

Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen

1. Rationsoptimierung, Nährstoffdefizit und -bedarf

Klaus Walter*

Zusammenfassung

Die Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion ist auch in Zukunft nur durch steigende Milchleistungen zu sichern.

Hochleistungskühe nehmen im ersten Drittel der Laktation erhebliche Energie- und Nährstoffdefizite hin, die innerhalb der Zwischenkalbezeit ausgeglichen werden müssen. Da zunächst zuwenig gefüttert werden kann und anschließend mehr gefüttert werden soll als für die aktuelle Leistung benötigt, erweist sich die leistungsgerechte Rationsbemessung für Hochleistungskühe als wenig geeignet und ist durch ein Konzept zu ersetzen, das für den alle Perioden übergreifenden Ausgleich der Energie- und Nährstoffbilanz sorgt.

Da inzwischen die amerikanischen Blutlinien dominieren, ist die amerikanische Norm mit ihrem progressiv ansteigenden Energie- und Nährstoffbedarf in das Simulationsprogramm implementiert worden und steht der linearen deutschen Empfehlung bei der Rationsberechnung als Alternative gegenüber.

Das Simulationsprogramm analysiert die Frage der Effizienz des Ab- und nachträglichen Wiederaufbaus der Reserven sowie der Körpersubstanz, weil derartige Prozesse i. d. R. nicht verlustfrei verlaufen. Es wird ein Aufwandsfaktor formuliert, der sich an den Untersuchungen des NRC (2001) orientiert und den Energiebedarf zwischen 3,27 (verlustfrei) und (50 % Aufschlag) 5 MJ NEL je kg nachträglich erfüllter Milch variiert. Trotz des progressiv steigendem Energiebedarfs und eines gleichzeitig höheren Bedarfs für die zeitlich verzögerte Energie- und Nährstoffzufuhr ist eine weitere Steigerung der Leistung anzustreben.

Das neu entwickelte Simulationsprogramm stellt eine Basis für die zukünftig erforderlichen umfassenderen Planungsansätze für die Milchviehhaltung dar und ist gleichzeitig auf die immer komplexer werdenden Anforderungen der Hochleistungskühe sowie die gesamtbetrieblichen Belange ausgerichtet.

Schlüsselwörter: Energie- und Nährstoffdefizite der Hochleistungskühe, lineare und progressive Bedarfsnormen, Laktationsfunktion, zeitlich verschobene Erfütterung von Milchleistung

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig/Deutschland; Email: klaus.walter@vti.bund.de

Summary

The feeding and husbandry of high performance cows

1. Optimization of rations, nutrient deficits and standard requirements

The economic viability of dairy production must also be secured in the future with increasing milk yields.

High performance cows suffer significant energy and nutrient deficits in the first third of the lactation period, these deficits must be balanced during the interim calving period. Since first too little feed can be fed, and subsequently more should be fed as needed for the current performance, the performance appropriate ration composition seem to be unsuited for high performance cows and must be replaced with a concept that covers all periods including the balance of energy and nutrients.

Since in the meantime American blood lines dominate, the American standards with their progressively increasing energy and nutrient needs is implemented in the simulation program and stands in contrast to the linear German recommendations in the calculation of rations as an alternative.

The simulation program analyses the question of efficiency of the use and subsequent rebuilding of reserves and bodily substance, because such processes are as a rule not without losses. An intensity factor will be formulated oriented on the studies of the NRC (2001) and the energy needs between 3.27 (loss free) and (50 % supplement) 5 MJ NEL per kg subsequently fed milk variation. Despite progressively increasing energy needs and a simultaneously higher need for time delayed energy and nutrient supplementation, a further increase in performance is to be strived for.

The newly developed simulation program provides a basis for the further requirements of extensive planning approaches for dairy husbandry to meet the at the same time increasingly complex requirements on the part of the high performance cows and the total farm needs.

Keywords: energy and nutrient deficits in high performance cows, linear and progressive requirement standards, lactation function, time delayed dairy performance feeding

1 Einleitung und Fragestellung

Steigende Milchleistungen sichern die Gewinne aus der Milchviehhaltung, auch wenn die Milchpreise sinken und die Kosten steigen. Hohe Leistungen dagegen führen zu Nährstoffdefiziten in den ersten Tagen der Laktation (Abbildung 1) und sind als Risikofaktoren für die Leistungsberichtschaft und Gesundheit der Milchkühe anzusehen.

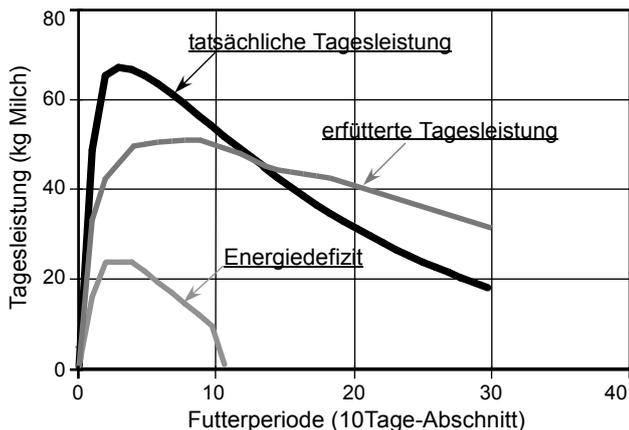


Abbildung 1:

Laktationskurve einer Kuh mit einer Milchleistung von 12.000 Litern und Nährstoffdefiziten im ersten Drittel der Laktation

Je höher das Leistungsniveau, umso mehr Milch wird aus Körperreserven und -substanz erzeugt. Diese Umwandlung von Reserven zu Milch beginnt in den ersten Tagen nach dem Abkalben und kann das erste Drittel der Laktation andauern. Dementsprechend wird diesem Zeitraum in den Fütterungsempfehlungen besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Das kumulierte Energiedefizit erreicht sein Maximum, wenn die Tagesnährstoffbilanz der Kuh erstmals ausgeglichen ist. Die Hochleistungskuh befindet sich zu diesem Zeitpunkt in einer kritischen Ernährungssituation, denn die Reserven sind aufgebraucht und der Ausgleich des entstandenen Nährstoffmangels wird zwingend erforderlich. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, diese Reserven wieder aufzubauen, und die Fragestellung erweitert sich damit auch auf den Zeitraum danach. Die Fütterung im zweiten und dritten Drittel der Laktation darf wegen der negativen Energie- und Nährstoffbilanz nicht allein an der jeweiligen Tagesleistung bemessen werden, sondern sie hat die Defizite des ersten Drittels zu berücksichtigen und auszugleichen. Ab der 15. Futterperiode liegt die erfüllte Leistung deutlich über der Tagesleistung, der Ausgleich der Bilanz beginnt und dauert hier bis zum Ende der Laktation.

Die Frage des Wiederaufbaues der Körperreserven und -substanz kann nicht in den Hintergrund verdrängt oder vernachlässigt werden, sondern wird umso bedeutender, je stärker die Reserven aufgebraucht werden.

Es ist Ziel dieses Beitrags, mittels Simulationen und Optimierungskalkulationen die Grundlagen und Rahmenbedingungen der Fütterung und Haltung zu analysieren. Die Konsequenzen aus dieser Studie dienen der Entwicklung von Lösungsvorschlägen und Verfahrensalternativen, speziell für die Konzeption und Auslegung zukünftiger Futterzeitechniken. Herdenleistungen von 10.000 bis 15.000 kg Milch erfordern die konsequente Ausrichtung der Produktion auf eine tier- und leistungsorientierte Fütterung und Haltung. Diese Simulationen basieren auf gesamtbetrieblichen Kalkulationen, um umfassende, ganzheitliche Lösungen zu erzielen, sie liefern darüber hinaus die Rahmenbedingungen für zukünftige Verfahrensausformungen.

2 Literatur, Restriktionen, Modell, Daten und Vorgehen

Die Unterfütterung der Hochleistungskuh im ersten Drittel der Laktation steht seit geraumer Zeit im Zentrum des Interesses und wird als Schwerpunktthema auf vielen Tagungen (Bockisch et al., 2006; Isermeyer, 2002; Pieper, 1998 bis 2006) sowie in Veröffentlichungen (Drackley, 2005; Evans, 2003; Isermeyer, 2002; Kaske, et al., 2006; Pieper, 1998 bis 2006) behandelt. Der Ausgleich der Nährstoffdefizite findet dagegen wenig Beachtung, vielmehr wird die tierindividuelle Bewertung empfohlen, z. B. mittels „body condition score“ (bcs), um daraus Rückschlüsse für die Versorgung zu entwickeln. Diese Strategie erscheint zunächst effizient, weil damit die Konstitution des Einzeltiers erfasst und bei der Fütterung berücksichtigt werden kann. Diese Beurteilung der Kuh erweist sich jedoch als zeitaufwendig, unscharf und wenig differenziert. Sie birgt daher das Risiko der Fehleinschätzung, denn der bcs bewertet die Versorgungslage insgesamt, wenn sie sich schließlich als Körperkondition¹ manifestiert hat. Mittels der vorgegebenen Kriterien gelingt es nicht, die einzelnen Nährstoffe präzise zu bilanzieren. Nur bei einer genauen Erfassung der Nährstoffaufnahme und des Erhaltungs- zuzüglich Leistungsbedarfs sind die Defizite und deren Ausgleich kalkulierbar. Der einzelne Fütterungsabschnitt darf nicht mehr allein gesehen werden, sondern alle vorhergehenden und zukünftigen Abschnitte sind simultan zu betrachten. Um derartige Defizit- und Überschussphasen sicher erfassen und berechnen zu können, ist neben der laufenden Bilanzierung die gesamte Zwischenkalbezeit zu kalkulieren.

Für die Fütterung und damit auch für die vorzunehmenden Modellkalkulationen stellt sich die Frage nach dem Aufwandsfaktor bzw. nach den Verlusten, die durch den

¹ Die tierspezifische Vorgeschichte und die genetische Veranlagung sind zusätzlich zu beachten, denn die Kriterien des bcs stellen nur allgemein gehaltene Regeln dar (NRC, 2001, Figure 2-2).

Abbau der Körperreserven und dem zeitverschobenen Wiederaufbau entstehen. In der jüngeren deutschsprachigen Literatur finden sich keine quantitativen Informationen über den Aufwandsfaktor, so dass auf frühere Arbeiten (Rohr, 1972; Walter, 1976) zurückgegriffen wird. Aus Angaben des National Research Council, Subcommittee on Animal Nutrition, Nutrition Requirements of Dairy Cattle, table 2.5 (NRC, 2001), kann ein Aufwandsfaktor abgeleitet werden. Da diese Angaben zu unterschiedlichen Relationen führen (Walter, 2007), wird mit gestaffelter Effizienz simuliert.

Die Ergebnisse der jüngsten Arbeiten (Bockisch et al., 2006; Drackley, 2005; Evans, 2003; Kaske et al., 2006) verdeutlichen, dass eine Trockenphase mit üppiger Fütterung dem Leistungsniveau der folgenden Laktationsperiode abträglich ist und sowohl die Futteraufnahme als auch das Leistungsniveau beeinträchtigen. Das begrenzt den verfügbaren Zeitraum zum Ausgleich von Nährstoffdefiziten auf die Laktationsperiode und schließt die Trockenstehphase aus, obwohl sich gerade dieser Zeitraum wegen des allein auf Erhaltung und Reproduktion reduzierten Nährstoffbedarfs besonders eignet.

Herkömmliche Ansätze zur Rationsberechnung betrachten stets nur einen Fütterungsabschnitt, eine Kuh und ein Leistungsniveau. Dabei wird dem Anwender ein erheblicher Spielraum zur Entwicklung einer bestmöglichen Ration gewährt. Die hier anstehende Fragestellung erfordert dagegen einen wiederholbaren, von Personen bzw. individuellen Bewertungen unabhängigen Berechnungsansatz, der zusätzlich eine Bilanzierung der Energie- und Nährstoffansprüche mehrerer Fütterungsabschnitte leisten kann. Die Lineare Programmierung (Danzig, 1963; Land, 1973) bietet sich als methodisches Instrument an, denn sie ist in der Lage mehrere Rationen simultan zu berechnen, zudem sind die Ergebnisse wiederholbar und unabhängig von individuellen Einschätzungen und Bewertungen des Kalkulierenden.

Simulationen in Verbindung mit Optimumskalkulationen stellen effektive Alternativen zu Versuchen dar, denn sie liefern eine Vielzahl von Informationen und Erkenntnissen. Voraussetzung ist jedoch ein möglichst realitätsnahes Modell, das die biologischen Gegebenheiten und Grundsätze treffend kalkuliert, die produktionstechnischen Beziehungen und Verflechtungen korrekt abbildet und schließlich auf verlässlichen Daten basiert.

2.1 Modell

Das Modell² besteht aus zwei Komponenten, einer ge-

samtbetrieblichen Analyse inklusiv Optimierung und einem zugehörigen Simulationssystem des Komplexes Milchviehhaltung, das

- die Dauer der Zwischenkalbezeiten,
- das Leistungsniveau der Herde,
- die Anteile der Kühe in erster, zweiter und dritter Laktation,
- die jahreszeitliche Einordnung und Verteilung der Abkalbungen,
- die Dauer der Fütterungsabschnitte,
- die Auswahl der (Grund)Futterbasis,
- die Zuordnung von Sommerweidegang bzw. ganzjähriger Verfütterung von konserviertem Grundfutter zu den Fütterungsabschnitten
- und viele andere Charakteristika der Milchproduktion
- aufgabenspezifisch gestaltet und wiederholbar kalkuliert.

Für die einzelnen Fütterungsabschnitte werden der Erhaltungs- und Leistungsbedarf berechnet und an das im Modell enthaltene Rationsberechnungsprogramm übergeben. Der Erhaltungsbedarf wird nach dem Körpergewicht bemessen (das alternativ 500, 550, ... kg betragen kann) und entsprechend dem Stand der Trächtigkeit ein Energie- und Nährstoffzuschlag einkalkuliert. Weiterhin wird für die Kühe in erster Laktation ein Nährstoffbedarf für das Wachstum eingeplant (Meyer, 2005). Die Tagesleistung bzw. die mittlere Milchleistung des jeweiligen Fütterungsabschnitts berechnet das Simulationsprogramm an Hand der von (Olteanu et al., 1980) entwickelten Laktationsfunktionen.

Danach optimiert das Programm die Rationen für die einzelnen Fütterungsabschnitte, um die Lösbarkeit nachzuweisen, Defizite aufzuspüren und eventuelle Sonderfälle zu erkennen. Die erfüllten und tatsächlichen Milchleistungen sowie die benötigten Futtermengen werden summiert. Ist die Nährstoffbilanz ausgeglichen, entspricht also der Bedarf für Erhaltung und erzeugter Milchleistung dem Nährstoffangebot aus der Futteraufnahme, wird die Simulation mit dem nachfolgenden Futterabschnitt bzw. der nächsten Kuh fortgesetzt. Weist eine der Bilanzen Ungleichgewichte auf, fügt das Programm alle Fütterungsabschnitte zu einem globalen Problem zusammen, um sie simultan zu berechnen³. Dabei werden nicht mehr die Nährstoffansprüche für Erhaltung, Trächtigkeit und erzeugte Milchleistung den jeweiligen Nährstofflieferungen der einzelnen Fütterungsabschnitte gegenübergestellt, sondern alle gemeinsam zur Deckung gebracht. Die aus

² Der methodische Ansatz, das Modell, die Modellstruktur, die zu Grunde liegenden Funktionen, Algorithmen und die Realisierung sind detailliert dokumentiert (Walter, 2007).

³ Dieser Abstimmungsprozess wird mittels „Linearer Programmierung“ vorgenommen, also einem auf dem Simplexalgorithmus (Danzig, 1963) basierenden Programm (Land, 1973).

körpereigenen Reserven erzeugte Milchleistung der ersten Phase der Laktation muss dann in den später folgenden Abschnitten „erfüllt“ werden.

Abbildung 2 skizziert den Aufbau der Matrix dieses komplexen Optimierungsproblems. Durch so genannte Transferaktivitäten wird der Nährstoffbedarf für die geleistete, aber nicht erfüllte Milchmenge in den nächsten Fütterungsabschnitt übergeben. Entsteht in der folgenden Periode erneut ein Defizit, so werden diese und die bisher entstandenen Fehlbeträge addiert und erneut weiter transferiert. Dieser Prozess wird fortgesetzt, bis die Bilanz ausgeglichen ist und in den nachfolgenden Fütterungsabschnitten die Futtermittelzufuhr ausreicht, um die entstandenen Defizite sukzessiv wieder abzubauen. Da die Trockenstehphase nicht für den Abbau der Defizite genutzt werden sollte (Drackley, 2005; Kaske et al., 2006), steht nur die Laktationszeit für den Wiederaufbau der Reserven zur Verfügung, die Gützeit bleibt daher für den Ausgleich ausgespart. Sollte sich diese Einschränkung als zu restriktiv erweisen, kann ohne zusätzlichen Aufwand die gesamte Zwischenkalbezeit in die Bilanzierung einbezogen werden.

Durch entsprechende Vorgaben und den Rechenalgorithmus wird sichergestellt, dass alle Nährstoffansprüche erfüllt und die Alternativen vergleichbar sind. Eine für gleichzeitig alle Nährstoffe bis in die Nachkommastellen ausgeglichene Bilanz ist weder mit einem herkömmlichen noch mit dem hier gewählten Ansatz zu erreichen. Die Ursachen dafür sind vielschichtig, denn die Nährstoffansprüche der Kuh verändern sich im Betrachtungszeitraum hinsichtlich der Relationen zueinander sowie der benötigten Konzentrationen. Für diese unterschiedlichen und sich verändernden Ansprüche bieten die Futtermittel nicht die jeweils erforderlichen Mengen und Zusammensetzungen. Das Optimierungsprogramm erfüllt grundsätzlich alle Ansprüche, es muss jedoch Überschüsse zulassen. So entstehen beispielsweise unvermeidbare Eiweißüberschüsse, wenn Kühe mit geringer Leistung ausschließlich Frischgras erhalten.

Tabelle 1 zeigt die Daten der Beispielmatrix zur Optimierung einer Futterperiode. Die Zielfunktion nennt den Spaltennamen, die Preise für die Milch sowie die Futtermittel und schließlich die oberen Grenzen, also das maximale Niveau der „Aktivitäten“. Die fünfte Spalte enthält Heu bis max. 0,5 kg für Laktierende, alternativ Stroh zur beliebigen Aufnahme für Trockensteher bzw. für die „Trocken zu Stellenden“. Mit Futtergetreide und Sojaschrot werden jeweils ein Energie- und ein Eiweißträger für die Rationsgestaltung zur Verfügung gestellt. Dadurch wird sichergestellt, dass keine „einseitigen“ Engpässe bei der Energie- und Eiweißversorgung auftreten und die Rationsgestaltung eines Fütterungsabschnitts beeinträchtigt. In der vorletzten Spalte, bezeichnet als „Milchdefizit-Ausgleich“, werden alternativ ein verlustfreier Ausgleich und

zusätzlich ein um 10 % höherer Energie- und Rohproteinanspruch beim Auffüllen der Defizite dargestellt. In der letzten Spalte, ausgewiesen als „Milchdefizit-Transfer“, berechnet das Programm alternativ Folgekosten von 0 und bis zu 3 Cent je kg Milch, das als nicht erfülltes Defizit in den nächsten 10-Tages-Fütterungsabschnitt zu transferieren ist. In den nachfolgenden Kalkulationen wird alternativ mit derartigen „Straf- oder Folgekosten“ für die nachträgliche Erfüllung der Leistung gerechnet, weil einerseits Rationen für geringe Leistungen Kostenvorteile beim Ausgleich von Nährstoffdefiziten aufweisen und andererseits Risiken für die Gesundheit der Tiere entstehen, die zu vorzeitigem Abgang, zu höheren Kosten für Tierarzt und Medikamente etc. führen können.

Das Analysemodell stellt sicher, dass die Energie- und Nährstoffansprüche der gesamten Zwischenkalbezeit erfüllt werden. Bei allen Berechnungen erweist sich die Energie als knapper Faktor, daher fokussiert sich die Ergebnisdiskussion auf die Energieversorgung. Eiweiß ist trotz des Einsatzes von Silomais und der Verwendung des energiereichsten Milchviehmischfutters nicht begrenzend, so dass in einzelnen Fütterungsabschnitten und für den gesamten Betrachtungszeitraum keine Versorgungsengpässe entstehen.

Die Teilmatrizen M1 bis M36 auf der Diagonalen (Abbildung 2) enthalten die in Tabelle 1 dargestellten Daten und bilden mit den auf die jeweilige Periode bezogenen Leistungs- und Futtermittelangaben, den zugehörigen Zielfunktions- und Begrenzungsblöcken FP1 bis FP36 die Gesamtmatrix. Der untere Teil der Abbildung 2 enthält ein alle Abschnitte umfassendes System von Begrenzungen für einzelne Kraft- und Grundfuttermittel, Bilanzierungsgleichungen für Milchleistung, Nährstoffe und Energie. Die unterste Zeile skizziert die Bilanzierung der Energie. In diesem Beispiel fällt die 10. Fütterungsperiode noch defizitär aus, dagegen weist die 11. schon einen geringen Energieüberschuss auf. Das Optimierungsprogramm errechnet die Schwelle zur Überschusskonstellation je nach Leistungsniveau, Futtermittelangebot und Futtermittelangebot, siehe dazu die Programmbeschreibung (Walter, 2007).

Für die Futtermittelzufuhr und den Verlauf der Milchleistung liegen nur wenige Schätzfunktionen vor. Daher werden die von Olteanu et al. (1980) und vom National Research Council (2001, Figure 1.2) entwickelten Laktationsfunktionen adaptiert. Der Vergleich mit Daten zur Futtermittelzufuhr aus Versuchen (Meinhold et al., 1976; Rohr, 1972; Walter, 1976; Walter et al., 2005; Veerkamp, 1999) zeigt eine deutliche Übereinstimmung für Niveau und Verlauf der Kurven mit denen des National Research Council (NRC, 2001, Figure 1.2). Betriebliche Angaben (Rinderspezialberatung 2003; Walter et al., 1998) zu Rationsberechnungen, zur Futtermittelgenerierung und zu Futterresten liefern eine ausgewogene Bilanz von Erzeugung und Ver-

Tabelle 1:
Vereinfachte Matrix einer einzelnen Futterperiode

Zielfunktion der Futterperiode											
Milch	Grassilage 1.Schnitt	Grassilage 2.Schnitt	Maisilage	Stroh Heu	Futtergetreide	Milchviehmischfutter	Soja-schrot	Vit. / Min.	Rohfaser (min - %)	Milchdefizit	Milchdef. Ausgleich
25	-2	-3	-2	-1/-3	-15	14	-21	-25	0	0	25
frei	30	30	30	frei	frei	frei	frei	frei	frei	frei	frei

-3,2	2,5	2,5	2	2	7,5	7,2	7,5	0	0	0	0 / -0,32	>=	40	(MJ)	NEL
-50	67	67	30	30	80	175	425	0	0	0	0 / -5	>=	636	(g)	Rohprotein
0	0,45	0,45	0,32	0,86	0,86	0,88	0,88	0,88	0	0	0	<=	17	(kg)	TS
0	0,45	0,45	0,32	0,86	0	0	0	0	0	0	0	<=	12	(kg)	TS-GF
0	0,1	0,1	0,08	0,45	0,01	0	0	0	0	0	0	>=	4	(kg)	Rohfaser
0	0,45	0,45	0,32	0,86	0,86	0,88	0,88	0,88	-1	0	0	>=	0	(kg)	TS
0	0,1	0,1	0,08	0,45	0,01	0	0	0	-0,175	0	0	<=	0	(%)	Rohfaser %
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	=	35	(kg)	Milch
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	=	0	(kg)	Milchtransfer

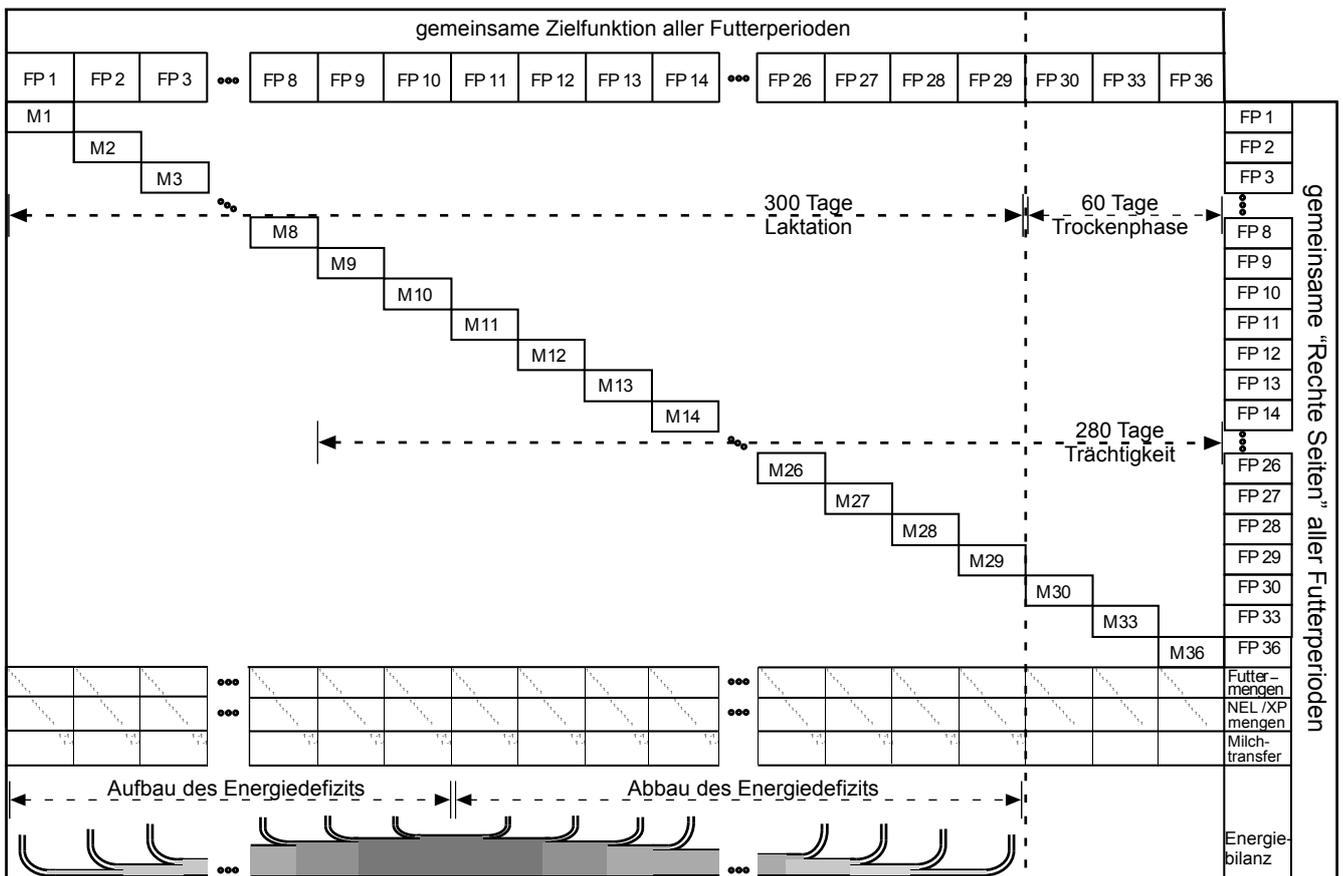


Abbildung 2:
Struktur der alle Fütterungsabschnitte umfassenden Matrix und eine Skizze, die das Entstehen und den nachträglichen Ausgleich der Energiedefizite darstellt

brauch (Walter et al., 1998; Walter et al., 2005), wenn mittels der hier zu Grunde gelegten Leistungs- und Fut-
teraufnahmefunktionen die betriebliche Futtersituation
geprüft wird.

Das National Research Council (2001) nennt allein die
Futtermengeaufnahme und unterscheidet keine Grund- und
Kraftfuturaufnahme. Diese in Tabelle 1 dargestellte Verfei-
nerung des Modells kommt nicht zur Anwendung, wenn

die „amerikanischen Konditionen“ analysiert werden.

Der Energie- und Eiweißbedarf wird entsprechend der Futterbewertung und den Fütterungsnormen der DLG berechnet (DLG, 1991; Meyer, 2005). Die Fütterungsempfehlungen der DLG basieren auf linearen Aufwands- und Ertragsrelationen, amerikanische Normen erscheinen auf den ersten Blick ähnlich, beinhalten dagegen eine Degression der Energieeffizienz⁴ bei steigenden Futteraufnahmen (NRC 2001; Robinson 2006) und entsprechen dem „Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs“. Weil mittlerweile in den meisten norddeutschen Milchviehbeständen die amerikanischen Blutlinien dominieren, wird in Anlehnung an amerikanische Bedarfswerte zusätzlich mit dem „Energy Discount“ nach Robinson (2006) und Durbal (2001), also einer Progression des Energiebedarfs, kalkuliert. Um diesen unterschiedlichen Systemen und den zu erwartenden strukturellen Konsequenzen gerecht zu werden, wird alternativ mit linearen und progressiv bzw. stark progressiv steigenden Energiebedarfswerten gerechnet.

Die amerikanischen Normen lassen sich nicht direkt übernehmen, weil sowohl die Futterbewertung als auch die Bedarfsnormen auf unterschiedlichen methodischen Konzepten basieren. Daher wird die Progression an Hand der Tabellenwerke (Robinson, 2006; NRC, 2001) und der explizit genannten Funktionen (Durbal, 2001) geschätzt. Die Variante „progressiv“ stellt eine günstige⁵, die Variante „stark progressiv“ dagegen eine pessimistische Interpretation der amerikanischen Empfehlungen dar. Ein allgemein nutzbares auf den amerikanischen Normen basierendes Excelspreadsheet der Universität von Illinois (Robinson, 2006) stützt die entwickelten Alternativen (Walter, 2007).

Das hier anstehende Problem der Energie- und Nährstoffdefizite bei höchsten Leistungen entsteht unabhängig vom Bewertungssystem und bestimmt in den Hochleistungsherden die Fütterung. Es beeinflusst damit den gesamten Komplex Futterproduktion, Jungviehaufzucht, Züchtung und die eigentliche Milchproduktion.

Der Energiebedarf für die Tagesleistungen am Beginn der Laktation übertrifft die mit dem Futter aufgenommenen Mengen erheblich. Diese Unterdeckung transferiert das Modell mittels der Aktivität Milchdefizit-Transfer (Tabelle 1) im Maßstab „kg Milch“ in die nächste Periode. Damit wird erreicht, dass bei nichtlinearen Aufwands- und Ertragsverhältnissen das jeweilige Leistungsniveau und damit der Energiebedarf der „erfüllenden“ und nicht der defizitären Periode kalkuliert wird. Die Aktivität Milchdefizit-Ausgleich nimmt diese Defizite auf, wenn das Nährstoffangebot in der aufgenommenen Futtermenge den Erhaltungs- und Leistungsbedarf der Periode übertreffen kann.

Höchste Leistungen sind nicht zu erfüllen, weil die Kuh nach dem Kalben die erforderliche Futteraufnahme nicht erreicht. Daher mobilisiert die Kuh die defizitären Energie- und Nährstoffmengen aus der Reserve und Körpersubstanz, die dann nachträglich, also zeitlich verzögert, wieder aufzufüllen sind. Da dieser Ab- und Wiederaufbau von Körpersubstanz nicht verlustfrei erfolgt (Rohr, 1972; NRC, 2001; Walter, 2007), muss ein höherer Bedarf für den Wiederaufbau vorgesehen werden. Über das Ausmaß dieser Verluste liegen die Schätzungen des NRC (2001, table 2-5) vor, die je nach Lebendgewicht und body condition score unterschiedlich ausfallen, so dass mit Verlustraten zwischen 0 bis 50 % gerechnet wird (Walter, 2007). Da zusätzlich der lineare und progressiv ansteigende Nährstoffbedarf bewertet wird und gleichzeitig für den Wiederaufbau mehrere Varianten unterstellt werden, ergeben sich eine Vielzahl von Alternativen. Diesen Konstellationen stehen wiederum Kühe verschiedenen Alters mit unterschiedlichen Leistungen, Laktaktionsverläufen, Zwischenkalbezeiten etc. gegenüber, die ebenfalls zu evaluieren sind.

Spezielle Fragen zu Feinheiten der Fütterung, wie „geschütztes Eiweiß“, Fettbeimischung, optimale Mineralstoff- und Vitaminergänzung etc. bleiben bei diesen Kalkulationen ebenso ausgeklammert wie die Bewertung der Futtergewinnung, -lagerung und -vorlage, die Zahl der Melk- und Fütterungszeiten, die Gruppenbildung und andere Verfahrens- und Haltungskonzepte. Es wird für die gesamte Zwischenkalbezeit konserviertes Grundfutter vorgesehen. Um sicher zu sein, dass keine Widersprüche mit den im Folgenden ausgewiesenen Ergebnissen auftreten, sind Sommerweidegang bzw. Frischgrasversorgung im Stall ebenfalls kalkuliert worden. Die große Zahl von Kennzahlen und ihre Bedeutung für das Verfahren Milchproduktion finden jedoch nur am Rande Erwähnung, weil sie eine Vielzahl von zusätzlichen Effekten beinhalten, die die Ergebnisinterpretation sowie -darstellung sehr komplex gestalten und erschweren.

2.2 Restriktionen

Für die Rationsgestaltung gelten hier die folgenden Regeln:

- Die Trockenstehphase⁶ dient nicht der Wiederauffüllung der Körperreserven.
- Der Rohfasergehalt beträgt mindestens 17,5 % (diese Begrenzung wirkt sehr restriktiv, denn nur bei sehr hohen Grundfutteraufnahmen kann die Ration viel Kraftfutter enthalten).

⁴ Robinson (2006) und Durbal (Autor des Rationsberechnungsprogramms des NRC, 2001) verwenden den Ausdruck „energy discount“.

⁵ Ein geringer Bedarf wird als günstig angesehen.

⁶ Das Modell kann alternativ die Trockenstehphase in den Zeitraum zur Wiederauffüllung der Reserven einbeziehen.

- Das Grundfutter steht ausreichend zur Verfügung.
- Die errechneten Futtermengen werden auch tatsächlich aufgenommen.
- Eine an die Leistung und das Grund- sowie Kraftfutter angepasste Vitamin- plus Mineralstoffgabe ist unerlässlich.

Zusätzlich wird unterstellt, dass keine Krankheiten auftreten, die Kühe eine Zwischenkalbezeit von genau 360 Tage erreichen, eine Tragzeit von 280 Tagen aufweisen, 80 Tage nach dem Kalben wieder trächtig werden und keine anderen Effekte die Milchproduktion beeinträchtigen.

Die Ergebnisse beruhen hier nur auf Berechnungen für Kühe in der zweiten Laktation. Der zusätzliche Energie- und Nährstoffbedarf für das Wachstum der jungen Kühe in Verbindung mit einer geringeren Futteraufnahme vergrößert die Defizite und reduziert den Spielraum für die zeitlich verschobene Erfütterung der Milchleistung. Da Erstlaktierende von den hier diskutierten Problemen noch stärker betroffen sind, sollte ihnen dementsprechend mehr Aufmerksamkeit⁷ zukommen.

Gras- und Maissilage bilden die Grundfutterbasis⁸, Heu ist in geringen Mengen zugelassen, um die Rohfaserversorgung zu sichern. Während der Gützeit wird statt Heu das kostengünstigere Stroh eingesetzt. Nebenprodukte aus der Nahrungsmittelindustrie bleiben unberücksichtigt. Sommerweidegang brächte mit seinen der Vegetation angepassten unterschiedlichen Futterqualitäten zusätzliche Effekte für das Entstehen und den Abbau der Defizite. Die daraus resultierenden Ergebnisse fielen komplexer aus, lieferten jedoch keinen zusätzlichen Beitrag für die Lösung der anstehenden Fragen.

Die strukturellen Unterschiede und die Tendenzen zeigen sich deutlicher und klarer, werden im ersten Schritt möglichst wenige Randeffekte zugelassen. Das hat zwar eine gewisse „Praxisferne“ zur Folge, bringt aber dafür mehr Transparenz. Um sicher zu stellen, dass die vorgestellten Ergebnisse auch bei komplexeren Ansätzen ihre Gültigkeit behalten, werden zusätzliche Simulationen mit den soeben genannten umfassenderen Strukturen durchgeführt. Die Entwicklung von Ansätzen zur Minderung der Defizite bleibt weiteren Arbeiten vorbehalten.

Die Vorgaben sind sehr restriktiv formuliert, um die Ergebnisse der Modellkalkulationen vergleichbar zu gestalten. Die Bedeutung der großen Streuung der tierindividuellen Leistungsparameter, der Grundfutterqualitäten und der Verfahrensausformungen für die Leistungssteigerung sind ebenfalls kalkuliert worden. Die zugehörigen Resulta-

te stehen im Einklang mit den nachfolgenden Ausführungen, werden aber nicht explizit erwähnt.

Das Modell enthält eine Reihe von Plausibilitätstests, die nicht nur die Ablauffähigkeit sichern, sondern auch eine Reihe von Testdaten liefern, die durch einen Vergleich mit Versuchsergebnissen und betrieblichen Kennzahlen die Realitätsnähe gewährleisten (Walter, 2007).

Grundsätzlich bietet ein solches Modell die Möglichkeit eine Vielzahl von Einschränkungen, Vorgaben und Bedingungen zu berücksichtigen und zu variieren, um deren Bedeutung zu quantifizieren. Damit können die Folgen bewertet und an deren Auflösung geforscht werden. Andererseits lassen sich neue und vom Stand des Wissens abweichende Gewichtungen ableiten, die bei der Weiterentwicklung der Milchproduktion eingesetzt werden können, um die effektivsten Parameter zu finden und zu optimieren.

2.3 Daten

Das Modell und die mathematischen Algorithmen bilden den funktionalen Teil des Simulationsprogramms. Die Daten aus Milchvieh haltenden Betrieben mit Hochleistungsherden (Rinderspezialberatung, 2003; Walter et al., 1998; Walter et al., 2005) und aus wissenschaftlichen Experimenten (NRC, 2001; Veerkamp, 1999) stellen die notwendige Ergänzung dar, um die Konzepte für eine zukünftige Milchproduktion entwickeln zu können.

Die Preise für die Grundfuttermittel orientieren sich an norddeutschen Verhältnissen und basieren auf Kostenkalkulationen des „Arbeitskreis Forschung und Praxis der FAL“ (Walter et al., 1998), der Landwirtschaftskammer Kiel (Rinderspezialberatung, 2003) und den Berechnungen von Helmers (2005). Die nachfolgenden Ergebnisse sind relativ stabil gegen Preisverschiebungen zwischen Gras- und Maissilage sowie Grund- und Kraftfutter. Weit- aus empfindlicher reagiert das Simulationssystem auf Veränderungen der naturalen Kennziffern, wie beispielsweise auf die Nährstoffkonzentration in den Futtermitteln, die Futteraufnahme, den Mindestrohfasergehalt etc.

2.4 Vorgehen

Zunächst werden die Daten für die genannten Alternativen modelliert und die Ergebnisse vergleichend gegenübergestellt. Die Simulation dient der Exploration von Strukturen und Beziehungen. Da die Alternativen auf zukünftige betriebliche Konstellationen ausgerichtet sind und das zur Diskussion gestellte Leistungsniveau bisher nur in Ausnahmefällen erreicht wird, sollen im Folgenden weniger die „Stellen hinter dem Komma“ als vielmehr die Relationen, Strukturen und Tendenzen vorgestellt und diskutiert werden.

⁷ In nachfolgenden Arbeiten werden diese Probleme detailliert kalkuliert und spezielle Lösungsvorschläge entwickelt.

⁸ Die Ergebnisse fallen bei einer abweichenden Grundfutterversorgung nicht grundlegend anders aus.

Das Simulationsprogramm maximiert zunächst die Differenz zwischen den Einnahmen aus der Milch und den Futterkosten unter den Nebenbedingungen, dass die vorgegebenen Grenzen der Futtermittelaufnahme, der Mindestgehalte an Energie, Rohprotein, sowie Rohfaser eingehalten werden. Der zur Optimierung genutzte Simplexalgorithmus (Danzig, 1963) stellt sicher, dass sowohl für die einzelnen Fütterungsabschnitte als auch für die gesamte Zwischenkalbezeit alle Bedingungen eingehalten werden. Im Einzelnen sucht und findet das Modell die kostengünstigste Fütterung und gleichzeitig die höchste Leistung für die Gesamtperiode. Damit verbunden ist die offene Frage nach den Folgen der im ersten Drittel der Laktation auftretenden Nährstoffdefizite, der Belastung durch Ausmaß und Dauer der defizitären Nährstoffbilanz sowie nach dem zulässigen maximalen Niveau des Defizits. Darüber hinaus fehlt eine physiologische Bewertung des maximal zulässigen Nährstoffdefizits und der zeitlich verschobenen Zuführung von Nährstoffen. Dazu stellt die Literatur keine quantitativen Angaben zur Verfügung, so dass erneut Annahmen zu treffen sind. Hier wird zunächst das höchste tägliche sowie das insgesamt auftretende Defizit ermittelt und diskutiert. In erster Annäherung geht das Simulationsprogramm von einem verlustfreien zeitlich verschobenen Wiederaufbau der Körpersubstanz und Reserven aus und verlangt damit von der Hochleistungskuh Ab- und Aufbauprozesse in erheblichem Umfang. Da diese Annahme unrealistisch ist (NRC, 2001), werden Folgekosten und maximal zulässige Defizite in die Kalkulationen einbezogen und kalkuliert. Zwar liegen eine Vielzahl von Hinweisen vor, aber es gibt keine quantitativen Analysen, die Auskunft über die Belastungen und deren Folgen für Gesundheit und Leistungsvermögen geben. Daher bietet sich an, diese Kosten mittels Alternativkalkulationen anzurechnen und deren Bedeutung für die Milchproduktion zu schätzen. Entständen nämlich fühlbare Einbußen, so minderte es die maximal erzielbare Leistung oder wirkte sich wie im Falle von Folgekosten negativ auf die Effizienz der Ab- und Aufbauprozesse aus.

Über die Verluste bzw. den Aufwandsfaktor derartiger Ab- und Aufbauprozesse von Reserven und Körpersubstanz liegen u. a. die Angaben des NRC (2001) zur Energiefreisetzung durch Körpersubstanzabbau und des Energiebedarfes bei Körpersubstanzaufbau vor. Diese stehen in enger funktionaler Beziehung „body condition score“ und bieten die Grundlage für die Bewertung der Effizienz dieses Prozesses. Diese unterscheiden sich nach Lebendgewicht, Körperzustand etc. und lassen sich nicht zu einem definierten Faktor „verdichten“. Das Simulationsprogramm adaptiert diese Werte, um die Bedeutung der „neuen“ Aufwands- und Ertragsrelation zu evaluieren.

3 Ergebnisse

Zunächst bestimmt das Simulationsprogramm das Niveau der Defizite bei steigenden Leistungen. Deren Ausmaß erreicht mehr als 10 % der Jahresleistung und zwingt zur Berücksichtigung von Folgekosten. Im nächsten Schritt werden die linearen und progressiv steigenden Aufwands- und Ertragsrelationen untersucht und die Unterschiede zwischen den verschiedenen Fütterungsempfehlungen sowie die tierspezifischen Verläufe der Laktationsfunktionen in die Simulation einbezogen.

3.1 Energie- und Nährstoffdefizite sowie Folgekosten

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Ergebnisse der simultanen Optimierung aller Rationen bei hohen Leistungen, wenn Nährstoffdefizite im ersten Drittel der Laktation zugelassen werden und gleichzeitig eine für den gesamten Zeitraum ausgeglichene Bilanz sichergestellt wird. Die vier untereinander angeordneten Teilgrafiken (Abbildung 3) zeigen den Verlauf der tatsächlichen Tagesleistung (Laktationsfunktion), die erfütterbare tägliche Leistung und das Energiedefizit im Maßstab „kg Milch“ für die Jahresleistungen 7.500, 10.000, 12.500 und 15.000 kg Milch. Das maximale tägliche Energiedefizit für diese vier Leistungen beläuft sich auf 12, 17, 23 und 28 kg Milch je Tag. Die zeitlich verschobene, zu erfütternde Milchmenge erreicht in diesen Beispielen 950, 1.560, 2.100 und 2.600 kg Milch für die vier Alternativen, entsprechend jeweils 12,6, 15,6, 16,8 und 17,3 % der produzierten Jahresleistung. Mit dem Niveau der Leistung nehmen auch die Dauer und das Ausmaß der Unterfütterung zu (Abbildung 3). Energie- und Nährstoffdefizite beschränken sich nicht auf hohe Leistungen, sondern treten in geringerem Ausmaß auch bei den herkömmlichen Leistungen auf.

Das hier diskutierte Problem ist nicht neu, denn 10.000 kg stellten vor ca. 20 Jahren und 7.500 kg vor 30 bis 40 Jahren eine Spitzenleistung dar. Da die Energie- und Nährstoffkonzentrationen in den Futtermitteln zu dieser Zeit deutlich geringer ausfielen, mussten die Spitzenkühe auch damals schon mit erheblichen Defiziten „durchkommen“ (Walter, 1976).

Bei den geringeren Leistungen fallen sowohl die defizitäre Phase, als auch der erforderliche Zeitraum zum Ausgleich der Bilanz vergleichsweise kurz aus. Die negativen Energie- und Nährstoffbilanzen der Hochleistungstiere dauern dagegen bis zu 130 Tagen an, der Ausgleich erfordert in etwa den gleichen Zeitraum, so dass diese Tiere während der gesamten Laktation ein deutliches Ungleichgewicht zwischen Bedarf und Versorgung aufweisen.

Die in Abbildung 3 dargestellten Verläufe der tatsächlichen und erfütterten Leistung basieren auf Kalkulationen mit Folgekosten in Höhe von 2 Cent für jedes kg Milch,

das zeitlich verschoben erfüllt werden muss. Abbildung 4 zeigt dagegen das Ergebnis der Berechnungen für unterschiedlich hohe Folgekosten und einer einheitlichen Jahresleistung von 12.500 kg Milch.

Die Belastung der „nicht erfüllten Leistung“ mit Folgekosten geschieht, um den physiologischen Belastungen der Kuh Rechnung zu tragen, um ein Verschieben des Bilanzausgleichs in die letzten Fütterungsperioden und um die damit verbundenen lang anhaltenden Ungleichgewichte zu verhindern. Die Grenzkosten des „Erfütterns“ eines zusätzlichen kg Milch fallen im letzten Drittel der Laktation am Geringsten aus. Das Bilanzierungsmodell optimiert die Differenz zwischen Milcherlös und Futterkosten und verlagert dementsprechend den Ausgleich der Defizite in die Perioden mit den geringsten Futterkosten je Produkteinheit, also die letzten Fütterungsabschnitte der Laktation. Das führt bei Folgekosten von 0 Cent zu dem in Abbildung 4 dargestellten Bilanzausgleich in der 24. bis 30. Fütterungsperiode. Werden jedoch Folgekosten von 1 bzw. 3 Cent für jedes kg Milch angerechnet, das einen Monat verschoben zu erfüllen ist, geht der Kostenvorteil der letzten Fütterungsperioden verloren und der Abbau der Defizite beginnt ab der 13. Fütterungsperiode. Die energetische Tagesbilanz ist in der 12. Periode erstmals ausgeglichen, so dass der Wiederaufbau der Reserven und der Körpersubstanz bei weiter sinkender Tagesleistung beginnen kann. Diesen Bilanzausgleich nimmt das Simulationsmodell aber nur dann vor, wenn Folgekosten zu berücksichtigen sind, anderenfalls wird der Ausgleich in die letzten, die kostengünstigsten Fütterungsabschnitte verlagert. Die Berücksichtigung von Folgekosten dient einerseits dem Bemühen die Defizite möglichst zügig abzubauen und die Milchkuh nicht mehr und nicht länger als notwendig zu strapazieren, andererseits stellt es eine Reaktion auf die mit den Leistungen steigenden Kosten für Tierarzt und Medikamente dar (Evans, 2003; Walter, 2004).

Diese Ergebnisse verdeutlichen das Ausmaß der aus Reserven und Körpersubstanz zu aktivierenden Energie- und Nährstoffmengen, die von den Kühen zur Milchbildung ab- und später wieder aufgebaut werden müssen. In den ersten Fütterungsperioden können Hochleistungskühe offensichtlich nicht leistungsgerecht gefüttert werden, so dass es zur Unterversorgung kommt. Danach wird ein etwa gleich langer Zeitraum mit der notwendigen Überversorgung zum Ausgleich der Bilanz erforderlich, und eine auf die jeweilige Leistung abgestimmte Fütterung ist nur noch im letzten Drittel der Laktation möglich. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass für die Versorgung von Hochleistungskühen grundsätzlich neue Konzepte und Strategien zu entwickeln sind, denn eine leistungsgerechte und damit auf die Tagesleistung abgestimmte Fütterung ist nicht realistisch.

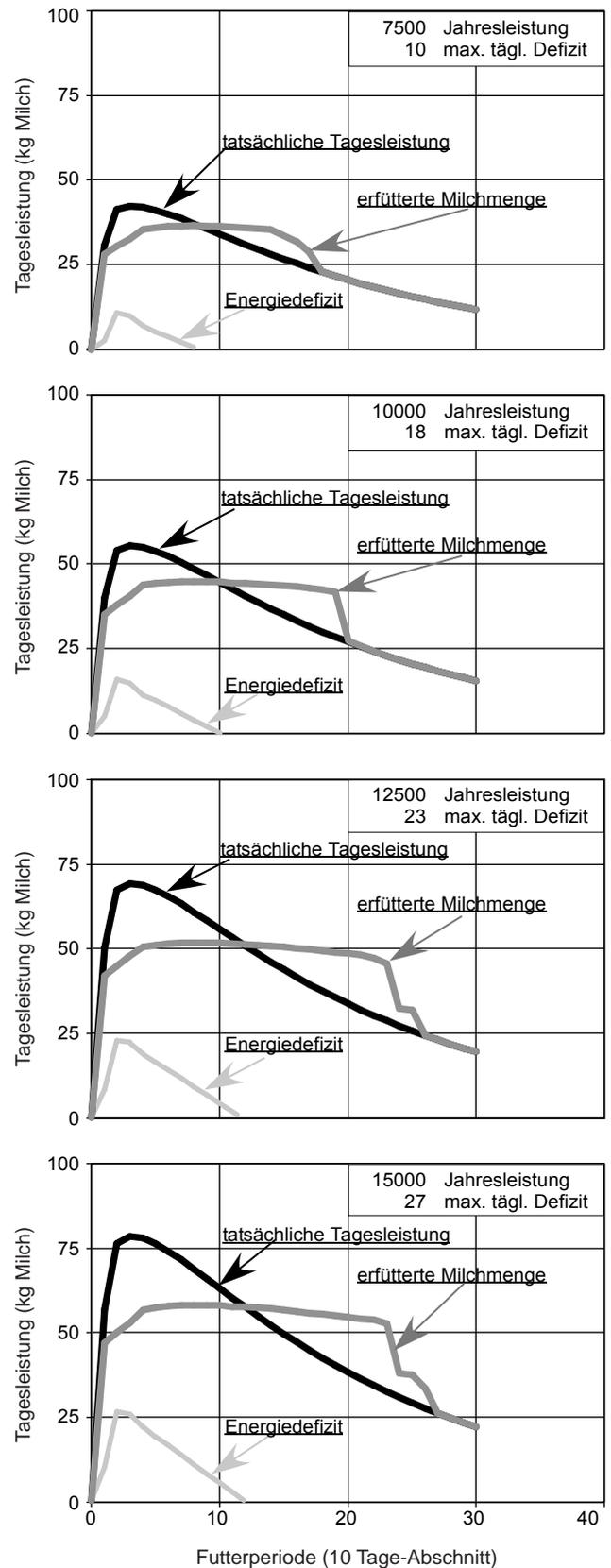


Abbildung 3: Energiedefizit, tatsächliche und erfüllte Leistung für unterschiedliche Jahresleistungen

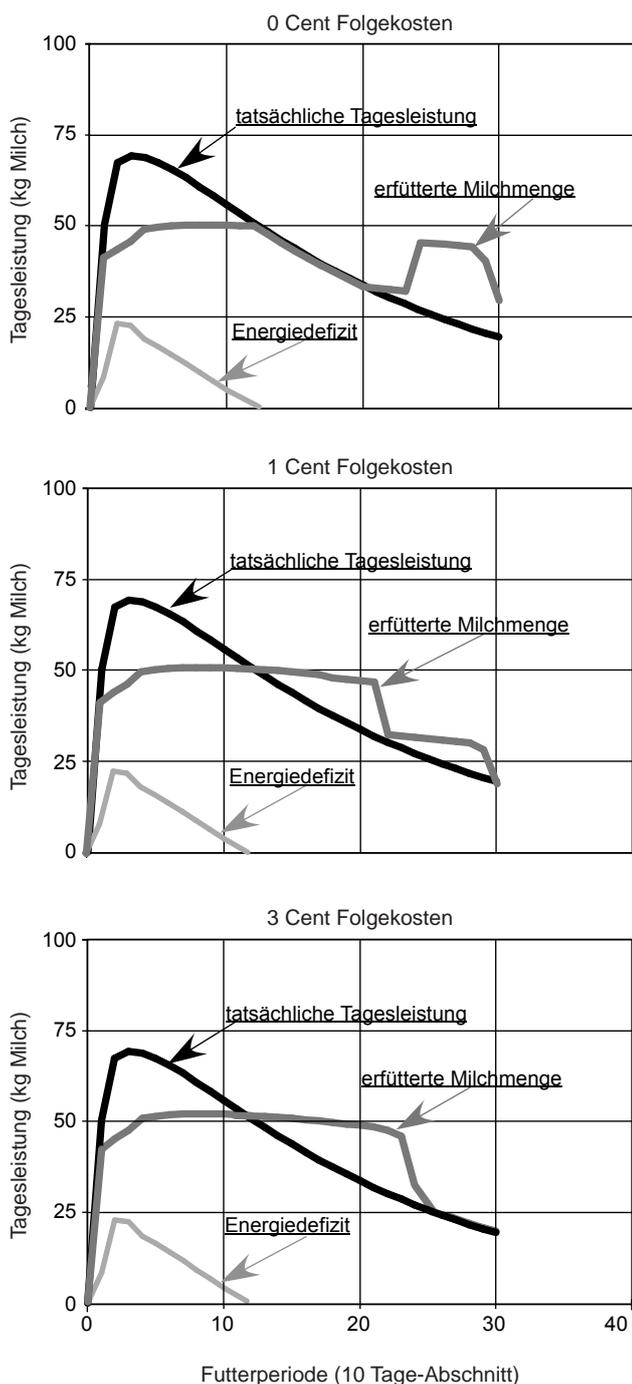


Abbildung 4: Energiedefizit, tatsächliche und erfüllte Leistung bei unterschiedlichen Folgekosten für zeitlich verschobenen Wiederaufbau der (Körper) Reserven

3.2 Energiebedarf und Laktationsfunktionen

In Abbildung 5 werden das deutsche lineare Energiebedarfssystem und zwei Varianten mit progressiv steigendem Energieaufwand gegenübergestellt, die beide in Anlehnung an das amerikanische Berechnungskonzept (NRC, 2001; Durbal, 2001; Robinson, 2006) formuliert sind. Die

zu Grunde liegende Bewertung der Futtermittel und die zugehörigen Fütterungsempfehlungen sind jedoch nicht direkt vergleichbar und lassen sich nur schwer übertragen oder verrechnen (Walter, 2007). Daher werden eine optimistische und eine pessimistische Schätzung⁹ aus den Angaben des „Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition“ (NRC, 2001), dem zugehörigen Programm zur Rationsberechnung (Durbal, 2001), sowie aus den von Robinson (2006) vorgelegten Tabellenkalkulationsprogrammen abgeleitet. Die Abbildungen 5 und 6 stellen die drei Alternativen unter den Bezeichnungen linear (deutsche Norm), progressiv (optimistische Interpretation der amerikanischen Norm) und stark progressiv (pessimistische Interpretation der amerikanischen Norm) dar. Abbildung 5 enthält die Graphen für den reinen Leistungsbedarf je kg Milch.

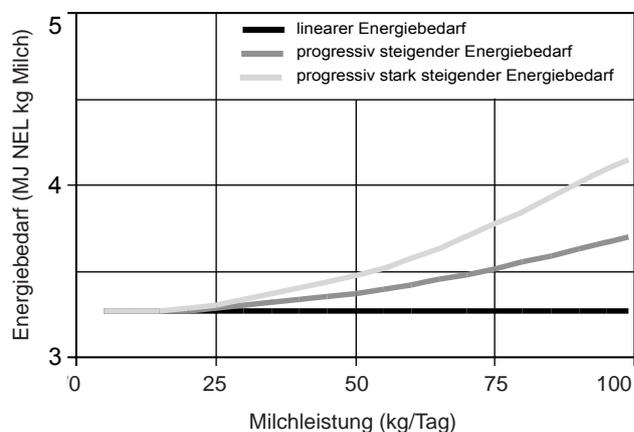


Abbildung 5: Energiebedarf je kg Milch, lineare deutsche Norm im Vergleich zur amerikanischen Norm, die einen mit der Leistung steigenden Bedarf vorsieht

Abbildung 6 zeigt den erforderlichen Energiebedarf je kg Milch, wenn Erhaltung und Zeit des Trockenstehens beim Energiebedarf für Leistung einbezogen werden. Selbst bei extrem hohen Jahresleistungen von 15.000 bis 20.000 kg Milch ist noch eine Degression erkennbar, wenn von dem linearen bzw. progressiven Energiebedarf ausgegangen wird. Nur die Variante „stark progressiv“ weist im Bereich von 15.000 bis 17.000 kg Milch ein Minimum und darüber einen schwachen Anstieg auf. In den Spitzenbetrieben erreichen die besten Kühe Leistungen von mehr als 16.000 kg Milch¹⁰ bzw. über 1.200 kg Fett und Eiweiß (LKV Weser-Ems, 2005). Weitere Leistungssteigerungen brächten selbst für diese eher ungünstig formulierte Variante nur einen geringfügig anwachsenden Bedarf je Liter Milch. Daher wer-

⁹ Eine detaillierte Begründung und die grundlegenden Kalkulationen für die beiden Alternativen liefert die Programmbeschreibung (Walter, 2007).

¹⁰ Der LKV Weser-Ems meldet für das Kontrolljahr 2006 erstmals eine Jahresleistung von über 20.000 kg Milch (LKV Weser-Ems, 2007).

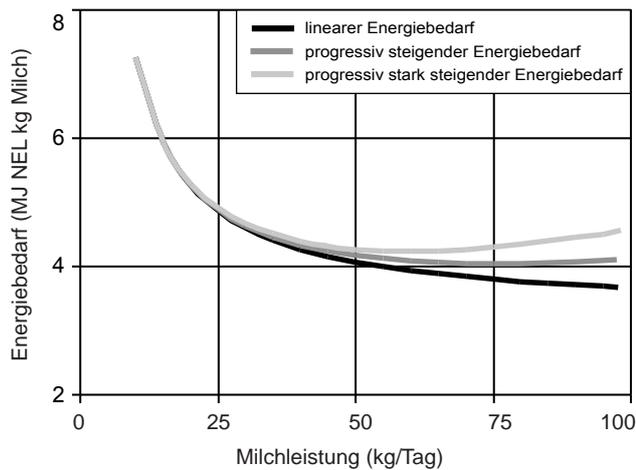


Abbildung 6:
Energiebedarf je kg Milch bei zunehmender Jahresleistung, wenn Erhaltung und Leistung sowie die Günstzeit gemeinsam kalkuliert werden, jeweils für lineare und progressive Bedarfsnormen

den die Modellkalkulationen im Folgenden auch auf diese scheinbar „utopischen“ Leistungsbereiche ausgedehnt, weil neben der hier diskutierten günstigen Aufwandsentwicklung die Degression der Kosten für den Stallplatz etc. einen kräftigen Anreiz zur weiteren Leistungssteigerung schafft.

Mit der Progression des Energiebedarfs stellt sich die Frage nach dem Verlauf der Laktationsfunktion, denn bei gleicher Jahresleistung unterscheiden sich die maximalen Tagesleistungen deutlich. Abbildung 7 zeigt vier Leistungsverläufe, die beim „Trockenstellen“ nach 300 Tagen jeweils genau 15.000 kg Milch erreichen. Während die „Kuh“ mit der sehr steilen Laktationskurve nach 50 Tagen eine Spitzenleistung von rd. 90 kg Milch pro Tag aufweist und sich damit im Bereich erheblicher zusätzlicher Energieansprüche befindet (3,62 MJ NEL bei der Variante „progressiv“ bzw. 3,93 bei der Variante „stark progressiv“, Abbildung 5), beträgt die höchste Tagesleistung der „Kuh“ mit der sehr flachen Laktationsfunktion nicht einmal 70 kg und beansprucht dementsprechend nur 3,47 bzw. 3,63 MJ NEL. Bei flacherem Verlauf der Leistungskurve fällt die Höchstleistung niedriger aus, und der Bedarf unterliegt einer weniger hohen Progression¹¹. Kühe mit geringerer Spitzenleistung und hoher Persistenz können höhere Jahresleistungen einfacher erzielen, denn sie geraten nicht so deutlich und nicht so lange in den Bereich der Progression des Energie- und Nährstoffbedarfs. Erwiesen sich die amerikanischen Ertrags- und Aufwandsrelationen auch für deutsche Verhältnisse als zutreffend, dann fiele bei gleicher Leistung der jährliche Energiebedarf für Kühe mit flacherer Laktationsfunktion niedriger aus. Sie hätten

¹¹ Es ist zu beachten, dass hier nicht der durchschnittliche, sondern der marginale Energiebedarf diskutiert wird.

zusätzlich den Vorteil des geringeren Defizits in den ersten 100 Tagen und beanspruchten dementsprechend eine kürzere Zeit für den Ausgleich der Bilanz. Diese Thesen lassen sich durch die Modellkalkulationen eindeutig bestätigen.

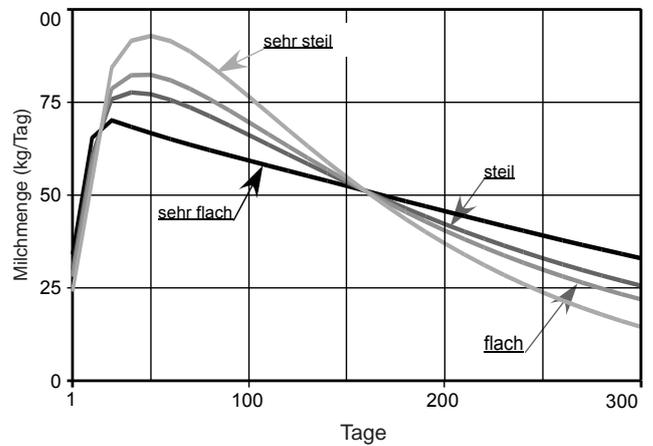


Abbildung 7:
Modellintern genutzte Laktationsfunktionen mit unterschiedlicher Persistenz

Bei einem Leistungsvergleich nach dem Selektionskriterium „100 Tageleistung“ schnitten diese Kühe dagegen um 15 - 20 % schlechter ab als diejenigen mit einem sehr steilen Verlauf der Laktation. Betriebsleiter mit Hochleistungsherden sollten ein derart kurzfristig bewertendes Kriterium zur Selektion der Tiere nur mit Vorsicht anwenden. Besser eignen sich Maßstäbe, die neben der Jahresleistung weitere Kennzahlen berücksichtigen, wie z. B. Futteraufnahmevermögen, Ausmaß der Defizite und deren Abbau etc.

Abbildung 8 zeigt die maximal erzielbare Jahresmilchleistung für jede der vier Laktationsfunktionen, die wiederum jeweils mit den drei Energiebedarfsfunktionen (Abbildung 5) zu kombinieren und zu kalkulieren sind. Kühe mit flacher Leistungskurve und hoher Persistenz erzielen

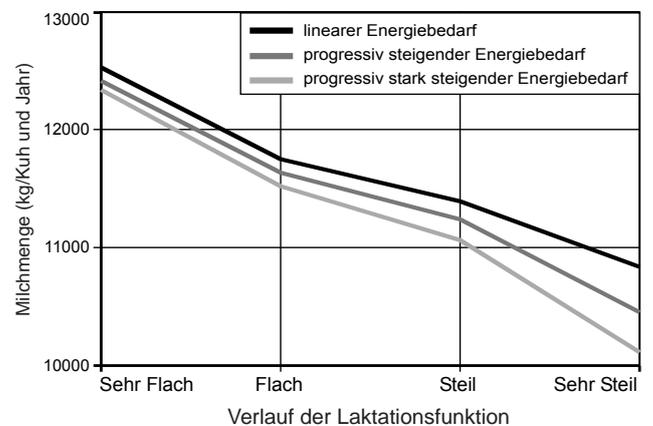


Abbildung 8:
Maximal erzielbare Milchleistung bei unterschiedlichen Energiebedarfsnormen für die vier Laktationsfunktionen aus Abbildung 7

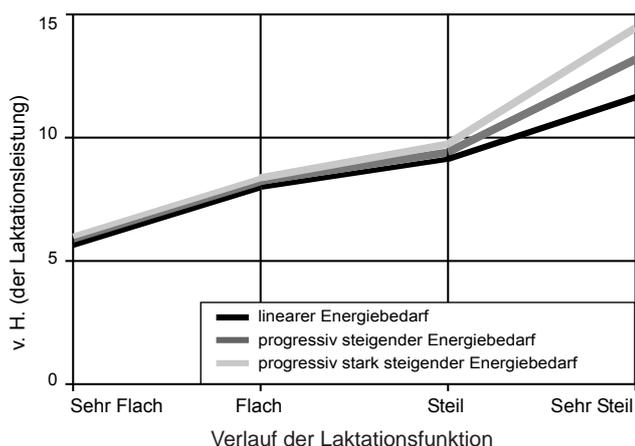


Abbildung 9:
Zeitlich verzögert erfüllte Milchleistung (in v. H. der Jahresleistung) für unterschiedliche Laktationsfunktionen und Energiebedarfsnormen

unter sonst vergleichbaren Konditionen eine um rd. 20 % höhere Leistung (Abbildung 9). Trotz der besseren Jahresleistung erleiden Kühe mit flacherem Verlauf der Tagesleistungskurve geringere Nährstoffdefizite (Abbildung 9). Diese betragen rd. 6 % von 12.500 kg Jahresleistung und entsprechen einem Defizit von rd. 750 kg Milch. Bei ungünstigem Verlauf der Laktationsfunktion, also bei steilem bzw. sehr steilem Verlauf (Abbildung 7), erreichen die maximalen Defizite je nach Energienorm 9, 12 und 15 % der Gesamtleistung, das entspricht einem Energiedefizit von ca. 1.000 bzw. 1.500 kg Milchäquivalent.

Bei den steiler ansteigenden Laktationsfunktionen wird in den Abbildungen 8 und 9 der Effekt der (stark) progressiven Bedarfsnorm deutlich. Dieser Kombinationseffekt reduziert die maximal erfüllbare Leistung und erhöht die Defizite, was wiederum die weitere Steigerung der Leistung behindert. Über die Bedeutung der tierspezifischen Unterschiede bei der Futteraufnahme, dem Lebendgewicht, der Zwischenkalbezeit etc. für die Ertrags- und Aufwandsrelationen wird in nachfolgenden Arbeiten berichtet.

Die in Abbildung 8 dargestellten maximal erzielbaren Leistungen betragen zwischen 12.500 bis 10.000 kg Milch je Kuh und Jahr und weichen damit deutlich von den in Abbildung 7 dargestellten Laktationsfunktionen für 15.000 kg ab. Die Erklärung liegt im methodischen Vorgehen, denn das Simulationsprogramm prüft, ob das vorgegebene Leistungsniveau erzielt werden kann, zunächst ohne, dann mit zeitlich verschoben erfüllter Leistung. Kommt beides nicht zu Stande, wird das angestrebte Leistungsniveau um 2,5 Promille reduziert und der Kalkulationszyklus erneut gestartet. Dieser Zyklus wird so lange durchlaufen, bis ein lösbares Ergebnis vorliegt. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass die höchstmögliche Jahresleistung für die jeweilige Datenkonstellation in den Vergleich einbezogen wird. Das Ausgangsleistungsniveau beträgt 15.000 kg

Milch, das jedoch mit den hier vorgegebenen (Grund)Futterqualitäten in keinem Fall „erfüllt“ werden kann. Das führt dann zu den in Abbildung 8 dargestellten maximal erzielbaren Leistungen führt.

Die Bedeutung der (Grund)Futterqualität, also der Energie- und Nährstoffkonzentration im wirtschaftseigenen Futter, wird in weiteren Arbeiten detailliert analysiert.

Wenn nicht ausdrücklich erwähnt, berücksichtigen die bisher vorgestellten Ergebnisse einen Aufwandsfaktor von 1,1 und Folgekosten von 1 Cent je kg Milchäquivalent, das zeitlich verschoben erfüllt werden muss.

3.3 Aufwandsfaktor

Das zeitlich verschobene, also nachträgliche Erfüttern von Leistung erfordert die Bereitstellung von Reserven und bei den hier angestrebten Höchstleistungen auch den Abbau von Körpersubstanz. Diese Prozesse bestimmen die defizitäre Phase der Laktation. Daran schließt sich ein Zeitraum des Wiederaufbaus der Körpersubstanz und des Auffüllens der Reserven an. Derartige Prozesse verlaufen nicht verlustfrei, daher wird die Analyse um Fragen der Effizienz dieses Geschehens erweitert. In der neueren deutschsprachigen Literatur finden sich dazu keine Angaben, so dass auf die vom NRC (2001) entwickelten Grundlagen zurückgegriffen wird.

In Tabelle 2 werden der Energiegewinn und der Energiebedarf ausgewiesen, die bei Veränderung des body condition score um jeweils einen Punkt entstehen (NRC, 2001; table 2.5). Jede Energieeinheit, die aus Körpersubstanz freigesetzt und anschließend wieder aufgebaut wird, erfordert für die in table 2.5 (NRC, 2001) genannten Rahmenbedingungen einen zwischen 17 bis 25 % höheren Energieaufwand. Auf der Grundlage dieser Beziehung kann der Aufwandsfaktor für die zeitlich verschobene Erfütterung des Energie- und Nährstoffbedarfes mit 1,17 bis 1,25 festgelegt werden. Um die tierspezifischen Unterschiede zu berücksichtigen, wird diese Spanne größer gewählt und der verlustfreien Variante¹² gegenübergestellt. Bei den folgenden Kalkulationen wird neben der verlustfreien Alternative¹³ mit einem Aufwandsfaktor von 1,1 bis 1,5 gerechnet. Beträgt der Koeffizient 1,1, dann erfordert jedes nachträglich erfüllte Kilogramm Milch einen Energiebedarf von 3,27 zuzüglich 0,327, also insgesamt 3,597 MJ NEL. Bei einem Aufwandsfaktor von 1,5 werden statt 3,27 das 1,5 fache, also 4,905 MJ NEL, angesetzt. Für den Rohproteinbedarf wird jeweils der gleiche Aufwandsfaktor unterstellt.

Die Kalkulationen erfolgen für die drei Alternativen des

¹² Die Bedarfsnormen der DLG (1991) berücksichtigen diese Sachverhalte nicht.

¹³ Das entspricht im Modell einem Aufwandsfaktor von genau 1,0.

Tabelle 2:

Energiegewinn und Energiebedarf bei Veränderung des body condition score um jeweils einen Punkt (für eine Milchkuh mit 650 kg Lebendgewicht)

Veränderung des bcs von... nach ...	Energiegewinn (MCal NEI)	Veränderung des bcs von... nach ...	Energiebedarf (MCal NEI)	Energiebedarf in v. H. des Energiegewinns für je einen bcs - Punkt
2 nach 1	375	1 nach 2	467	125
3 nach 2	399	2 nach 3	484	121
4 nach 3	417	3 nach 4	497	119
5 nach 4	432	4 nach 5	507	117

Errechnet aus NRC (2001, table 2.5)

Energiebedarfs und die vier Typen des Verlaufs der Laktation. Diese zwölf Alternativen stehen sich in Abbildung 10 gegenüber. Für jede Konstellation von Laktation und Energiebedarf wird für die verlustfreie Alternative mit einem Aufwandsfaktor von 1 bis hin zu dem hier unterstellten Aufwandsfaktor von 1,5 die Leistungseinbuße, das maximale Energiedefizit und die Summe der zeitlich verschoben erfüllten Milchmenge jeweils in v. H. der vorgegebenen Jahresleistung (12.500 kg Milch) dargestellt.

Es ist anzumerken, dass auch bei einem Aufwandsfaktor von 1,5 die Leistungssteigerung zu wachsenden Erlös - Kosten - Differenzen führt.

Durch die linke obere Teilgrafik der Abbildung 10, die den linearen Energiebedarf bei sehr flachem Verlauf der Laktationsfunktion und für unterschiedliche Aufwandsfaktoren darstellt, werden folgende Sachverhalte deutlich:

- Erst bei einem sehr ungünstigen Aufwandsfaktor entstehen geringfügige Leistungseinbußen (untere Linie).
- Das maximale Energiedefizit erreicht 7 - 8 % der Jahresleistung und nimmt mit schlechtem Aufwandsfaktor ab (mittlere Linie).
- Die zeitlich verschoben erfüllte Milchleistung nimmt nur wenig ab (obere Linie).

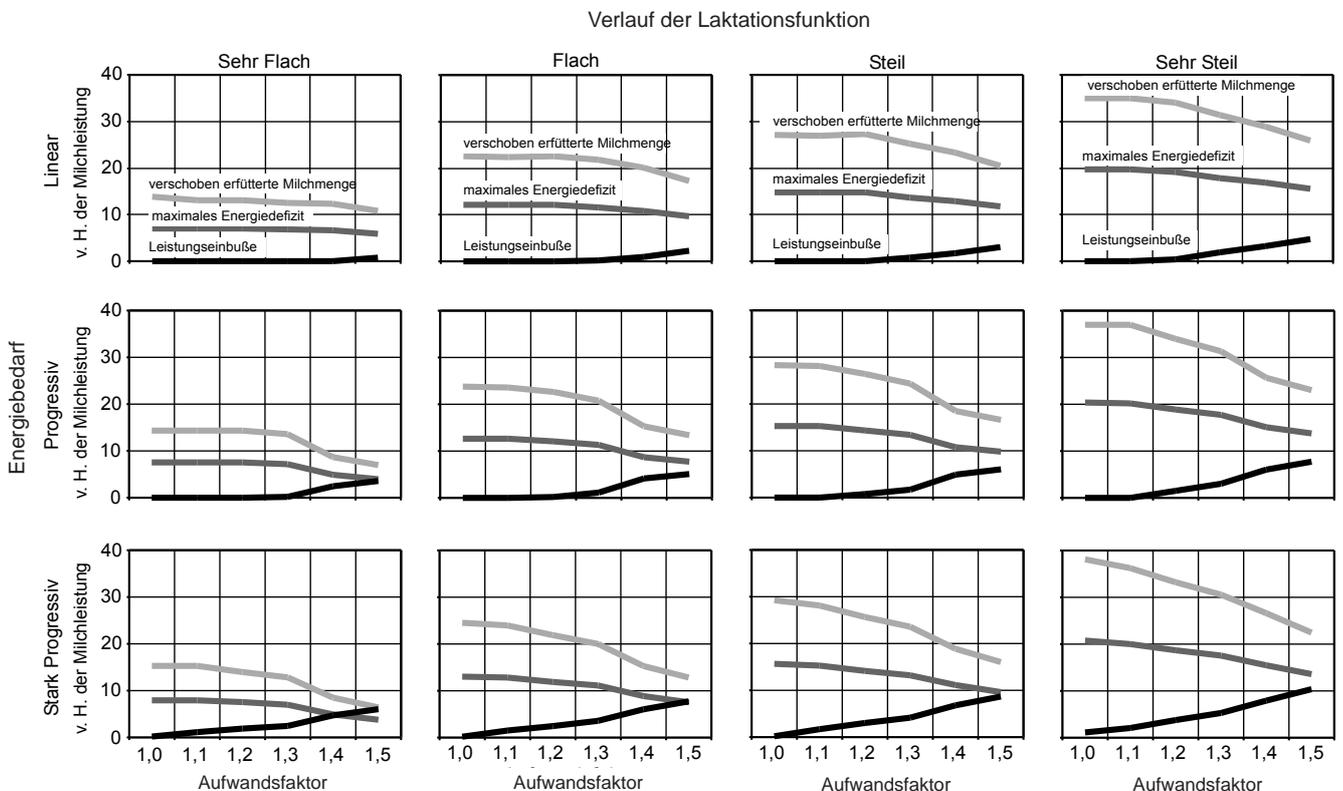


Abbildung 10:

Bedeutung des Aufwandsfaktors für die erzielbare Leistung, für die zeitlich versetzt zu erfütternde Milchleistung und für das maximale Energiedefizit

Die darunter angeordneten Teilgrafiken mit den Ergebnissen der Simulation bei progressivem und stark progressivem Energiebedarf in Kombination mit einem sehr flachen Verlauf der Laktationsfunktion erweisen sich bei verlustfreiem Ab- und Wiederaufbau der Reserven und der Körpersubstanz als nahezu gleich mit der Variante „linearer Energiebedarf“. Bei progressiv steigendem Energiebedarf beginnt bereits bei dem Aufwandsfaktor von 1,3 der Leistungsabfall, weil die zeitlich verschobene Versorgung den Gesamtenergie- und -nährstoffbedarf anhebt und so die maximal erzielbare Leistung absenkt. Damit wird die Erzeugung der höchsten Tagesleistungen aufwendiger und im Sinne der Energieverwendung ineffizienter. Bei stark progressiv steigendem Energiebedarf zeigt sich dieser Effekt schon bei einem Aufwandsfaktor von 1,1.

Ausgehend von der linken oberen Teilgrafik aus Abbildung 10 mit linearem Energiebedarf ergeben sich mit zunehmend steilerem Verlauf der Laktationsfunktion folgende Tendenzen: Die Leistungseinbuße wächst (untere Linie) mit dem Aufwandsfaktor, gleichzeitig damit steigt das maximale Energiedefizit von 7 % auf 20 % der Jahresleistung (mittlere Linie) und der Anteil der Milch, der zeitlich verschoben erfüllt werden muss, erhöht sich von 15 auf 35 % der Jahresmilchleistung (obere Linie).

Für alle hier untersuchten Konstellationen gilt, dass ein ungünstiger Aufwandsfaktor das Defizit mindert und gleichzeitig die maximal erzielbare Leistung absenkt. Dieser Effekt ergibt sich aus dem Anstieg der benötigten Energie- und Nährstoffmengen. Weil aber die Futteraufnahme im Modell gleich bleibt und ausgereizt ist, geht dieser zusätzliche Bedarf zu Lasten der Gesamtleistung und ist als Ursache für die zweite allgemein erkennbare Funktionalität anzusehen: In dem Umfang, wie der Energieaufwand für diese später zu erfüllende Leistung steigt, geht die maximal transferierbare Milchleistung zurück und mindert die Gesamtleistung (untere Linie).

Im Vergleich zur rechten oberen Teilgrafik mit sehr steilem Verlauf der Laktation und linearem Energiebedarf wirken sich der progressive und stark progressive Energiebedarf dahingehend aus, dass der Leistungsabfall schon bei geringeren Aufwandsfaktoren einsetzt und deutlich höher ausfällt. Die Ursache ist vorrangig in dem steigenden Energiebedarf für die letzte zeitlich verschoben erfüllte Milchmenge zu finden.

Abbildung 10 zeigt weiterhin, dass ein höherer Aufwandsfaktor einen etwas geringeren Einfluss auf die Zielgröße „maximale Milchleistung“ ausübt als die unterschiedlichen Energiebedarfsnormen und die Laktationsfunktionstypen. Ein ungünstiger Verlauf der Laktationsfunktion und ein zunehmend kritischer Aufwandsfaktor mindern die maximal erzielbare Milchleistung im Verbund, denn

- je steiler die Laktationsfunktion, umso mehr Milch muss zeitlich verschoben erfüllt werden
- je ungünstiger der Aufwandsfaktor, umso weniger Milch kann zeitlich transferiert werden.

Die vorteilhafteste Konstellation ergibt sich bei einer sehr flachen Laktationskurve und einem linearen Energiebedarf (Abbildung 10, Teilgrafik oben links). Hier bewirkt ein ungünstiger Aufwandsfaktor vergleichsweise wenig, denn die Milchleistung sinkt nur um 1 - 2 %. Bei der ungünstigsten Konstellation (Abbildung 10, Teilgrafik unten rechts) erreicht dagegen der Rückgang der Milchleistung mehr als 10 % der Jahresleistung. Für die weitere Steigerung der Milchleistung ist daher von großer Bedeutung, ob der Energiebedarf tatsächlich linear ausfällt oder progressiv steigt und mit welchem Aufwandsfaktor für den zeitlich verschobenen Ausgleich der Energiebilanz gerechnet werden muss, der nur mittels speziell angelegter Versuche zu bestimmen ist. Langfristig wird sich diese Wissenslücke als Engpass für die Fütterung der Hochleistungskühe erweisen.

4 Bewertung und Ausblick

Anfang der 80er Jahre reichte eine Milchleistung von 5.500 kg Milch aus, um einen Deckungsbeitrag von 1.250 € zu erzielen. Inzwischen ist dieser Deckungsbeitrag nur noch mit einer Durchschnittsleistung von über 7.500 kg Milch zu erwirtschaften (Walter et al., 2005). Da sich diese Entwicklung fortsetzt und damit eine weitere Steigerung der Milchleistung zu einem existentiellen Anliegen der Milchviehalter wird, analysiert dieser Beitrag einige kritische Hemmnisse, die der erforderlichen Verbesserung der Aufwands- und Ertragsrelationen im Wege stehen.

Die Einkreuzung der amerikanischen Blutlinien und die in den USA erzielten höheren Leistungen lenken das Interesse auf die amerikanischen Fütterungsnormen. Dabei wird deutlich, dass mit konstantem Energiebedarf bei negativer Gewichtsentwicklung der Kuh oder aber mit progressiv ansteigendem Bedarf für höhere Leistungen (NRC, 2001) bei konstantem „body condition score“ (NRC, 2001; Robinson, 2006) kalkuliert wird. Das führt zu gravierenden Unterschieden bei den Fütterungsempfehlungen für hohe (Tages)Leistungen. Daher werden in Anlehnung an das amerikanische Energiebewertungssystem¹⁴ progressiv steigende Bedarfswerte in die Analyse einbezogen und den linearen Versorgungsempfehlungen der DLG vergleichend gegenübergestellt.

Experimente zur Klärung der Frage nach dem Niveau

¹⁴ Das Energiebewertungssystem der USA kann wegen der unterschiedlichen Ansprache der Futtermittel nur näherungsweise adaptiert werden.

des zusätzlichen Energie- und Nährstoffaufwands beim Ab- und Wiederaufbau von Reserven und Körpersubstanz zur Erfüllung von höchsten Tagesleistungen liegen im deutschsprachigen Raum noch nicht vor. Zudem verfügt die Wissenschaft im Gegensatz zur Praxis nicht über Herden mit Leistungen von 12.000 kg Milch und mehr. Daher bieten die vorgelegten Kalkulationen eine erste Bewertung, die Hinweise für die Fütterung der Hochleistungskühe geben und eine Evaluierung der Interaktionen mit den übrigen Grundsätzen der Fütterung ermöglichen.

Hochleistungskühe geben über 16.000 kg Milch je Jahr (LKV Weser-Ems, 2005), die Spitzenleistung liegt inzwischen über 20.000 kg (LKV Weser-Ems, 2006). Der Energie- und Nährstoffbedarf für die höchsten Tagesleistungen überschreitet die in der Tagesration enthaltenen Nährstoffmengen deutlich, so dass diese Kühe im ersten Drittel der Laktation ihre Reserven aufbrauchen und Körpersubstanz abbauen, um die tatsächliche Tagesleistung zu erbringen¹⁵. Damit ist das Prinzip der leistungsgerechten Fütterung nicht mehr anwendbar. Vielmehr muss mit einer Phase defizitärer Versorgung und einer weiteren des Bilanzausgleiches gerechnet werden. Somit ist in diesen beiden Zeiträumen, die zusammen mehr als 200 Tage umfassen können, eine leistungsgerechte Fütterung unrealistisch.

Diese Sachverhalte sowie die Vielzahl der zusammengehörenden, aber unabhängig voneinander in Experimente untersuchten Einzeleffekte gaben den Anstoß für die Entwicklung eines Optimierungs- und Simulationsprogramms¹⁶ zur ganzheitlichen Analyse der Milchviehhaltung und damit der Fütterung. Nur so lassen sich mit dem Entstehen der Defizite auch die Fragen nach dem optimalen Zeitpunkt des Bilanzausgleiches, den Folgekosten, dem Energiebewertungssystem und dem Aufwandsfaktor beantworten. Derartige Problemstellungen sind nur durch extrem vielschichtig und aufwändig angelegte Versuche zu klären, denn die Vielzahl der zu berücksichtigenden Variablen und deren große Streuung erfordern extrem hohe Tierzahlen. Daher bietet sich die Simulation als ein probates Mittel an, um diesen Komplex zu durchdringen und erste Antworten zu geben.

Das Simulationsprogramm kalkuliert die einzelnen Fütterungsabschnitte nicht mehr allein, sondern verbindet alle Perioden miteinander, erkennt Defizite und sorgt für den erforderlichen Bilanzausgleich. Die Lösung solcher komplexen Systeme gelingt mittels der „linearen Program-

mierung“, deren Algorithmus wiederholbare Ergebnisse liefert. Diese Vorgehensweise ermöglicht die Formulierung und Kalkulation vieler Alternativen und sichert die Konstanz der Bedingungen.

Die fixen Kosten je Kuh und Stallplatz zwingen zur Ausnutzung der „economies of scale“ und verstärken die Effizienz der hohen Leistung je Kuh. Die hier vorgelegten Berechnungen zeigen, dass bei linearen wie auch bei progressiven Aufwands- und Ertragsrelationen der durchschnittliche Energiebedarf je kg Milch bei Leistungen bis 20.000 kg Milch nicht oder nur wenig ansteigt, so dass bis zu diesem Leistungsniveau mit sinkenden Stückkosten zu rechnen ist. Dementsprechend ist der Focus auf die angesprochenen Fragen auszurichten, da sie diesem Ziel und damit der weiteren Verbesserung der Aufwands- und Ertragsrelationen entgegenstehen.

Die Ergebnisse der Simulationen mit den Folgekosten zeigen erste Begrenzungen für beliebige Leistungssteigerungen. Werden für den Transfer von Defiziten in den nächsten Monat Folgekosten von über 3 Cent je kg Milch angesetzt, übersteigen die Gesamtkosten für jeden derart erzeugten zusätzlichen Liter Milch schließlich den Milchpreis. Dementsprechend lässt sich eine weitere Leistungssteigerung nur mit möglichst geringen Folgekosten effizient gestalten. Als Folgekosten kommen zunächst höhere Kosten für Tierarzt und Medikamente in Betracht, aber auch die Einkommen mindernden Effekte, wie kürzere Nutzungsdauer, längere Zwischenkalbe- und Günstzeiten etc..

Der Verlauf der Laktationsfunktion erweist sich bei den Kalkulationen als signifikant für das Niveau der Milchleistung und das Ausmaß der Defizite. Kühe mit einer ausgeprägten Leistungsspitze sind denen mit einer flach verlaufenden Kurve der Tagesleistungen nur dann ebenbürtig, wenn sie über einen ebenso ausgeprägten Verlauf der Futteraufnahme- und -verwertungs-kapazität verfügen. Versuche zeigen (Kaske, 2005; Drackley, 2005), dass die Kühe gerade zu Beginn der Laktation ihre Futteraufnahme eher zögerlich ausweiten und von Anfang an in eine defizitäre Bilanz geraten. Daher gewinnt das Zuchtziel einer flacheren Laktationsfunktion, also einer weniger ausgeprägten Leistungsspitze in Verbindung mit einer hohen Persistenz, zusätzlich an Bedeutung. Langfristig werden nur Kühe dieses Typs in diesen Leistungsbereichen „überleben“.

In der Landwirtschaft bilden lineare Aufwands- und Ertragsrelationen im Bereich hoher Erträge und Leistungen die Ausnahme, so dass in den hier diskutierten Leistungsbereichen von einem abnehmenden Ertragszuwachs auszugehen ist, der sich zusätzlich durch Verluste beim Abbau und anschließendem Wiederaufbau von Reserven und Körpersubstanz auswirkt. Die vorgelegten Kalkulationen weisen darauf hin, dass dieser (Kombinations-) Effekt einer Weiterentwicklung hemmend entgegensteht.

¹⁵ Dabei bleibt offen, ob die Kuh unter günstigeren Konditionen eine noch höhere Leistung erbrächte und hier noch Reserven aktivieren könnte oder das genetische Potential bereits ausgeschöpft ist.

¹⁶ Eine detaillierte Beschreibung des Simulationssystems, der implementierten methodischen Ansätze, der Programmstruktur sowie eine Bedienungsanleitung liegen vor (Walter 2007). Das Programm kann die komplexen Probleme um abnehmende Milchinhaltsstoffe ebenso berücksichtigen wie das Geschehen um den body condition score, Krankheiten, Klima etc.

In norddeutschen Betrieben¹⁷ werden mittlerweile mehrere hundert Kühe gehalten, die über 15.000 kg Milch produzieren (LKV Weser-Ems, 2006 und 2007; LKV Schleswig-Holstein, 2006). Einige Betriebe erreichen im Herdenmittel ein Leistungsniveau von 11.000 bis 12.000 kg Milch. Ein zeitlich verschobenes Erfüttern von Leistung gilt als „selbstverständlich“ und wird nicht explizit diskutiert. Erst ein ausgeklügeltes, alle Bereiche umfassendes Managementsystem mit den Schwerpunkten hohe Leistung, leistungsorientierte Züchtung, effiziente Jungviehaufzucht, optimaler Futterbau, gezielte Gülleverwendung, tiergerechter Technikeinsatz und intensiver Tierkontrolle macht eine Milchviehhaltung mit herausragenden Leistungen möglich. Die bisher vorgelegte Analyse umfasst nur einen kleinen Ausschnitt dieses Spektrums und ist problemorientiert zu erweitern, um der Komplexität der Milchproduktion gerecht zu werden. Die optimale Anpassung und Orientierung des Komplexes Futterbau an zukünftige Leistungen wird im Zentrum weiterer Arbeiten stehen.

Die wachsenden Anforderungen an die Qualität von Milch und Fleisch, die enger werdende vertikale Integration, die höheren Anforderungen an Tier- und Umweltschutz erfordern¹⁸ eine zunehmend engere Zusammenarbeit zwischen Milchproduzenten, Kontrollinstanzen, Veterinären, Beratern, Zuchtverbänden usw. Einer engeren Kooperation der verschiedenen Instanzen und Institutionen stehen die unterschiedlichen Interessen und Aufgaben, aber auch die konträren Positionen und Blickwinkel entgegen. Das hier vorgestellte Simulationsprogramm ist in der Lage einige dieser abweichenden und zum Teil gegensätzlichen Positionen zu berechnen, zu vergleichen und zu bewerten.

Da die Milchproduktion einem ständigen Anpassungsprozess unterlag und unterliegt, dienen diese Simulationen der Suche nach dem bestmöglichen Entwicklungspfad, um das bisherige Prinzip „try and error“ durch gezielt erkundete Alternativen zu ersetzen. Daher werden die später folgenden Arbeiten zunächst auf den Komplex Futterproduktion sowie auf die Konzeption von Fütterungs- und Haltungsverfahren für Hochleistungskühe ausgerichtet.

Literatur

- Bockisch F-J (1990) Quantifizierung von Interaktionen zwischen Milchkühen und deren Haltungsumwelt als Grundlage zur Verbesserung von Stallsystemen und ihrer ökonomischen Bewertung. 270 p, Forschungsber Agrartechnik 193
- Bockisch F-J, Vorlop K-D (eds) (2006) Aktuelles zur Milcherzeugung : Vortrags-

tagung im Forum der FAL am 15. November 2005, gemeinsam veranstaltet von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und der Gesellschaft der Freunde der FAL. Braunschweig : FAL, 144 p, Landbauforsch Völknerode SH 299

- Danzig GB (1963) Linear programming and extensions. Princeton Univ Pr
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (1991)-DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. Frankfurt a M : DLG-Verl, 112 p
- Drackley JK (2005) Fütterung und Management der Milchkuh im peripartalen Zeitraum [online]. Zu finden in <<http://www.dr-pieper.com/frame.php?seite=service/publikationen>>
- Evans E (2003) Auswirkungen von Stoffwechselstörungen auf die Fruchtbarkeit. In: Pieper B (ed) Tagungsbericht 2003 : 7. Symposium Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen ; 23.01.2003 in Neuruppin. Wuthenow : Dr. Pieper Technologie- und Produktentwicklung, pp 5-31
- Helmers M (2005) Optimierungsstrategien zur ökonomischen Bewertung von Grundfutter. Fachhochschule Osnabrück [Diplomarbeit]
- Hutjans M-F (2003) Aktuelle Aspekte der Milchviehfütterung in den USA unter besonderer Berücksichtigung der neuen amerikanischen Fütterungsnormen. In: Pieper B (ed) Tagungsbericht 2002 über das 6. Symposium zu Fragen der Fütterung von Kühen mit hohen Leistungen am 01.02.2002 in Neuruppin. Wuthenow : Dr. Pieper Technologie- und Produktentwicklung, pp 9-33
- Isermeyer F (ed) (2002) Milchproduktion 2025 : Vortragstagung im Forum der FAL am 5. März 2002, gemeinsam veranstaltet von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und der Gesellschaft der Freunde der FAL. Braunschweig : FAL, 103 p, Landbauforsch Völknerode SH 242
- Illi Dairynet (2006) <http://dairynetraill.uiuc.edu/>
- LKV Weser-Ems (2006) Jahresbericht 2005 [online]. Zu finden in <<http://www.lkv-we.de>>
- LKV Weser-Ems (2006) http://www.lkv-we.de/Leistungen_2005.html
- LKV Weser-Ems (2007) http://www.lkv-we.de/Leistungen_2006.html
- LKV Schleswig-Holstein (2006) <http://www.lkv-sh.de/uploads/media/Jahresbericht2006.pdf>
- Kaske M, Horstmann K, Seggewiß S, Flachowsky G, Meyer U (2006) Die Futteraufnahme der ‚Transition Cow‘ : Schlüssel für die Tiergesundheit? Landbauforsch Völknerode SH 299:29-42
- Land AH, Powel S (1973) Fortran codes for mathematical programming: linear, quadratic and discrete. London : Wiley, 249 p
- Meinhold K, Rosegger S, Schlünsen D, Walter K (1976) Die Futterkosten bei unterschiedlichen Methoden der Rationsermittlung und -bemessung für Milchkühe. Landbauforsch Völknerode SH 35:131-189
- Meyer U (2005) Fütterung der Milchkühe. Landbauforsch Völknerode SH 289:111-121
- National Research Council (2001) Nutrient requirements of dairy cattle. Washington, DC : National Academy Press, Nutrient requirements of domestic animals
- Oltenucu PA, Rounsaville TR, Milligan RA, Hintz RL (1980) Relationship between days open and cumulative milk yield at various intervals from parturition for high and low producing cows. J Dairy Sci 63:1317-1327
- Pieper B (ed) Tagungsberichte 1.(1998) bis 10.(2006) Symposium zu: Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen
- Rinderspezialberatung der Landwirtschaftskammer Schleswig Holstein, (2003) Einzelbetriebliche Daten aus ca. 1600 Betrieben von 1995 bis 2001. Mit freundlicher Genehmigung der Landwirtschaftskammer Schleswig Holstein vom 30. 06. 2003
- Robinson PH (2006) Excel spreadsheets : PredDMI.xls, NRGREQ.xls u. a. [online]. Zu finden in <<http://animalscience.ucdavis.edu/faculty/robinson/Excel/default.htm>>
- Rohr K (1972) Untersuchungen über die Futteraufnahme und Futterverwertung bei Milchkühen verschiedener Rassen unter besonderer Berücksichtigung des Grünfutters. Kieler Milchwirtsch Forschungsber 24(1):23-96

¹⁷ Neben den beiden hier genannten Landeskontrollverbänden können andere Kontrollverbände ähnlich hohe Leistungen ausweisen. Im Internet stellen die Suchmaschinen unter dem Suchwort „LKV“ alle notwendigen Adressen zur Verfügung.

¹⁸ In der Praxis entstehen sehr oft Probleme, weil Spezialisten ihre eigenen Vorstellungen in den Vordergrund stellen. Die erforderliche (Fein) Abstimmung mit den übrigen Beratungsempfehlungen kommt häufig zu kurz.

- Walter K (1976) Zur Frage einer periodisch begrenzten Über- und Unterfütterung von Milchkühen und ihrer Auswirkung auf die Futterkosten. *Landbauforsch Völkenrode* SH 35:64–88
- Walter K, Heinrich I, Böckmann U (1998) Entwicklung des Einsatzes und der Preise von Grund- und Kraftfutter in der Rinderhaltung : 20 Jahre „Arbeitskreis Forschung und Praxis“ in der FAL. *Ber Landwirtschaft* 76(1):87–104
- Walter K (2004) Analyse der Beziehung zwischen den Kosten für Tierarzt und Medikamente in der Milchviehhaltung und der Produktionstechnik, dem Futterbau, der Arbeitswirtschaft sowie der Faktorausstattung ausgewählter norddeutscher Betriebe. Braunschweig : FAL, 180 p, *Landbauforsch Völkenrode* SH 270
- Walter K, Bockisch F-J, Ohrtmann J, Thomsen J (2005) Entwicklung der Milchleistung, des Kraftfuttereinsatzes und der Grundfutterqualität. *Landbauforsch Völkenrode* 55(2):119-126
- Walter K (2007) Das Simulationsprogramm „Milchproduktion der Zukunft“ – Methodischer Ansatz und Realisierung : Version 1. Braunschweig : FAL, 64 p, *Ber Inst Betriebstechn Bauforsch* 390