



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

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

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

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

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

Möhring, A., Zimmermann, A.: Aufbau und Anwendung eines LP-Betriebsmodells mit integrierter Ökobilanz zur Ermittlung nachhaltiger Milchproduktionssysteme. In: Bahrs, E., von Cramon-Taubadel, S., Spiller, A., Theuvsen, L., Zeller, M.: Unternehmen im Agrarbereich vor neuen Herausforderungen. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 41, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (2006), S. 507-516.

AUFBAU UND ANWENDUNG EINES LP-BETRIEBSMODELLS MIT INTEGRIERTER ÖKOBILANZ ZUR ERMITTLUNG NACHHALTIGER MILCHPRODUKTIONSSYSTEME

*Anke Möhring, Albert Zimmermann**

Zusammenfassung

Die sich verschärfenden Rahmenbedingungen für die schweizerische Milchwirtschaft erfordern nachhaltige Milchproduktionssysteme, die ökonomisch optimiert sind, aber auch den ökologischen Anforderungen der Gesellschaft genügen. Um solche Systeme zu ermitteln, wurde ein komparativ-statisches LP-Modell auf Betriebsebene aufgebaut. Realitätsnahe, hinsichtlich Herdenmanagement, Gebäude, Fütterungssystem und Mechanisierung abgestimmte Produktionssysteme werden im Modell mittels binärer Variablen abgebildet. Zur Ermittlung der Umweltwirkungen des Betriebs wurde eine Ökobilanz in das Modell integriert. Dazu erfolgte eine detaillierte Abbildung innerbetrieblicher Produktionszusammenhänge. Eine erste Anwendung, bei der ein Vergleich verschiedener einkommensoptimierter Produktionssysteme erfolgte, deckte einige Zielkonflikte zwischen Ökonomie und Ökologie auf, wobei Systeme mit Vollweide in beiden Aspekten am besten abschnitten.

Schlüsselwörter

Ökobilanz, LP-Modell, Optimierung, Milchproduktion, Produktionssystem

Abstract

The increasingly stringent conditions underlying Swiss dairy production demand sustainable milk production systems that are economically optimised but also meet the ecological requirements of society. To determine such systems, a comparative-static LP model was constructed at farm level. Realistic production systems with coordinated herd management, buildings, feeding and mechanisation systems are reproduced in the model by means of binary variables. The LCA was integrated into the model to determine the environmental impacts of the farm. To this effect, the internal farm influences on production are illustrated in detail. An initial application, in which a comparison of different income-optimised production systems was carried out, revealed some goal conflicts between economics and ecology. Systems involving full-time grazing achieved the best results in both aspects.

Keywords

Life Cycle Assessment (LCA), LP-Model, optimisation, dairy production, production system

1 Einleitung

Die Situation der schweizerischen Milchwirtschaft zeichnet sich – wie in den angrenzenden europäischen Nachbarländern auch - durch einen hohen Anpassungsdruck aus. In den nächsten Jahren sind weitere Veränderungen zu erwarten - als Folge der laufenden Verhandlungen im Rahmen der WTO-Doha-Runde, der Umsetzung der bilateralen Verträge zwischen der Schweiz und der EU und der Aufhebung der Milchkontingentierung am 1. Mai 2009. Mit der

* Dr. Anke Möhring und Dipl. Ing.-agr. Albert Zimmermann, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen, Schweiz, anke.moehring@fat.admin.ch, albert.zimmermann@fat.admin.ch.

Möglichkeit des frühzeitigen Ausstiegs aus der Milchkontingentierung, erstmalig am 1. Mai 2006, erhalten die Schweizer Milchproduzenten die Chance, den Übergang aktiv zu gestalten. Grundsätzlich sind drei Anpassungsstrategien auf betrieblicher Ebene möglich: a) die Milchproduzenten versuchen durch eine kostenextensivere Produktion die sinkenden Milchpreise aufzufangen, b) sie nutzen die vorhandenen Produktionskapazitäten zur Erzeugung von Spezialitäten oder für alternative Betriebszweige oder c) sie steigen aus der Produktion aus. Fällt die Wahl auf die erstgenannte Variante, so müssen die Produktionskosten je kg Milch durch kostengünstigere Produktionsverfahren oder durch eine Erhöhung der Milchmenge optimiert werden. Allerdings ist es unter schweizerischen Verhältnissen für die Betriebe schwierig zu wachsen, da die dafür benötigten Flächen nur begrenzt verfügbar und die bestehenden Absatzkanäle für Milch bereits gesättigt sind. Zudem müssen die Produzenten weitere Restriktionen beachten. So sind die Ansprüche der Gesellschaft an die Einhaltung umwelt- und tierfreundlicher Produktionsweisen hoch. Auch besitzt die Käseproduktion in der Schweiz, insbesondere bei der Herstellung qualitativ hochwertiger Rohmilchkäse, eine lange Tradition. Die Produktion von Rohmilchkäse setzt voraus, dass bei der Fütterung der Milchkühe auf Silage verzichtet wird. Einparungsmöglichkeiten im organisatorisch-technischen Bereich sind somit sowohl für Silo- als auch Nichtsilobetriebe von entscheidender Bedeutung. Es ist zu erwarten, dass nicht nur ein einziges Produktionssystem optimale Anpassungsmöglichkeiten bietet, sondern dass je nach gegebener betrieblicher Ausgangslage in ihrem Intensitätsgrad verschieden ausgerichtete Milchproduktionssysteme vorteilhaft sind.

Das hier vorgestellte ökonomisch-ökologische LP-Modell hat zwei Hauptziele: 1) die Auswirkungen von veränderten agrarpolitischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf die betrieblichen Produktionsentscheidungen und auf organisatorisch-technische Anpassungsmassnahmen von Milchproduktionsbetrieben zu studieren und 2) die damit verbundenen Umweltwirkungen mit Hilfe einer integrierten Ökobilanz abzuschätzen.

2 Methodische Aspekte der Modellierung auf Betriebsebene

Eine ökonomische Forschung, die Fragen der Technologiewahl einschliesst, ist für die Erklärung des ökonomischen Wachstums von zunehmender Bedeutung (ALLEN, 2000). Um verschiedene Milchproduktionssysteme ökonomisch miteinander zu vergleichen, bedarf es nicht zwingend der Methode der Linearen Optimierung. Erst wenn nach der optimalen Systemkombination von organisatorisch-technischen Größen des Produktionssystems gefragt wird, ist die Anwendung dieser Methode vorteilhaft, insbesondere wenn komplexe innerbetriebliche Zusammenhänge und die Wechselwirkungen zwischen Technologie, Ökonomie und Ökologie untersucht werden sollen. Eine Betrachtung auf einzelbetrieblicher Ebene ermöglicht es zudem, die in der Realität unterschiedlichen betrieblichen Ausgangsbedingungen und standörtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Es gibt in der Literatur bereits zahlreiche Beispiele für diese Art der Betriebsmodellierung, darunter mehrere im Bereich der Milchviehhaltung (u.a. RAMSDEN ET AL., 1999; VALENCIA und ANDERSON, 2000; ANDERSON und MAYNE, 2004).

Einige Modelle auf der betrieblichen Aggregationsebene enthalten, neben den ökonomischen, zusätzlich umweltrelevante Aspekte (u.a. RIGBY und YOUNG, 1996; BERENTSEN ET AL., 1992; TRUNK, 1995; ZIMMERMANN, 1997). Die Methode der Mehrzieloptimierung (Multiple Goal Linear Programming MGLP) wenden TEN BERGE ET AL. (2000) und VAN DE VEN (1996) an.

Die genannten Arbeiten bilden ausgewählte Emissionen der landwirtschaftlichen Produktion ab. Im Vordergrund stehen Nährstoffverluste und Emissionen von Treibhausgasen. Dies birgt die Gefahr, dass Verlagerungen auf andere Umweltprobleme oder auf vor- oder nachgelagerte Sektoren stattfinden können. Beispielsweise reduziert vermehrte Weidehaltung zwar die Ammoniakemissionen, kann aber andere Stickstoffemissionen erhöhen. Der Ersatz selbst produzierter durch zugekaufte Futtermittel senkt zwar die Emissionen auf dem Betrieb, erhöht

aber gleichzeitig jene im vorgelagerten Bereich. Eine Methode für die gesamtheitliche Berücksichtigung der Umweltwirkungen ist die Ökobilanzierung. Diese Methode erfasst alle wichtigen Umweltprobleme und betrachtet Produktionssysteme von der Rohstoffgewinnung bis zur Abfallentsorgung (GUINÉE, 2002). Eine Integration der Methode der Ökobilanzierung in ökonomische LP-Modelle erfolgte bisher nur für ausgewählte industrielle Produktionssysteme (AZAPAGIC UND CLIFT, 1999; VOGSTAD, 2002). Die vorliegende Arbeit bildet die Methode der Ökobilanzierung in einem betrieblichen, auf Prozesse der Milchviehhaltung und des ergänzenden Ackerbaus ausgerichteten Optimierungsmodell ab.

3 Überblick über das Betriebsmodell

3.1 Die Abbildung eines spezialisierten Milchviehbetriebs im Modell

Das Modell FARMO (Farm Model of Switzerland) ist ein statisches lineares Optimierungsmodell. Es wurde in der Modellersprache LPL (Linear Programming Language, HÜRLIMANN, 2004) formuliert. Das Betriebsmodell repräsentiert den Betriebstyp „Spezialisierte Verkehrsmilchbetrieb“ in der Talregion der Schweiz, sowohl für Standorte in der Silo- als auch in der Nicht-Silozone (MÖHRING ET AL., 2004). Es wird von vollständig neuen Betrieben ausgegangen, das heisst die Transformationskosten für den Wechsel zwischen Produktionssystemen werden nicht untersucht. Das Betriebsmodell optimiert Milchproduktionsbetriebe ohne eigene Aufzucht bei begrenzter Flächenausstattung. Als Produktionsalternative zur Milch steht den Modellbetrieben der Anbau von Marktfrüchten zur Auswahl. Der Betriebsleiter arbeitet im Haupterwerb auf dem Betrieb. Er kann zwischen technisch und organisatorisch verschiedenen Milchproduktionssystemen, Bewirtschaftungsintensitäten, Kulturarten und Futterrationen wählen und die Aktivitätsumfänge im Rahmen der vorgegebenen Flächenkapazitäten bestimmen. Die durchgeführten Optimierungsrechnungen stellen mittel- bis langfristige strategische Planungsrechnungen dar. Einzelbetriebliche Bestimmungen für den Erhalt von Direktzahlungen sind im Modell berücksichtigt. Dazu gehören die Bedingungen zur Erfüllung des Ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) und zur tiergerechten Haltung gemäss den Vorgaben für besonders tierfreundliche Stallhaltungssysteme (BTS-Programm) und für den regelmässigen Auslauf von Nutztieren im Freien (RAUS-Programm).

3.2 Differenzierungsmerkmale der Milchproduktionssysteme und Datenbasis

Für die Differenzierung der Milchproduktionssysteme wurden in der vorliegenden Arbeit vier Haupteinflussfaktoren unterschieden. Dazu gehören (vgl. Tabelle 3.1):

- das *Herdenmanagement*, das insbesondere durch die Zuchtstrategie und den Abkalbetermin bestimmt wird;
- das *Fütterungssystem* mit verschiedenen Strategien der Winter- und der Sommerfütterung sowie einer Unterscheidung nach Fütterung mit und ohne Silage in der Ration;
- das *Gebäudesystem*, dessen Variationsbreite vor allem durch die Faktoren Stallhülle, Stallsystem, Melktechnik, Futterlager und Fütterungstechnik abgebildet wird und
- der *Mechanisierungsgrad*, da mit zunehmender Bestandesgrösse der Maschinenpark des Betriebes und die Schlagkraft variiert.

Tabelle 3.1: Variationsgrößen bei der Abbildung des Milchproduktionssystems

Haupteinflussfaktor	Differenzierungsmerkmal	Variation
Herdenmanagement	Zuchtstrategie	6000, 6500, 6700, 8000, 10 000 kg Milch je Jahr
	Abkalbetermin	Saisonal im Frühling, kontinuierlich über das gesamte Jahr
Fütterungssystem	Winterfütterung (Silo-System)	Grassilage, Maissilage, Bodenheu
	Winterfütterung (Nichtsilo-System)	Belüftungsheu
	Sommerfütterung (Silo-System)	Vollweide, Frischfutter-Weide, Silage-Weide, Ganzjahressilage
	Sommerfütterung (Nichtsilo-System)	Vollweide, Frischfutter-Weide
Gebäudesystem	Futterlager	Heustock, Rundballen, Hochsilo, Flachsilo
	Stallhülle	Offenstall mit Boxen, geschlossener Stall mit Boxen, Offenstall ohne Boxen
	Melktechnik	Fischgräten-Melkstand, Mobiler Melkstand
	Fütterungstechnik	Standardvorlage bei Tier-Fressplatzverhältnis 1:1, ad Libitum-Vorlage bei Tier-Fressplatzverhältnis 2:1, Selbstfütterung am Flachsilo
Mechanisierungsgrad	Kombination aus Eigenmechanisierung und Lohnarbeit	3 Stufen für Bestandesgrößen von 30 bis 100 Kühen

In der Praxis ist eine grosse Anzahl von möglichen Systemkombinationen vorzufinden. Eine Abbildung aller möglichen Systemvarianten ist im Modell nicht möglich. Deshalb werden im Rahmen einer Vorselektion (GAZZARIN und SCHICK, 2004) für die Praxis relevante und für schweizerische Standortverhältnisse plausible Produktionssysteme bestimmt. Die Entscheidungsvariablen zur Wahl des Produktionssystems und der Stallgrösse sind im Modell als binäre Variablen formuliert. Detailliertere Produktionsprozesse des Produktionssystems, zum Beispiel die Futterrationen der Milchkühe in Abhängigkeit des Futternährstoffbedarfs in der jeweiligen Laktationsphase, werden durch kontinuierliche Variablen abgebildet. Zur Darstellung der Beziehungen zwischen binären und kontinuierlichen Variablen und zur Vermeidung von Nichtlinearitäten dienen logische Constraints, die beim Einlesen in eine gemischt-ganzzahlige Formulierung übersetzt werden.

Die Kalkulationen der entsprechenden Leistungs- und Kostenpositionen basieren vorwiegend auf Planungs- und Versuchsdaten (u.a. AMMANN, 2004; GAZZARIN und SCHICK, 2004; GAZZARIN und HILTY, 2002; MOSIMANN, 2001; ALP, 1999).

3.3 Die Integration einer Ökobilanz

Die Integration der Methode der Ökobilanzierung erfolgt in FARMO in einem zuschaltbaren Teilmodell. Die Optimierungsrechnungen sind somit wahlweise mit oder ohne Ökobilanzierung durchführbar.

Eine Ökobilanz umfasst vier Schritte (GUINÉE, 2002): Die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens der Studie, die Sachbilanz, die Wirkungsabschätzung und die Auswertung. Zwei Elemente des ersten Schrittes sind die Systemgrenze und die funktionelle Einheit. Als Systemgrenze der auf dem Modellbetrieb erzeugten Produkte wurde das „Hofstor“ festgelegt, dies gilt sowohl für die wirtschaftlichen als auch für die ökologischen Grössen. Somit sind Weiterverarbeitung, Verteilung und Konsum der Produkte nicht berücksichtigt. Die funktionelle Einheit, als Bezugsgrösse für die Resultate, ist in der vorgestellten Anwendung ein Kilogramm verkaufte Milch. Die beiden Berechnungsschritte, die Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung, sind in das Modell integriert. Datengrundlage sind die Umweltinventare

und Emissionsmodelle der schweizerischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten (NEMECEK, 2003; NEMECEK ET AL., 2004).

Der Schritt der Sachbilanz beinhaltet die Ermittlung der Emissionen und Ressourcenverbräuche des Systems. Es kann zwischen *direkten* und *indirekten* Emissionen unterschieden werden: Die direkten Emissionen entstehen direkt auf dem Betrieb, die indirekten Emissionen stammen von der Bereitstellung oder der Entsorgung von Produktionsfaktoren. Die berücksichtigten Ressourcenausschöpfungen sind im Wesentlichen fossile Energieressourcen. Sie werden methodisch wie indirekte Emissionen behandelt. Die Berechnung der Sachbilanz im Betriebsmodell erfordert eine Abbildung aller wesentlichen Produktionsfaktoren in der benötigten Differenzierung und eine Formulierung der emissionsrelevanten Prozessbedingungen.

Die Abbildung der *indirekten* Emissionen im Modell erfolgt durch eine lineare Verknüpfung der Umweltinventare mit den entsprechenden Produktionsfaktoren bzw. Aktivitäten. Am Beispiel des zugekauften Kraftfutters soll dies dargestellt werden, wobei nur die für das Verständnis erforderlichen Differenzierungen aufgeführt sind:

$$EMI_{t,emi} KF = \sum_{kf,inv} KF_{t,kf} * kf_{inv} * ef_{inv,emi} \quad (1)$$

wobei: *EMI KF* Modellvariable: Indirekte Emissionen des zugekauften Kraftfutters

KF Modellvariable: Kraftfutterzukauf

kf inv Parameter: Verknüpfung Kraftfuttermittel mit zugehörigen Umweltinventaren

ef Parameter: Emissionsfaktoren je Mengeneinheit Kraftfutter (Umweltinventare)

t, emi, kf, inv Indizes für die Tierarten, Emissionen, Kraftfuttermittel, Umweltinventare

Die zugekauften Kraftfuttermittel sind im Modell als Variablen formuliert. Die Verknüpfung mit den Umweltinventaren erfolgt über Parameter, die für die zusammengehörenden Kombinationen der Kraftfuttermittel und Umweltinventare definiert sind. Gleichzeitig bereinigen diese Parameter allfällige unterschiedliche Einheiten. Die Umweltinventare enthalten die indirekten Emissionen der Kraftfuttermittel. Die Variablen für die resultierenden Emissionen sind nach Tierart differenziert, damit für Betriebe, die mehrere Produkte erzeugen, eine Allokation der Emissionen entsprechend dem Kraftfutterbedarf der Tiere erfolgen kann. Wenn eine Tierart mehrere Produkte liefert, zum Beispiel Milch und Fleisch, erfolgt in einer separaten Restriktion eine weitere, ökonomische Allokation der Emissionen nach dem Wert der Produkte.

Die Formulierung der *direkten* Emissionen basiert auf spezifischen Emissionsmodellen, wobei die Übertragung ins lineare Modell gewisse Anpassungen erforderlich macht. Beispielsweise sind in der Formel für die Ammoniakemissionen der Gülleausbringung (Gleichung 2, KATZ, 1996) die veränderbaren Faktoren nicht linear miteinander verknüpft und stellen teilweise Verhältniszahlen von zwei Grössen dar, die im Modell beide als Variablen abgebildet sind:

$$EMI_{NH3} = (-9.506 + 19.408 * nh4 + 1.102 * sd) * (0.021 * gha + 0.358) \quad (2)$$

wobei: *EMI NH3* Ammoniakverluste [kg N/ha]

nh4 Ammoniumgehalt der Gülle [g N/kg Frischsubstanz]

sd Wassersättigungsdefizit der Luft [mbar]

gha Güllemenge je Flächeneinheit [t/ha]

Für die Abbildung im Betriebsmodell wurde diese Formel näherungsweise linearisiert, so dass die Berücksichtigung der emissionsbeeinflussenden Faktoren - ausgehend von der ausgebrachten Güllemenge und einem Basis-Emissionsfaktor - mittels separater Parameter erfolgt. Dabei mussten bestimmte im Modell nicht abgebildete Faktoren anhand anderer Grössen abgeschätzt werden, beispielsweise die je Fläche ausgebrachte Güllemenge anhand des Tierbesatzes. Zusätzlich wurde eine mögliche Emissionsreduktion durch die Ausbringungstechnik berücksichtigt.

$$EMI_{NH3_t} = \sum_{hd,k,p,tb,ps} HD_{t,hd,k,p} * gehalt_{hd} * nh3_{hd} * ver_{hd} * p_p * tb_{tb} * ps_{ps} \quad (3)$$

wobei: *EMI_{NH3}* Modellvariable: Direkte Ammoniakemissionen der Gülleausbringung

HD Modellvariable: Ausgebrachte Hofdüngermengen

gehalt Parameter: Ammoniumgehalt des Hofdüngers

nh3 Parameter: Basis-Emissionsfaktor

ver Korrekturfaktor (Parameter): Gülleverdünnung

p Korrekturfaktor (Parameter): Wassersättigungsdefizit bzw. Periode

tb Korrekturfaktor (Parameter): Güllemenge je Fläche bzw. Tierbesatz

ps Korrekturfaktor (Parameter): Ausbringungstechnik bzw. Produktionssystem

t, hd, k, p, tb, ps Indizes für die Tierarten, Hofdüngerarten, Kulturarten, Perioden, Tierbesatz-Klassen, Produktionssysteme

Die indirekten und direkten Emissionen werden in einer separaten Gleichung je Tierart summiert und anschliessend den Produkten, die mit der Tierart erzeugt werden, zugewiesen.

Die *Wirkungsabschätzung* beurteilt die Auswirkungen der Emissionen auf relevante Umweltprobleme. Beispielsweise tragen die Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O zum Treibhauspotenzial bei, wobei die Wirkung jeder dieser Emissionen in CO₂-Äquivalenten bewertet wird. Die Beziehungen zwischen den Emissionen und den potenziellen Umweltwirkungen sind in den verwendeten Wirkungsmodellen (ROSSIER UND GAILLARD, 2004) linear und können deshalb mit einer einfachen Restriktion abgebildet werden:

$$UMWI_{pr,umwi} = \sum_{emi} EMI_{pr,emi} * wf_{emi,umwi} \quad (4)$$

wobei: *UMWI* Modellvariable: Umweltwirkungen

EMI Modellvariable: Emissionen

wf Parameter: Wirkungsfaktor (Potentielle Umweltwirkung je Emissionseinheit)

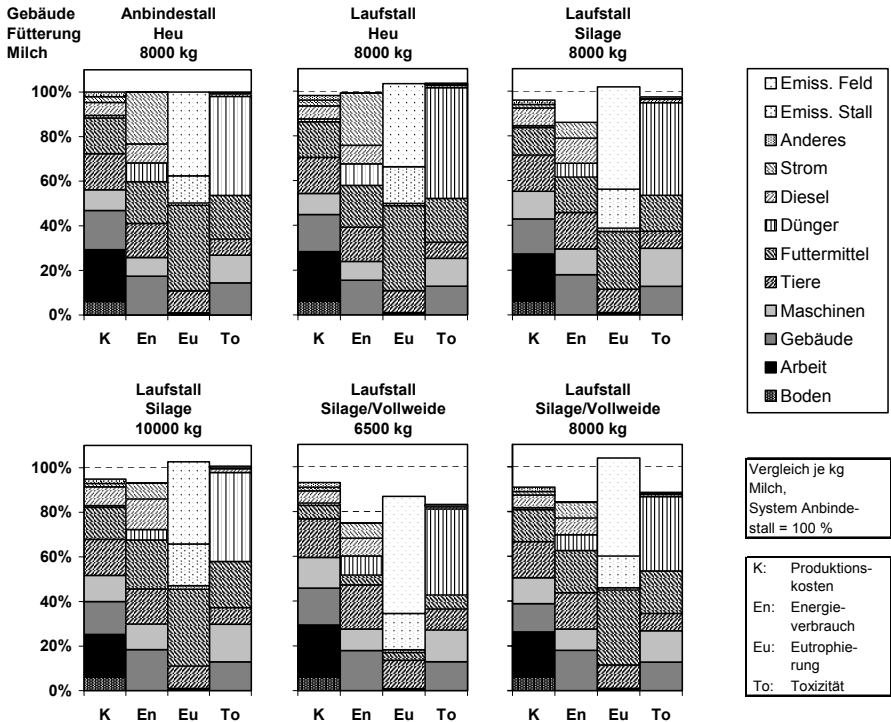
pr, umwi, emi Indizes für die Produkte oder Produktgruppen, Umweltwirkungen, Emissionen

Die über 100 Emissionen werden auf diese Weise zu einem Dutzend Umweltwirkungen zusammengefasst. Für eine weitere Aggregation bestehen verschiedene Methoden (z.B. GOEDKOOPT UND SPIRENSMA, 2001), jedoch ist die Gewichtung oder Monetarisierung unterschiedlicher Umweltkategorien letztlich von Werturteilen abhängig. Weil die im Betriebsmodell formulierten Umweltwirkungen teilweise miteinander korreliert sind, reicht eine bestimmte Auswahl an Wirkungen aus, um einen grossen Teil auch der übrigen Wirkungen zu repräsentieren (ROSSIER UND GAILLARD, 2004).

4 Vergleich verschiedener Milchproduktionssysteme

Als Beispiel einer Anwendung des Betriebsmodells zeigt Abbildung 4.1 die Kosten und drei Umweltwirkungen von sechs unterschiedlichen Milchproduktionssystemen. Die Werte sind auf ein Kilogramm verkaufte Milch bezogen, die Ergebnisse des Betriebs mit Anbindestall wurden auf 100 % gesetzt. Normalerweise wählt das Modell jeweils ein optimales Produktionssystem aus. Damit aber Vergleiche möglich sind, wurde für die vorliegenden Rechnungen das entsprechende Produktionssystem vorgängig ausgewählt. Die Produktionssysteme unterscheiden sich insbesondere bezüglich des Herdenmanagements, des Fütterungssystems und des Gebäudesystems. Andere Faktorkapazitäten, wie Flächenausstattung und verfügbare Familienarbeitskräfte, wurden bei allen Modellbetrieben identisch vorgegeben.

Abbildung 4.1: Kosten und Umweltwirkungen verschiedener Milchproduktionssysteme



Die spezialisierten Milchviehbetriebe haben ein Kontingent von maximal 400 000 kg Milch. Mit der Zielfunktion wurde das Einkommen der Betriebsleiterfamilie maximiert. Im Rahmen des vorgegebenen Produktionssystems optimierte das Modell somit die Flächennutzung und die Kombination der Produktionsverfahren sowie die Anzahl Stallplätze. Damit der Vergleich der Resultate auch Unterschiede bezüglich des Bedarfs an betriebseigenen Faktoren (Arbeit, Boden) berücksichtigt, erfolgte im Anschluss an die Modellrechnungen eine Anrechnung von Opportunitätskosten.

Die Produktionskosten je kg Milch liegen beim Laufstall dank geringeren Gebäude- und Arbeitskosten etwas tiefer als beim Anbindestall. Nochmals leicht tiefere Kosten erzielt das Produktionssystem mit Silage- statt Dürreheufütterung im Winter. Die höheren Technikkosten der Silageproduktion werden durch tiefere Ergänzungsfutterkosten bzw. beim System mit hoher Milchleistung durch den geringeren Arbeits- und Gebäudebedarf kompensiert. Die tiefsten Produktionskosten erreichen jedoch die Produktionssysteme mit konsequenter Vollweide und saisonaler Abkalbung. Voraussetzung dafür sind gut arrondierte Weideflächen. Besonders das System mit Vollweide und gleichzeitig hoher Milchleistung stellt hohe Anforderungen an das Management. Noch grössere Einsparungspotentiale als durch die Wahl des Produktionssystems ergeben sich bei Erhöhung der Tierbestände. Im Vergleich zu Betrieben mit 200 000 kg produzierter Milchmenge (MÖHRING und ZIMMERMANN, 2004) sind die Produktionskosten je Kilogramm Milch bei den hier dargestellten Modellrechnungen rund 30 % tiefer.

Die drei ausgewählten Umweltwirkungen unterscheiden sich zwischen den Dürrheusystemen mit Anbinde- bzw. Laufstall nur wenig, etwas höher sind beim Laufstall die zur Eutrophierung beitragenden direkten Ammoniakemissionen im Stall. Die Systeme mit Silage haben insbesondere einen tieferen Energieverbrauch als die Systeme mit Belüftungsheu, trotz des höheren Bedarfs an Mechanisierung und Kunststofffolien. Vergleichsweise tiefe Umweltwirkungen erzielen die Systeme mit Vollweide, besonders wenn sie bei tiefer Milchleistung je Kuh mit einer auf Grundfutter ausgerichteten Fütterung bzw. einem geringen Ergänzungsfutterzukauf verbunden sind. Obwohl die Weidehaltung zu höheren Nitratemissionen führt, reduziert sich die Eutrophierung insgesamt dank tieferen Ammoniakemissionen und vor allem dank tieferem Kraftfutterzukauf, mit entsprechend geringeren indirekten Emissionen. Die Bestandesgrösse beeinflusst vor allem Umweltwirkungen, die durch fixe Produktionsfaktoren verursacht werden. So ist der teilweise an den Gebäude- und Maschinenbestand geknüpfte Energieverbrauch je kg Milch im Vergleich zu Modellrechnungen mit 200 000 kg produzierter Milchmenge (MÖHRING und ZIMMERMANN, 2004) um rund 20 % tiefer, dagegen ändert sich die Eutrophierung je kg Milch mit der Bestandesgrösse kaum, weil sie vor allem mit variablen Faktoren wie der Hofdüngermenge und dem Futterzukauf verbunden ist.

Systeme mit Vollweide weisen somit sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile auf. Auch in diesen Systemen kommen aber Zielkonflikte vor: Aus Sicht der Wirtschaftlichkeit ist eine hohe Milchleistung je Kuh anzustreben, der damit verbundene Ergänzungsfutterbedarf verschlechtert aber mehrere Umweltwirkungen.

5 Modelldiskussion und Ausblick

Die detaillierte Formulierung der innerbetrieblichen Zusammenhänge in einem Optimierungsmodell ermöglicht es, Auswirkungen veränderter Rahmenbedingungen auf die Wahl der Produktionsverfahren zu untersuchen und die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Produktionssysteme zu beurteilen. Dieses Vorgehen erleichtert es zudem, die Berechnungsmethode der Ökobilanzierung in das Modell zu integrieren. Der Vorteil der Ökobilanz-Methode gegenüber der Modellierung einzelner Stoffe oder Indikatoren besteht in der gleichzeitigen Betrachtung der verschiedenen relevanten Umweltwirkungen unter Berücksichtigung der Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum „Hoftor“ des landwirtschaftlichen Betriebes. Dadurch können mögliche Verlagerungen zwischen den verschiedenen Umweltwirkungen oder Produktionssektoren erkannt werden. Der Einbau einer Ökobilanzierung in ein Regionalmodell zur Ermittlung der überbetrieblichen Umweltwirkungen wäre in vereinfachter Form möglich, könnte aber die Zusammenhänge zwischen der Wahl der innerbetrieblichen Produktionsprozesse und den Umweltwirkungen nicht umfassend berücksichtigen.

Die gleichzeitige Abbildung sowohl ökonomischer als auch ökologischer Grössen im Modell erlaubt die Einsetzung verschiedener Zielgrössen. Im vorgestellten Anwendungsbeispiel wurde das Einkommen der Betriebsleiterfamilie maximiert. Es können aber zum Beispiel auch Umweltwirkungen unter Vorgabe bestimmter Produktionsmengen minimiert werden. Möglich ist eine Kombinationen verschiedener Ziele mit Verfahren der Mehrzieloptimierung. Das Vorgehen zur Ermittlung einer Auswahl von Lösungen, welche die Ausdehnung der Pareto-Front repräsentieren und aus denen der Entscheidungsträger anschliessend eine Selektion vornehmen kann, haben zum Beispiel AZAPAGIC UND CLIFT (1999) bereits dargestellt: Zuerst wird jede Zielfunktion separat optimiert, um den Lösungsraum abzugrenzen. Anschliessend wird eine der Zielfunktionen willkürlich ausgewählt, während die anderen Zielfunktionen in Restriktionen umgewandelt werden, deren Right-Hand-Sides innerhalb des Lösungsraums schrittweise variiert werden.

Das vorgestellte Modell stellt sehr hohe Ansprüche an eine detaillierte Datenbasis. Der Aufwand für ein solches Modell ist jedoch gerechtfertigt, da die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Technologie, Ökonomie und Ökologie neue Möglichkeiten für die ein-

zelbetriebliche Optimierung eröffnet. Es ist geplant, im Modell weitere Betriebszweige und Verfahren sowie Betriebe der Hügel- und Bergregion abzubilden sowie weitere, landwirtschaftsspezifische Umweltwirkungen (Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität, Landschaftsbild) zu integrieren.

Literatur

- ALLEN, B. (2000): The Future of Microeconomic Theory. *Journal of Economic Perspectives* 14 (1): 143-150.
- ALP (1999): Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer. Agroscope Liebefeld-Posieux, Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztiere und Milchwirtschaft, 4. Auflage. LMZ, Zollikofen.
- AMMANN, H. (2004): Maschinenkosten 2005. Kostenansätze Gebäudeteile und mechanische Einrichtungen. *FAT-Berichte* (621).
- ANDERSON, D. und S. MAYNE (2004): Incorporating Niche Marketing Contracts into the Farm Model: An Example from Dairy Industry. Paperpresentation. 78. Annual Conference of the Agricultural Economics Society. 2.-4. April 2004.
- AZAPAGIC, A. und R. CLIFT (1999): Life cycle assessment and multiojective optimisation. *Journal of Cleaner Production* 7: 135-143.
- BERENTSEN, P.B.M., G.W.J. GIESEN, S.C. VERDUYN (1992): Manure legislation effects on income and on N, P and K losses in dairy farming. *Livestock Production Science* 31: 43-56.
- BERGE, H.F.M. TEN, M.K. VAN ITTERSUM, W.A.H. ROSSING, G.W.J. VAN DE VEN, J. SCHANS, P.A.C.M. VAN DE SANDEN (2000): Farming options for the Netherlands explored by multi-objective modelling. *European Journal of Agronomy* 13: 263-277.
- GAZZARIN, CH. und R. HILTY (2002): Stallsysteme für Milchvieh: Vergleich der Bauinvestitionen. *FAT-Berichte* (586).
- GAZZARIN, CH. und M. SCHICK (2004): Milchproduktionssysteme für die Talregion. Vergleich von Wirtschaftlichkeit und Arbeitsbelastung. *FAT-Berichte* (608).
- GAZZARIN, CH., ERZINGER, S., FRIEDLI, K., MANN, S., MÖHRING, A., SCHICK, M. und S. Pfefferli (2004b): Milchproduktionssysteme für die Talregion. Bewertung mit einem Nachhaltigkeitsindex. *FAT-Berichte* (610).
- GOEDKOOP, M. und R. SPIRIENSMAN (2001): The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for Designers, 17 April 2000, Second edition, Pré Amersfoort.
- GUINÉE, J.B. (ed) (2002): Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer, Dordrecht: 704.
- HÜRLIMANN, T. (2004): Reference Manual of the modeling language (Version 4.43). Universität Fribourg.
- KATZ, P. (1996): Ammoniakemissionen nach der Gülleanwendung auf Grünland. Diss. ETH Zürich (11382).
- MÖHRING, A., C. GERWIG, A. ZIMMERMANN, T. HÜRLIMANN (2004): Landwirtschaftliches Betriebsoptimierungsmodell der Schweiz, Farm Model of Switzerland (FARMO). Modelldokumentation. Internes Arbeitspapier. Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik und ETH Zürich, Institut für Agrarwirtschaft.
- MÖHRING, A. und A. ZIMMERMANN (2004): Milchproduktionssysteme für die Talregion. Vergleich unter verschiedenen Szenarien. *FAT-Berichte* (609).
- MOSIMANN, E. (2001): Croissance des herbages. *Revue suisse Agricole* 33 (4): 163-167.

- NEMECEK, T. (2003): SALCA-Templates. Swiss Agricultural Life Cycle Assessment Database, Beschreibung der Mustersysteme „SALCA-Betrieb“ und „SALCA-Kultur“, Version 1.31, August 2003. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Zürich-Reckenholz.
- NEMECEK, T., A. HEIL, O. HUGUENIN, S. MEIER, S. ERZINGER, S. BLASER, D. DUX und A. ZIMMERMANN (2004): Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent 2000 (15). Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Zürich-Reckenholz.
- RAMSDEN, S., J. GIBBONS, P. WILSON (1999): Impacts of changing relative prices on farm level dairy production in the UK. *Agricultural Systems* 62: 201-215.
- RIGBY, D. und T. YOUNG (1996): European environmental regulations to reduce water pollution: An analysis of their impact on UK dairy farms. *European Review of Agricultural Economics* 23: 59-78.
- ROSSIER, D. UND G. GAILLARD (2004): Ökobilanzierung des Landwirtschaftsbetriebs. Schriftenreihe der FAL 53, Agroscope FAL, Zürich-Reckenholz.
- TRUNK, W. (1995): Ökonomische Beurteilung von Strategien zur Vermeidung von Schadgasemissionen bei der Milcherzeugung - dargestellt für Allgäuer Futterbaubetriebe. Diss. Univ. Hohenheim, Studien zur Agrarökologie Bd. 15: 175.
- VALENCIA, V. und D. ANDERSON (2000): Choosing optimal Milk Production systems in a changing economic environment. *Farm Management* 10 (10): 618-631.
- VEN, G.W.J. VAN DE (1996): A mathematical approach to comparing environmental and economic goals in dairy farming on sandy soils in the Netherlands. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University.
- VOGSTAD, K.O., A.H. STRØMMAN, E. HERTWICH (2002): Multiple Product Systems Environmental Assessment - Combining Hybrid LCA & Linear Programming. Platform presentation at the SETAC conference 2002, 13.-16. May 2002, Vienna, Austria.
- ZIMMERMANN, A., J. HAUSHEER, S. PFEFFERLI (1997): Ammoniak: Kosten der Emissionsminderung. Betriebswirtschaftliche Beurteilung der Möglichkeiten zur Reduktion der Ammoniak-Emissionen in der Schweiz. *FAT-Schriftenreihe* (44): 130 .