24.0 KLEPPER, R., SUNDERMEIER, H.-H.: Wirtschaftliche Optimierung der Legehennenhaltung mit Hilfe Dynamischer Programmierung

Zusammenfassung

Die Wirtschaftlichkeit der Legehennenhaltung schwankt in Abhängigkeit von den Preisen auf den Faktor- und Produktmärkten. Bei konstanter Produktionstechnologie ist eine Verbesserung des wirtschaftlichen Erfolgs nur durch die Modifizierung der Dauer und zeitlichen Positionierung der Legeperioden möglich. Erfährt ein Legehennenbestand eine Zwangsmauser, ist u. U. eine zweite Legeperiode infolge sinkender Junghennenkosten pro Ei trotz verminderter Leistung und erhöhter Verluste sinnvoll. Da der übliche produktionstheoretische Ansatz zur Bestimmung der optimalen Haltungsdauer nur beim identischen Ersatz sinnvoll anwendbar ist, wurde ein Modell der diskreten Dynamischen Programmierung (DP) erstellt, das optimale Haltungsstrategien in Abhängigkeit von den Zeitpreisen für Faktoren und Produkte ermittelt. Bei Modellkalkulationen waren Strategien mit Einschaltung einer Mauser und einer zweiten Legeperiode der einphasigen Haltung vorzuziehen. Lediglich bei niedrigen Preisen für Junghennen und hohen Preisen für Schlachthennen sowie bei erhöhten Tierverlusten und stark verminderter Leistung in der zweiten Legeperiode ist die einphasige Haltung überlegen.

Abstract

The profitability of poultry egg production oscillates depending on the prices for factors and products. Assuming constant production technology the improvement of the economic success is only possible by the modification of the duration and position of the laying periods. Layers are replaced after one or two laying periods. A second laying period after moulting is profitable due to sinking costs per egg inspite of reduced egg production and increased losses. The classical production theory approach to calculate optimal replacement is only useful for the identical replacement case. The paper describes the aspects of the decision situation and the construction of a Dynamic Programming Model to calculate optimal replacement strategies. In many cases a second laying period is preferred. However low prices for the replacement pullets and high prices for the old hens as well as increased losses and reduced egg production in the second laying period favour replacement after one period.

24.1 Zielsetzung

Die Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit eines Tierproduktionsprozesses lassen sich in produktionstechnische und wirtschaftliche Entscheidungen unterteilen. Produktionstechnische Maßnahmen modifizieren die Haltungs- und Fütterungsbedingungen. Sie beeinflussen neben dem Naturalertrag auch das wirtschaftliche Ergebnis und sind daher häufig gleichzeitig 'wirtschaftliche' Entscheidungen. Wirtschaftliche Entscheidungen im engeren Sinne zielen auf eine Veränderung der Bezugs- und Absatzbedingungen bei konstanter Technologie ab. Bei gegebenen und konstanten Bezugs- und Absatzbedingungen sowie konstanter Produktionstechnologie hängt die Wirtschaftlichkeit eines Prozesses von den Faktor- und Produktpreisen ab. Bei Preisschwankungen sind natural konstante Produktionsprozesse wirtschaftlich unterschiedlich erfolgreich. Ansatzpunkte für die wirtschaftliche Verbesserung liegen dann noch in der Modifizierung der Dauer und zeitlichen Positionierung der Prozesse.

Die genannten Prozeßmerkmale treffen in besonderem Maße für die Legehennenhaltung zu. Hochertragreiche Hybridhennen erlauben nur geringe Abweichungen von produktionstechnischen Normen ('gegebene und konstante Technologie'). Andererseits unterliegen die Eierpreise starken saisonalen Schwankungen, die von Schwankungen auf den Faktormärkten begleitet sind. Der folgende Beitrag soll

- die Entscheidungsalternativen für das Sachproblem Legehennenhaltung erörtern,
- die Eigenschaften des Sachproblems diskutieren und auf Lösungsansätze in der Literatur hinweisen,
- ein Dynamisches Programmierungsmodell zur Ermittlung optimaler Haltungsstrategien vorstellen und damit gewonnene Ergebnisse erläutern sowie
- die Frage der Wirtschaftlichkeit der Mauser beantworten.

24.2 Erläuterung des Sachproblems und der Handlungsalternativen

Für die Entscheidungssituation unterstellen wir folgende Merkmale:

1. Der Entscheidungsträger ist Preisnehmer. Er hat keinen Einfluß auf die Marktpreise für Faktoren und Produkte. Auf der Produktseite dominiert der Zeitpreis für Eier die monetären Leistungen. Die Marktleistung der Schlachthenne ist von untergeordneter Bedeutung. Die Faktorpreise für Junghennen und Futter diktieren ebenfalls die Märkte. Über die zukünftige Höhe sämtlicher Preise existieren Erwartungen des Entscheidungsträgers. Die Preiserwartungen werden als deterministische Daten behandelt.
2. Produkte und Faktoren sind in beliebigen Mengen handelbar. Aus der Situation des Mengenanpassers ergibt sich die Konsequenz, daß sämtliche Faktoren jederzeit in beliebigen Mengen beziehbar und sämtliche Produkte (hier: Schlachthenne und Eier) in beliebigen Mengen absetzbar sind. Mengeneffekte bleiben also unberücksichtigt.
3. Die Produktionstechnologie ist konstant. Hierzu gehören der Beginn der Eiproduktion nach der Einstallung, die Eizahl, Eimasse und Anteile von Knick-,

Wind- und Schmutzeiern in der Abhängigkeit vom Lebensalter sowie die Tierverluste in Abhängigkeit vom Lebensalter. Nach Abschluß einer Legeperiode und einer Mauser besteht die Möglichkeit, die Tiere in einer zweiten Legeperiode zu nutzen. Die Dauer einer Zwangsmauser und der resultierende Ertragsabfall werden als bekannt und unabhängig vom Zeitpunkt einer Mauserinduktion betrachtet. Die Produktionstechnologie sei auch unabhängig von jahreszeitlichen Einflüssen.

4. Der Faktor Arbeit ist nicht begrenzend. Die Nichtnutzung eines Legehennenstalles hat keine Freisetzungseffekte für andere Betriebszweige. Der Faktor Arbeit ist für alle produktionstechnischen Maßnahmen ausreichend vorhanden. Variable Spezialkosten für Arbeit werden daher nicht berücksichtigt.

5. Der Prozeß 'Legehennenhaltung' besteht aus einer Folge von Einzelprozessen. Im Betrachtungszeitraum lassen sich mehrere Legeperioden realisieren; über deren Dauer und zeitliche Positionierung werden keine Vorentscheidungen getroffen. Die Folge von Prozessen und Zeitspannen der Nichtnutzung trifft auf unterschiedliche Preiskonstellationen. Trotz konstanter Produktionstechnologie haben wir das Problem eines nicht identischen Ersatzes.

6. Die Kosten einer Leerstehphase sind pro Zeiteinheit konstant.

7. Der Entscheidungsträger soll immer rational nach dem Prinzip der Gewinnmaximierung handeln.

Nach dieser Definition des Sachproblems ergeben sich für Entscheidungsträger zwei Situationen mit unterschiedlichen Aktionsparametern. Ist der Stall leer, kann man Legehennen aufstallen oder den Stall weiterhin leerstehen lassen. Eine Aufnahme der Produktion ist nur gerechtfertigt, wenn die zukünftige Folge der Prozesse einen positiven Deckungsbeitrag erwarten läßt. Sind aus einer unmittelbar bevorstehenden Aufstallung Verluste zu erwarten, sollte die Stallkapazität besser ungenutzt bleiben. Die wirtschaftlich sinnvolle Nichtnutzungsdauer läßt sich analytisch nicht bestimmen. Sie resultiert aus der wirtschaftlich optimalen Nutzungsdauer. Die wirtschaftlich optimale Nutzungsdauer ermittelten Zeddies (1971 und 1981) sowie Kühne und Flock (1978) mit produktionstheoretischen Ansätzen. Die Aussagekraft derartiger Kalkulationen wird geschmälert durch die Annahmen konstanter Preise und eines identischen Ersatzes. Die erste Annahme ignoriert die beobachtete Situation, die zweite widerspricht dem Kalkulationsziel einer variablen Nutzungsdauer.

Sind Legehennen eingestallt, entsteht die Frage, ob die Haltung fortgesetzt oder durch Schlachtung abgebrochen werden soll. Eine Weiterhaltung ist sinnvoll, wenn der Zielbeitrag pro Zeiteinheit für das betrachtete Tier höher ist als der Zielbeitrag der folgenden Stallnutzung. Der Deckungsbeitrag der Folgenutzung ist null, wenn eine Aufstallung zu wirtschaftlichen Verlusten führen würde und daher unterbleibt. Die Folgenutzung bestimmt also die Höhe des Vergleichskriteriums. Dies ist je nach Beginn und Dauer des nachfolgenden Prozesses unterschiedlich.

In der Legehennenhaltung besteht durch Einlegen einer Mauserperiode die Möglichkeit, die Eiproduktion zu unterbrechen und eine zweite Legeperiode anzuschließen. Selbst bei vermindertem Naturalertrag und erhöhten Verlusten in der zweiten Legeperiode besteht ein Anreiz durch Senkung der anteiligen Kosten der Einstallhenne pro Ei. Ein variabler Zeitpunkt der Mauser bietet also zusätzlich die Möglichkeit, Verlustperioden durch Veränderung der Zeitpunkte der Eiproduktion gezielt zu umgehen. Eine Mauserung stellt daher eine Nutzungsänderung des vorhandenen Tierbestandes dar. Für jede Einstallhenne sei nur eine Mauserung

erlaubt. Für eine wirtschaftliche Optimierung des Problems ist also die Folge von Nutzungsphasen (mit der Option der Mauser) und Leerstehphasen zu ermitteln.

24.3 Beschreibung des Optimierungsmodells

Das Ziel der Modellbildung liegt darin, die Auswirkung zukünftiger Leistungs-Kosten-Situationen auf die gegenwärtigen Entscheidungsalternativen (Stallkapazität nutzen oder leerstehen lassen; Bestand weiterhalten oder mausern oder schlachten) zu berücksichtigen. Die Einzelentscheidung im Planungszeitpunkt fußt auf der Richtigkeit zukünftiger Entscheidungen (Optimalitätsprinzip); eine Kette von Einzelentscheidungen bildet eine Strategie. Zur Ermittlung optimaler Strategien benuzt man u.a. das Prinzip der Dynamischen Programmierung (Bellmann 1957). Für landwirtschaftliche Entscheidungsprobleme findet man Anwendungen z.B. bei Budde (1974), Hinrichs (1974), Berg (1984), Wendt (1978), Gaschütz und Thamling (1976), Kennedy (1981), Meyer und Newett (1970), Topham (1979), Glen (1980), Clark und Kumar (1978). Speziell mit der Legehennenhaltung befassen sich White (1959), Halter et al. (1962), Low et al. (1967), Pouliquen (1970), White et al. (1978), Sundermeier et al. (1986).

Für einen Ansatz der diskreten Dynamischen Programmierung benötigt man

- eine Einteilung des Planungszeitraumes in Stufen,
- eine Definition der Zustände, die der naturale Prozeß einnehmen kann,
- Vorschriften für die Zustandsänderung und die Zuordung der Leistungen und Kosten bei einer Zustandsänderung (Transformationsfunktion),
- Entscheidungsalternativen und eine Entscheidungsregel,
- eine Zielfunktion.

Für die Legehennenhaltung kann man das DP-Problem wie folgt formulieren: Der Entscheidungsträger will den Gewinn pro Zeiteinheit über eine Zeitspanne von N Perioden (Stufen, stages) maximieren. Wird der Gewinn etwas allgemeiner als Summe der Zielbeiträge der entsprechenden i-ten Periode verstanden, lautet die Formulierung der Zielfunktion (ZF):

$$ZFW = \text{Max} \sum_{i=1}^{N} ZB(i)$$

mit ZFW = Zielfunktionswert
ZB(i) = Zielbeitrag, Gewinn
i = Index für die Periode

Innerhalb der N Perioden (Stufen) können ein oder mehrere physische Prozesse der Legehennenhaltung liegen. Die Periodendauer zwischen zwei Stufen beträgt eine Woche. Ein naturaler Produktionsprozeß nimmt zu den Zeitpunkten i in Abhängigkeit von zurückliegenden Entscheidungen verschiedene Zustände an. Von der Einstallung

bis zum Schlachten durchläuft der Prozeß einschließlich Reinigungsperiode j verschiedene Zustände mit j = 1, 2, ... , z. Den jeweiligen Zustand eines Prozesses x(ij) kennzeichnet der Zeitindex i und der Zustandsindex j.

Die Punkte, die durch den Zeitpunkt i und den Zustand j festgelegt sind, bezeichnet man als Entscheidungspunkte oder -knoten. Welche Entscheidungen e(jk) von den jeweiligen Entscheidungspunkten x(ij) getroffen werden können, hängt von dem Zustand j des Prozesses ab. Zwei Situationen sind im Fall der einphasigen Legehennenhaltung zu unterscheiden:

Zustand:	j	Entscheidungsalternativen: e(jk)
leerer Stall:	1	Stall leer lassen (e(j1) oder neu belegen (e(j2))
belegter Stall:	2, ..., z-1	Hennen weiterhalten (e(j2) oder schlachten (e(j2))
belegter Stall:	z	Hennen schlachten (e(j2))

Den Übergang von dem Entscheidungspunkt auf der i-ten Stufe auf einen Entscheidungspunkt der i+1-te Stufe, der durch die getroffene Entscheidung festgelegt wird, nennt man Transformationsfunktion:

$$x(i+1,j') = t(x(ij), e(jk))$$

$$\text{mit } i \in (0,1,2, \ldots, N-1)$$
$$j, j' \in (1,2, \ldots, z)$$
$$k \in (1,2)$$

Die Transformationsfunktion wird als dynamische Restriktion bezeichnet. Sie spiegelt weitgehend die Produktionsfunktion wieder und liefert die Kalkulationsvorschrift für den aus dem Entscheidungsknoten x(ij) und der Entscheidung e(jk) resultierenden Zielfunktionsbeitrag ZB(i). Der bisher beschriebene Sachverhalt läßt sich graphisch darstellen (siehe Übersicht 1). Die Pfeile stellen die oben beschriebenen Entscheidungsalternativen dar. Die aus einer Entscheidung resultierenden Zielfunktionsbeiträge bezeichnet man auch als Kantenbeiträge. Die Berechnung ergibt sich mit ZB(i) = f(x(ij),e(jk)) für den jeweiligen Zustand. Der Entscheidungsknoten x(ij) läßt sich als Tupel interpretieren, das die notwendigen Daten für die Bestimmung des Grenzbeitrages enthält. Die zur numerischen Lösung benötigten Daten kann man in produktionstechnische Parameter und externe Daten unterteilen (vergl. auch Übersicht 2). Für alle Stufen des Planungshorizontes sind die zeitabhängigen Marktpreise für Eimasse, Legemehl, Schlachthennen und Junghennen bereitzustellen. Zusätzlich lassen sich saisonabhängige, variable Kosten berücksichtigen.

Das Mengengerüst enthält die zustandsabhängigen Parameter Legeleistung, Lebendgewichtsentwicklung, Futterverbrauch, Anteil Knick-, Wind- und Schmutzeier, Tierverluste sowie zusätzliche variable produktionsabhängige Kosten. Das Mengengerüst über alle Zustände kann man als naturale Produktionsfunktion auffassen. Sowohl diese Produktionsfunktion als auch die Preise sind als diskrete Daten abgespeichert.

Im ersten Schritt werden die Zielbeiträge mit Hilfe der oben beschriebenen Daten für jede Stufe und für alle Entscheidungen berechnet. Anschließend wird die optimale Ersatzstrategie, die der Zielfunktion genügt, in Anlehnung an die Bellmannsche Funktionalgleichung ermittelt. Sie hat bei rückwärtsrekursiver Betrachtung für die einphasige Legehennenhaltung (ohne Berücksichtigung der Mauser als Entscheidungsalternative) folgende Form:

$$ZFW^*(ij) = \max\,(ZB(x(ij),e(jk) + ZFW^*(i+1,k'))$$

mit $i = N-1, N-2, \ldots, 0$ Stufen
$j = 1, 2, \ldots, z$ Zuständen
$k = 1, 2$ Entscheidungsalternativen
$k' = f(e(jk)) \in (1, 2, \ldots, z)$

Die notwendige Initialisierung der Zustände auf der letzten Stufe N erfolgt mit

$$ZFW^*(Nj) = 0 \text{ für alle } j \in (1, 2, \ldots, z)$$

Die mit einem Stern (*) indizierten Variablen kennzeichnen eine bereits optimale Teilpolitik. Eine Diskontierung aller monetären Größen berücksichtigt die Zeitpräferenz für Geldein- und -auszahlungen.

Für die zweiphasige Legehennenhaltung (Induktion einer Mauser als zusätzliche Entscheidungsalternative) muß die obige Funktionalgleichung geringfügig modifiziert werden. Sie soll für jeden Zustand j möglich sein. Eine Berücksichtigung der Zweitleistung in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Mauserinduktion ist nicht möglich, da das Bellmansche Lösungsverfahren die Markoveigenschaft des betrachteten Prozesses voraussetzt.

$$ZWF^*(ijl) = \max(ZB(x(ijl),e(jkl)) + ZFW^*(i+1\ k'l'))$$

mit $i = N-1, N-2, \ldots, 0$ Stufen
$j = 1, 2, \ldots, z$ Zuständen
$k = 1, 2, 3$ Entscheidungsalternativen
$l = 1, 2$ Legephasen
$k' = f(e(jkl)) \in (1, 2, \ldots, z)$
$l' = g(e(jkl)) \in (1,2)$

Die Initialisierung der letzten Stufe erfolgt mit

ZFW*(Njl) = 0 für alle j ε (1,2, ..., z)
für alle l ε (1,2)

ZFW*(ijl) = maximaler Zielfunktionswert von der Stufe i und dem Zustand j in der l-ten Legephase bis zum Planungshorizont N,

ZB(x(ijl),e(jkl)) = Zielfunktionsbeitrag von dem Entscheidungspunkt x(ijl) bei den möglichen Entscheidungen e(jkl) mit k = 1, 2 oder 3

ZFW*(i+1 k'l') = Zielfunktionswert der optimalen Teilpolitik von der Stufe i+1, dem Zustand k und der Legephase l, der sich bei optimaler Entscheidung e(jkl) bezüglich des Maximierungskriteriums ergibt.

e(jkl) = Entscheidungsalternativen, die von Zustand und Legephase abhängig sind mit k = 1, 2, 3 als Weiterhalten, Schlachten und Mausern.

Übersicht 1 auf Seite 240 gibt einen Eindruck von der Problemstellung. Jeder Pfeil stellt eine mögliche Entscheidung dar. Mit jeder Entscheidung ist ein Zielbeitrag verbunden. Eine Folge von Pfeilen bildet einen Pfad (Teilpolitik). Die Summe der Zielbeiträge dieses Pfades liefert den Zielfunktionswert. Die gesuchte optimale Strategie oder Politik ist der Pfad, der den Zielfunktionswert maximiert. Mit dem oben aufgeführten Algorithmus wird dieser Pfad mit dem Zielfunktionswert in drei Schritten berechnet:

- Berechnen der Zielfunktionsbeiträge,
- Berechnen des maximalen Zielfunktionswertes,
- Festlegen der optimalen Strategie.

Der Zielfunktionswert läßt sich für jeden beliebigen Anfangszustand ermitteln. Hier bezieht sich eine Angabe auf den Zustand j = 1 (leerer Stall). Das vorgestellte Strategiemodell wurde als LAYER.ALG auf der Anlage DEC PDP 10 der Universität Kiel in ALGOL implementiert (siehe Übersicht 2).

24.4 Ergebnisse von Modellrechnungen

Bei den Modellkalkulationen standen zwei Fragen im Vordergrund: Ist die Einführung einer zweiten Legephase wirtschaftlich sinnvoll? Wie sensibel reagiert das Modell auf Datenvariation bei den Preisen bzw. bei den technologischen Parame-

tern? Eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse erfolgt bei Klepper (1985) und Sundermeier et al. (1986).

Steht die Mauser als Entscheidungsalternative nicht zur Verfügung, ist bei konstanten Preisen für Junghennen (10.00 DM/Junghenne), Legemehl (0.60 DM/kg) und Schlachthennen (1.00 DM/kg) sowie bei den in Hamburg notierten ZMP-Preisen für Eier im Zeitraum 1979-1985 ein etwa eineinhalbjähriger Aufstallungsrhythmus optimal. Bei Aufstallungen im August oder Januar liegen die Perioden hoher Legeleistung in saisonalen Preishochs um Weihnachten und Ostern.

Für eine zweite Legeperiode wurden folgende Parameter bzw. Parameteränderungen im Vergleich zur ersten Periode unterstellt:

- Mauser (weniger als für 5 % Legeleistung) dauert 4 Wochen,
- für die Mauserinduktion entstehen zusätzliche Kosten von 0.20 DM/Henne,
- Eierertrag der zweiten Legephase ist jeweils um 10 % geringer als in der entsprechenden Woche der ersten Phase,
- Tierverluste sind um 11 % höher,
- Anteil Knick-, Wind- und Schmutzeier ist um 2 % höher,
- maximale Haltungsdauer beträgt wie in der ersten Periode 76 Wochen.

Bei konstanten Futter-, Junghennen- und Schlachthennenpreisen wird eine zweite Legeperiode einer neuen Aufstallung vorgezogen. Die optimale Haltungsdauer liegt zwischen 60 und 76 Wochen in der ersten und 50 bis 67 Wochen in der zweiten Legeperiode.

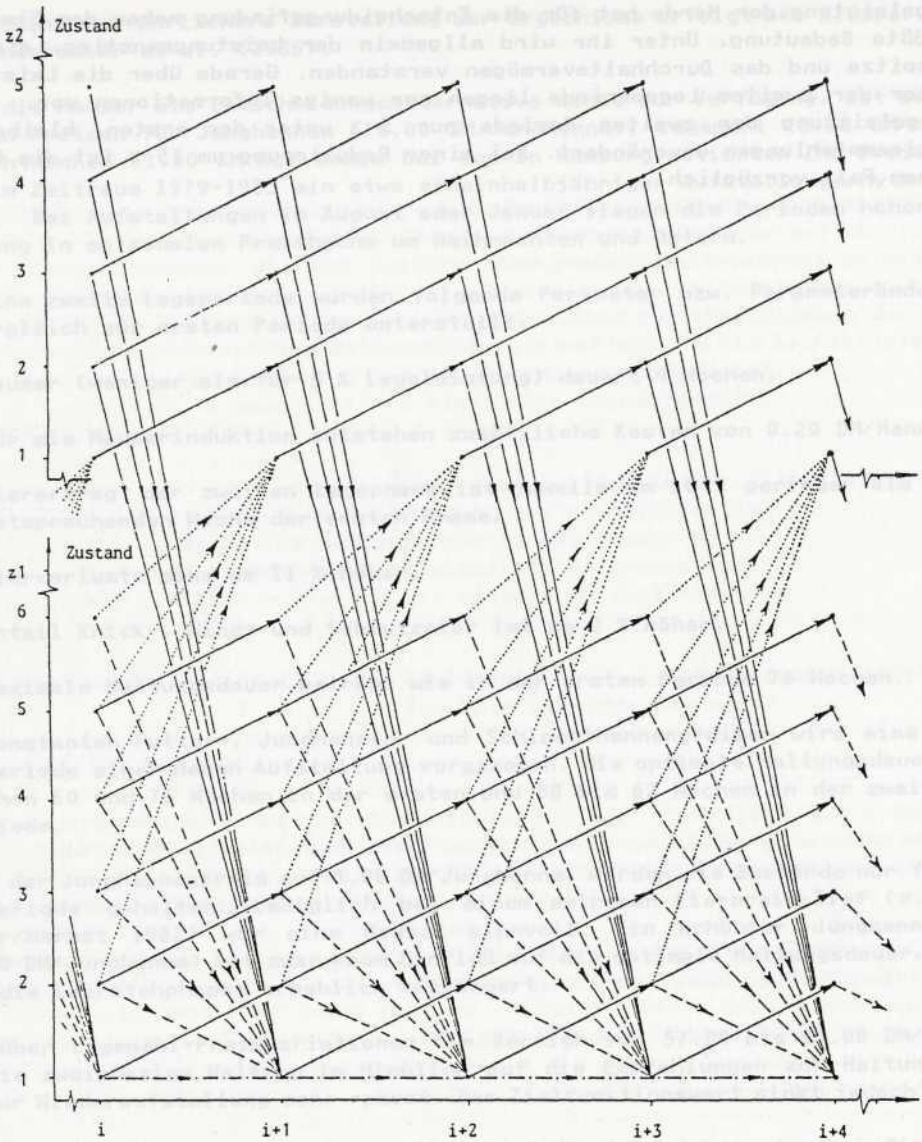
Sinkt der Junghennenpreis auf 8.00 DM/Junghenne, werden die Bestände nur für eine Legeperiode gehalten. Lediglich bei einem extremen Eierpreis-Tief (z.B. im Sommer/Herbst 1982) war eine Mauser sinnvoll. Ein erhöhter Junghennenpreis (14.00 DM/Junghenne) hat zwar kaum Einfluß auf die optimale Haltungsdauer, jedoch sind die Leerstehphasen erheblich verlängert.

Gegenüber Legemehl-Preisvariationen (im Bereich von 57.00 bis 66.00 DM/100 kg) ist die zweiphasige Haltung im Hinblick auf die Empfehlungen zur Haltungsdauer und zur Wiederaufstallung sehr robust. Der Zielfunktionswert sinkt jedoch zu 40%.

Hohe Schlachthennenpreise mit 2.00 DM/kg Lebendgewicht werden bei Direktvermarktung erreicht. Sie begünstigen die Haltung über nur eine Periode eindeutig. Niedrige Preise von 0.50 DM/kg bleiben ohne Auswirkungen auf die Aufstallungsempfehlungen und die Haltungsdauer.

Im Vergleich zur hohen Stabilität des Modells gegenüber Veränderungen der externen Preise reagiert das System wesentlich sensibler auf Parametervariationen für die zweite Legeperiode. Kalkuliert man 7 % Tierverluste über die erste Legeperiode und 4 % für die vierwöchige Zwangsmauser, stehen am Anfang der zweiten Legeperiode 89 % des Aufstallungsbestandes. Eine zusätzliche Reduzierung um nur 2 Prozentpunkte mindert die Vorzüglichkeit der zweiten Legeperiode erheblich. Diese Tendenz ist stärker bei 15 % Verlusten bis zu Beginn der Wiederaufnahme der Legetätigkeit. Nur im Jahr des extremen Preistiefs 1982 erschien die zweiphasige Haltung vorteilhaft.

Die Legeleistung der Herde hat für die Entscheidungsfindung neben dem Eierpreis die größte Bedeutung. Unter ihr wird allgemein der Leistungsanstieg, die Leistungsspitze und das Durchhaltevermögen verstanden. Gerade über die Leistungsparameter der zweiten Legeperiode liegen nur wenige Informationen vor. Liegt die Legeleistung der zweiten Periode nur 5 % unter der ersten, bleiben die Strategieempfehlungen unverändert. Bei einer Reduzierung um 15 % ist die Mauser in keinem Fall vorzüglich.



Legende:

——————— Entscheidung für Weiterhalten der Tiere

— · — · — · — · — Entscheidung für Stall leerstehen lassen

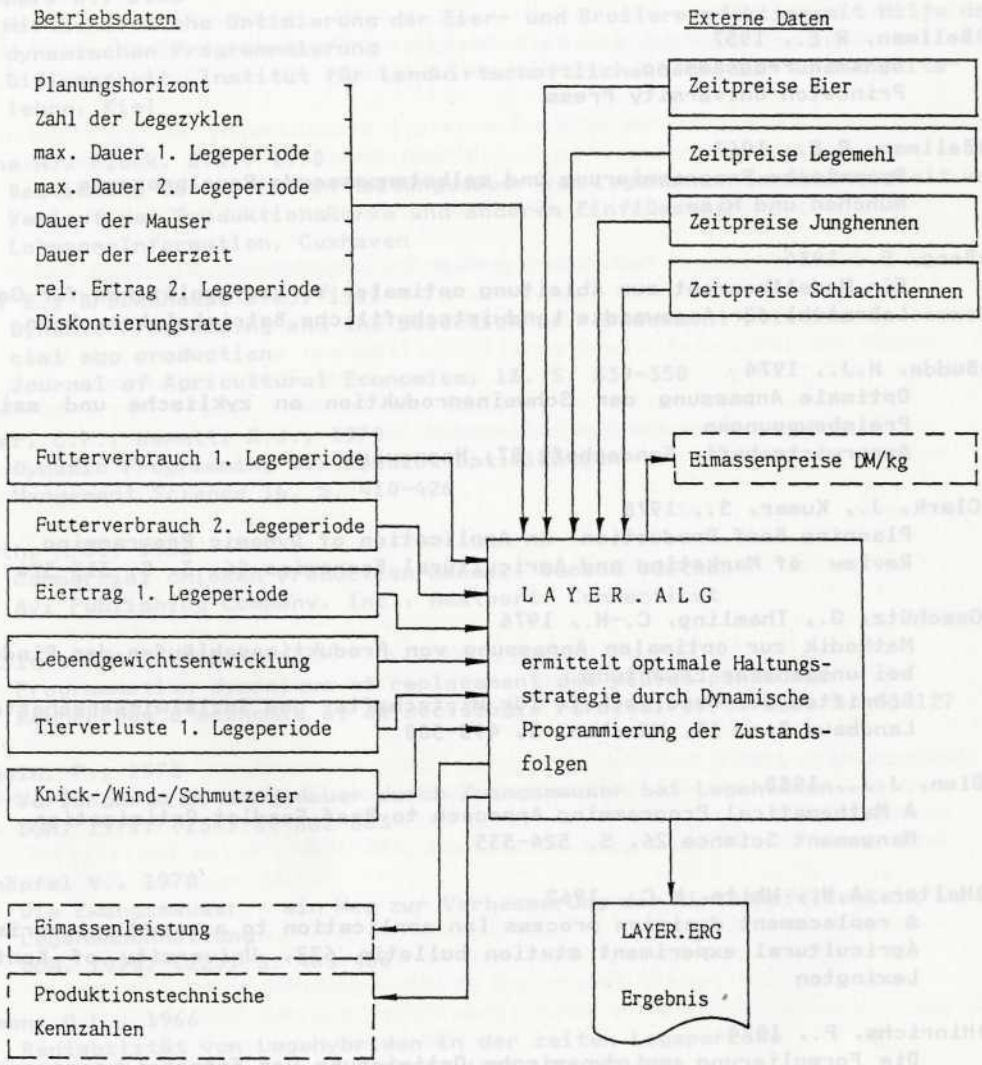
– – – – – – – – – Entscheidung für Stall räumen 1. Legephase

—— —— —— – Entscheidung für Stall räumen 2. Legephase

····· Entscheidung für Zwangsmauser

Die Mauser zwischen zwei Legephasen und die Leerzeit zwischen zwei Durchgängen beanspruchen hier je eine Zeiteinheit.

Übersicht 1. Schematische Darstellung der Entscheidungsalternativen



Übersicht 2. DV-Konzeption "Haltungsstrategie Legehennen"

24.5 Literaturverzeichnis

1)Bell, D., 1967
The economics of various moulting methods
Feedstuffs, Vol. 39 (July), S. 21-42

2)Bell D., 1968
Can force moulting be a part of a successful replacement programm?
Feedstuffs, 40 (Oct.), S. 29-34

3)Bellman, R.E., 1957
Dynamic Programming
Princeton University Press

4)Bellman, R.E., 1967
Dynamische Programmierung und selbstanpassende Regelprozesse
München und Wien

5)Berg, E., 1984
Ein Modellkonzept zur Ableitung optimaler Verkaufspolitiken für Getreide
Lehrstuhl für Angewandte Landwirtschaftliche Betriebslehre, Bonn

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

7)Clark, J., Kumar, S., 1978
Planning Beef Production: An Application of Dynamic Programming.
Review of Marketing and Agricultural Economics 46, 3, S. 315-326

8)Gaschütz, G., Thamling, C.-H., 1976
Methodik zur optimalen Anpassung von Produktionsabläufen der Rindermast bei unsicherer Erwartung
Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus Band 13, München, S. 493-500

9)Glen, J.J., 1980
A Mathematical Programming Approach to Beef Feedlot Optimization
Mangement Science 26, S. 524-535

10)Halter, A.N., White, W.C., 1962
A replacement decision process (an application to a caged enterprise)
Agricultural experiment station bulletin 677, University of Kentucky, Lexington

11)Hinrichs, P., 1974
Die Formulierung und dynamische Optimierung von Entscheidungssequenzen-vorgeführt an Planungsproblemen der Landwirtschaft
Verlag Anton Hain, Meisenheim am Glan

12)Horst, P., Petersen, I., 1969
Beitrag zur Auswirkung der Zwangsmauser beim Huhn auf die Wirtschaftlichkeit der Legehennenhaltung im zweiten Legejahr
Archiv für Geflügelkunde, 33, S. 103-118

13)Kennedy, J.O.S., 1981
Applications of Dynamic Programming to Agriculture, Forestry and Fisheries: Review and Prognosis
Review of Marketing and Agricultural Economics 49, 3, S. 141-173

14)Klepper, R., 1985
Wirtschaftliche Optimierung der Eier- und Broilerproduktion mit Hilfe der dynamischen Programmmierung
Diplomarbeit, Institut für Landwirtschaftliche Betriebs- und Arbeitslehre, Kiel

15)Kühne W., Flock, D.K., 1978
Bestimmung der optimalen Haltungsdauer von Legehennen in Abhängigkeit vom Verlauf der Produktionskurve und anderen Einflüssen
Lohmann-Information, Cuxhaven

16)Low, E., Brookehouse J.K., 1967
Dynamic Programming and the selection of replacement policies in commercial egg production
Journal of Agricultural Economics, 18, S. 339-350

17)Meyer, C.F., Newett, R.J., 1970
Dynamic Programming for Feedlot Optimization
Mangement Science 16, S. 410-426

18)North, M.O., 1981
Commercial chicken production manual. Second edition
Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut

19)Pouilquen, A., 1970
Programmation dynamique et replacement des poules pondeuses
Recherches d'economie et de sociologie rurales, 1970, (3), S. 93-127

20)Schein, F., 1971
Verlängerte Nutzungsdauer durch Zwangsmauser bei Legehennen
DGW, 1971, (23), S. 662-663

21)Schöpfel V., 1970
Die Zwangsmauser - ein Weg zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit in der Legehennenhaltung
DGW, 1970, (22), S. 463-466

22)Simon, D.L., 1966
Rentabilität von Legehybriden in der zeiten Legeperiode
Archiv für Geflügelkunde, 1966, (30), S. 482-488

23)Simon, D.L., 1968
Rentabilität von Legehennen in der zweiten Legeperiode nach einer durchgeführten Zwangsmauser
Jahrbuch der Geflügelwirtschaft 1968, S. 138-145

24)Sundermeier, H.H., Klepper, R., Hartjen, C.D., 1986
Dynamische Programmierung zur wirtschaftlichen Optimierung von Tierproduktionsprozessen
Arbeitsbericht des Instituts für Landwirtschaftliche Betriebs- und Arbeitslehre, Universität Kiel

25)Topham, M.R., 1979
A Model of Beef Cow and Calf Feeding: A Preliminary Study
Canadian Journal of Agricutural Economics, 27, S. 26-36

26)Wendt, R.C.A., 1978
Entscheidungsstrategie in der Schweinemast und ihre Einführung in die Wirtschaftsberatung
Dissertation, Kiel

27)White, D.H., O'Leary, G.J., Barlett, B.E., Abu-Serewa, S., 1978
Simulation of poultry egg production
Agricultural systems, (3), S. 85- 102

28)White, W.C., 1959
The determination of an optimal replacement policy for a continually operating egg production enterprise
Journal of Farm Economics, 41 (5), S. 1535-1542

29)zaalmink, I.B.W., 1984
A management and planning system for egg producers
Agricultural Economics Research Institute, Den Haag

30)Zeddies, J., 1971
Zur Bestimmung der optimalen wirtschaftlichen Nutzungsdauer von landwirtschaftlichen Nutztieren
Agrarwirtschaft, 20 (1), S. 7-16

31)Zeddies, J., 1981
Betriebswirtschaftliche Betrachtungen zur Durchführung der Zwangsmauser bei Legehennen
Archiv für Geflügelkunde, 45 (4), S. 158-166

32)ZMP-Bilanz, 1984
Eier und Geflügel
Herausgeber und Verlag: Zentrale Markt- und Preisberichtstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Bonn