27.0 HARTJEN, C.- D., SUNDERMEIER H.- H.: Probleme der Modellbildung für die wirtschaftliche Optimierung von Mastprozessen

Zusammenfassung

Im folgenden wird der Handlungsspielraum eines Landwirtes beschrieben, der einen Mastbetrieb auf der Basis von teilweise eigen erzeugten Futters (Getreide für Schweinemast) führt.

Er muß nach der wirtschaftlich optimalsten Kombination von Mastprozessen, Zeiten nichtgenutzter Stallkapazitäten, kostengünstigsten Futterrationen, mit denen die Erfordernisse der wachsenden Tiere erfüllt sind, ebenso suchen, als nach den besten Verkaufsmöglichkeiten von eigenproduziertem Futter und nach Gelegenheitskäufen von Zukaufsfutter.

Wegen Änderungen in der spezifischen Betriebsplanung und unterschiedlichen Erwartungen in den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Tierpreise und Futterpreise) sind die Probleme dynamisch und komplex.

Einige allgemeine Rahmendaten, die einen oder mehrere Gesichtspunkte der Probleme streifen, werden kurz besprochen. Unsere Vorschläge für ein Planungsmodell zur Unterstützung von Mastentscheidungen benutzt die "quasi-dynamische" lineare Programmierung. Die Vorteile und Probleme dieser Vorgehensweise und erste Ergebnisse werden vorgestellt.

Abstract

The paper outlines the action room of a farmer who runs a fattening operation partially on the base of farm-produced feeds (e.g. cereals for hog fattening). He has to find out the economically optimal combination of fattening processes, periods of not using the housing capacities, cost minimum rations to meet the requirements and allowances of the growing animals, as well as optimal sales of farm produced feeds and purchases of commercial feeds. Due to changing farm specific planning situations and expectations of the future economic environment (prices of animals and feeds) the problem is dynamic and complex. Some general frameworks which meet one or more aspects of the problem are discussed briefly. Our proposal for a planning model to support fattening decisions uses "quasi-dynamic" linear programming. The advantages and problems of this approach as well as first results are presented.

27.1 Einleitung und Problemstellung

Die Einnahmen aus Fleischverkäufen stellen in vielen Futterbau- und Veredlungsbetrieben die einzige oder die wichtigste Einkommensquelle dar. Die Hauptaufgaben des Mästers liegen einerseits in der ständigen Überwachung und Verbesserung der Produktionstechnik im weitesten Sinne sowie andererseits in der planerischen Gestaltung der Mastprozesse und deren Überwachung. Wechselnde wirtschaftliche Rahmenbedingungen und Faktorlagen führen zu laufenden Änderungen der Wirtschaftlichkeit von begonnenen und geplanten Prozessen. Ein Mäster handelt dann wirtschaftlich konsequent, wenn er ständig die gewinnmaximale Kombination von Mastprozessen (Zukauf/Verkauf), Leerstehphasen, Futterzu- und Verkäufen unter Berücksichtigung seiner gegenwärtigen Ausgangslage innerhalb der wirtschaftlichen sowie der tierphysiologischen Rahmenbedingungen seines Betriebes sucht.

Der vorliegende Beitrag beschreibt den Aktionsraum des Entscheidungsträgers qualitativ, betrachtet kritisch formale Konzepte vorhandener Entscheidungshilfen und stellt ein eigenes Mastplanungsmodell und dessen Grenzen am Beispiel der Schweinemast vor. Als Arbeitshypothesen dienen dabei die folgenden Annahmen:

1. Erfolgt die Mast auf der Grundlage eines oder mehrerer selbsterzeugter Futtermittel, so hängt die Wirtschaftlichkeit der Mast u.a. von den absoluten Mengen dieser Futtermittel ab. Einzelbetriebliche Ernteschwankungen beeinflussen die Mastentscheidungen.

2. Substitutionswerte für selbsterzeugte Futtermittel sind zeitlich variant und lassen sich letztendlich nur in einem Simultanmodell bestimmen.

3. Substitutionswerte beeinflussen die wirtschaftlich optimale Mastdauer bzw. den Beginn eines neuen Mastprozesses nach einer Leerstehphase.

4. Mastentscheidungen sind betriebsindividuell zu treffen. Lehrbuchempfehlungen ("kontinuierliche Mast", "möglichst viel Grundfutter in der Ration", bestimmtes Endgewicht) sind kritikwürdig.

27.2 Qualitative Beschreibung des Aktionsraums

Der Aktionsraum eines Entscheidungsträgers stellt die Gesamtheit seiner Handlungsmöglichkeiten dar. Invariante Beschränkungen (die betriebliche Faktorsituation einschließlich der Bandbreite der physiologischen Reaktionsfähigkeit der Masttiere) bilden die äußeren Begrenzungen für alle realisierbaren Kombinationen. Ein Mäster handelt dann wirtschaftlich konsequent, wenn er diejenige Kombination mit der größten Leistungs-Kosten-Differenz durchführt.

Die systemanalytische Terminologie unterscheidet "controlable" und "non controlable" Inputs. Unterstellt man eine den Klimaverhältnissen und dem Tierbesatz angepaßte Steuerung des Stallklimas und betriebsspezifische Gepflogenheiten auf den Faktor- und Produktmärkten, bleiben im wesentlichen zwei Entscheidungsbereiche:

1. Entscheidungen über die Gestaltung der Mastprozesse,

2. Entscheidungen über die Verwendung vorhandener Futtermittel und den Zukauf von Handelsfuttermitteln.

Die Gestaltung des Mastprozesses erfordert Entscheidungen über folgende Variablen:

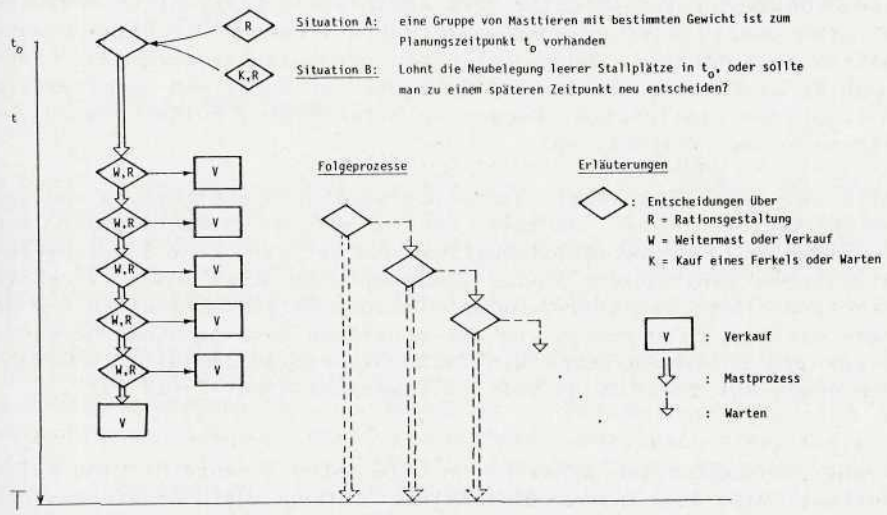
1. Gewicht, Alter, Rasse und Geschlecht der Zukaufstiere,

2. Beginn des Mastprozesses bzw. Zukaufszeitpunkt,

3. Intensität des Mastprozesses (Gewichtszuwachs),

4. Ende des Mastprozesses.

Die Variablen von Punkt 1. bestimmt man zumeist per Vorentscheidung unter Berücksichtigung des Angebots an Jungtieren und der Stallmerkmale. Die Punkte 2.-4. beziehen sich auf die zeitliche Positionierung der Prozesse in der Betrachtungszeitspanne. Untersuchungen mit einem deterministischen dynamischen Modell zur strategischen Steuerung der Schweinemast haben die große wirtschaftliche Bedeutung von Anfangs- und Endzeitpunkt von Schweinemastprozessen deutlich gemacht (SUNDERMEIER,1983). Die Nichtnutzung vorhandener Stallkapazitäten kann sich unter bestimmten Preisbedingungen positiv auf den Deckungsbeitrag pro Mastplatz und Jahr auswirken. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn hohe Preise für Zukauftiere und niedrige Preise für Verkaufstiere die Gewinne reduzieren (HARTJEN, 1983). Bei geräumten Stallplätzen entsteht also laufend die Frage, ob Tiere zum Entscheidungszeitpunkt beschafft werden sollen oder ob abgewartet und neu entschieden werden soll (Situation A). Das Ergebnis einer Plankalkulation hängt dabei von den Gegenwartspreisen für Zukauftiere und von den erwarteten Preisentwicklungen auf den Faktor- und Produktmärkten ab (siehe Übersicht 1).



Übersicht 1. "Baum"-Struktur des Mast-/Fütterungsplanungsmodells

Sind bereits Tiere aufgestallt, reduzieren sich die Handlungsvariablen auf den angestrebten Gewichtszuwachs und den Verkaufszeitpunkt. Beide Variablen können

in gewissen Bereichen schwanken. Der anzustebende durchschnittliche tägliche Gewichtszuwachs ist nach unten begrenzt durch den Mindestnährstoffbedarf eines wachsenden Tieres, nach oben durch das genetisch fixierte Ansatzvermögen. Das wirtschaftlich sinnvolle anzustebende Endgewichte wird durch die Preisgestaltung der Marktpartner beeinflußt. Preisabschläge bei über- und Untergewichten mindern das wirtschaftliche Ergebnis von vornherein. Die Tageszunahmen haben damit sowohl Einfluß auf den frühestmöglichen Vermarktungszeitpunkt als auch auf die Dauer der Verfügbarkeit vermarktungsfähiger Qualitäten. Der wirtschaftlich optimale Vermarktungszeitpunkt hängt ab von den Zeitpreisen und der Konkurrenz des nachfolgenden Prozesses um den Stallplatz. Die Wirtschaftlichkeit beider Prozesse hängt wiederum von den Entscheidungen in der Futterwirtschaft ab.

Futtermittel sollte man für Planungszwecke nicht nach ihrem Gehalt an wertbestimmenden Inhaltsstoffen gruppieren, sondern nach ihren ökonomischen Eigenschaften in betrieblich erzeugte und zugekaufte Futtermittel unterteilen.

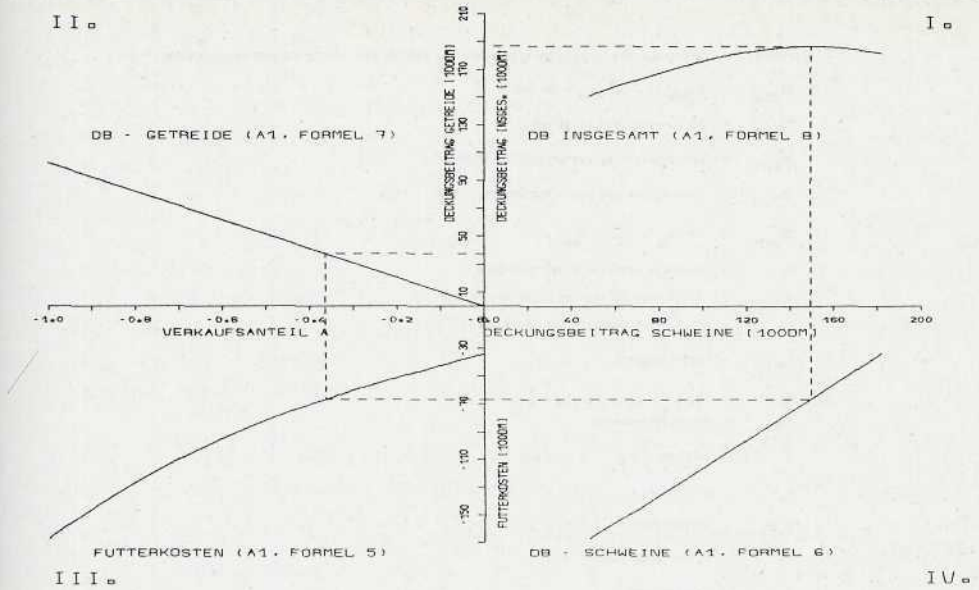
Für die Knappheit betrieblich erzeugter Futtermittel ist bei gegebener Qualität lediglich die absolute Menge bedeutsam. Die Erzeugungskosten spielen keine Rolle. Fruchtart, Lagerung und Konservierung nach der Ernte beeinflussen maßgeblich die Verwertungsalternativen. Getrocknetes Getreide kann zu beliebigem Zeitpunkt vermarktet werden, während für Feuchtgetreide und Corn-Cob-Mix nur regional und zeitlich begrenzte Märkte bestehen.

Für die Wirtschaftlichkeit von Zukauffutter gegebener Qualität ist lediglich der Zeitpreis maßgeblich, da ein einzelner Mäster in der Regel als Preisnehmer auftritt. Kontraktfuttermittel haben - obwohl zugekauft - eher Mengeneigenschaften, da bereits eine mengenmäßige Vorentscheidung getroffen wurde. Ziel der Fütterungsplanung muß es sein, vorhandene Futtermengen bestmöglich in Mastprozessen oder durch Verkäufe zu verwerten und Bedarfslücken kostenminimal zu dekken.

Die Planung von Mastprozessen unter Berücksichtigung betrieblich erzeugter Futtermittel wird damit zu einem komplexen Problem, dessen Einzelkomponenten sich wechselseitig beeinflussen. Dabei ist neben pretialen Komponenten (Zeitpreise für Zu- und Verkaufstiere, Futtermittelzu- und verkäufe) und quantitativen Komponenten (Zahl der Stallplätze, Mengen selbsterzeugten Futters) auch der Planungszeitraum zu berücksichtigen.

Übersicht 2 auf Seite 289 zeigt die wechselseitige Beeinflussung von Getreideverkäufen und Futterzukäufen und deren Einfluß auf das wirtschaftliche Ergebnis. Ziel ist der maximale Gesamtdeckungsbeitrag aus Getreide- und Schweineverkäufen. Zur anschaulichen Darstellung dieses Zusammenhangs sind stark vereinfachende Annahmen erforderlich, die fütterungsphysiologische Beschränkungen und Wechselbeziehungen vorläufig ignorieren, um die monetären Zusammenhänge hervorzuheben, und die aus dem Zeitraumproblem ein Zeitpunktproblem isolieren (Vergl. auch Formeln in Übersicht 3 auf Seite 290 und Übersicht 4 auf Seite 291).

1. Die Zahl der gemästeten Schweine und die Getreidemenge M1 sind aufeinander abgestimmt. Sind die Intensität und der Umfang des Schweinemastprozesses festgelegt, so ist nur eine maximalverfütterbare Getreidemenge M1 im Zusammenhang mit der Schweinemast disponierbar. Ist die Getreideernte größer als M1, müssen die Übermengen ohnehin verkauft werden. Ist die Erntemenge kleiner als M1, gelten die funktionalen Zusammenhänge für einen reduzierten Verkaufsanteil a



Übersicht 2. Zusammenhang zwischen den Teildeckungsbeiträgen von Schweinemast, Getreideverkauf und der Deckungsbeitragssumme (Mast, Getreide)

$(a_{max} = \text{gesamte Erntemenge} \times M1^{-1})$.

2. Das Mastfuttermittel besteht aus drei Rationsanteilen. Der als "Konzentrat" bezeichnete Anteil ist eine Mischung von Komponenten, die bestimmte physiologische Anforderungen befriedigt, die von den übrigen Futtermitteln nicht gedeckt werden. Der "Konzentrat"-Anteil sei nach Umfang und Zusammensetzung unabhängig von den übrigen Futteranteilen und konstant.

Der restliche Futterbedarf wird wahlweise durch selbsterzeugtes Getreide oder durch ein zugekauftes "Substitut" gedeckt. Für Getreide und Substitut sind gleiche Energiekonzentrationen unterstellt. Das Getreidesubstitut sei eine Mischung aus verschiedenen Einzelfuttermitteln. Wäre der Anteil der Einzelfuttermittel am Substitut über den Substitutionsbereich von Getreide konstant, so müßte auch ein konstanter Preis des Substituts unterstellt werden. Das Problem, welche Getreidemenge verfüttert und welche verkauft wird, wäre trivial: liegt der Subtitutspreis unter dem Getreidepreis, ist das gesamte Getreide zu verkaufen und durch das Substitut zu ersetzen. Im andern Fall ist die Getreidemenge M1 zu verfüttern.

Zielsetzung : Maximiere die Deckungsbeitragssumme aus dem Verkauf von Schweinen und Getreide

(1) $DB_{insg.} = DB_{Getr.} + DB_{Schw.} \longrightarrow Max!$

$DB_{insg.}$ = Deckungsbeitrag insgesamt

$DB_{Getr.}$ = Deckungsbeitrag aus Getreideverkäufen

$DB_{Schw.}$ = Deckungsbeitrag aus Schweinemast

(2) $DB_{Getr.} = (a\ M_1 + M_2)\ P_{Getr.}$

M_1 = maximale verfügbare Getreidemenge

a = Anteil des verkauften Getreides an M_1

M_2 = nicht verfütterbare Getreidemenge

$P_{Getr.}$ = Getreidepreis

(3a) $FM = Z\,(W_e - W_a)\ FV\,(1 + \frac{V}{2})$

FM = Gesamtfuttermenge

Z = Zahl der Tiere

W_e = Endgewicht

W_a = Anfangsgewicht

FV = Futterverwertung

V = Tierverluste

(3b) $M_1 = (1 - K)\ FM$

K = Anteil von "Konzentrat"-Futtermittel an der Gesamtfuttermenge

(3c) $DB_{Getr.} = (a\,(1-K)\ Z\,(W_e - W_a)\ FV\,(1 + \frac{V}{2}) + M_2)\ P_{Getr.}$

(4) $DB_{Schw.} = Z\,(W_e\ P_{Schw.} - P_{Ferk.}\ (1+V) - FK)$

$P_{Schw.}$ = Schweinepreis

$P_{Ferk.}$ = Ferkelpreis

FK = Futterkosten

(4a) $FK = Z\,(W_e - W_a)\ FV\ (1+\frac{V}{2})\,(K\ P_{Konz.} + a\,(1-K)\ P_{Subst.})$

$P_{Konz.}$ = Preis des "Konzentrat"-Futtermittels

$P_{Subst.}$ = Preis des anstelle von Getreide verfütterten Substitutes

(4b) $P_{Subst.} = F(a)\ P_{Getr.}$

$F(a)$ = Funktion des Verkaufsanteils a

(4c) $FK = Z\,(W_e - W_a)\ FV\ (1+\frac{V}{2})\,(K\ P_{Konz.} + a\,(1-K)\ F(a)\ P_{Getr.})$

(4d) $DB_{Schw.} = Z\,(W_e\ P_{Schw.} - P_{Ferk.}\,(1+V) - (W_e - W_a)\ FV\,(1+\frac{V}{2})\,(K\ P_{Konz} + a\,(1-K)\cdot F(a)\ P_{Getr.}))$

Übersicht 3. Maximierung der Deckungsbeitragssumme aus dem Verkauf von Schweinen und Getreide

Geht man jedoch davon aus, daß die Getreideersatzmischung in Abhängigkeit vom Anteil in der Ration unterschiedlich zusammengesetzt ist, so ist auch mit einem variablen Preis der Ersatzmischung zu rechnen. Den Preis des Substituts kann man als Funktion des Verkaufsanteils der Getreidemenge M1 mit

$$P_{Subst.} = F_{(a)} \times P_{Getreide}$$

beschreiben.

$Z = 100$ [Stück]

$W_e = 1.0$ [dt]

$W_a = 0.2$ [dt]

$FV = 3.5$ [dt / dt]

$V = 4$ [%]

$K = 20$ [%]

$P_{Konz.} = 60$ [DM / dt]

$F(a) = 0.8 + 0.5\,a^2$

$P_{Getr.} = 45$ [DM/dt]

$M_2 = 0$

$P_{Schw.} = 320$ [DM / dt]

$P_{Ferk.} = 100$ [DM / Stück]

(5) $$FK = 100\,(1.0 - 0.2)\cdot 3.5\cdot\left(1+\frac{0.04}{2}\right)\left(0.2\cdot 60 + a\,(1-0.2)\,(0.8+0.5\,a^2)\cdot 45\right)$$
$$= 3427.2 + 10281.6\,a\,(0.8+0.5\,a^2)$$

(6) $$DB_{Schw.} = 100\,(1.0\cdot 320 - 100\,(1+0.04) - (1.0-0.2)\cdot 3.5\left(1+\frac{0.04}{2}\right)(0.2\cdot 60 + a\,(1.02)(0.8+0.5a^2)\cdot 45))$$
$$= 18182.8 - 10281.6\,a\,(0.8 + 0.5\,a^2)$$

(7) $$DB_{Getr.} = a\,(1-0.2)\cdot 100\cdot(1.0-0.2)\cdot 3.5\left(1+\frac{0.04}{2}\right)\cdot 45$$

(8) $$DB_{insges.} = 18182.8 - 10281.6\,a\,(0.8 + 0.5\,a^2) + 10281.6\cdot a$$
$$= 18182.8 - 10281.6\,a\,(0.5\,a^2 - 0.2)$$

Übersicht 4. Annahmen für Übersicht 2

Eine stetige Funktion F(a) erlaubt die Extremierung und die Bestimmung eines optimalen Wertes für a; dabei ist a der Anteil des verkauften Getreides an der verfütterbaren Getreidemenge Ml. Die in diesem Beispiel unterstellte Funktion hat keinen direkten Realitätsbezug; sie dient lediglich zur Erstellung eines konsistenten Formelsatzes, an dem die prinzipielle Vorgehensweise erläutert werden soll.

Quadrant II zeigt den Deckungsbeitrag aus Getreideverkäufen in Abhängigkeit von der verkauften Menge a x Ml. Mit steigenden Getreideverkäufen steigen auch die Futterkosten für Substitute (Quadrant III). Dies wirkt sich negativ auf den Deckungsbeitrag für die Schweinemast aus (Quadrant IV). In Quadrant I ist schließlich die Funktion für die Deckungsbeitragssumme aus Schweinemast und Getreideverkäufen dargestellt, deren Maximum gesucht wird.

Die Konstruktion eines differenzierteren Planungsmodells sollte daher folgende Annahmen auflösen und deren Zusammenhänge zum Gesamtproblem berücksichtigen:

1. die Momentbetrachtung ist zu überführen in eine Zeitraumbetrachtung,

2. an die Stelle der Preisfunktion für Substitute haben deren tatsächliche Zeitpreise zu treten,

3. Zahl und Art der Mastprozesse sind als Variable zu gestalten (Endgewicht, Leerstehphasen); daraus folgt eine genauere Abbildung der physiologischen Zusammenhänge in den einzelnen Mastabschnitten.

27.3 Methodische Konzepte zur Planung von Mastprozessen

Ein gewinnmaximierender Entscheidungsträger sollte ständig seinen zeitlich varianten Aktionsraum überblicken und nach der wirtschaftlich optimalen Kombination seiner Handlungsalternativen suchen. Das in Kap. 1 geschilderte Realproblem ist daher ganz oder teilweise in Formalprobleme zu überführen. Zur Formalisierung von Planungsproblemen bei Mastprozessen wurden bisher u.a. folgende Rahmenkonzepte eingesetzt:

1. Produktionsfunktionsanalyse,

2. Dynamische Programmierung,

3. Systemsimulation,

4. Lineare Programmierung,

5. entscheidungstheoretische Ansätze.

Voraussetzung für die Produktionsfunktionsanalyse ist die funktionale Abbildung der Input-Output-Beziehungen. Diese kann in beliebiger Form (stetige, nichtstetige Funktion, monovariabel, polyvariabel) erfolgen. HEADY et al (1961) schätzen zwar naturale Produktionsfunktionen, eine monetäre Analyse erfolgt allerdings erst in späteren Veröffentlichungen (EPPLIN/HEADY, 1982). FARIS (1960) bestimmt auf der Grundlage einer stetigen Funktion das optimale Endgewicht bzw. die optimale Dauer eines Produktionsprozesses. Bei stetigen Funktionen erhält man das optimale Endgewicht durch Gleichsetzung der 1. Ableitung der Gewinnfunktion des betrachteten Prozesses mit der 1. Ableitung der Durchschnittsgewinnfunktion des Folgeprozesses. Bei nichtstetigen Funktionen werden die Grenzgewinne des betrachteten Prozesses mit dem maximalen Durchschnittsgewinn des Folgeprozesses verglichen. Demzufolge sind Deckungsbeitragsrechnungen mit dieser Zielsetzung ebenfalls der Produktionsfunktionsanalyse zuzuordnen. Der praktische Nutzen dieses Konzeptes ist im wesentlichen eingeschränkt durch die zugrundeliegenden Annahmen und die geringe Zahl der Variablen, die sich mit vertretbarem Rechenaufwand berücksichtigen lassen. Üblicherweise geht man vereinfachend davon aus, daß der nachfolgende Mastprozeß den gleichen Preisbedingungen wie der betrachtete Prozeß unterliegt. Die Unterstellung eines identischen "Folgeprozesses" wird der wirtschaftlichen Realität jedoch nicht gerecht; denn sowohl auf den Faktor- als auch auf den Produktmärkten sind Preisänderungen zu erwarten. Diese bewirken jedoch gleichzeitig eine Änderung der Substitutionswerte für betrieblich erzeugte Futtermittel im Zeitablauf. Die Lagrange-Methode erlaubt zwar eine polyvariable Betrachtung und die Berücksichtigung von Nebenbedingungen, eine stark differenzierte Anwendung dieses Instrumentariums für die wirtschaftliche Optimierung von Mastprozessen steht jedoch wegen rechentechnischer Schwierigkeiten bei komplexen Problemstellungen noch aus.

Insbesondere zur Berücksichtigung von zeitlichen Beziehungen in einer Folge von Entscheidungen benutzt man das Konzept der Dynamischen Programmierung. THROSBY (1964) betrachtet damit sowohl das Lagerhaltungsproblem für betrieblich erzeugte Futtermittel als auch das Ersatzproblem bei Tierhaltungsprozessen. Darüberhinaus existieren zahlreiche Anwendungsfälle für Entscheidungsprobleme in Mastprozessen (z.B. KENNEDY (1973), BUDDE (1974), GASCHÜTZ/THAMLING (1976), WENDT (1978), TOPHAM (1979), GLEN (1980)).

Der besondere Vorteil dieser Methode beruht auf der Möglichkeit, Teilperioden von beliebig kurzer Dauer innerhalb der Betrachtungszeitspanne zu definieren.

In den einzelnen Stufen (stages) lassen sich Zustände (states) während des Mastverlaufs realitätsnah abbilden. Die Transformationsgleichungen beschreiben die Veränderung der Zustände von Stufe zu Stufe, während die Zielfunktionsbeiträge die monetären Konsequenzen deutlich machen. Für den klassischen "Feedlot-Fall" (Zukauf aller Produktionsfaktoren zu Zeitpreisen in beliebigen Mengen) bereitet diese Vorgehensweise keine Probleme. Schwierigkeiten treten dann auf, wenn die Knappheit (Mengenbeschränkung) von Futtermitteln und deren zeitliche Änderung in Substituionswerten abzubilden ist.

Zwar existieren Vorschläge zur Berücksichtigung absoluter Mengen in den Verfahren der Dynamischen Programmierung unter Nebenbedingungen; praxisreife Anwendungen für die landwirtschaftliche Prozeßplanung gibt es jedoch noch nicht. BELLMAN (1967) selbst hat auf die dabei entstehenden Schwierigkeiten hingewiesen.

Sowohl die Produktionsfunktionsanalyse als auch die Dynamische Programmierung beinhalten Regeln zur simultanen Kombination partieller Optima zu einem globaleren Optimum. Bei den Systemsimulations-Ansätzen ist dies normalerweise nicht der Fall. Andererseits bestehen hierbei kaum Einschränkungen für den Detaillierungsgrad bei der Abbildung komplexer Realprobleme. Mit zunehmender Detaillierung steigt allerdings die Zahl der Kombinationsmöglichkeiten. Lediglich durch Totalenumeration läßt sich die Optimalkombination ermitteln. Auf der Systemsimulation beruhen z.B. die Arbeiten von RYAN (1974), THAMLING (1974), KURZ (1976) und LISCHKA (1980).

Bei der Behandlung der Methoden wurde bisher unterstellt, daß es sich um ein deterministisches Planungsproblem handelt. Sowohl im naturalen Bereich der Zuwachsentwicklung als auch in der Realisierung zukünftiger Faktor- und Produktpreise ist mit stochastischen Einflüssen zu rechnen. Entscheidungstheoretische Ansätze berücksichtigen subjektive oder objektive Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten bestimmter Bedingungen und erlauben so eine rationale Entscheidungsfindung bei Risiko.

Ein Beispiel für dieses Vorgehen bei der Suche nach optimalen Verkaufszeitpunkten findet man bei WILLIAMS/LADD (1977). BERG (1984) behandelt ausführlich das Teilproblem optimaler Verkaufsentscheidungen für Getreide.

27.4 "Quasi-dynamischer" Ansatz der Linearen Programmierung

Die statische Lineare Programmierung wird häufig für die Ermittlung kostenminimaler Futtermittelkombinationen für Mastverfahren eingesetzt, das Ergebnis ist jedoch streng genommen nur für einen Zeitpunkt (Kombination von Bedarfswerten) gültig. Lediglich die mehrperiodige Lineare Programmierung vermag dynamische Aspekte bei einer Zeitraumbetrachtung zu berücksichtigen. CSAKI (1985) benutzt daher den Begriff "quasi-dynamische" Lineare Programmierung. Anwendungsbeispiele findet man z.B. bei STEFFEN/HOGEFORSTER (1970), TREDE et al. (1977) und BEHRENS (1984). GUNTER/BENDER (1980) widmen sich hauptsächlich dem Ersatzproblem bei infinitem Planungshorizont.

Insbesondere die Berücksichtigung der absoluten Knappheit selbsterzeugter Futtermittel führte bei der Methodenwahl zur quasi-dynamischen Linearen Programmierung und zur Abbildung der in Kap. 2 beschriebenen Aspekte des Entscheidungsproblems in einer blockangularen Matrix. Die dabei auftretenden Probleme

sind in Übersicht 5 auf Seite 294 zusammengefaßt. Die folgenden Erörterungen zielen auf die Beschreibung der aus der Methodenwahl resultierenden Kompromisse.

Teilprobleme	Lösungsvorschlag
zeitabhängige, stetige Produktionsfunktionen	Zeitpunktprozesse, Bedarfsermittlung durch Integration
Entscheidungsalternativen, variable Entscheidungszeitpunkte	Entscheidungsbaumstruktur, unterschiedliche Länge der Subperioden
Planungshorizont	variabel
Bewertung unvollständiger Prozesse	Approximation (s. Anhang A2)
quantitative Eigenschaften selbsterzeugter Futtermittel Zeitpreise Interdependenzen simultanes Optimum	mehrperiodige ("quasi-dynamische") Lineare Programmierung
"Dimensionalität" Anpassung an betriebliche Situation Benutzerfreundlichkeit	Matrix-Generator
Ergebnisinterpretation	Report Writer

Übersicht 5. Teilprobleme und Lösungsvorschläge für ein Mast-/Fütterungsplanungsmodell

Bei allen Wachstumsprozessen sind nichtlineare Kurvenverläufe für die Gewichtsentwicklung und auch für die Entwicklung der Tierbedarfswerte zu behandeln. Wählt man das Intervall zwischen zwei Zeitpunkten beliebig klein, gelangt man zu einer Darstellung von "Zeitpunktprozessen" (SCHEPER, 1981). Die Verkleinerung des Zeitintervalls bringt jedoch eine Vergrößerung des Ausgangstableaus mit sich, die zu erheblichem Rechenaufwand führen kann. Das kleinste Zeitintervall zwischen zwei Entscheidungen hat daher die Dauer von 1 Woche (z.B. bei der Suche nach dem optimalen Endgewicht). Sind während eines Mastabschnitts keine Eingriffe erforderlich bzw. möglich, verlängert sich die Dauer der Subperiode.

Je länger die Dauer eines Mastabschnittes ist, desto ungenauer wird die Abbildung nichtlinearer, stetiger Produktions- und Bedarfsfunktionen durch ein lineares Modell. Die Bedarfswertermittlung für eine Teilperiode erfolgt durch Integration, um wenigstens für die Periode insgesamt zutreffende Werte zu erhalten. Die gegenwärtig verwendeten Formeln sind in Übersicht 6 auf Seite 295 aufgeführt.

Eine Entscheidungshilfe für die kurzfristige Produktionsplanung muß prinzipiell zu jedem beliebigen Zeitpunkt anwendbar sein und die aktuelle betriebsspezifische Ausgangssituation (Zahl und Gewicht der Masttiere, Futtermittelvorräte) abbilden können. Bei einer konstanten Planungsperiode (z.B. ein Jahr) entsteht

I. Energiebedarf:

1.) $IME = ME_m + ME'_{pf} \Delta W$ [MJ,kg]

mit

1.1) $ME_m = o{,}863\ W^{o.569}$ [MJ,kg]

1.2) $ME_{pf} = \frac{cRE - 4{,}o68}{o.75} + 9.o4$ [MJ/kg]

1.3) $cRE = 6 + o.2\ W$ [MJ/kg,kg]

IME = Bedarf an umsetzbarer Energie
ME_m = Erhaltungsbedarf
ME_{pf} = Leistungsbedarf (Protein/Fett)
cRE = Energiegehalt des Zuwachses
m = maintenance (Erhaltung)
W = Körpermasse
ΔW = Massenzuwachs (tägl. Zunahme)

* Die Bedarfswerte sind für alle homogenen Tiergruppen (w), Endgewichtsstufen (g), Folgeprozeßalternativen c bei allen Anfangszeitpunkten (b) zu ermitteln (s. a. A 2).

II. Proteinbedarf

2.) $IDP = 2.6\ W^{o.75} + 3oo\ \Delta W$ [g,kg]

mit

IDP : Bedarf an verdaulichem Rohprotein
$W^{o.75}$: metabolisches Körpergewicht

Aminosäurebedarf

2.1 ILYSIN = IDP * o.o6 [g]
2.2 IMETH/CY = ILYSIN * o.6 [g]
2.3 ITHREONIN = ILYSIN * o.6 [g]
2.4 ITRYPTO = ILYSIN * o.2 [g]

ILYSIN : Lysinbedarf
IMETH/CY : Bedarf an Methionin und Cystin
ITHREONIN : Threoninbedarf
ITRYPTO : Tryptophanbedarf

Übersicht 6. Formelsatz für die Ermittlung der Tierbedarfswerte

die Frage nach der Höhe der zukünftigen Futterernte. Um das Zuteilungsproblem von Futtermengen, deren mengenmäßiger Anfall nicht bekannt ist, zu umgehen, endet die Planungsperiode spätestens zum Verfügbarkeitszeitpunkt der neuen Ernte. Die Länge der Planungsperiode ist also variabel. Diese starke zeitliche Bindung an die Futterwirtschaft hat allerdings für die Mastprozesse eine bedeutsame Konsequenz: da Mastende und Planungsende nur zufällig zusammentreffen, ist ein Folgeprozeß zu formulieren, der mit dem Planungsende abgeschnitten wird.

Es gibt zwei Möglichkeiten, dieses Problem zu behandeln. Man definiert einen Endzustandsvektor; dies hätte allerdings zur Folge, daß die Frage nach dem günstigsten Folgeprozeß ex ante entschieden werden muß. Wir haben die abgeschnittenen Prozesse mit Zielfunktionswerten versehen. Die Zielfunktionswertbestimmung

abgeschnittener Prozesse ist in Übersicht 7 auf Seite 296, Übersicht 8 auf Seite 297, Übersicht 9 auf Seite 298 und Übersicht 10 auf Seite 299 erläutert.

Formeln zur Darstellung des quasi-dynamischen, linearen Ansatzes zur simultanen Optimierung der Verwertung innerbetrieblich erzeugter Futtermittel durch Verkäufe und Mastprozesse.

Großbuchstaben : exogene Variablen
Kleinbuchstaben : endogene Variablen

$$
\begin{aligned}
(1)\ O^{*} \overset{\text{Max!}}{=} & \sum_{g=1}^{G} \sum_{w=o}^{W} \left(n_{gw}\ sw_{gw}\ PS_{wt}\ Q^{-t}\right) \\
& + \sum_{c=1}^{C} \sum_{b=1}^{B} k_{1cb} \left(-PP_{t_b}\ Q^{-t_b} + (1-V_{EWK_c})\ EWK_c\ PS_{EWK_c,T+ta_c}\ Q^{-(T+ta_c)}\right) \frac{MJ_{ct_b,T}}{MJ_{EWK_c}} \\
& + \sum_{c=1}^{C} \sum_{b=1}^{B} k_{2cb} \left(-PP_{t_b}\ Q^{-t_b} + (1-V_{EWK_c})\ EWK_c\ PS_{EWK_c,T}\ Q^{-T}\right) \\
& + \sum_{c=1}^{C} \sum_{b=1}^{B} k_{3cb} \Big(\left(-PP_{t_b}\ Q^{-t_b} + (1-V_{EWK_c})\ EWK_c\ PS_{EWK_c,\ t_b+MD_c}\ Q^{-(t_b+MD_c)}\right) \\
& \qquad + \left(\left(-PP_{t_b+MD_c+TZ_c}\ Q^{-(t_b+MD_c+TZ_c)} + (1-V_{EWK_c})\ EWK_c\ PS_{EWK_c,T+ta_c}\ Q^{-(T+ta_c)}\right) \frac{MJ_{ct_b+MD_c+TZ_c,T}}{MJ_{EWK_c}}\right)\Big) \\
& + \sum_{f=1}^{F} \sum_{t=o}^{T} q_{ft}\ P_{ft}\ Q^{-t} \\
& - \sum_{d=1}^{D} \sum_{t=o}^{T} q_{dt}\ P_{dt}\ Q^{-t}
\end{aligned}
$$

Übersicht 7. Zielfunktionswertbestimmung abgeschnittener Prozesse -Teil 1

Die Wahl der Linearen Programmierung als Rechenmethode deckt die Nebenziele der Modellkonzeption vollständig ab: Berücksichtigung der quantitativen Eigenschaften betrieblich erzeugter Futtermittel, simultane, algorithmusorientierte Suche nach einem Global-Optimum unter Berücksichtigung der auftretenden Interdependenzen.

Die Struktur und Zahl der Variablen führt zum bekannten "Dimensionalitätsproblem" bei größeren linearen Modellen. Im Interesse der Benutzerfreundlichkeit, der flexiblen Anpassung an betriebliche Situationen und der technisch fehlerfreien Erzeugung der Ausgangstableaus wird ein Programmsystem zur Matrizengenerierung eingesetzt. Nach der Lösung des Planungsproblems durch ein LP-Programm erfolgt die Ergebnisaufbereitung durch ein auf den Matrix-Generator abgestimmtes "Report-Writer-Programm". Eine Diskussion dieser technischen Hilfsmittel erfolgt durch SUNDERMEIER (1984).

27.5 Ergebnisse von Modellkalkulationen

Auf der Grundlage des in Kapitel 4 vorgestellten Modell-Ansatzes erfolgten Beispielrechnungen. Die Rechenergebnisse werden nachfolgend diskutiert (vergl. Übersicht 11 auf Seite 300).

O^* = Zielfunktion

g = Index für die Zahl der homogenen Tiergruppen mit einem bestimmten Anfangsgewicht in $t=0$; $g=1...G$

w = Index für die Zahl der verkaufsfähigen Endgewichte; $w=0...W$

n_{gw} = Zahl der Tiere der Gruppe g in der Endmaststufe w

sw_{gw} = Verkaufsgewicht eines Tiers der Gruppe g in der Endmaststufe w

PS_{wt} = Verkaufspreis pro Gewichtseinheit für eine Endmaststufe w zum Zeitpunkt t

Q^{-t} = Diskontierungsfaktor zur Ermittlung des Gegenwartswertes einer Zahlung im Zeitpunkt t

c : Index für die Folgemastalternativen

b : Index für den Beginn der Folgemastalternativen

MD_c : Dauer des Mastprozesses c

$$MD_c = \frac{EWK_c - BWK_c}{\Delta WGK_c}$$

Fall 1: Folgeprozeß c beginnt innerhalb des Planungshorizonts, endet jedoch außerhalb der Planungsperiode T.

$$T - t_b < MD_c + TZ_c$$

$$t_{a_c} = MD_c + TZ_c - T + t_b$$

Fall 2: Folgeprozeß c endet mit dem Planungsende in $t=T$.

$$T - t_b = MD_c + TZ_c$$

$$t_{a_c} = \emptyset$$

Fall 3: Folgeprozeß c kann innerhalb des Planungszeitraumes mehrmals durchgeführt werden.

$$T - t_b > MD_c + TZ_c$$

$$t_{a_c} = T - t_b - MD_c - TZ_c$$

Übersicht 8. Zielfunktionswertbestimmung abgeschnittener Prozesse -Teil 2

Ausgangssituation: Ein Ackerbaubetrieb mit Schweinemast prüft die Frage, welches Mastendgewicht und welche Folgenutzung für frei gewordene Stallplätze im Zeitraum Januar - Juni 1984 optimal ist. Es werden unterschiedliche Versorgungssituationen mit selbsterzeugten Futtermitteln (Weizen, Gerste, CCM) unterstellt. Die Preiserwartungen für Zu- und Verkaufsprodukte im Planungszeitraum entsprechen den Marktnotierungen im Preisgebiet Mitte von Schleswig-Holstein. Die erwarteten naturalen Input-Output-Beziehungen für die (Teil-) Mastprozesse sind in Übersicht 7 auf Seite 296, Übersicht 8, Übersicht 9 auf Seite 298, Übersicht 10 auf Seite 299, aufgeführt. Aus ihnen lassen sich mit den ebenfalls im Übersicht 6 auf Seite 295 aufgeführten Bedarfsfunktionen die (teil-) prozeßspezifischen Bedarfswerte ermitteln. Bei der Ermittlung des Optimums wird von einer Wirkungsäquivalenz der Futtermittelinhaltsstoffe ausgegangen. Es folgt

k_{1cb} : Umfang eines Folgeprozesses c nach Fall 1

k_{2cb} : Umfang eines Folgeprozesses c nach Fall 2

k_{3cb} : Umfang eines Folgeprozesses c nach Fall 3

PP_{t_b} : Ferkelpreis zum Zeitpunkt $t=t_b$

EWK_c : Endgewicht von Folgeprozeß c

BWK_c : Anfangsgewicht von Folgeprozeß c

ΔWKG_c : Gewichtszuwachs des Folgeprozesses c im Zeitintervall Δt

TZ_c : Leerstehphase des Stallplatzes vor Aufnahme des Folgeprozesses c

t_{a_c} : Folgeprozeßende von Prozeß c liegt t_{a_c} Zeiteinheiten außerhalb des Planungshorizonts T

V_{EWK_c} : Tierverluste für den Folgeprozeß c

$PS_{EWK_c,t..}$: Verkaufspreis je Gewichtseinheit des Folgeprozesses c zum Zeitpunkt t... (s. a. Fall 1-3)

$MJ_{ct...,T}$: Energiebedarf des Folgeprozesses c vom Beginn eines abgebrochenen Prozesses bis T

MJ_{EWK_c} : Energiebedarf des Folgeprozesses c von BWK_c bis EWK_c

f = Index für die Arten selbsterzeugter Futtermittel; f = 1... F

q_{ft} = Verkaufsmenge eines selbsterzeugten Futtermittels f zum Zeitpunkt t

p_{ft} = Verkaufspreis pro Gewichtseinheit eines selbsterzeugten Futtermittels f zum Zeitpunkt t

d = Index für zugekaufte Futtermittel vom Typ d; d = 1 ... O

q_{dt} = Menge des zugekauften Futtermittels vom Typ d zum Zeitpunkt t

p_{dt} = Zukaufspreis pro Gewichtseinheit von Futtermittel d zum Zeitpunkt t

Übersicht 9. Zielfunktionswertbestimmung abgeschnittener Prozesse -Teil 3

keine anteilmäßige Beschränkung von einzelnen Futtermitteln an der jeweils für einen (Teil-) Prozeß benötigten Futtermenge.

Nebenbedingungen:

$$(2) \quad N_g = \sum_{w=0}^{W} \frac{n_{gw}}{(1-V_0)\,(1-V_1)\,(1-V_2)\,\ldots\,(1-V_w)} \qquad \text{für alle } g,\ g=1,\ \ldots\ G$$

N_g = Tierzahl (Ausgangsbestand) in einer homogenen Gruppe g zum Planungszeitpunkt t=0

V_w = Tierverluste in den einzelnen Mastabschnitten zum Erreichen einer Endmaststufe w

$$(3) \quad HC_t - \left(\sum_{g=1}^{G} n_{gw} + \sum_{b=1}^{B} k_{1cbt} + \sum_{b=1}^{B} k_{2cbt} + \sum_{b=1}^{B} k_{3cbt} \right) \geq 0 \text{ für alle } t;\ t = 0,\ldots,T$$

HC_t = Stallplatzkapazität

$$(4) \quad n_{gw}\, R_{gwti} - \left(\sum_{f=1}^{F} q_{fgwt}\, S_{fi} + \sum_{d=1}^{D} q_{dgwt}\, S_{di} \right) \leq 0 \text{ für alle } t;\ t=0,\ \ldots,\ T \text{ für alle } i;\ i=1,\ \ldots,\ I$$

i = Index für Nährstoffbedarswerte

R_{gwti} = Bedarfswert eines Nährstoffs i für ein Zeitintervall Δt zu einem Zeitpunkt t eines Mastabschnitts w einer Gruppe g

q_{fgwt} = Menge eines selbsterzeugten Futtermittels f zu einem Zeitpunkt t für einen Mastabschnitt w einer Tiergruppe g

S_{fi} = Gehalt eines selbsterzeugten Futtermittels f an Nährstoff i

q_{dgwt} = Menge eines zugekauften Futtermittels d zu einem Zeitpunkt t für einen Mastabschnitt w einer Tiergruppe g

S_{di} = Gehalt eines zugekauften Futtermittels d an Nährstoff i

$$(5) \quad n_{gw}\, A_{gwti'} - \left(\sum_{f=1}^{F} q_{fgwt}\, S_{fi'} \sum_{c=1}^{c} q_{dgwt}\, S_{di'} \right) \geq 0 \text{ für alle } t;\ t=0,\ \ldots\ T \text{ für alle } i';\ i'=1,\ \ldots\ I'$$

$A_{gwti'}$ = maximales Aufnahmevermögen für eine Futtermittelkomponente i' für ein Zeitintervall Δt zu einem Zeitpunkt t eines Mastabschnitts w einer Gruppe g

i' = Index für bestimmte Futtermittelkomponenten

$S_{fi'}$ = Gehalt eines selbsterzeugten Futtermittels f an Komponente i'

$S_{di'}$ = Gehalt eines zugekauften Futtermittels d an Komponente i'

Die Formeln (4) und (5) gelten analog für die Folgeprozesse k_{1cb}, k_{2cb} und k_{3cb}.

Sowohl für die Mastprozesse als auch für die Folgeprozesse werden die Werte R_{gwti} und $A_{gwti'}$ nach Möglichkeit durch Integration zeitlich aggregiert.

$$R_{gwi,t_1 - t_2} = \int_{t_1}^{t_2} R_{gwi}(t)\, dt$$

$$A_{gwi,t_1 - t_2} = \int_{t_1}^{t_2} A_{gwi}(t)\, dt$$

$$(6) \quad FQ_f - \left(\sum_{g=1}^{G} \sum_{w=0}^{W} \sum_{t=0}^{T} (1+V_f)^t\, q_{fgwt} + \sum_{t=0}^{T} (1+V_f)^t\, q_{ft} \right) \geq 0 \text{ für alle } f;\ f=1,\ \ldots\ F$$

FQ_f = Vorrat eines selbsterzeugten Futtermittels f zum Planungszeitpunkt t=0

V_f = Verluste eines selbsterzeugten Futtermittels f im Zeitintervall Δt

Übersicht 10. Zielfunktionswertbestimmung abgeschnittener Prozesse -Teil 4

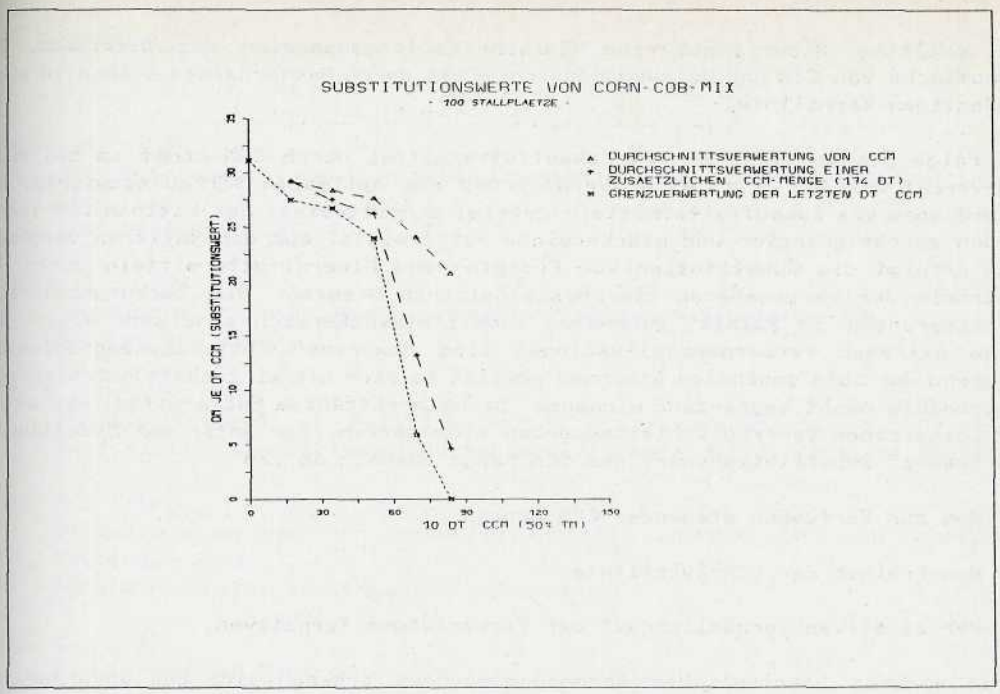
Variante	1	2	3	4	5	6	7
Vorrat Weizen [dt]	0	1000					
Vorrat Gerste [dt]	0	500					
Vorrat CCM [dt]	0	0	174	348	522	696	870
Tierbestand [Stck]	100						
Gewicht [kg/Stck]	61						
Optimales Mastende							
in Woche [Nr]	6				6 / 7	8	
mit Endgewicht [kg]	95,13				95,13/100	104,55	
Optimale Neueinstallung							
in Woche [1)] [Nr]	9						
Verkauf von Weizen							
Menge [dt]		975,31	1000				
in Monat [Nr]		1	1				
Subst. Wert [3)] [DM/dt]	60,12	56,33	56,33				
Verkauf von Gerste							
Menge [dt]	499,81						
im Monat [Nr]	2						
Subst. Wert [3)] [DM/dt]	53,16	52,77					
Verwertung von CCM							
Subst. Wert [3)] [DM/dt]	31,18	30,14	27,47	26,67	23,93	5,83	0
Restmenge [dt]	-	-	-	-	-	-	42,71
Deckungsbeitrag							
insgesamt [2)] [DM]	27 657	110 462	115 546	120 323	124 885	127 169	127 813

Annahmen: [1)] Ferkelgewicht 20 kg, Gewicht zum Planungsende 100,6 kg

[2)] Faktorvorräte (Getreide, Anfangstierbestand) sind nicht bewertet

[3)] Grenzwert einer zusätzlichen dt Futtermittel aus Faktorvorräten

Übersicht 11. Substitutionswerte, optimale Mastendgewichte und Neubelegung frei gewordener Stallplätze in Abhängigkeit vom Vorrat an Corn-Cob-Mix (CCM)



Übersicht 12. Substitutionswerte von Corn-Cob-Mix

In Variante 1 übersicht 12 wird unterstellt, daß die Mast allein durch Zukauf von Einzelfuttermitteln erfolgt. In den Varianten 2 - 7 konkurrieren selbsterzeugte, marktfähige Futtermittel (1000 dt Weizen, 500 dt Gerste) und unterschiedliche Mengen des als nicht marktfähig angenommenen Futtermittels Corn-Cob-Mix (CCM) um den Einsatz in der Schweinemast. Der Nährstoffbedarf der Tiergruppen kann zusätzlich durch Zukauffuttermittel (Sojaschrot, Fischmehl, Rapsextraktionsschrot, Mineralfutter, Tapiokapellets), die mit den jeweiligen Zeitpreisen bewertet sind, gedeckt werden.

Die ermittelten Substitutionswerte (Betriebswerte) für Weizen, Gerste und CCM geben den Deckungsbeitragszuwachs bei Vorhandensein einer zusätzlichen Einheit des Futtermittels an. Die Betriebswerte des Getreides werden - mit Ausnahme von Variante 1 - durch den Zeitpreis des optimalen Getreideverkaufszeitpunktes bestimmt. Eine Verfütterung von Gerste ist unter den Annahmen in keinem Fall empfehlenswert; Weizen wird nur bei Abwesenheit von CCM in geringen Mengen genutzt. Liegt CCM zur Verfütterung vor, wird das selbsterzeugte Getreide vollständig verkauft. Die Betriebswerte von Getreide verändern sich daher in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden CCM-Menge nicht. Die Betriebswerte für CCM ändern sich nicht nur in Abhängigkeit von den Zeitpreisen der übrigen Futtermittel, sondern auch in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden CCM-Menge.

Eine betriebswirtschaftliche Bewertung von wirtschaftseigenen Futtermitteln ohne Berücksichtigung der situationsspezifischen einzelbetrieblichen absoluten Faktormengen ist daher für Zwecke der kurzfristigen Produktionsplanung äußerst fragwürdig. Die Mengenabhängigkeit des Substituionswertes von CCM geht aus der großen Schwankungsbreite des Wertes deutlich hervor (Variante 1: 31.18 DM/dt .. Variante 7: 0.0 DM/dt).

Liegt der Substitutionswert für CCM für mehrere Ernten deutlich unter den einzelbetrieblichen Erzeugungskosten (einschließlich Nutzungskosten), so ist dies

ein deutlicher Hinweis auf eine mögliche Fehlorganisation des Betriebes. Die Anbaufläche von CCM und Nutzungsmöglichkeiten durch Mastprozesse stehen in einem ungünstigen Verhältnis.

Als Folge des Austausches von Zukauffuttermittel durch CCM kommt es bei einem CCM-Vorrat von 300 dt zu einer Veränderung des optimalen Verkaufsgewichts. Die Verdrängung von Zukauffuttermitteln erfolgt schrittweise. Bei kleinem CCM-Vorrat werden zuerst energie- und stärkereiche Futtermittel aus den Rationen verdängt. Dann erfolgt die Substitution von Protein- und Mineralfuttermitteln durch CCM innerhalb der vorgegebenen tierphysiologischen Grenzen. Die Deckungsbeitragsverbesserungen im zuletzt genannten Substitutionsbereich sind sehr klein. Die Folge extremer Versorgungssituationen sind "extreme" Fütterungsempfehlungen. Aufgrund der oben genannten Annahmen erweist es sich als wirtschaftlich sinnvoll, mengenmäßig nicht begrenzend wirkende, nicht marktfähige Futtermittel bis an die physiologischen Verträglichkeitsgrenzen einzusetzen. Der unter den Modellannahmen "wahre" Substitutionswert des CCM hängt demnach ab von

- den zur Verfügung stehenden CCM-Mengen,
- den Preisen der CCM-Substitute,
- der relativen Vorzüglichkeit der Verwertungsalternativen.

Unter anderen betrieblichen Rahmenbedingungen ergeben sich bei unveränderten naturalen Produktionsfunktionen andere optimale Handlungsempfehlungen und Substitutionswerte.

27.6 Literatur

BEHRENS, H., 1984
Zur Problematik und zum Anwendungsnutzen von Strategiemodellen in der Rindermast.
Dissertation, Kiel

BELLMAN, R., 1967
Dynamische Programmierung und selbstanpassende Regelprozesse.
München und Wien

BERG, E., 1984
Ein Modellkonzept zur Ableitung optimaler Verkaufspolitiken für Getreide.
Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre der Universität Bonn

BUDDE, H.J., 1974
Optimale Anpassung der Schweineproduktion an zyklische und saisonale Preisbewegungen.
Agrarwirtschaft, Sonderheft 57, Hannover

CSAKI, C., 1985
Simulation and Systems Analysis in Agriculture.
Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo

EPPLIN, F.M., HEADY, E.O., 1982
Statistical Estimates of optimal Protein for Beef Feeding Rations.
Agricultural Systems 9, 35-41

FARIS, J. E., 1960
Analytical Techniques Used in Determining the Optimum Replacement Pattern.
Journal of Farm Economics 42, 755-766

GASCHÜTZ, G., THAMLING, C., 1976
Methodik zur optimalen Anpassung von Produktionsabläufen der Rindermast bei unsicherer Erwartung.
Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus, Band 13, 493-500

GLEN, J.J., 1980
A Mathematical Programming Approach to Beef Feedlot Optimization.
Management Science 26, 524-535

GUNTER, L.F., BENDER, F.E., 1980
Optimal Replacement for Biological Production Processes. in D. YARON, C. TAPIERO (editors)
Operations Research in Agriculture and Water Resources, Amsterdam, 272-284

HARTJEN, C.D., 1983
Einsatzerfahrungen und Erfolgsaussichten des Schweinemast-Strategiemodells.
in A. MANGSTL, A. JÄNDL, W. ÜBELHÖR, L. REINER (Hrsg.): Bildschirmtext in der Landwirtschaft, Stuttgart, 273-282

HEADY, E.O., CARTER H.O., CULBERTS C., 1961
On Production Functions and Substitution Coefficients for Beef. in Earl O. HEADY und John L. DILLON
Agricultural Production Functions, Ames, 452-474

KENNEDY, J.O.S., 1973
Control Systems in Farm Planning.
Europ. Rev. agr. Econ. 1, 415-433

KURZ, H.J., 1976
Die Ablaufsteuerung in der Schlachtschweineproduktion - Entwicklung und Test von Verfahren zur Steuerung der Schweineproduktion bei unsicheren Preiserwartungen mit Hilfe eines Simulationsmodells.
Dissertation Gießen

LISCHKA, G., 1980
Konstruktion eines systemtheoretischen Simulationsmodells zur Planung von Produktionssystemen der spezialisierten Rindfleischerzeugung bei extensiver Landnutzung.
Dissertation Gießen

RYAN, T.J., 1974
A Beef Feedlot Simulation Model.
Journal of Agricultural Economics 25, 265-275

SCHEPER, W. (1981):
Produktion I: Produktionstheorie.
Handbuch der Wirtschaftswissenschaften, Band 6, Stuttgart, 256-276

STEFFEN, G., HOGEFORSTER, J., 1970
Zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten von Futterbaubetrieben.
Agrarwirtschaft 19, 323-334

SUNDERMEIER, H.H., 1983
Bildschirmtext als Informationshilfe für die strategische Steuerung der Schweinemast im Einzelbetrieb.
in A. MANGSTL, A. JÄNDL, W. ÜBELHöR, L. REINER (Hrsg.): Bildschirmtext in der Landwirtschaft, Stuttgart, 207-212

SUNDERMEIER, H.H., 1984
Matrix-Generation of Quantitatively Restricted Linear Farm Problems.
IVth European Congress of Agricultrual Economists, Kiel, Sept. 3-7, 1984, Contributed Paper to Section B 1

THAMLING, C.H., 1974
Systemanalyse der Produktionsabläufe der Rindermast unter betriebsspezifischen Datenannahmen.
Dissertation Kiel

THROSBY, C.D.. 1964
Some Dynamic Programming for Farm Management Research.
Journal of Agricultural Economics 16, 94-110

TREDE, L.J., BOEHLJE M.D, GEASLER M.R, 1977
Systems Approach for the Cattle Feeder.
Journal of Animal Science 45, 1213-1221

TOPHAM, M.R., 1979
A Model of Beef Cow Feeding: A Preliminary Study.
Canadian Journal of Agricultural Economics 27, 26-36

WENDT, R.C.A., 1978
Entscheidungsstrategie in der Schweinemast und ihre Einführung in die Wirtschaftsberatung.
Disseration Kiel

WILLIAMS, J.E., LADD, G.W, 1977
An Application of Linear Programming and Bayesian Decision Models in Determining Least-Cost Rations and Optimal Rates of Gain.
Western Journal of Agric. Econ. 1, 171-175