

Aus dem Institut für Tiernährung

**Gerhard Flachowsky
Peter Lebzien
Ulrich Meyer**

**Steigende Milchleistungen : kann die Tierernährung
Schritt halten?**

Manuskript, zu finden in www.fal.de

Published in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 242,
pp. 43-52

**Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2002**

Steigende Milchleistungen – Kann die Tierernährung Schritt halten?

Gerhard Flachowsky, Peter Lebzien und Ulrich Meyer*

1 Einleitung

Fortschritte in Züchtung, Fütterung, Haltung und Management haben in den zurückliegenden Jahren zu einem deutlichen Anstieg der Milchherzeugung je Kuh geführt (Tabelle 1). Als Hauptursachen werden vor allem ökonomische und nährstoffökonomische Aspekte genannt. Darüber und über Konsequenzen hoher Milchleistungen wurde in jüngster Vergangenheit in verschiedenen Übersichtsbeiträgen berichtet (z. B. Flachowsky et al., 2002; Vandemaar, 1999).

Tabelle 1
Milchleistungen in Deutschland (Landesmittel, nach unterschiedlichen Quellen)

Jahr	Milchleistung kg/Jahr
≈ 1800	≈ 1.000 (280 Melktage, ≈ 200 kg LM, Zuchtreife: ≈ 4 Jahre)
≈ 1850	≈ 1.500 (450 - 3.430 kg)
1914	2.200 (Einzeltiere bis 8.000 kg, ≈ 500 kg LM, Zuchtreife: ≈ 1,5 Jahre)
1939	2.480 (Einzeltiere bis 15.000 kg)
1950	2.473
1975	3.999
2000	6.050
2025	8.500 ??

Die Milchleistung je Tier wird zwar in den nächsten Jahren sowohl global als auch national noch weiter ansteigen, wobei aber nicht die absolute Spitzenleistung das Ziel sein sollte, sondern die effektivste Nutzung der Futtermittel durch gesunde Tiere bzw. das günstigste finanzielle Betriebsergebnis. Bezüglich absoluter Leistungshöhe schrieb der Pionier der deutschen Agrarwissenschaften und große Generalist A. D. Thaer, dessen 250. Geburtstag in diesem Jahr begangen wird, in seinen „Grundsätzen der rationellen Landwirtschaft“ (Thaer, 1810):

„Die Landwirtschaft ist ein Gewerbe, welches zum Zwecke hat, durch Produktion pflanzlicher und tierischer Substanzen Gewinn zu erzeugen.

Die vollkommenste Landwirtschaft ist die, welche den möglich höchsten, und nachhaltigen Gewinn aus ihrem Betrieb zieht.

Nicht die möglichst höchste Produktion, sondern der höchste reine Gewinn, nach Abzug der Kosten, ist Zweck des Landbaues.“

So werden die mit ansteigenden Leistungen nährstoffökonomischen Vorteile mit zunehmendem Leistungsniveau relativ immer geringer, da der Anteil des „unproduktiven“ Erhaltungsbedarfes auf eine immer größere Milchmenge „umgelegt“ werden kann. Für die Tierernährer resultiert daraus die Aufgabe, Fütterungskonzepte für unterschiedliche Produktionsintensitäten zu entwickeln und vorzulegen, was jedoch mit zunehmender Leistung immer schwieriger wird. Die kürzlich publizierten Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen (GfE, 2001; NRC, 2001) stellen gegenwärtig eine wichtige Basis dar, um dieser Forderung gerecht zu werden. Unter Berücksichtigung des Erkenntniszuwachses werden diese Broschüren bis 2025 voraussichtlich zwei bis drei Neuauflagen erfahren.

2 Was erwarten wir von der Milchkuh?

Die an die Milchkühe gestellten hohen Erwartungen kommen in folgender Auflistung zum Ausdruck:

- kostengünstige und ressourcenschonende Milchherzeugung
- Produktion hoher Mengen an Milch bzw. Milchinhaltsstoffen (abs. Höhe hängt von verschiedenen Rahmenbedingungen ab)
- qualitativ hochwertige Milchprodukte, Realisierung von Sonderwünschen (z. B. Beiträge zu „Functional Foods“ u. a.)
- effektive Konvertierung der Futterinhaltsstoffe in Milchinhaltsstoffe
- geringe Umweltbelastung (z. B. CH₄, aber auch N, P u. a.)

Bei einer Milchleistung von 50 kg/Tag wird von der Milchkuh etwa 6 kg organische Substanz je Tag sezerniert (≈ 1,6 kg Protein, ≈ 2 kg Fett, ≈ 2,4 kg

* Prof. Dr. Gerhard Flachowsky, Dr. Peter Lebzien und Dr. Ulrich Meyer, Institut für Tierernährung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.

Laktose). Um dies ohne Abbau von Reserven zu realisieren, müsste die Milchkuh (≈ 700 kg Lebendmasse) nahezu 30 kg Futter-T mit einer Energiekonzentration von ≈ 7 MJ NEL/kg T je Tag verzehren.

In Pansen, Leber und Milchdrüse sind etwa für 50 kg Milch folgende Umsetzungen erforderlich (Breves und Rodehutsord, 1999; Flachowsky et al., 2002; Stangassinger, 2000):

Umsetzungen im Pansen

flüchtige Fettsäuren	≈ 7 kg
mikrobielles Protein	≈ 3 kg

Leistungen der Leber

Blutfluss	≈ 60 t
Glucosebereitstellung (überwiegend Gluconeogenese)	$\approx 3,5$ kg
Harnstoffsynthese	$\approx 0,5$ kg

Blutfluss Milchdrüse,

(≈ 500 l je kg Milch)	≈ 25 t
--------------------------------	----------------

Derartige Leistungen können nur von gesunden und fruchtbaren Kühen vollbracht werden, die große Mengen an Futter aufnehmen und die Energie sowie die Inhaltsstoffe effektiv nutzen.

Auf die Bedeutung von Gesundheit und Fruchtbarkeit für die Höhe der jährlichen Milchleistung der Kühe ist Rehage (2002) nachdrücklich eingegangen. Andererseits gibt es zunehmend Hinweise, dass bei so hohen Milchleistungen das Fruchtbarkeitsgeschehen der Tiere nachteilig beeinflusst wird (z. B. Fleischer et al., 2001; Hansen, 2000; Harms und Studier, 2001; Heuer, 1999; Taylor et al., 2001).

Luci (2001) hat kürzlich 143 Herdbuchherden in Nord-Carolina (USA) über 30 Jahre vergleichend ausgewertet und kam zu der Einschätzung, dass bis zu Jahresmilchleistungen von ≈ 8.000 kg kein wesentlicher Einfluss auf die Zwischenkalbezeit und den Besamungsaufwand zu beobachten war (Abbildung 1), bei höheren Leistungen jedoch ungünstige Effekte auftraten. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kamen andere Autoren, über die zusammenfassend berichtet wurde (Flachowsky et al., 2002). Ob die Ursachen hierfür in einer unzureichenden oder gar falschen Ernährung der Hochleistungstiere zu suchen sind, ist weitgehend ungeklärt. Aus dieser Situation resultiert eine wichtige Forschungsaufgabe für die Zukunft, denn Tiergesundheit und Fruchtbarkeit sind auch entscheidende Voraussetzungen für die Erzeugung qualitativ hochwertiger Milch.

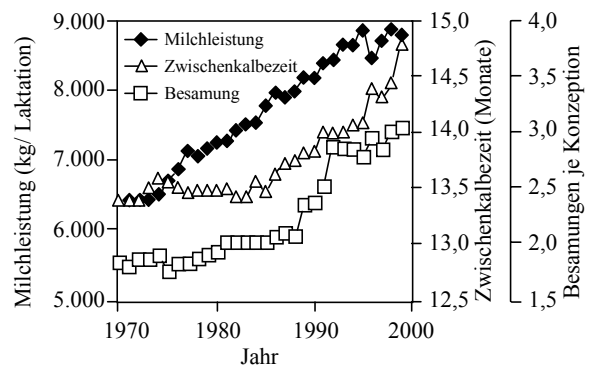


Abbildung 1

Milchleistung, Besamungsaufwand und Zwischenkalbezeit von 143 Herdbuchherden in Nordcarolina (USA; Luci, 2001)

3 Was kann die Tierernährung für die Milchkuh tun, damit sie auch 2025 die Erwartungen erfüllt?

Die Bereitstellung von energiereichem, gern gefressenem und ausreichendem Grundfutter ist eine entscheidende Voraussetzung für hohe Leistungen mit gesunden Kühen. Bei Tagesmilchleistungen zwischen 40 und 50 kg müssen die Kühe 25 bis 30 kg T einer energiereichen Ration verzehren, damit kein zu großes Energiedefizit eintritt und keine zu intensive Metabolisierung von Körperreserven notwendig wird.

In Tabelle 2 wird die Höhe der Futtermittelaufnahme gezeigt, die in Abhängigkeit von der Energiekonzentration der Ration nach GfE (2001) und NRC (2001) für ein bestimmtes Leistungsniveau erforderlich ist.

In den ersten Laktationswochen reicht die Futtermittelaufnahme der Tiere jedoch meistens nicht aus, um genügend Energie für die sezernierte Milch bereit zu stellen (Tabelle 3). Negative Energiebilanzen und die Metabolisierung von Körpersubstanz sind die Folge, so dass Hochleistungstiere in ketotische Stoffwechselsituationen (Ketose als „Berufskrankheit“ der Hochleistungskuh) gelangen können.

Tabelle 2

Trockensubstanzaufnahme (kg/Tag) von Milchkühen nach GfE (2001) bzw. NRC (2001) in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren

	Einflussfaktoren	Milchleistung kg/Tag			
		25	35	40	45
<u>Energiegehalt Futter</u> (MJ NEL/kg T)					
GfE (2001)	6,4	18,4	23,9		-
(650 kg LM/Tier)	7,2	16,7	21,3		25,9
<u>Lebendmasse</u> (kg/Tier)					
NRC (2001)	680 (Holstein)	20,3	23,6		26,9
	454 (Jersey)	18,0	21,7	23,5	-

Tabelle 3

Einfluss des Laktationsstadiums auf Futteraufnahme, Leistungshöhe und weitere Kennzahlen bei Milchkühen (n= 8, TMR mit 45 % Konzentrat, Hattan et al., 2000)

Laktations- woche	T-Auf- nahme kg/Tag	Milch- leistung kg/Tag	BCS	Verdaulich- keit Energie %	Energie- bilanz MJ/Tag
0	-	-	2,7	-	-
6	24,1	51,7	2,3	69,4	-21
12	25,3	47,7	2,4	69,4	-6
18	25,1	43,9	2,4	71,0	8
24	23,7	39,6	2,5	71,1	12
30	23,3	35,4	-	71,9	15

Es ist keine Seltenheit, dass zu Laktationsbeginn Energie für bis zu 1.000 kg Milch aus dem Abbau von Körpersubstanz bereitgestellt werden muss. Für den Tierernährer wird es auch 2025 noch darauf ankommen, Rationen bereitzustellen, die die Voraussetzung für eine hohe Futter- bzw. Energieaufnahme der Kühe mit hohen Leistungen darstellen. Als wesentliche Einflussfaktoren auf die Höhe der Futteraufnahme sind anzusehen:

- Züchtung auf leistungsbereite Tiere mit hoher Futteraufnahme
- körperlicher Zustand (Gesundheit, Trächtigkeit, Verfettung, BCS u. a.)
- Bereitstellung von nährstoff- und energiereichem Grundfutter mit hoher Qualität, guter Abbaubarkeit im Pansen und ausreichender Struktur
- bedarfsgerechte Ergänzung mit Nährstoffen durch leistungsgerechte Kraftfuttergaben (Vermeidung hoher Einzelgaben)
- vielfältige Rationen, Vermeidung abrupter Rationsumstellungen
- ausreichend lange Fresszeiten bzw. ständiger Zugang zu frischem Futter

- Optimaler Kuhkomfort (Ruhe, Steh- und Liegeflächen, Wasser, Stallluft)

4 Strukturwirksamkeit des Grundfutters

Milchkühe werden auch 2025 selbst in den westlichen Industrieländern „weiterhin zu der Familie der Wiederkäuer“ gehören. Kau- und Wiederkauzeiten zwischen jeweils sechs bis acht Stunden werden deshalb auch dann noch eine wichtige Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit des „Systems Pansen“ sein. Es ist zu erwarten, dass dann präzisere Systeme zur Bewertung der Strukturwirksamkeit der Grobfuttermittel vorliegen als zur Zeit. Gegenwärtig wird in Deutschland überwiegend das System von Piatkowski et al. (1990) und Hoffmann (1990) zur Bewertung der Strukturwirksamkeit der Rohfaser bei der Rationsgestaltung berücksichtigt. Neue Ansätze bietet der Vorschlag von De Brabander et al. (1999). In den neuen Versorgungsempfehlungen der GfE (2001) werden beide Vorschläge vergleichend vorgestellt. Untersuchungen von Meyer et al. (2001, 2002) hatten die erheblichen Differenzen zwischen beiden Systemen in der Bewertung der Strukturwirkung von Grassilagen zum Gegenstand. Je 30 in zwei Gruppen (A, B) aufgeteilte Milchkühe erhielten über einen Zeitraum von 91 Tagen eine aus Grassilage und Kraftfutter zusammengestellte Ration. Gruppe A wurde während dieses Versuchs der Empfehlung von Piatkowski et al. (1990) und Hoffmann (1990) entsprechend ausreichend mit Strukturfutter versorgt. Gruppe B erhielt anfangs die gleiche Ration. Im Verlauf des Versuchs wurde für diese Gruppe der Anteil der Grassilage bei entsprechender Anhebung des Kraftfutteranteils in vier Schritten bis zum annähernden Erreichen des kritischen „Strukturwertes“ nach De Brabander et al. (1999) herabgesetzt. Zum Abschluss des Versuchs erhielten alle Kühe über drei Wochen Grassilage zur freien Aufnahme (Tabelle 4).

Tabelle 4
Futteraufnahme und Grundfutteranteil (Meyer et al., 2001)

Tag	Grundfutteraufnahme		Kraftfutteraufnahme		Grundfutteranteil	
	A	B	A	B	A	B
	kg T	kg T	kg T	kg T	% der gesamten T-Aufnahme	
1-14	10,0	9,8	8,3	8,4	54,6	53,7
15-28	8,7	7,5	8,7	9,6	50,0	43,8
29-42	8,9	6,5	8,6	10,6	50,9	38,1
43-56	9,6	5,9	8,3	11,3	53,6	34,2
57-70	10,3	5,4	8,0	11,2	56,1	32,4
71-91	11,0	10,2	4,4	4,5	71,4	69,0

Aufgrund des in Tabelle 5 dargestellten Einflusses der unterschiedlichen Strukturversorgung auf die Milchleistung sowie ergänzender Untersuchungen zum Wiederkauverhalten der Kühe kommen die Autoren zu dem Schluss, dass im System nach De Brabander et al. (1999) die Strukturwirksamkeit von Grassilage überbewertet wird.

Tabelle 5
Einfluss unterschiedlicher Strukturfutteranteile auf die Milchleistung (Meyer et al., 2001)

Tag	Milchmenge		Fettgehalt		Eiweißgehalt		FCM	
	A	B	A	B	A	B	A	B
	kg	kg	%	%	%	%	kg	kg
1-14	26,6	26,3	4,42	4,37	3,31	3,41	28,0	27,7
15-28	25,8	25,5	4,37	4,28	3,30	3,43	26,9	26,5
29-42	24,1	23,5	4,39	4,23	3,33	3,47	25,3	24,3
43-56	23,1	22,5	4,36	4,01	3,34	3,54	24,1	22,2
57-70	21,5	19,6	4,29	4,01	3,37	3,56	22,2	19,6
71-91	17,9	18,1	4,49	4,42	3,46	3,55	19,2	19,2

Weitere Studien unter Einbeziehung verschiedener Faserfraktionen (z. B. NDF, ADF) und weiterer Eigenschaften der Futtermittel sowie tierphysiologischer Parameter (Kau- und Wiederkauverhalten der Tiere, pansenphysiologische Parameter, Milchleistung und Milchinhaltsstoffe) erscheinen notwendig, um die Strukturwirksamkeit der Futtermittel bzw. Ration zukünftig besser bewerten zu können.

5 Eignung ausgewählter Grundfuttermittel

Mit ansteigender Futteraufnahme bei höheren Leistungen vermindert sich die Aufenthaltsdauer des Futters im Pansen bzw. die Passagerate durch den Pansen nimmt zu (Tabelle 6). Beispielsweise hat eine Erhöhung des Ernährungsniveaus von 2,0 (≈ 13 kg T/Tier und Tag) auf 4,0 (≈ 25 kg T/Tier

und Tag) einen Anstieg der Passagerate von 0,052 auf 0,096 je h zur Folge. Demnach passieren je Stunde statt 5,2 % der im Pansen befindlichen Futtermenge 9,6 % die Vormägen. Das hat zur Folge, dass vor allem die zellulolytischen Mikroben, die gewisse Zeit für den Zellwandabbau benötigen, den Wettlauf mit der Zeit teilweise verlieren. Die Konsequenz ist eine verminderte Verdaulichkeit zellwandreicher Grundfuttermittel im Pansen und damit im gesamten Verdauungstrakt, da β -glykosidisch gebundene Kohlenhydrate fast ausschließlich im Pansen abgebaut werden. Ørskov et al. (1988) ermittelten zwischen Passagerate der Partikel und der scheinbaren Verdaulichkeit eine negative Korrelation von $-0,81$.

Bei hohen Passageraten können dann Futtermittel an Bedeutung gewinnen, deren potenziell nutzbaren Nährstoffe in kurzer Zeit abgebaut werden können. Diesbezüglich bestehen deutliche Unterschiede zwischen Gräsern und Leguminosen (Flachowsky et al., 1999; van Soest 1996).

Tabelle 6
Zusammenhang zwischen Ernährungsniveau (EN=1 \equiv Erhaltungsbedarf), Passagerate des Futters und zu erwartender Trockenmasseaufnahme bei Milchkühen (AFRC, 1993)

EN	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Passagerate je h	0,019	0,037	0,052	0,066	0,077	0,087	0,096	0,104
zu erwartende Trockenmasseaufnahme kg/Tier/Tag	6	9	12,5	16	19	22	25	28

Während Gräser Abbauraten (Anteil der Nährstoffe, der je Stunde im Pansen abgebaut werden kann) von maximal lediglich 5 % je Stunde aufweisen, können diese Werte bei Leguminosen bis zu 12 % betragen. Daraus resultiert ein bei hoher Futteraufnahme bzw. hoher Passagerate und kurzer Aufenthaltsdauer im Pansen geringerer Rückgang in der Verdaulichkeit von Leguminosen als von Gräsern. Die hierdurch mögliche höhere Futteraufnahme kann im Einzelfall mehr zur Nährstoffversorgung der Tiere beitragen als die prinzipiell höhere Verdaulichkeit und damit der höhere Energiegehalt der Gräser. Weißklee zeichnet sich durch besonders hohe Abbauraten aus (Abbildung 2), aber auch Luzerne und Rotklee liegen über den für Gräser gemessenen Werten.

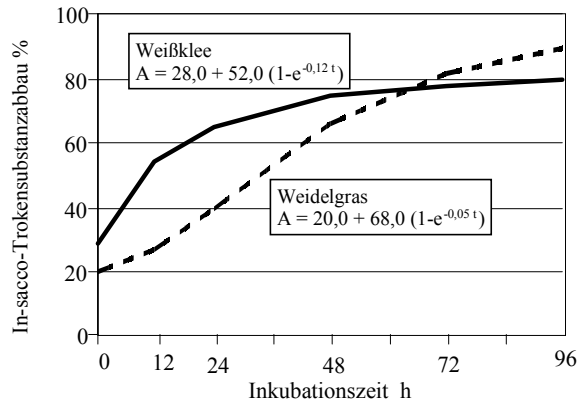
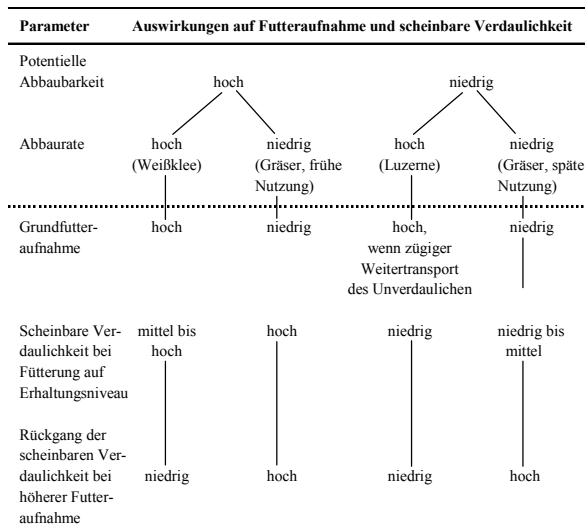


Abbildung 2 In sacco-Trockensubstanzabbau von Weißklee und Weidelgras bei etwa vergleichbarem Vegetationsstadium in Abhängigkeit von der Inkubationszeit im Pansen (Flachowsky et al. 1999)

In Tabelle 7 sind Zusammenhänge zwischen ruminaler Abbaubarkeit, zu erwartender Höhe der Grundfutteraufnahme und scheinbarer Verdaulichkeit für typische Grundfuttermittel zusammengestellt.

Tabelle 7 Zusammenhänge zwischen Abbau im Pansen, Höhe der Grundfutteraufnahme und scheinbarer Verdaulichkeit



Leguminosen könnten demnach bei erforderlicher höherer Futteraufnahme zukünftig eine größere Bedeutung in der Milchkuhfütterung erlangen als bisher.

In Tabelle 8 wird stichpunktartig eine Bewertung der Eignung verschiedener Grundfuttermittel bzw. -gruppen für die Milchviehfütterung vorgenommen. Ergänzend ist jedoch zu berücksichtigen, dass höhere Futteraufnahmen zwar eine vermin-

derte Verdaulichkeit, aber auch geringere Methanverluste je kg Futtermittel zur Folge haben, so dass nicht mit einer linearen Abnahme der Energiebereitstellung je kg Futter bei steigender Futteraufnahme zu rechnen ist.

Tabelle 8 Bewertung ausgewählter Grundfuttermittel für die Milchkuhfütterung

Futtermittel bzw. Futtermittelgruppe	Vorteile	Ausgewählte bzw. Grenzen
Gräser, außer Mais	Flexible Nutzung (Weide, Stall; Silage, Heu, u.a.)	Zügige Lignifizierung (begrenzte Aufnahme)
Leguminosen (Rotklee, Luzerne, u.a.)	Zügiger Abbau potentiell abbaubarer Nährstoffe im Pansen (hohe Aufnahme)	Geringe Energiekonzentration
Maissilage	Hohe Energiekonzentration, gute Silierbarkeit	Geringer Proteingehalt, geringe aerobe Stabilität
Kruziferen (Raps, Rübsen, u.a.)	Zwischenfruchtnutzung	Gehalt an unerwünschten Inhaltsstoffen

6 Proteinversorgung

Ziel einer bedarfsgerechten und umweltschonenden Proteinversorgung der Milchkuhe ist es, die Tiere sowohl mit ausreichenden Mengen an aus dem Darm absorbierbaren Aminosäuren als auch mit im Pansen verfügbarem Stickstoff für die mikrobielle Proteinsynthese und für einen optimalen Zellwandabbau zu versorgen, ohne dabei den Stoffwechsel der Tiere und die Umwelt unnötig mit Stickstoff zu belasten. Um diese Ziele zu realisieren, wurden im deutschen Proteinbewertungssystem (GfE 2001) Empfehlungen für die Versorgung der Kühe mit nutzbarem Rohprotein am Dünndarm (nXP) und die ruminale N-Bilanz (RNB) gegeben. Zukünftig ist damit zu rechnen, dass das nXP-System zu einem System auf der Basis nutzbarer Aminosäuren (nAS) weiterentwickelt wird. Dies setzt jedoch zunächst eine genauere Kenntnis des Bedarfes an einzelnen Aminosäuren am Duodenum sowie der Faktoren, die das Aminosäuremuster des nXP am Dünndarm beeinflussen, voraus.

Ein anderes Problem betrifft die Nutzung von Aminosäuren im Citratzyklus zur Energiegewinnung bzw. zur Gluconeogenese. Verschiedene Autoren (z. B. Abel et al., 1997; Danfear, 1999; Gabel und Voigt, 2000; Theurer et al., 1999) gehen davon aus, dass bis zu 50 %, der mittels Gluconeogenese erzeugten Glucose (bis zu 3 kg je Tier und Tag bei Hochleistungskühen) aus glucoplastischen Aminosäuren stammen können. Demnach ist es nicht verwunderlich, dass der erwartete Effekt zugesetzter pansenstabiler Aminosäuren, selbst wenn tatsäch-

lich ein Mangel an diesen vorgelegen haben sollte, nicht in jedem Falle eintritt (z. B. Jochmann et al., 1996). Zu dieser Thematik werden in den nächsten Jahren weitere Arbeiten erforderlich sein, um den zu erwartenden Effekt eines Aminosäurezusatzes auf die Leistung der Tiere bzw. die Qualität der Milch besser vorhersagen zu können.

7 Mineralstoffe und Vitamine

Mit höheren Milchleistungen steigt auch der Bedarf an diesen Stoffgruppen an (GfE, 2001; NRC, 2001). Dabei ist allerdings zu beobachten, dass Empfehlungen von Herstellern von Vitaminpräparaten häufig über denen wissenschaftlicher Gesellschaften liegen (Flachowsky, 2001). Als Begründungen werden eine veränderte Fütterung und andere Verhältnisse im Pansen, ein höherer Bedarf bei höherer Leistung und gegenwärtig nicht ausreichend erkannte Effekte verschiedener Vitamine („Sondereffekte“), vor allem von B-Vitaminen, angeführt.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die ernährungsphysiologische Bedeutung verschiedener Vitamine noch nicht umfassend erkannt ist. Bezüglich der B-Vitamine werden z. B. gegenwärtig weder von der GfE (2001) noch vom NRC (2001) Versorgungsempfehlungen gegeben.

Weitere Grundlagenarbeiten, Studien über die Umsetzungen (Abbau, Neubildung) von Vitaminen im Pansen der Hochleistungskühe, Untersuchungen, die die sogenannten „Sondereffekte“ reproduzierbar belegen und aufklären sowie gezielte Dosis-Wirkungs-Studien mit verschiedenen Vitaminen sind für eine wissenschaftliche Ableitung von Versorgungsempfehlungen erforderlich.

Da derartige Untersuchungen jedoch experimentell und auch analytisch sehr aufwendig sind, Überdosierungen, vor allem der B-Vitamine zwar Geld kosten, aber in der Regel weder der Milchkuh noch dem Menschen oder der Umwelt schaden, ist damit zu rechnen, dass der gegenwärtige Trend der Vitamin-Hochdosierungen sich mit zunehmender Leistungssteigerung fortsetzt.

Für die Mengen- und Spurenelemente trifft diese Einschätzung nicht zu. Dort wird zunehmend eine möglichst exakte Bedarfsdeckung angestrebt, um unter anderem auch die Ausscheidungen (nicht nur P, sondern auch Cu, Zn u. a.) und damit die Flächenbelastung möglichst niedrig zu halten. Sollte die Bioverfügbarkeit, vor allem wichtiger Spurenelemente (z. B. Cu, Zn, Se, Mn) aus den Futtermitteln in Zukunft besser eingeschätzt werden können, so ist zu erwarten, dass sogenannte „organische“ Spurenelementverbindungen (Chelate

u. a.) zur Deckung des Bedarfes „auf den i-Punkt“ an Bedeutung gewinnen. Bisher vorliegende Befunde bestätigen nicht in jedem Fall die den Organo-Spurenelementen nachgesagten Wirkungen (Flachowsky, 1997).

8 Tränkwasser und -qualität

Die ausreichende Bereitstellung von qualitativ hochwertigem® Tränkwasser ist ebenfalls eine wesentliche Voraussetzung für hohe Milchleistungen gesunder Kühe. Während im NRC (2001) mehrere Modelle zur Vorhersage der Wasseraufnahme und zu maximalen Gehalten an unerwünschten Stoffen mitgeteilt werden, spielten diese Aspekte in Deutschland bisher kaum eine Rolle.

Bei einer kürzlich vorgenommenen Versuchsauswertung konnten Umgebungstemperatur, Höhe der Milchleistung und Lebendmasse der Tiere als wichtigste Einflussgrößen auf die Höhe der Wasseraufnahme ermittelt werden (Tabelle 9).

Tabelle 9

Wasseraufnahme und Wasserqualität

Wesentliche Einflussfaktoren auf die Wasseraufnahme von Milchkuhen (Schätzgleichung nach Everginhoff et al., 2002)			
Wasseraufnahme (kg/Tag) =	-39,2		
	+1,54 x mittlere Umgebungstemperatur (°C)		
	+1,54 x Milchleistung (kg/Tag)		
	+0,37 x Futteraufnahme (kg/T/Tag)		
	+0,15 x T-Gehalt der Ration (%)		
	+0,065 x Lebendmasse (kg)		
	+0,047 x Laktationstag		
Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Trinkwasser (Grenzwerte in mg je l Wasser, NRC 2001)			
NO ₃	< 44	Fluor	< 2
Arsen	< 0,05	Mangan	< 0,05
Cadmium	< 0,005	Blei	< 0,01
Cobalt	< 1	Selen	< 0,05
Kupfer	< 1	Zink	< 5,0

9 Nicht-essentielle Futterzusatzstoffe

Als nicht essentielle Zusatzstoffe werden Substanzen zusammengefasst, die für die Milchkuhe nicht lebensnotwendig sind, die aber unter bestimmten Bedingungen die Leistungen der Tiere oder die Umwandlung der Futtermittel in eine gewünschte Richtung positiv beeinflussen können. Zu dieser Stoffgruppe zählen z. B. Puffersubstanzen (NaHCO₃, MgO u. a.), Probiotika (Hefen, Milchsäurebakterien u. a.), Enzyme, Carnitin und verschiedene pflanzliche Substanzen (Kräuter, ätherische Öle, Extrakte u. a.).

Die durch Zusatz dieser Substanzen in Milchkuhrationen erzielten Ergebnisse sind nicht immer eindeutig und können auch nicht in jedem Fall reproduziert werden. Dennoch ist zu erwarten, dass der Einsatz der erwähnten und weiterer Zusatzstoffe in der Milchkuhfütterung in den nächsten Jahren weiter zunehmen wird.

In Anlehnung an ein Zitat von Willet und Stampfer (2001) zur Vitaminaufnahme beim Menschen kann eingeschätzt werden, dass „der Einsatz derartiger Zusatzstoffe in der Milchkuhfütterung dann sinnvoll ist, wenn mit großer Wahrscheinlichkeit der Nutzen größer ist als der Schaden.“ Diese Feststellung trifft auch auf den Vitaminzusatz, vor allem auf die B-Vitamine, zu.

10 Optimale Rationsgestaltung

Bei der Optimierung der Rationen wird es auch 2025 noch darauf ankommen, die Verhältnisse im „Biotechnikum“ Pansen (pH-Wert: >6,0, NH₃-N: 5-25 mg/100 ml Pansensaft) so zu gestalten, dass die Kuh gesund bleibt, hohe Futtermengen aufnimmt und die Nährstoffe möglichst effizient in Milch umwandelt. Einige Voraussetzungen zur Erreichung dieses Zieles wurden in den vorhergehenden Abschnitten bereits beschrieben. In Tabelle 10 sind ausgewählte Anforderungen an die Rationsgestaltung in Abhängigkeit von der Leistungshöhe der Kühe zusammengestellt.

Tabelle 10
Anforderungen an die Rationsgestaltung bei höheren Milchleistungen (650 kg LM, 4 % Fett, 3,2 MJ/kg Milch)

Parameter	Milchleistung		
	0	20	40
Vielfaches des Erhaltungsbedarfes (≈ 38 MJ NEL/Tag)	1	2,7	4,5
Erforderliche Verdaulichkeit der Energie %	68	76	80
Erforderliche Engergiedichte MJ NEL/kg T	5,0	6,5	7,2
Erforderliche Strukturmenge			
Strukturwirksame Rohfaser kg/Tier/Tag	2,0	2,3	2,6
Strukturwert SW/kg T	0,8	0,97	1,17
Nutzbares Protein g nXP/Tier/Tag	450	2.050	3.680

Neben ausreichender Strukturfutterbereitstellung ist bei der Rationsgestaltung auch darauf zu achten, dass weder zu große Mengen an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten (Zucker, Stärke) je Zeiteinheit in den Pansen gelangen (pH-Wert: <6,00, Pansenacidose) noch dass zu viel Stärke (<2,0 kg) den Pansen unabgebaut passiert (Lebzién et al., 2001). In umfangreichen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass das Verdauungsvermögen des Dünndarms für Stärke bei Wiederkäuern begrenzt ist (Abbildung 3) und dass sowohl bei

hohen Stärkegaben je Zeiteinheit als auch bei hohem Stärke-Bypass erhebliche Nachteile für Milchkühe und Mensch eintreten können:

- Pansenacidose (niedriger pH-Wert)
 - verminderte Futterraufnahme bei hohen Mengen schnell fermentierbarer Stärke; dadurch evtl. ernährungsbedingte Erkrankungen (z. B. Ketose)
 - verminderte Verdaulichkeit von Zellwandbestandteilen
- Pansenkeratose
- erhöhte Durchfallhäufigkeit
- eventuell erhöhte Stärkeausscheidung im Kot
- Gefahr säureresistenter E. coli (EHEC) im Kot
- verminderter Milchfettgehalt (mehr trans-Fettsäuren bei niedrigem Pansen-pH)

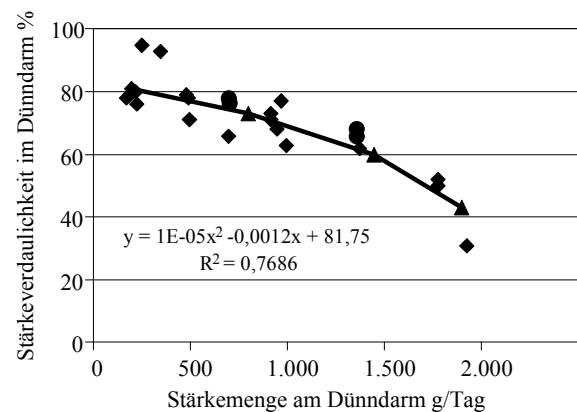


Abbildung 3
Einfluss der Menge an Bypass-Stärke auf die Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm (nach Matthé, 2001)

Nach Gabel und Voigt (2000) sollte die Fütterungsstrategie darauf ausgerichtet sein, die postramidale Stärkeverdaulichkeit bei Wahrung einer Stärkeverdaulichkeit im gesamten Trakt von >95 % auszuschöpfen. Dies kann bedeuten, dass bei hohen Mengen schwer abbaubarer Stärke (z. B. Körnermais, Milokorn) in der Ration, Zusatzbehandlungen, wie z. B. Dampfbehandlung u. a., zur Erhöhung der ruminalen Stärkeabbaubarkeit zweckmäßig sind (z. B. Huber et al., 1994).

11 Futtermittelverabreichung und „Kuhkomfort“

Zum „Kuhkomfort“ kann die Tierernährung insoweit beitragen, als dass immer ausreichende Mengen an Futter und Wasser in hygienisch einwandfreiem Zustand zur Verfügung gestellt werden und dass der Kuh zum Fressen, Wiederkauen und Verdauen ausreichend Platz und Ruhe zugestanden werden.

Weitere Aspekte des „Kuhkomforts“ werden von Sommer und Bockisch (2002) behandelt.

Auch in Zukunft werden verschiedene Haltungs- und Fütterungsvarianten existieren. Obwohl die Weidehaltung der Milchkühe einen bestimmten Umfang einnehmen wird, ist zu erwarten, dass eine ganzjährige Fütterung im Stall dominiert. Dabei werden Silagen aus Mais und Gras überwiegen, Leguminosen werden aber eine gewisse Rolle spielen. In Tabelle 11 sind Beispielrationen für unterschiedliche Milchleistungen zusammengestellt.

Tabelle 11

Beispielrationen (kg T/Tag) für verschiedene Laktationsabschnitte bei Stallfütterung von Milchkühen (Lebendmasse: 700 kg/Tier)

Laktationsabschnitte	1.	2.	3.	
Milchleistung kg/FCMTag	60	40	30	Trockensteher
Maissilage	10	6	5	-
Grasprodukte (Heu/Silage)	-	3	5	6
Leguminosen (Luzerne, Rotklee)	4	3	3	2
Kraftfutter				
Nebenprodukte	6	6	4	2
Getreide	10	6	3	-
Gesamt-T-Aufnahme	30	24	20	10

12 Nachdenken über grenzenlose Leistungssteigerungen

Welche Milchleistungen sind 2025 zu erwarten? Eigentlich kann diese Frage nur im Sinne des eingangs erwähnten Thaeer-Zitates (1810) beantwortet werden. Bei geringen Kosten können 4.000 kg Milch je Kuh und Jahr profitabel sein (z. B. Neuseeland; Hemme, 2002), unter europäischen Bedingungen werden sicherlich 6.000 bis 8.000 kg Milch vermutlich aber noch mehr benötigt.

Einzeltierleistungen von 20.000 und mehr kg je Laktation werden keine Seltenheit sein, selbst Herdenleistungen von 15.000 kg FCM je Laktation sind zu erwarten.

Andererseits dürfen die objektiven Faktoren für Leistungsgrenzen nicht übersehen werden. Dazu zählen u. a.:

- physiologisches Vermögen der Milchkühe bezüglich
 - Energie- und Nährstoffaufnahme bei einer Mindestmenge an Strukturfutter
 - Abbau- und Synthesevermögen der Mikroorganismen in den Vormägen, Verdauungs- und Absorptionsvermögen
 - Mobilisationsvermögen von Nährstoffen im Organismus

- Syntheseleistungen im Stoffwechsel (vor allem Leber und Milchdrüse)
- Stabilität und Belastungsvermögen des Skelettsystems
- Krankheitsanfälligkeit (Immunsystem) der Hochleistungstiere
- Reproduktionsleistung

Tabelle 12

Futtereinsatz und Primärenergieverbrauch zur Futtererzeugung bei Milchkühen in Abhängigkeit von der Leistungshöhe (Angaben je Jahr)

		Milchleistung kg/Kuh/Jahr					
		4.000	6.000	8.000	10.000	12.000	
Trockenmasseaufnahme							
Grundfutter	t/Jahr	4,2	5,0	5,8	6,8	7,6	
Kraftfutter	t/Jahr	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
		0,2	1,0	1,8	2,8	3,6	
Primärenergieverbrauch zur Futtererzeugung ¹⁾		GJ/Jahr	4,6	7,0	9,4	12,4	14,8
Primärenergieverbrauch je kg Milch		MJ/kg	1,15	1,17	1,20	1,24	1,25

¹⁾ 3 MJ/kg T bei Kraftfutter; 1 MJ/kg T bei Grundfutter (Mischung aus Gras- und Maissilage, nach Bockisch et al. 2000)

Es darf auch nicht übersehen werden, dass die nährstoffökonomischen und ökologischen Vorteile hoher Leistungen mit zunehmendem Leistungslevel relativ geringer werden (Flachowsky, 2002). Der Primärenergieeinsatz je kg Milch dürfte mit hohen Leistungen sogar ansteigen (Tabelle 12).

13 Forschungsbedarf

Damit die Tierernährung mit den vermutlich weiter ansteigenden Leistungen Schritt halten kann, sind wissenschaftlich u. a. folgende Fragestellungen weiter zu bearbeiten:

- hohe Futter- bzw. **Energieaufnahme** bei ausreichender **Strukturfutterbereitstellung**
- Zusammenhänge zwischen hoher Futteraufnahme und **Verdaulichkeit bzw. energetischer Verwertung**
- Reduzierung **negativer Auswirkungen auf Gesundheit und Fruchtbarkeit**
- Verbesserung der Kenntnisse über die **Umsetzungen im Verdauungstrakt** (z. B. nAS)
- Beiträge zur Erhöhung der Milcherzeugung aus **globaler Sicht**
- nährstoffökonomische und ökologische Aspekte zum **„Gesamtsystem“** Rind (Milch, Fleisch, Landschaftspflege u. a.)
- Visionen
 - Verstärkte Nutzung von Ligno-Zellulose im Pansen (anaerobe Pilze, Zusatzstoffe u. a.)

- Beeinflussung der **hormonalen Steuerung**
- Senkung des **Laktose-Gehaltes** der Milch (kaum möglich, s. Niemann, 2002)
- Beiträge zur „**Designer“-Milch** bzw. „**Functional Foods**“ (s. Jahreis, 2002)

14 Schlussfolgerungen und Fazit

Schlussfolgernd kann festgestellt werden:

- mit höheren Leistungen steigen die Stoffwechselfelastungen der Kühe an, wie z. B.
 - Umsetzungen im Pansen (pH-Wert, NH₃ u. a.)
 - Mobilisationsvermögen (Energie, Ca u. a.)
 - Leber, Milchdrüse
 - Reproduktionssystem.
- Die Tierernährung kann wesentliche Beiträge zur Erzeugung hoher Milchleistungen mit gesunden Kühen leisten; z. B. durch:
 - hohe Futter- bzw. Energieaufnahme
 - qualitativ hochwertiges Grundfutter (Energie, Nährstoffe, Struktur)
 - Optimierung von Rationsgestaltung, Fütterungsregime sowie Pansenfermentation.
- nährstoffökonomische, ökologische und energetische Vorteile werden mit zunehmender Milchleistung relativ geringer und können sich zum Teil sogar umkehren.
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die Bewertung von Gesamtsystemen (z. B. Milch- und Rindfleischherzeugung) zweckmäßig.
- Bei ausreichender Lebensmittelbereitstellung wird die Prozessqualität zunehmend wichtig für die Akzeptanz der Lebensmittel.

Im Vergleich zu anderen Fachdisziplinen erscheint die Tierernährung relativ konservativ. Diese Situation resultiert vor allem aus den Abhängigkeiten von anderen Disziplinen bzw. Vorleistungen (Tierzucht, Jungrinderaufzucht, Futterbau und –bereitstellung u. a.) und der Optimierung dieser Vorleistungen.

Bei entsprechenden Voraussetzungen, wie

- optimale Jungrinderaufzucht (Tierhaltung)
- hohe Futteraufnahme/hohes Mobilisationsvermögen (Tierzucht)
- Verbesserung des Kuhkomforts (Tierhaltung/Tiermedizin)
- Bereitstellung energiereicher und gern gefressener Futtermittel (Futterbau)

kann die Tierernährung bei steigenden Milchleistungen durch optimale Rationsgestaltung und Fütterung weitgehend Schritt halten.

Physiologische, ökonomische und nährstoffökonomische sowie ethische Aspekte sprechen jedoch gegen eine „grenzenlose“ Leistungssteigerung.

Literatur

- Abel HJ, Luislampe J, Ruße S, Ahrens F (1997): Zur Kinetik des Glucoseumsatzes bei Milchkühen mit abomasalen Casein- oder Wasserinfusionen. Schriftenreihe FBN, Dummerstorf 10: 50-58
- AFRC (1993): Energy and Protein Requirements of Ruminants, CAB International, Wallingford, UK
- Bockisch FJ, Ahlgrimm HJ, Böhme H, Bramm A, Dämmgen U, Flachowsky G, Heinemeyer O, Höppner F, Murphy D, Rolasik J, Röver M, Sohler S (2000): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 211; 206 S.
- Breves G, Rodehutsord M (1999): Gibt es Grenzen in der Zucht auf Milchleistung? – Aus der Sicht der Physiologie. Züchtungskunde 71: 420-427
- Danfaer A. (1999): Nutrient flow across the liver in dairy cows. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8: 13-25
- De Brabander DL, De Boever JL, Vanacker JM, Boucqué ChV, Bottermann SM (1999): Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In Recent Advances in Animal Nutrition by P.C. Garnsworthy and J. Wiseman (Ed.). Nottingham Univ. Press, 111-145
- Everinghoff , Meyer U, Gädeken D, Flachowsky G (2002): Untersuchungen zur Wasseraufnahme von Milchkühen. Forum angewandter Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 20./21.03.2002 Fulda, 40-42
- Flachowsky G (1997): Bewertung organischer Spurenelementverbindungen in der Tierernährung. 17. Arbeitstagung Mengen- und Spurenelemente, 05./06. 12. 1997, Jena, 599-619
- Flachowsky G (2001): Empfehlungen zur Vitaminversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere – eine kritische Betrachtung. Proc. 8. Symposium „Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier“, Jena, 26/27.09.2001, 15-30
- Flachowsky G, Lebzien P, Daenicke R (1999): Zur Bedeutung von Leguminosen als Grundfutterkomponenten in Rationen von Hochleistungskühen. Proc. 111. VDLUFA-Kongreß, 13.-17.09.1999, Halle/Saale, 293-296.
- Flachowsky G, Lebzien P, Meyer U (2002): Vorteile und Grenzen hoher Milchleistungen aus der Sicht der Tierernährung. Züchtungskunde 74: 85-103
- Flachowsky G, Loose K, Lebzien P, Matthé A, Gollnisch K, Daenicke R (2000): Zur Bereitstellung von Maisprodukten als Stärkequellen für Milchkühe. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 217; 71-85
- Fleischer P, Metzner M, Beyersbach M, Hoedemaker M, Klee W (2001): The relationship between milk yield and the incidence of some diseases in dairy cows. J. Dairy Sci. 84: 2025-2035
- Gabel M, Voigt J (2000): Fütterung der Hochleistungskuh aus stofflicher und energetischer Sicht. Arch. Tierzucht 43: 62-70
- GfE (2001): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8, Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt (Main); 136 S.
- Hansen LB (2000): Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint. J. Dairy Sci. 83: 1145-1150.
- Harms J, Studier K (2001): Mit dem Tierarzt auf Sparkurs. DLG-Mitteilungen 7/2001, 36-39
- Hattan AJ, Beever DE, Cammell SB, Sutton JD (2000): energy metabolism in high yielding dairy cow during early lactation. Proc. Energy metabolism in animals, EAAP publ. No 103, 2001, Snekkersten, Denmark, 11.-16. Sept. 2000;325-328
- Hemme T (2002): Wie wettbewerbsfähig ist die deutsche Milchproduktion im internationalen Vergleich? Tagung Milchproduktion 2025. Sonderheft Landbauforschung Völknerode 2002, im Druck

- Heuer C, Sschukken YH, Dobbelaar P (1999): Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield and culling in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 82: 295-304
- Hoffmann M (Herausg., 1990): Tierfütterung. Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 2. Aufl. 320 S.
- Huber JT, Theurer CB, Simas JM, Santos FP, Chen KH (1994): Effect shifting of starch digestibility on performance of dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 3: 39
- Jahreis, G. (2002): Milch- vom Natur –zum Designerprodukt ? Tagung Milchproduktion 2025, Sonderheft Landbauforschung Völkenrode 2002 (im Druck)
- Jochmann K, Lebzien P, Flachowsky G (1996): Zum Einsatz pansenstabiler Aminosäuren in der Milchviehfütterung. *Übers. Tierernährung* 24.: 255-292
- Lebzien P, Matthé A, Flachowsky G (2001): Bedeutung von Stärke für die Glucoseversorgung von Milchkühen. *Kraftfutter/ Feed Magazine*, Heft 10; 356-366
- Lucy MC (2001):: Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end ? *J. Dairy Sci.* 84: 1277-1293
- Matthé A (2001): Nährstoffumsetzungen im Verdauungstrakt des Rindes nach Einsatz unterschiedlicher Mengen an Mais- und Weizenstärke. Diss. Justus Liebig Univ. Gießen, 175 S
- Meyer U, Gädeken D, Spolders M, Flachowsky G (2001): Physical structure value systems in dairy cattle feeding. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 10: 141
- Meyer U, Gädeken D, Spolders M, Flachowsky G (2002): A comparison of recommendations for the fibre supply of dairy cows fed Total Mixed Rations (TMR). *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 11: 133
- Niemann H (2002): Was können die Milchviehalter von der Biotechnologie erwarten? Tagung Milchproduktion 2025. Sonderheft Landbauforschung Völkenrode 2002, im Druck
- NRC (2001): Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th rev. ed., Update 2001, Washington D.C., Nat. Acad. Press: 381 p.
- Piatkowski B, Gürtler H, Voigt J (1990): Grundzüge der Wiederkäuerernährung. Gustav-Fischer -Verlag Jena, Stuttgart
- Ørskov, ER, Oiwang, I, Reid, GW (1988): A study on consistency of differences between cows in rumen outflow rate of fibrous particles and other substrates and consequences for digestibility and intake of roughages. *Anim. Prod.* 47: 45-51
- Rehmage J (2002): Steigende Leistungsanforderungen an Milchkühe – Bleibt die Tiergesundheit auf der Strecke? Tagung Milchproduktion 2025. Sonderheft Landbauforschung Völkenrode 2002, im Druck
- Stangassinger M. (2000): Indikatoren der metabolischen Leistungsgrenze bei Milchkühen. BAT-Beratertagung, Weihenstephan, 25./26.09.2000, 129-138
- Taylor VJ, Hattan AJ, Bleach EC, Beever DE, Watthes DC (2001): Reproductive function in average and high yielding dairy cows. *Occ. Publ. No. 26, Brit. Soc. Anim. Sci.*, 495-498
- Thaer, AD (1810): Grundsätze der rationellen Landwirtschaft. Bd. 1-4, Berlin 1809-1812
- Theurer CB, Huber JT, Delgado-Elorduy A, Wanderley R (1999): Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82: 1950-1959
- Vandeyhaar MJ (1998): Efficiency of nutrient use and relationship to profitability on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 81: 272-282
- Van Soest P (1996): Nutritional Ecology of the Ruminants. Cornell University Press, Ithaca and London, 2nd ed., 476 p.
- Willet WC, Stamper MJ (2001): Clinical Practice: What vitamins should I be taking, doctor? *N. Engl. J. Med.* 345: 1819-1824
- Yates CM, Mills J, France J, Cammell SB, Beever DE (2000): Development of strategies to provide cost effective means of reducing methane emissions from dairy cows. *Proc. Energy metabolism in animals, EAAP publ. No. 103, 2001, Snekkersten, Denmark, 11.-16. Sept. 2000; 201-204*