
Berg, E.: Ablaufplanung in spezialisierten Betrieben. In: Seuster, H., Wöhlken, E.:
Konzentration und Spezialisierung im Agrarbereich. Schriften der Gesellschaft für
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 16, Münster-Hiltrup:
Landwirtschaftsverlag (1979), S. 305-324.

ABLAUFPLANUNG IN SPEZIALISIERTEN BETRIEBEN

von

E r n s t B e r g, Bonn

- 1 Einführung
 - 2 Gegenstand und Aufgabe der Ablaufplanung
 - 3 Grundlagen der Ablaufplanung in der landwirtschaftlichen Produktion
 - 3.1 Der landwirtschaftliche Produktionsprozeß aus systemtheoretischer Sicht
 - 3.2 Ziele der Gestaltung des Produktionsablaufes
 - 4 Methodische Aspekte landwirtschaftlicher Produktionsablaufmodelle
 - 4.1 Anforderungen an Ablaufplanungsmodelle
 - 4.2 Das biologische System
 - 4.3 Der ökonomische Entscheidungsprozeß
 - 5 Anwendungsbereiche landwirtschaftlicher Produktionsablaufmodelle
 - 5.1 Ablaufplanung in der pflanzlichen Produktion
 - 5.2 Ablaufplanung in der tierischen Produktion
 - 6 Zur Vorgehensweise bei der Konstruktion bioökonomischer Modelle
-

1 Einführung

=====

Mit steigender Spezialisierung gewinnt neben der laufenden Kontrolle durchgeführter Maßnahmen die Planung der Produktions- und Arbeitsabläufe zunehmend an Bedeutung. Dies ergibt sich aus der allgemeinen Überlegung, daß wirtschaftliche Entscheidungen in der Regel unter der Bedingung gefällt

werden müssen, daß das Ergebnis einer Handlung u.a. abhängt von einer Reihe von Faktoren, deren künftige Konstellation zum Zeitpunkt der Entscheidung nur bedingt vorhersehbar ist. Die hierdurch gekennzeichnete Unsicherheitssituation gewinnt für Einzelentscheidungen umso mehr an Bedeutung, je geringer mit zunehmender Produktspezialisierung die Möglichkeiten eines Risikoausgleiches sind.

Eine differenzierte Planung des Produktionsablaufes, deren Ziel es letztlich ist, eine möglichst gute Anpassung an wechselnde Umwelbedingungen zu gewährleisten, kann zu einer Verminderung dieses Produktionsrisikos führen. Aufgabe der Studie ist es daher, einen Beitrag zur Planung von Produktionsabläufen zu leisten.

2 Gegenstand und Aufgabe der Ablaufplanung

Die Betriebswirtschaftslehre unterscheidet im Rahmen der Produktionsplanung zwischen der Produktionsprogrammplanung und der Produktions- bzw. Fertigungsvollzugsplanung (GUTENBERG, 15, S. 125). Letztere hat dabei als Durchführungsplanung den Charakter einer Detailplanung und beinhaltet die Antizipation der zeitlichen Abfolge des Produktionsprozesses. Sie setzt das Produktionsprogramm als gegeben voraus und umfaßt nach GUTENBERG (15, S. 142 ff.) die Bereitstellungsplanung und die (Arbeits-) Ablaufplanung.

Die Bereitstellungsplanung beinhaltet die Verfügbarmachung der für die Fertigung notwendigen Betriebsmittel nach Art, Menge, Ort und Zeit, wohingegen die eigentliche Ablaufplanung sich mit dem Problem der zeitlichen Abfolge der einzelnen Arbeiten innerhalb des Produktionsprozesses befaßt.

Allgemein formuliert besteht die Aufgabe der Ablaufplanung in der Schaffung einer zeitlichen Ordnung für den Einsatz der Produktionsfaktoren und den Durchlauf der Werkstücke (ELLINGER, 11, S. 14). Da die Erstellung einer derartigen zeitlichen Ordnung sowohl die Bestimmung der Reihenfolge als auch die Festlegung der Zeitpunkte für die Durchführung der einzelnen Arbeiten verlangt, ist das Problem der Ablaufplanung als Reihenfolgeproblem einerseits und als Terminproblem andererseits charakterisiert.

Zwischen der Bereitstellungsplanung für die Produktionsfaktoren und der Ablaufplanung bestehen enge wechselseitige Beziehungen. So hat die zeitliche Abfolge der Arbeiten wesentlichen Einfluß auf die erforderlichen Lagerkapazitäten für die Vor-, Zwischen- und Endprodukte, oder im umgekehrten Sinne geben die genannten Kapazitäten den Rahmen an, innerhalb dessen sich der Produktionsablauf zu vollziehen hat. Es erscheint daher in vielen Fällen wenig sinnvoll, Bereitstellungsplanung und Ablaufplanung inhaltlich voneinander zu trennen. Gleichwohl hat die Vielschichtigkeit des Problems dazu geführt, daß die Bereitstellungsplanung - darunter insbesondere die Investitionsplanung sowie die Beschaffungsplanung für Werkstoffe (Lagerhaltungsproblem) - und die Ablaufplanung meist isoliert betrachtet werden. Die in der allgemeinen betriebswirtschaftlichen Literatur dokumentierten Modelle zur Planung des Produktionsablaufes gehen daher in der Regel davon aus, daß nicht nur das Produktionsprogramm als Datum feststeht, sondern auch hinsichtlich der Bereitstellung der Produktionsfaktoren alle Entscheidungen bereits getroffen sind (vgl. u.a. DINKELBACH, 9; MENSCH, 26; MÖLLER et al., 27; SEELBACH, 29).

3 Grundlagen der Ablaufplanung in der landwirtschaftlichen Produktion

=====

Art und Umfang der Probleme, die mit der Aufbauplanung einer Lösung zugeführt werden sollen bzw. können, werden in erheblichem Maße bestimmt durch die charakteristischen Merkmale und Eigenheiten des Produktionsprozesses selbst. Daher soll im folgenden zunächst die landwirtschaftliche Produktion in einer für Fragen der Ablaufplanung geeignet erscheinenden Form dargestellt werden, bevor auf die daraus abzuleitenden Zielsetzungen der Ablaufplanung sowie auf spezielle Problemstellungen näher eingegangen wird.

3.1 Der landwirtschaftliche Produktionsprozeß aus systemtheoretischer Sicht

Im Gegensatz zu industriellen Fertigungsprozessen sind landwirtschaftliche Produktionsabläufe dadurch gekennzeichnet, daß sie auf biologischen Wachstums-, bzw. Alterungs- und Fortpflanzungsprozessen basieren, in die auf verschiedene Weise steuernd und regelnd eingegriffen werden kann. Landwirtschaftliche Arbeitsabläufe stellen daher keine Tätigkeiten dar, die

an toten Werkstücken vollzogen werden, sondern beinhalten in der Regel zielorientierte Eingriffe in grundsätzlich nach eigenen Gesetzmäßigkeiten ablaufende Prozesse. Diese Eingriffe rufen in den betroffenen Systemen eine Reihe von Anpassungsreaktionen hervor, deren Auswirkungen sich dann in Menge und/oder Beschaffenheit der erzeugten Produkte niederschlagen.

Zur Darstellung der komplexen Zusammenhänge innerhalb und zwischen biologischen Entwicklungs- und ökonomischen Entscheidungsprozessen erscheint das Konzept der allgemeinen Systemtheorie mit seiner grundsätzlichen interdisziplinären Ausrichtung als geeignete Grundlage. Dies gilt umso mehr als die Systemtheorie in ihrem wesentlichen Gehalt biologischen Ursprungs ist und biologische Systeme das Kernstück landwirtschaftlicher Produktionsprozesse bilden.

Als Begründer der allgemeinen Systemtheorie kann L. von BERTALANFFY angesehen werden, der das Konzept des "offenen Systems" zur Erklärung von Wachstums-, Regulations- und Gleichgewichtsfragen biologischer Systeme entwickelte (vgl. BERTALANFFY, 4).

Unter einem System versteht man heute allgemein "eine Anzahl von Elementen mit Eigenschaften, die untereinander in einem Beziehungszusammenhang stehen" (LEHMANN und FUCHS, 25, S. 568), wobei das Element die kleinste darstellbare bzw. interessierende Einheit innerhalb des Systems ist. Elemente, die untereinander in einem sehr engen Zusammenhang stehen, können ihrerseits wiederum zu Subsystemen innerhalb des Gesamtsystems zusammengefaßt werden.¹⁾

Grundsätzlich werden offene und geschlossene Systeme unterschieden. Dabei läßt sich ein offenes System dahingehend charakterisieren, daß es aus seiner Umwelt Strömungsgrößen - wie Materie, Energie und Information - aufnimmt, sie in seinem Inneren einem Transformationsprozeß unterwirft und in umgewandelter Form an die Umwelt zurückgibt (vgl. GROCHLA, 13, S. 557; LEHMANN und FUCHS, 25, S. 567).

1) Von einem Subsystem wird man immer dann sprechen können, wenn innerhalb der als Subsystem zu definierenden Gesamtheit von Elementen ein höheres Maß an Interaktionen oder Beziehungen besteht als zwischen dieser und anderen Gesamtheiten bzw. der Umwelt (vgl. ULRICH, 35, S. 36).

Gemäß diesen Definitionen kann der landwirtschaftliche Produktionsprozeß als ein offenes System angesehen werden, bestehend aus dem biologischen und dem ökonomischen Subsystem, zwischen denen Interaktionen verschiedener Art stattfinden. Die wesentlichen Zusammenhänge innerhalb eines derartigen bioökonomischen Systems sind in Abb. 1 dargestellt.

Betrachtet man zunächst das biologische System, so beinhaltet dieses die Entwicklung verschiedener Populationen, zwischen denen wechselseitige Zusammenhänge bestehen, wobei sich komplementäre, konkurrierende oder parasitäre Beziehungen unterscheiden lassen (vgl. BOULDING, 6, S. 21). Die einzelnen Populationen stellen Gesamtheiten von Tieren, Pflanzen oder auch Bestandteilen derselben dar. Sie kennzeichnen einerseits erwünschte und andererseits unerwünschte, d.h. Schadpopulationen im weitesten Sinne. Jede dieser Populationen zeigt dynamische Eigenbewegungen, die den biologischen Wachstums- und Fortpflanzungsprozeß kennzeichnen. Die ablaufenden Prozesse werden dabei beeinflußt von der biologischen Umwelt des Systems.

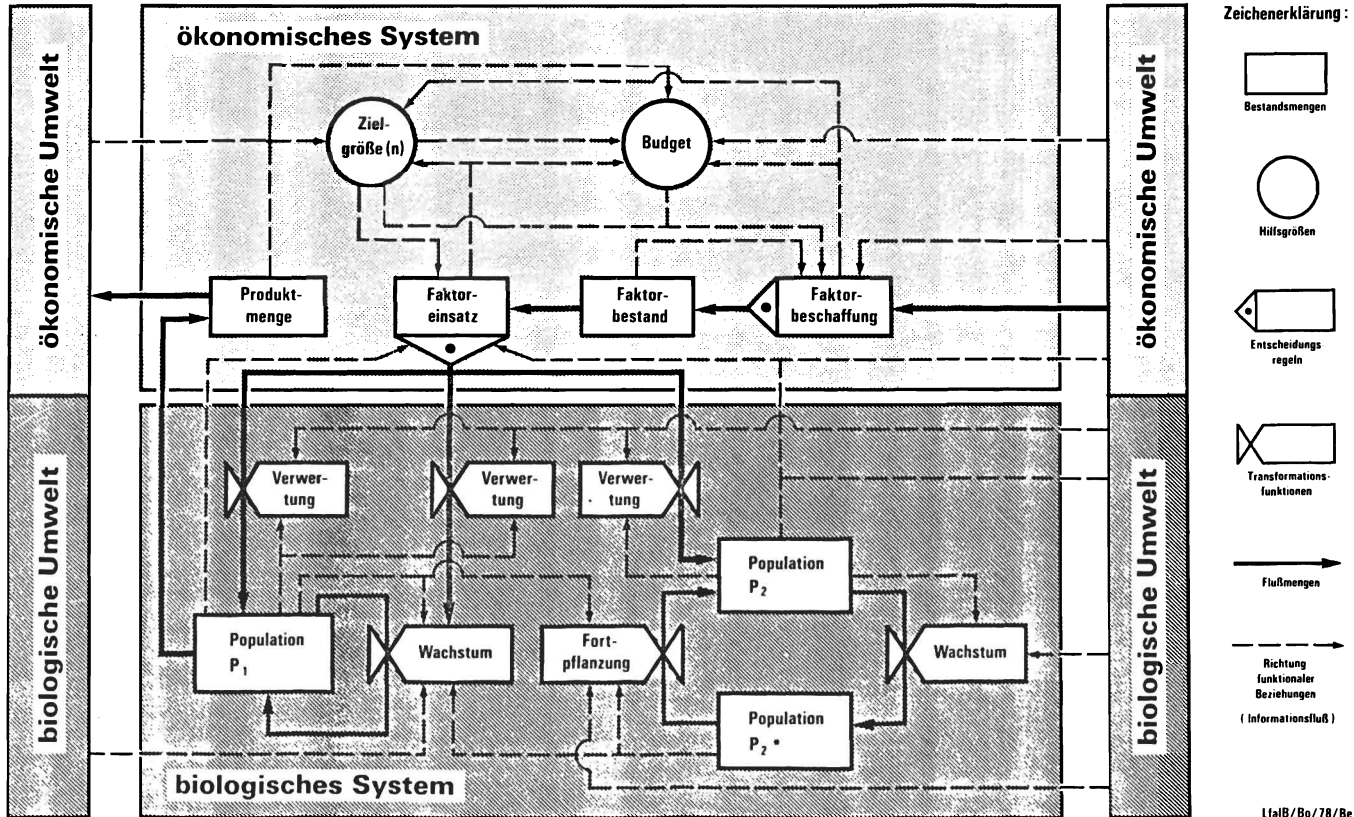
In Abb. 1 könnte die Population P_1 beispielsweise einen Kulturpflanzenbestand kennzeichnen, dessen Wachstumsverlauf zunächst beeinflußt wird von den klimatischen Umweltbedingungen. Daneben nimmt eine Schadpopulation (P_2) Einfluß auf die Entwicklung des Kulturpflanzenbestandes. Diese Schadpopulation (z.B. Unkräuter, tierische Schädlinge oder Pilzbefall) weist ihrerseits einen eigenen Entwicklungskreislauf unter dem Einfluß der biologischen Umweltbedingungen auf. Da die Kulturpflanze die Lebensgrundlage der Schädlingspopulation darstellt, bestimmt sie wiederum deren Entwicklungsdynamik. Diese genannten Zusammenhänge lassen sich analog auf Produktionsprozesse aus dem Bereich der Tierhaltung übertragen.

Das ökonomische Subsystem kennzeichnet den eigentlichen Entscheidungsbereich des Landwirtes. Die zu treffenden Entscheidungen beinhalten die Faktorbeschaffung (-bereitstellung) sowie den Faktoreinsatz nach Art, Menge und Zeitpunkt.¹⁾ Sie werden einerseits durch die verfügbaren Ressourcen und spezifischen Ziele des Entscheidenden sowie andererseits durch die ökonomische Systemumwelt (Preise, Angebots- und Nachfragesituation) bestimmt. Innerhalb des ökonomischen Systems bestehen dynamische Rückkopplungen verschiedener Art. So haben z.B. die Entscheidungen über Faktorbeschaffung und -einsatz, ebenso wie die erzeugte Produktmenge

1) Der Absatzbereich wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht gesondert aufgeführt.

Abb. 1

Bioökonomisches System der landwirtschaftlichen Produktion



Rückwirkungen auf Zielgrößen und Ressourcen; diese wiederum beeinflussen ihrerseits die künftigen Entscheidungen.

Durch den Einsatz der Produktionsfaktoren wird zu unterschiedlichen Zeitpunkten in den natürlichen Wachstumsverlauf eingegriffen und auf diese Weise die Verbindung zwischen biologischem und ökonomischem System hergestellt. In Abb. 1 sind drei Wirkungsrichtungen des Faktoreinsatzes unterschieden: Zum einen kann die erwünschte Population (P_1) direkt beeinflusst werden. Derartige Maßnahmen beinhalten vor allem den Start bzw. den Abbruch des biologischen Entwicklungsprozesses (z.B. Aussaat und Ernte) sowie gezielte Selektionen. Daneben kann der Einsatz von Produktionsfaktoren auf eine Beeinflussung der Wachstumsraten abzielen (z.B. Düngung, Bewässerung, Fütterung). Schließlich können unerwünschte Populationen (P_2) durch entsprechende Maßnahmen ganz oder teilweise vernichtet werden. Einwirkungen auf die Wachstums- bzw. Fortpflanzungsraten von Schadpopulationen, die in Abb. 1 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht gesondert dargestellt wurden, sind in diesem Zusammenhang ebenfalls zu nennen.

Die Wirksamkeit der genannten Maßnahmen hängt ab vom Zustand des biologischen Systems selbst sowie seiner natürlichen Umwelt. Diese beiden Komponenten bestimmen die Verwertung der eingesetzten Produktionsfaktoren. Sie müssen daher bei Entscheidungen über den Faktoreinsatz (Art, Menge, Zeitpunkt) entsprechende Berücksichtigung finden.

Zwischen dem Einsatz der Produktionsfaktoren und ihrem Wirksamwerden treten in der Regel zeitliche Verzögerungen auf. Diese führen dazu, daß der für die Faktorverwertung maßgebliche System- und Umweltzustand zum Entscheidungszeitpunkt nicht bekannt ist und somit nur über entsprechende Prognosen bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden kann.

3.2 Ziele der Gestaltung des Produktionsablaufes

Die vorausgegangenen Darstellungen kennzeichnen einige Sachverhalte, aus denen sich die wesentlichen Zielsetzungen für die Gestaltung landwirtschaftlicher Produktionsabläufe herleiten lassen:

Die biologischen Systeme, die das Kernstück landwirtschaftlicher Produktionsprozesse bilden, zeigen auf Grund ihrer Selbstregelungsmechanismen

grundsätzlich homöostatische Eigenschaften, d.h., sie streben gegen einen stationären Endzustand, in welchem die Strömungsgrößen im Zeitablauf konstant sind. Einen derartigen Zustand bezeichnet man als Fließgleichgewicht (BERTALANFFY, 4, S. 548).

Die Lage des Fließgleichgewichtes wird bestimmt durch die Umweltbedingungen des Systems. Verändern sich diese für einen begrenzten Zeitraum, so wird die Gleichgewichtslage vorübergehend gestört; nach Abklingen der Störung stellt sich der ursprüngliche Zustand wieder ein. Werden die Umweltbedingungen indes auf Dauer verändert, so verläßt das System das ursprüngliche Fließgleichgewicht und geht in einen neuen stationären Zustand über, der sich vom ursprünglichen insofern unterscheidet, als die Strömungsgrößen neue konstante Werte aufweisen (vgl. GROCHLA, et al., 14, S. 535).

Zur Umwelt der biologischen Systeme - genauer zu den Störgrößen, die von außen auf die Systeme einwirken - rechnen auch die menschlichen Einflüsse auf den biologischen Prozeß. Diese Einwirkungen, die in ihrer zeitlichen Folge den Produktionsablauf kennzeichnen, können gemäß obiger Darstellung zwei Zielsetzungen dienen:

Zum einen können sie im Sinne einer dauerhaften Veränderung der Umweltbedingungen darauf abzielen, ein neues Fließgleichgewicht mit veränderten Strömungsgrößen hervorzurufen, wobei im wesentlichen diejenigen Größen von Bedeutung sind, die das System verlassen (Erträge i.w.S.). Diese Zielsetzung hat in erster Linie langfristigen Charakter.

Die zweite - eher kurzfristige - Zielsetzung resultiert daraus, daß die Umweltbedingungen des Systems im Zeitablauf nicht konstant sind, sondern vielmehr zufallsbedingten oder systematischen Schwankungen unterliegen. Diese Schwankungen stellen Störgrößen dar, die der Erreichung eines Fließgleichgewichtes entgegenwirken und somit zu permanenten Veränderungen der Strömungsgrößen führen. Ziel der Gestaltung des Produktionsablaufes ist es hier, die aus den Umweltveränderungen resultierenden Störgrößen zu kompensieren, um auf diese Weise die Bandbreite der (Ertrags-) Schwankungen einzuengen. Die kompensatorischen Maßnahmen bestehen dabei in einer zeitlichen und mengenmäßigen Steuerung des Faktoreinsatzes und bezwecken eine optimale Anpassung an Schwankungen sowohl der biologischen als auch der ökonomischen Umweltvariablen.

4 Methodische Aspekte landwirtschaftlicher Produktionsablaufmodelle

4.1 Anforderungen an Ablaufplanungsmodelle

Aus den charakteristischen Merkmalen des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses sowie den genannten Zielen ergeben sich einige generelle Anforderungen an Modelle zur Planung des Produktionsablaufes:

Zunächst ist festzuhalten, daß innerhalb des Produktionsprozesses zu verschiedenen Zeitpunkten alternative Entscheidungen über den Einsatz der Produktionsfaktoren getroffen werden können, deren Auswirkungen sich in der Regel über mehrere Entscheidungszeiträume hinweg erstrecken. Zur Erfassung dieser Zusammenhänge sind dynamische Modelle erforderlich.

Ferner ist zum jeweiligen Entscheidungszeitpunkt der künftige Zustand des Systems und seiner (biologischen und ökonomischen) Umwelt, von welcher die Verwertung der Produktionsfaktoren maßgeblich bestimmt wird, nicht bekannt und nur bedingt prognostizierbar. Es liegt daher stets eine Unsicherheitssituation vor, die in den Modellen berücksichtigt werden muß.

Schließlich gilt die allgemeine Forderung, daß das Modell die reale Welt ausreichend genau abbilden muß. Ausreichende Genauigkeit bedeutet dabei, daß alle entscheidungsrelevanten Tatbestände erfaßt sein müssen.

Diese Forderung beinhaltet die Frage nach der notwendigen Komplexität eines Modells, die im Grunde nur für ein konkretes Problem beantwortet werden kann. Einige generelle Aspekte hierzu in bezug auf verschiedene Fragestellungen der landwirtschaftlichen Ablaufplanung werden in Abschnitt 5 kurz erörtert werden.

4.2 Das biologische System

In Abschnitt 3.1 wurden die biologischen Prozesse der landwirtschaftlichen Produktion als dynamische Systeme dargestellt, deren Elemente spezifische Verhaltensweisen im Zeitablauf und in Abhängigkeit vom jeweiligen Umweltzustand aufweisen. Sie können daher als eigenständige Regelungssysteme aufgefaßt werden.

Für die Formulierung derartiger Regelungssysteme bietet sich die Darstellung in Differential- bzw. Differenzgleichungen etwa im Sinne des von FORRESTER (12) entwickelten Systems Dynamics-Konzeptes an. Die Gleichungen beschreiben die Veränderungsrate der Bestandsmengen im Zeitablauf (vgl. Abb. 1). Ihre Parameter können funktional abhängen von anderen Systemkomponenten (u.a. vom Faktoreinsatz) sowie von der Entwicklung der Systemumwelt. Auf diese Weise entsteht ein interdependentes Gleichungssystem, das nach Umformung der Differentialgleichungen zu Differenzgleichungen für diskrete Zeitintervalle auf rekursivem Wege numerisch gelöst werden kann¹⁾.

4.3 Der ökonomische Entscheidungsprozeß

Der ökonomische Entscheidungsprozeß ist dadurch gekennzeichnet, daß zu verschiedenen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten alternative Handlungen realisiert werden können. Das Ergebnis der zu einem bestimmten Zeitpunkt möglichen Handlungsalternativen wird dabei einerseits von der künftigen Konstellation der Umweltbedingungen sowie andererseits von der bisherigen Umweltentwicklung und den zu früheren Zeitpunkten getroffenen Entscheidungen bestimmt.

Hieraus folgt, daß für die Wahl einer Handlungsalternative zu einem bestimmten Zeitpunkt deren Auswirkungen auf künftige Entscheidungen berücksichtigt werden müssen. Diese hängen jedoch ab von der unsicheren Umweltentwicklung und können demzufolge nur in Form von "Erwartungen" Eingang in die Planungsrechnung finden.

Da zu späteren Entscheidungszeitpunkten ein Teil dieser Erwartungen zu sicherer (Vergangenheits-)Information geworden ist, besteht die Möglichkeit, die zuvor geplante Handlungsfolge im nachhinein so gut wie möglich an die von den erwarteten Werten abweichenden tatsächlichen Bedingungen anzupassen.

Dies kann entweder durch eine erneute Planung während oder durch das Aufstellen von Eventualplänen für alle möglichen Umweltentwicklungen vor Be-

1) Derartige Ansätze zur Darstellung biologischer Systeme finden sich u.a. bei ARKIN et al. (1), SHOEMAKER (30, 31), GUTIERREZ und WANG (16), BALDWIN et al. (3), ARNOLD et al. (2) und TENG et al. (33). Zur Vorgehensweise vgl. auch KUHLMANN (22).

ginn des Produktionsprozesses geschehen. Die letztgenannte Vorgehensweise entspricht dem Prinzip der sog. "flexiblen Planung" (vgl. LAUX, 24; HAX und LAUX, 18).

Für die Lösung des Entscheidungsproblems, d.h. der Festlegung einer Folge von wenn-dann-Entscheidungen in Abhängigkeit von der Umweltlage können Verfahren auf der Basis von Entscheidungs- und Zustandsbäumen prinzipiell als geeignet angesehen werden. Neben dem dieser Vorgehensweise am ehesten entsprechenden Algorithmus des Dynamic Programming nach BELLMANN (5)¹⁾ sind heuristische Techniken der Entscheidungsfindung anwendbar.²⁾

Durch Kombination derartiger Ansätze mit anderen Optimierungsverfahren (z.B. LP) können u.U. die Anwendungsmöglichkeiten erweitert und/oder der Rechenaufwand gesenkt werden.³⁾

5 Anwendungsbereiche landwirtschaftlicher Produktionsablaufmodelle

=====

Im folgenden sollen einige Anwendungsbereiche für Ablaufplanungsmodelle aufgezeigt werden, ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Die Ausführungen sollen in der Hauptsache dazu beitragen, einige grundlegende Unterschiede zwischen den verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionsprozessen und die daraus resultierenden Probleme für die Ablaufplanung zu verdeutlichen.

5.1 Ablaufplanung in der pflanzlichen Produktion

Die Prozesse der pflanzlichen Produktion sind - läßt man Unterglaskulturen einmal außer acht - in erster Linie gekennzeichnet durch ihre starke Abhängigkeit von der durch den Landwirt prinzipiell unbeeinflussbaren Entwicklung der klimatischen Umwelt. Die spezifischen Witterungsverhältnisse während der Produktionsperiode beeinflussen sowohl das Wachstum der Kul-

1) Anwendungen dazu im Bereich der Agrarplanung finden sich u.a. bei HINRICHS (19), BUDE (7) und SHOEMAKER (30, 31).

2) Anwendungen u.a. bei KUHLMANN (21), KURZ (23), SCHUDT (28) und THAMLING (34).

3) Vgl. dazu die Kombination der dynamischen mit der Linearprogrammierung bei HINRICHS (20).

turpflanzen als auch die Entwicklung von Schadpopulationen, etwa Unkräutern, tierischen Schädlingen oder krankheitsverursachenden Pilzen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen direkten Auswirkungen der Witterung, die sich z.B. in unterschiedlichen Assimilationsraten niederschlagen und indirekten Auswirkungen, durch die zunächst der Bodenzustand (Wasserhaushalt, Nährstoffverfügbarkeit) verändert wird, der dann wiederum die Entwicklung des Pflanzenbestandes beeinflusst.

Die im Laufe des Produktionsprozesses möglichen Eingriffe in das biologische System beinhalten neben der Terminierung von Aussaat und Ernte, die in Grenzen variabel sind, vor allem den Einsatz von Düngemitteln zur Versorgung der Kulturpflanzen und Pflanzenschutzmaßnahmen¹⁾ zur Bekämpfung von Schadpopulationen. Die Wirkung all dieser Maßnahmen hängt ab vom Systemzustand zum Zeitpunkt der Anwendung sowie von der Entwicklung der biologischen Umwelt (Klima).

Da die getroffenen Maßnahmen meist auf verschiedene Elemente des biologischen Systems wirken (z.B. vernichten Insektizide nicht nur die Insekten, denen ihr Einsatz gilt, sondern auch deren natürliche Feinde), müssen Produktionsablaufmodelle in der pflanzlichen Erzeugung vor allem die wesentlichen Interaktionen innerhalb des biologischen Systems sowie zwischen diesem und der natürlichen Umwelt erfassen. In Anlehnung an GUTIERREZ und WANG (16) sind insbesondere folgende Zusammenhänge zu berücksichtigen:

- Entwicklungsstadien bzw. -zyklen bei Pflanzen und Tieren,
- Populationsdynamik und Altersstruktur,
- Beziehungen zwischen verschiedenen Populationen,
- Einflüsse der Witterung, darunter insbesondere Temperatur, Lichtintensität und Feuchtigkeit auf Wachstums- und Entwicklungsraten,
- Einflüsse der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Wachstum und Entwicklung.

Biologische Systemmodelle, die diese Beziehungen erfassen, können zur Klärung folgender ökonomischer Fragestellungen eingesetzt werden: Zum einen können sie Aufschluß geben über die optimale zeitliche und mengenmäßige Anpassung des Faktoreinsatzes an die Entwicklung der biologischen Umwelt. Diese Fragestellung schließt auch die Bestimmung optimaler Bestelungs- und Erntetermine ein.

1) Hierunter sind sowohl chemische als auch mechanische, organisatorische und biologische Maßnahmen zu verstehen (vgl. ZEDDIES, 39).

Ein weiterer Problembereich ist in der Frage nach der langfristigen ökonomischen Auswirkungen stark spezialisierter Fruchtfolgen in Verbindung mit einem steigenden Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu sehen. Als klassische Beispiele hierfür können das Nematodenproblem in kartoffel- bzw. zuckerrübenreichen Fruchtfolgen oder das Problem der Fußkrankheiten bei hohen Getreidebauanteilen genannt werden.

Partiell wurde das Problem optimaler Anpassungsstrategien bei der Getreideernte bereits von HANF (17) behandelt. SOMMERMANN (32) entwickelte ein Modell zur Ermittlung kostengünstiger Arbeitsabläufe in der Zuckerrüben-ernte und Winterweizenbestellung.

Komplexere biologische Systemmodelle finden sich vorwiegend im angelsächsischen Sprachraum (vgl. u.a. ARKIN et al., 1; CONWAY et al., 8; GUTIERREZ et al., 16; SHOEMAKER, 30, 31; TENG et al., 33; WANG et al., 36). Wenngleich die meisten dieser Ansätze in erster Linie zur Erklärung biologischer Phänomene herangezogen wurden, liegen einigen auch ökonomische Fragestellungen zugrunde. So untersucht z.B. SHOEMAKER (31) das Problem der optimalen Strategie zur Bekämpfung des Luzernekäfers mit Hilfe der dynamischen Programmierung. Als Bekämpfungsmaßnahmen werden der Insektizideinsatz zu verschiedenen Zeitpunkten sowie eine Verlegung des Erntezeitpunkte in Erwägung gezogen.

Die größten Schwierigkeiten bei der Erstellung von Modellen, die den gesamten Ablauf der Erzeugung pflanzlicher Produkte beschreiben, liegen im Bereich der Datenbeschaffung. Dadurch wird jedoch das ökonomische Problem nicht geringer; insbesondere dann nicht, wenn man die Umweltgefährdung in Betracht zieht, die vor allem in der zunehmenden prophylaktischen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln gesehen wird. Es erscheint daher notwendig, sich in stärkerem Maße mit dem Problem der Planung pflanzlicher Produktionsabläufe auseinanderzusetzen¹⁾.

Eine mögliche Vorgehensweise bei der Erstellung der hierfür notwendigen bioökonomischen Modelle wird im letzteren Abschnitt dieses Beitrages kurz diskutiert werden.

1) Eine entsprechende Untersuchung wird z.Z. am Lehrstuhl für angewandte landwirtschaftliche Betriebslehre der Universität Bonn durchgeführt (WOSTEN, 38).

5.2 Ablaufplanung in der tierischen Produktion

Weniger problematisch als in der pflanzlichen erscheint die Formulierung biologischer Prozesse in der tierischen Erzeugung. Der Grund hierfür ist vor allem darin zu sehen, daß die klimatische Umwelt bei den modernen Formen der Stallhaltung weitgehend kontrollierbar ist und ihr somit als Unsicherheitsfaktor weit weniger Bedeutung zukommt als im Rahmen der pflanzlichen Produktion. Da die grundsätzliche Kontrollierbarkeit der Umwelt auch bei produktionstechnischen Versuchsanstellungen gegeben ist, liegen zudem recht detaillierte Informationen über den Einfluß des Stallklimas auf den Produktionsablauf vor.

Dafür gewinnt bei den Prozessen der tierischen Produktion die ökonomische Umwelt mit zyklischen und saisonal schwankenden Preisen ein stärkeres Gewicht. Eine Anpassung des Produktionsablaufes an derartige Preisbewegungen kann durch die Terminierung des Prozeßbeginns sowie durch eine Variation der Prozeßlänge erfolgen. Beide Möglichkeiten sind in der pflanzlichen Produktion nicht oder nur in engen Grenzen gegeben.

Für die Planung des Produktionsablaufes sind somit insbesondere die Anpassungsstrategien an wechselnde Bedingungen der ökonomischen Systemumwelt von Bedeutung (vgl. Abb. 1). Das Hauptgewicht kommt damit der detaillierten Erfassung des ökonomischen Systems zu, während der biologische Bereich relativ stark aggregiert dargestellt werden kann.

Dies mag der Grund dafür sein, daß ökonomisch orientierte Modelle zur Planung des Produktionsablaufes in der tierischen Produktion zahlreicher sind als in der pflanzlichen Erzeugung. So untersuchte z.B. BUDE (7) die Anpassungsmöglichkeiten der Schweineproduktion an zyklische und saisonale Preisbewegungen mit Hilfe der dynamischen Programmierung sowie einem Simulationsverfahren. Ebenfalls mit dem Problem der Anpassung der Schweineproduktion an Preisschwankungen beschäftigt sich KURZ (23). Auf der Basis eines Systemsimulationsmodells werden heuristische Entscheidungs-routinen in Verbindung mit verschiedenen Verfahren der Preisprognose getestet.

HINRICHS (19, S. 80 ff.) behandelt das Problem des optimalen Verkaufstermins für Mastochsen unter dem Einfluß saisonaler Produktpreis- und Futterkostenschwankungen auf der Grundlage der dynamischen Programmierung.

Ein weiteres Modell zur Bestimmung optimaler Produktionsabläufe in der Rindermast wurde von THAMLING (34) entwickelt. Mit Hilfe eines heuristischen Entscheidungsbaumverfahrens wird der optimale Produktionsablauf ermittelt, wobei von bekannter Produkt- und Faktorpreisentwicklung ausgegangen wird. Die Futterzusammensetzung in jedem Mastabschnitt wird durch ein LP-Submodell bestimmt.

Versucht man eine Kennzeichnung der Bereiche, in denen Ablaufprobleme in besonderem Maße bestehen, die künftig verstärkt angegangen werden sollten, so dürften diese insbesondere bei der flächengebundenen Veredlung und dort in der Hauptsache in dem engen Zusammenhang zwischen den Produktionsabläufen der Tierhaltung und der Grundfuttererzeugung zu suchen sein. Die bisher angewandten Modelle operieren im Bereich der Futterproduktion im allgemeinen mit exogenen Vorgaben. In diesem Zusammenhang ist stochastischen - vor allem witterungsbedingten - Einflußgrößen besondere Beachtung zu schenken.

Systemanalytische Ansätze in dieser Richtung wurden bislang in erster Linie im angelsächsischen Sprachraum für den Bereich der Schafhaltung (vgl. u.a. ARNOLD et al., 2; WHITE und MORLEY, 37; EDELSTON und NEWTON, 10) entwickelt. Bei diesen Modellen wurde allerdings im allgemeinen der Formulierung der biologischen Systemkomponenten weit größere Beachtung geschenkt, als den ökonomischen Entscheidungsprozessen. Die Erstellung ähnlicher Ansätze für Produktionsabläufe der Rindviehhaltung in Verbindung mit einer stärkeren Differenzierung des ökonomischen Bereichs erscheint möglich und sinnvoll.

6 Zur Vorgehensweise bei der Konstruktion bioökonomischer Modelle

=====

Zum Abschluß sei noch kurz auf die Vorgehensweise bei der Konstruktion bioökonomischer Modelle eingegangen. Der vorgeschlagene stufenweise Aufbau soll dabei insbesondere zur Lösung der Datenprobleme innerhalb des biologischen Bezugssystems beitragen. Insofern haben die folgenden Ausführungen - wenngleich sie im Grunde auf alle Bereiche anwendbar sind - besondere Bedeutung für die Formulierung von Modellen auf dem Gebiet der pflanzlichen Produktion (einschließlich des Futterbaus), da hier - wie zuvor dargestellt - die größten Datenprobleme existieren.

Den ersten Schritt beim Aufbau eines bioökonomischen Modells bildet naturgemäß die systematische qualitative Darstellung der Beziehungen und Interaktionen zwischen den einzelnen Elementen des biologischen Systems und seiner Umwelt. Dies muß in Zusammenarbeit mit den jeweils angesprochenen produktionstechnischen Disziplinen erfolgen. Gleichzeitig können bereits charakteristische Verläufe einzelner Funktionen festgelegt werden.

Die zweite Stufe bildet die vollständige mathematische Formulierung des (biologischen) Modells anhand der zuvor spezifizierten Beziehungen. Mit dem Abschluß dieser Arbeiten ist gleichzeitig der Umfang und die Art der für die Quantifizierung des Modells erforderlichen Daten bekannt.

Den nächsten Schritt bildet logischerweise die Quantifizierung der Modellparameter. Hierfür sollten zunächst alle aus Literaturquellen und Datenbanken beschaffbaren Informationen verarbeitet werden. Da die publizierten Versuchsergebnisse in vielen Fällen in einer für die Weiterverarbeitung ungeeigneten Form dargestellt sind, wird es in der Regel erforderlich sein, auf das Urmaterial - soweit dies in den jeweiligen Instituten vorhanden ist - zurückzugreifen. Nach Ausschöpfung dieser Datenquellen sollten fehlende Informationen zunächst durch plausible Hypothesen ersetzt werden.

Danach kann das mathematische Modell in ein Computerprogramm umgesetzt werden. Dieses sollte zunächst in der Art eines Planspiels formuliert sein, wobei insbesondere die Möglichkeiten des Dialogbetriebes mit Bildschirmgeräten genutzt werden können. Ziel dieser Modellstufe ist es, Fehlspezifikationen - vor allem in den Bereichen, in denen nicht vorhandene empirische Daten durch Hypothesen ersetzt wurden - durch entsprechende Modellexperimente aufzudecken. Es ist unmittelbar einsichtig, daß diese Experimente in der Hauptsache von Wissenschaftlern der produktionstechnischen Disziplinen vorgenommen werden müssen, da diese am ehesten in der Lage sind, die Reaktionen des Systems auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen. Auf diese Weise erscheint es möglich, "verborgenes" Expertenwissen zur Überprüfung und gegebenenfalls Korrektur einzelner Modellhypothesen zu nutzen.

Im Idealfall wäre das Ergebnis dieser Stufe ein konsistentes Modell. In den meisten Fällen wird man jedoch stattdessen diejenigen Bereiche aufdecken, in denen sich der Informationsmangel besonders stark auswirkt.

Hier können dann Anregungen für entsprechende Versuchsanstellungen entstehen¹⁾.

In jedem Fall - also auch, wenn das biologische System nicht in allen Teilen abgesichert ist - sollte nun der eigentlich ökonomische Teil des Gesamtsystems formuliert und das Modell mit einem zweckentsprechenden Entscheidungsfunktional versehen werden. Danach kann durch Variation der schwach abgesicherten Parameter überprüft werden, welche Auswirkungen diese Größen auf die ökonomisch effizienten Entscheidungsfolgen während des Produktionsablaufes haben. Bei starken Einflüssen ergibt sich als Konsequenz die Notwendigkeit spezieller Versuchsanstellungen.

Da Erfahrungen mit bioökonomischen Systemmodellen bislang kaum vorliegen, empfiehlt es sich generell, zunächst die Zahl der untersuchten Beziehungen - u.U. auch auf Kosten der Vollständigkeit - soweit zu beschränken, daß das System insgesamt überschaubar bleibt. Eine stärkere Auffächerung der Modelle kann dann in späteren Stufen erfolgen.

Literatur

- 1 ARKIN, G.F., VANDERLIP, R.L. und J.T. RITCHIE: A Dynamic Grain Sorghum Growth Model, ASAE, Vol. 19, No. 4 (1976)
- 2 ARNOLD, G.W., CAMPBELL, N.A. und K.A. GALBRAITH: Mathematical Relationships and Computer Routines for a Model of Food Intake, Live-weight Change and Wool Production in Grazing Sheep, Agricultural Systems, Vol. 2, No. 3 (1977)
- 3 BALDWIN, R.L., KOONG, L.J. und M.J. ULYATT: A Dynamic Model of Ruminant Digestion for Evaluation of Factors Affecting Nutritive Value, Agricultural Systems, Vol. 1, No. 4 (1977)
- 4 BERTALANFFY, L. v.: Zu einer allgemeinen Systemlehre, in: Grochla, E. (Hrsg.): Organisationstheorie, 2. Teilband, Stuttgart 1976

1) Falls möglich, sollte das biologische Modell versuchsbegleitend eingesetzt und auf diese Weise am praktischen Fall getestet werden.

- 5 BELLMANN, R.: Dynamic Programming, Princeton, N.J. 1957
- 6 BOULDING, K.E.: Die allgemeine Systemtheorie - als Skelett der Wissenschaft, in: Baetge, J. (Hrsg.): Grundlagen der Wirtschafts- und Sozialkybernetik - Betriebswirtschaftliche Kontrolltheorie, Moderne Lehrtexte: Wirtschaftswissenschaften, Bd. II, Opladen 1975
- 7 BUDE, H.J.: Optimale Anpassung der Schweineproduktion an zyklische und saisonale Preisbewegungen, Agrarwirtschaft, SH 57, Hannover 1974
- 8 CONWAY, G.R., NORTON, G.A., SMALL, N.J. und A.B.S. KING: A Systems Approach to the Control of the Sugar Cane Froghopper, in: Dalton, G.E. (ed.): Study of Agricultural Systems, London 1975
- 9 DINKELBACH, W.: Ablaufplanung in entscheidungstheoretischer Sicht, Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 47. Jg., H. 9, Wiesbaden 1977
- 10 EDELSTEN, P.R. und J.E. NEWTON: A Simulation Model of a Lowland Sheep System, Agricultural Systems, Vol. 2, No. 1 (1977)
- 11 ELLINGER, T.: Ablaufplanung, Stuttgart 1959
- 12 FORRESTER, J.W.: Grundzüge einer Systemtheorie, Wiesbaden 1972
- 13 GROCHLA, E.: Systemtheorie und Organisationstheorie, in: Grochla, E. (Hrsg.): Organisationstheorie, 2. Teilband, Stuttgart 1976
- 14 GROCHLA, E., LEHMANN, H. und H. FUCHS: Einführung in die systemtheoretisch - kybernetisch orientierten Ansätze, in: Grochla, E. (Hrsg.): Organisationstheorie, 2. Teilband, Stuttgart 1976
- 15 GUTENBERG, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 1. Bd., Die Produktion, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1951
- 16 GUTIERREZ, A.P. und Y. WANG: Applied Population Ecology: Models for Crop Production and Pest Management, Proceedings of a Conference on Pest Management 25 - 29 Oct. 1976, IIASA, Laxenburg 1977
- 17 HANF, C.-H.: Zur Bestimmung kostenminimierender Anpassungsstrategien. Dargestellt am Beispiel des Mähreschereinsatzes. Eine Fallstudie, Arbeitsbericht 74/2 des Instituts für landwirtschaftliche Betriebs- und Arbeitslehre der Universität Kiel, Kiel 1974

- 18 HAX, H. und H. LAUX: Flexible Planung - Verfahrensregeln und Entscheidungsmodelle für die Planung bei Ungewißheit, Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 24 Jg., Opladen 1972
- 19 HINRICHS, P.: Die Formulierung und dynamische Optimierung von Entscheidungssequenzen - vorgeführt an Planungsproblemen der Landwirtschaft -, Schriften zur wirtschaftswissenschaftlichen Forschung, Bd. 75, Meisenheim 1974
- 20 HINRICHS, P.: Ein Modellkonzept zur verbesserten Abbildung von Finanzierungsproblemen mit stochastischen und dynamischen Strukturmerkmalen, in: Planung, Durchführung und Kontrolle der Finanzierung von Landwirtschaft und Agrarpolitik, Schriften der GEWISOLA, Bd. 15, München-Bern-Wien 1978
- 21 KUHLMANN, F.: Die Verwendung des systemtheoretischen Simulationsansatzes zum Aufbau von betriebswirtschaftlichen Laboratorien, Berichte über Landwirtschaft, Bd. 51, (1973)
- 22 KUHLMANN, F.: Zur Verwendung des systemtheoretischen Simulationsansatzes für die betriebswirtschaftliche Forschung, Agrarwirtschaft, Jg. 22 (1973)
- 23 KURZ, J.: Die Ablaufsteuerung in der Schlachtschweineproduktion - Entwicklung und Test von Verfahren zur Steuerung der Schlachtschweineproduktion bei unsicheren Preiserwartungen mit Hilfe eines System-simulationsmodells - Diss., Gießen 1976
- 24 LAUX, H.: Unternehmensbewertung bei Unsicherheit, Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 41. Jg., Wiesbaden 1971
- 25 LEHMANN, H. und H. FUCHS: Probleme einer systemtheoretisch-kybernetischen Untersuchung betrieblicher Systeme, in: Grochla, E. (Hrsg.): Organisations-theorie, 2. Teilband, Stuttgart 1976
- 26 MENSCH, G.: Ablaufplanung, Schriften des Instituts für Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften der Universität Bonn, Nr. 8, Köln-Opladen 1968
- 27 MÖLLER, E., NEUVIANS, G. und H.J. ZIMMERMANN: Untersuchung über den Zusammenhang zwischen der Bestimmung optimaler Losgrößen und der Fertigungsablaufplanung, Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2237, Opladen 1974

- 28 SCHUDT, A.: Vergleichende Analyse der Wirtschaftlichkeit verschiedener Verfahren der Schweineproduktion mit Hilfe eines Systemsimulationsmodells, Diss., Gießen 1976
- 29 SEELBACH, H.: Ablaufplanung, Würzburg-Wien 1975
- 30 SHOEMAKER, C.A.: Optimization of Agricultural Pest Management, Mathematical Biosciences, 16, 17, 18 (1973)
- 31 SHOEMAKER, C.A.: Optimal Management of an Alfalfa Ecosystem, Proceedings of a Conference on Pest Management 25 - 29 Oct. 1976, IIASA, Laxenburg 1977
- 32 SOMMERMANN, K.H.: Planung optimaler Arbeitsstrategien bei Einsatz verschiedener Maschinenkapazitäten (vorl. Arbeitstitel), Diss., Bonn, in Vorbereitung
- 33 TENG, P.S., BLACKIE, M.J. und R.C. CLOSE: A Simulation Analysis of Crop Yield Loss and Rust Disease, Agricultural Systems, Vol. 2, No. 3 (1977)
- 34 THAMLING, C.H.: Systemanalyse der Produktionsabläufe der Rindermast unter betriebspezifischen Datenannahmen, Diss., Kiel 1974
- 35 ULRICH, H.: Der allgemeine Systembegriff, in Baetge, J. (Hrsg.): Grundlagen der Wirtschafts- und Sozialkybernetik - Betriebswirtschaftliche Kontrolltheorie, Moderne Lehrtexte: Wirtschaftswissenschaften, Bd. II, Opladen 1975
- 36 WANG, Y., GUTIERREZ, A.P., OSTER, G. und R. DAXL: A Population Model for Plant Growth and Development: Coupling Cotton Herbivore Interaction, Can. Ent., 101 (1977)
- 37 WHITE, D.H. und F.H.W. MORLEY: Estimation of Optimal Stocking Rate of Merino Sheep, Agricultural Systems, Vol. 2, No. 4 (1977)
- 38 WOSTEN, H.: Die ökonomische Gestaltung von Arbeitsabläufen im Getreidebau (vorl. Arbeitstitel), Diss., Bonn, in Vorbereitung
- 39 ZEDDIES, J.: Kalkulationsmodelle und Datenerfordernisse zur betriebswirtschaftlichen Beurteilung von Unkrautbekämpfungsmaßnahmen, Berichte über Landwirtschaft, Bd. 53, Hamburg-Berlin 1975