonzepte über- rechnerische Entscheidungen- ökonomischen Ablauf an- dann zu verfeinern, wenn- Verluste mindern ist als- entscheidenden zusätzlichen- sowohl von der Gewinnmax- gen Produktionskosten sind- Anreiz von Marktmechanism- gegenüber, wie im Mär- selbst, beide Komponenten- stellen, die Entscheidungs- zurechnen, umgekehrt we- (normalerweise) aufgrund der- wicklung unterschiedlicher F- 3.2 Regelungs- pflanzlichen Prozeß. In der pflanzlichen Pro- Regelungskonzepte für die- dungen im Bereich der Umge-

gen, oder die Systemparameter unterliegen ständigen Veränderungen im Zeitablauf.

2. Es fallen im Zeitablauf in ausreichender Häufigkeit Daten an, so daß Lerneffekte in spürbarem Umfang möglich sind.

Aus diesen Voraussetzungen lassen sich einige Schlußfolgerungen im Hinblick auf die Bedeutung adaptiver Regelungskonzepte für verschiedene Betriebsführungsaufgaben ableiten. Aus der letztgenannten Bedingung folgt, daß sie aufgrund der kürzeren Kontrollintervalle im Bereich der taktischen Entscheidungsfindung generell erfolversprechender sind als im strategischen Entscheidungsbereich. Damit liegen die Anwendungen in erster Linie bei der kurzfristigen Kontrolle und Steuerung von Produktionsabläufen sowie der Ableitung von Beschaffungs- und Absatzentscheidungen. Im folgenden sollen beispielhaft einige solche Probleme etwas näher beleuchtet werden.

### 3.1 Regelungsprobleme im Bereich der tierischen Produktion

Kurzfristige Entscheidungsprobleme in der tierischen Produktion beziehen sich in erster Linie auf die Fütterung sowie auf die Festlegung von Anfang und Ende einzelner Produktionsprozesse. Entscheidungen über Fütterungsprogramme sind von besonderer Bedeutung in der Milchviehhaltung, da hier die Kraftfutterzuteilung üblicherweise auf Einzeltierbasis nach Maßgabe des jeweiligen Leistungspotentials erfolgt. Beim Einsatz von Kraftfutterzuteilungsautomaten und Geräten zur automatischen Milchmengenmessung fallen in kurzfristigen Abständen Daten an, die zur Schätzung und laufenden Anpassung der Parameter von Modellen zur Bestimmung tierspezifischer Futterrationen herangezogen werden können. Ein adaptiver Ansatz ist in diesem Fall erforderlich, weil die Modellparameter sich im Zeitablauf ständig verändern. Die Komponenten eines solchen Ansatzes wären dann ein dynamisches Modell, das die wesentlichen Zusammenhänge zwischen Fütterung und Milcherzeugung abbildet, eine Prozedur zur laufenden Anpassung der tierspezifischen Modellparameter entsprechend den anfallenden Meßwerten, sowie ein Algorithmus zur Bestimmung der optimalen Futterration auf der Basis der jeweils aktuellen Parameterausprägung.

In der Rinder- und Schweinemast erscheinen adaptive Regelungskonzepte insbesondere im Hinblick auf Vermarktungsentscheidungen interessant. Allgemein ist nach ökonomischem Kalkül ein Masttier oder eine Tiergruppe dann zu verkaufen, wenn der Grenzerlös eines späteren Verkaufs niedriger ist als die durch die Mastverlängerung entstehenden zusätzlichen Kosten. Da der zusätzliche Erlös sowohl von der Gewichtszunahme als auch von der künftigen Preisentwicklung abhängt, würde ein entsprechender Ansatz zwei Modellkomponenten enthalten: ein Preisprognosemodell sowie ein Modell des Wachstumsprozesses selbst. Beide Komponenten sollten adaptive Ansätze darstellen; das Preisprognosemodell, da seine Parameter als zeitvariant angenommen werden können und das Wachstumsmodell aufgrund der Differenzen in der Gewichtsentwicklung unterschiedlicher Tiergruppen.

### 3.2 Regelungsprobleme im Bereich der pflanzlichen Produktion

In der pflanzlichen Produktion eignen sich adaptive Regelungskonzepte vor allem zur Ableitung von Entscheidungen im Bereich der Düngung, des Pflanzenschutzes und

der Vermarktung. Für den letztgenannten Fall wären wiederum adaptive Preisprognosemodelle zu entwickeln und in Lagerhaltungsmodelle zu integrieren, um daraus optimale Verkaufspolitik abzuleiten.

In bezug auf den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln ist es nicht zuletzt aus Umweltschutzgründen notwendig, Entscheidungshilfsmittel zu entwickeln, die einen gezielteren und damit letztlich sparsameren Mitteleinsatz ermöglichen. Hierfür sind Modelle erforderlich, welche die Dynamik der zugrundeliegenden biologischen Systeme, d. h. des Pflanzenwachstums und der Schädlingsentwicklung in ihren Grundzügen erfassen. Adaptive Ansätze bieten sich in diesem Bereich insbesondere deshalb an, weil bislang wenig über die Parameter solcher Modelle bekannt ist. Wollte man vor einer Modellimplementierung für die Parameterschätzung in ausreichendem Umfang Daten aus Feldversuchen gewinnen, so würde bis zur Nutzbarmachung derartiger Entscheidungshilfsmittel ein erheblicher Zeitraum verstreichen. Es erscheint deshalb sinnvoller, zunächst vorhandenes Wissen für eine vorläufige Modellformulierung heranzuziehen. Durch Einbeziehung adaptiver Komponenten sollte sichergestellt werden, daß sich die Parameter dieser Modelle im Laufe der Zeit an die spezifischen betrieblichen Verhältnisse anpassen. Die im Zuge der Anwendung solcher Modelle gewonnenen Daten können dann zu einem späteren Zeitpunkt für die Überarbeitung der Modellstruktur genutzt werden. Durch eine solche Vorgehensweise ließe sich eine schrittweise Verbesserung des Betriebsführungsinstrumentariums erreichen.

### 4 Methodische Aspekte der Modellentwicklung

Grundsätzlich beinhalten Entscheidungshilfsmittel auf der Basis adaptiver Regelungskonzepte vier wesentliche Komponenten:

1. Modelle der zu kontrollierenden biologischen Prozesse,
2. Modelle zur Prognose der künftigen Entwicklung exogener Variablen,
3. Verfahren zur laufenden Anpassung der Parameter dieser Modelle und
4. Algorithmen zur Ableitung optimaler Politiken.

Ein wichtiges Merkmal biologischer Systeme ist die Tatsache, daß diese in hohem Maße nichtlinear sind. Demgegenüber weist die Kontrolltheorie hauptsächlich in bezug auf lineare Systeme einen hohen Entwicklungsstand auf. Damit steht man vor dem Dilemma, daß eine gute (nicht-lineare) Modellabbildung problematisch in bezug auf die Ableitung einer optimalen Politik ist, bzw. die Anwendung bestimmter kontrolltheoretischer Konzepte starke Vereinfachungen in bezug auf die modellmäßige Repräsentation der zugrundeliegenden biologischen Prozesse erfordert. Welcher Weg der geeignetere ist, hängt von der Zielsetzung der Modellentwicklung ab. Besteht diese in erster Linie in der Erklärung von Zusammenhängen, so liegt der Schwerpunkt auf der korrekten Erfassung der Kausalbeziehungen. Dienen die Modelle hingegen als Entscheidungshilfsmittel, so ist das Hauptgewicht auf die Lösung des Kontroll- bzw. Regelungsproblems zu legen. Hierfür ist es in vielen Fällen erforderlich und vertretbar, von einer vereinfachten (linearisierten) Abbildung des biologischen Systems auszugehen.

In bezug auf die kurzfristige Prognose exogener Variablen können Zeitreihenmodelle des Box-Jenkins-Typs in vielen Fällen geeignete Ansätze darstellen (vgl. Box und Jenkins, 1976; Granger und Newbold,

1977). Diese lassen sich - wie Fischer (1982) am Beispiel der Lagerhaltung zeigt - in adaptive Regelungskonzepte integrieren, so daß die optimale Politik stets auf der letzten Prognose der exogenen Größen basiert. Für die laufende Parameteranpassung können sequentielle Regressionsmethoden (vgl. Graupe, 1972) oder Kalman-Filter (vgl. u. a. Chow, 1975; Fischer, 1979 und 1982; Hauptmann, 1978) herangezogen werden, sofern eine lineare Modellformulierung vorliegt.

Zur Ableitung der optimalen Politik auf der Basis des jeweils aktuellen Informationsstandes bietet sich grundsätzlich das Rekursionsprinzip des Bellman'schen Konzepts der dynamischen Programmierung an (Bellman, 1957). Dies bedeutet, daß das mehrperiodische Optimierungsproblem in mehrere einperiodische Teilprobleme zerlegt wird, die dann entsprechend einfacher zu lösen sind\*2). Für bestimmte Kategorien von Modellen können auch analytische Lösungen abgeleitet werden (vgl. Rausser und Hochman, 1979; Fischer, 1982).

Zusammenfassung

Die komplexe Natur vieler landwirtschaftlicher Betriebsführungsaufgaben legt es nahe, zu ihrer Lösung in verstärktem Maße mathematische Modelle einzusetzen. Die jüngsten Entwicklungen im Bereich der Datenverarbeitungs- und Kommunikationstechnologie haben die Möglichkeiten eines Einsatzes derartiger Modelle zur Unterstützung der Entscheidungsfindung beträchtlich erweitert. Der Nutzen solcher Entscheidungshilfsmittel hängt dabei in starkem Maße davon ab, inwieweit diese die wesentlichen Merkmale des jeweiligen Entscheidungsproblems korrekt wiedergeben.

Da Unternehmen im Prinzip dynamische Systeme darstellen, sind ein großer Teil der Entscheidungsprobleme ihrer Natur nach Steuerungs- und Regelungsprobleme, deren Behandlung Gegenstand der modernen Kontrolltheorie ist. Im vorliegenden Beitrag werden verschiedene kontrolltheoretische Konzepte dargestellt und auf ihre Relevanz für bestimmte Kategorien von Entscheidungsproblemen hin untersucht. Den Abschluß bilden einige Hinweise auf Methoden, die bei der Entwicklung entsprechender Modelle herangezogen werden können.

Optimal control concepts as basis for the development of decision support models

The complex nature of many farm management problems has caused a need for decision support systems. Recent developments in computer and communication technology have greatly enhanced the possibilities for on-farm use of models that shall serve as decision aids. To be useful these models must reflect the true nature of the decision problems they aim to support.

Since farm operations can be viewed as dynamic systems, a wide range of management problems are dynamic control problems. In this paper the principles of different control concepts are outlined, including open-loop, closed-loop and adaptive control schemes. Examples are given that illustrate the usefulness of these concepts for different classes of decision problems. The paper concludes with some comments on the methods that can be utilized in model development.

Literaturverzeichnis

Anderson, J. R., Dillon, J. L. und Hardaker, B.: Agricultural Decision Analysis. - Ames (Iowa) 1977.  
 Aoki, M.: Optimization of Stochastic Systems. - New York 1967.

\*2) Bezüglich landwirtschaftlicher Anwendungen vgl. u. a. Hinrichs (1974); Rausser und Hochman (1979); Berg und Weindlmaier (1983).

Aoki, M.: Optimal Control and Systems Theory in Dynamic Economic Analysis. - New York 1976.

Bellman, R.: Dynamic Programming. - Princeton 1957.

Berg, E. und Weindlmaier, H.: Einkommensreserven im Vermarktungsbereich. - In: Grosskopf, W. und Köhne, M. (Hrsg.): Einkommen in der Landwirtschaft - Entstehung, Verteilung, Verwendung und Beeinflussung. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e. V., Bd. 21. Münster-Hiltrup 1984, S. 561-592.

Berg, E.: Mikrocomputereinsatz im landwirtschaftlichen Betrieb. - Berichte über Landwirtschaft (im Druck, 1985).

Box, E. P. und Jenkins, G. M.: Time Series Analysis, Forecasting and Control. - San Francisco 1976.

Chow, G. C.: Analysis and Control of Dynamic Economic Systems. - New York 1975.

Feldbaum, A. A.: Optimal Control Systems. - New York 1965.

Fischer, R.: Anwendung der linearen Filtertheorie zur Reduktion der Unsicherheit bei dynamischen stochastischen Modellen. - In: Stöpler, S. (Hrsg.): Dynamische ökonomische Systeme - Analyse und Steuerung. Wiesbaden 1979.

Fischer, T.: Kontrolltheoretische Entscheidungsmodelle - Ein Beitrag zur Abstimmung von Produktion und Lagerhaltung auf unsichere Nachfrage. - Wirtschaftskybernetik und Systemanalyse, Bd. 7. Berlin 1982.

Granger, C. W. J. und Newbold, P.: Forecasting Economic Time Series. - New York 1977.

Graupe, D.: Identification of Systems. - New York 1972.

Harsh, S. B., Connor, L. J. und Schwab, G. D.: Managing the Farm Business. - Englewood Cliffs (N. J.) 1981.

Hauptmann, H.: Kalmanfilter als Schätz- und Prognosemethode für ökonomische Modelle. - Wirtschaftskybernetik und Systemanalyse, Bd. 4. Berlin 1978.

Hax, H. und Laux, H.: Flexible Planung - Verfahrensregeln und Entscheidungsmodelle für die Planung bei Ungewissheit. - Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 24 (1972).

Hinrichs, P.: Die Formulierung und dynamische Optimierung von Entscheidungssequenzen - vorgeführt an Planungsproblemen der Landwirtschaft. - Meisenheim 1974.

Kirk, D. E.: Optimal Control Theory. - Englewood Cliffs (N. J.) 1970.

Kuhlmann, F., Andel, A. und Langenbruch, F.: Structure and Components of Farm Management Information Systems. - In: Hanf, C.-H. und Schiefer, G. W. (Hrsg.): Decision and Information in Agribusiness, Proceedings of the 3rd Symposium of the EAAE. Kiel 1982.

Kuhlmann, F.: Computergestützte Betriebsführung. - Vortrag anlässlich der Tagung „Neue Informationstechniken im Agrarbereich“ des Dachverbandes wissenschaftlicher Gesellschaften der Agrar-, Forst-, Ernährungs-, Veterinär- und Umweltforschung e. V. vom 26.-27. März 1984 in Bonn.

Laux, H.: Unternehmensbewertung bei Unsicherheit. - Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 41 (1971).

Manetsch, T. J. und Park, G. L.: System Analysis and Simulation with Applications to Economic and Social Systems. - Department of Electrical Engineering and System Science, Michigan State University, East Lansing (Michigan) 1977.

Niemeyer, G.: Kybernetische System- und Modelltheorie - system dynamics. - München 1977.

Norman, A. L.: First Order Dual Control. - Ann. Econ. Soc. Meas. 5 (3) 1976, S. 311-322.

Raiffa, H. und Schlaifer, R.: Applied Statistical Decision Theory. - Boston (Mass.) 1961.

Rausser, G. C. und Hochman, E.: Dynamic Agricultural Systems: Economic Prediction and Control. - New York 1979.