

## **Energie- und Nährstoffbedarfsableitung für Hochleistungskühe\***

G. FLACHOWSKY<sup>1</sup>, P. LEBZIEN<sup>1</sup> und U. MEYER<sup>1</sup>

### **Zusammenfassung**

Die steigende Milchleistung der Kühe stellt eine große Herausforderung für die Fütterung der Tiere dar. Höhere Futteraufnahme und energiereichere Rationen können den Mehrbedarf an Energie infolge der höheren Milchleistung häufig nicht abdecken, so dass die Tiere in den Hochleistungsperioden ins Energiedefizit kommen.

Infolge der höheren Futteraufnahme steigt zudem die Passagerate des Futters durch den Pansen an, was eine verminderte Verdaulichkeit im Pansen zur Folge hat. Verminderte Gärgas- und Harnenergieverluste bei höherer Futteraufnahme sowie eine teilweise Verlagerung der Verdauung in den Dünndarm kompensieren die geringere Verdaulichkeit in gewissem Umfang. Neben diesen Einflussfaktoren erschweren auch der Umfang der Stoff- bzw. Energiemobilisation (katabole Prozesse) bei der Hochleistungskuh sowie starke tierindividuelle Schwankungen die Energie- und Nährstoffbedarfsableitung.

In Deutschland hat der Ausschuss für Bedarfsnormen (AfBN) der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) die Aufgabe der Bedarfsableitung übernommen. Über das Vorgehen bei der Bedarfsableitung und aktuelle Herausforderungen bei Hochleistungskühen wird im Beitrag informiert.

**Schlüsselwörter:** Hochleistungskuh, Energie, Protein, Aminosäuren, Mineralstoffe, Vitamine, Bedarfsableitung, Ausschuss für Bedarfsnormen

### **Summary**

#### **Deduction of energy and nutrient requirements for high yielding cows**

The increase of milk yield of dairy cows is a large challenge for feeding the animals. A higher feed intake and the application of energy rich rations cannot satisfy the increased energy demand in consequence of the higher milk yield. Therefore high yielding cows suffer in energy deficiency. In consequence of the higher feed intake, the passage rate through the rumen increases and the digestibility of some nutrients decreases. Lower energy losses by methane and urine and a partial shift of the digestion into the small intestine compensate the decreased digestibility to some degree. Apart from this influencing factors the substance and energy mobilisation (catabolic metabolism) of high yielding cows as well as the high variation between cows are further difficulties to deduce energy and nutrient requirements for the animals.

---

\*Nach einem Vortrag anlässlich der FLI/DGfZ-Tagung „Die Milchkuh im Spannungsfeld von Züchtung, Ernährung und Gesundheit“, am 23./24.04.2009 in Braunschweig.

---

<sup>1</sup> Institut für Tierernährung, Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig; E-Mail: te@fli.bund.de

In Germany the Committee for Requirement Standards (AfBN) of the Society of Nutrition Physiology (GfE) is responsible for the deduction of energy and nutrient requirements of animals. The contribution informs about the way of deduction and future challenges for high yielding cows.

**Keywords:** High yielding cow, energy, protein, amino acids, minerals, vitamins, deduction of requirements, Committees for Requirement Standards

## 1 Einleitung

Gesunde Tiere sind eine wesentliche Voraussetzung für hohe und stabile Leistungen sowie für nährstoffökonomische und ökologische Vorteile (FLACHOWSKY et al., 2002). Neben dem genetischen Potenzial und der Aufzucht der Jungrinder stellt die bedarfsgerechte Ernährung der Milchkühe die Basis für entsprechende Leistungen dar. Darunter wird die Versorgung der Tiere mit Energie und allen lebensnotwendigen (essentiellen) Nährstoffen in Abhängigkeit von Tierart, Nutzungsrichtung (-kategorie), Leistungshöhe, Haltungsform und Umweltbedingungen sowie unter Berücksichtigung einer artgerechten Fütterung (z.B. Mindestmenge an Strukturfutter bei Wiederkäuern, Bereitstellung von Tränkwasser in ausreichender Menge und Qualität, KAMPHUES et al., 2007) verstanden.

In verschiedenen Ländern bestehen (z.B. Deutschland: Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, GfE; USA: National Research Council, NRC) bzw. bestanden Gremien (z.B. Australien: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation CSIRO; Frankreich: Institut National de Recherche Agronomique, INRA; Großbritannien: Agriculture and Food Research Council; AFRC; Niederlande: Centraal Veevoederbureau in Nederland, CVB), die zur Ableitung entsprechender Bedarfsnormen bzw. von Versorgungsempfehlungen für Nährstoffe und Energie Gruppen von Sachverständigen berufen bzw. beriefen, um diese Aufgaben zu übernehmen. In Deutschland wurde im Jahre 1975 diese Aufgabe dem Ausschuss für Bedarfsnormen (AfBN) als ständigem Ausschuss der GfE übertragen (s. auch FLACHOWSKY und MARTENS, 2006). Dabei sind die vorgenommenen Ableitungen nicht „auf Ewigkeit gültig“, sondern sie fassen den Wissensstand zum jeweiligen Zeitpunkt zusammen. Das Grundprinzip der Ableitung von Versorgungsempfehlungen formulierte der AfBN (1978) folgendermaßen:

„Der Tierernährungswissenschaft obliegt der Auftrag, qualitative und quantitative Kenngrößen zur Festlegung des Bedarfes an Energie und Nährstoffen für Tiere zu erarbeiten. Die gewonnenen Erkenntnisse haben nur vorläufige Gültigkeit. Sie sind fortlaufenden Ergänzungen und Weiterentwicklungen unterworfen. Daher ist von Zeit zu Zeit zu überprüfen, ob neue Forschungsergebnisse geeignet sind, die bisherigen Vorstellungen zum Energie- bzw. Nährstoffbedarf zu präzisieren“.

Im Beitrag sollen eine Bewertung der gegenwärtig vorliegenden Versorgungsempfehlungen für Milchkühe vorgenommen und Herausforderungen für die Zukunft abgeleitet werden.

## 2 Grundlagen der Bedarfsableitung

Zielstellung und Arbeitsweise des AfBN zur Bedarfsableitung werden in Tab. 1 in Kurzform dargestellt.

Bei der Ableitung des Energiebedarfes sowie des Bedarfes an Protein/Aminosäuren und Mengenelementen lässt sich der AfBN gegenwärtig von einem faktoriellen Vorgehen

Tab. 1. Zur Arbeit des Ausschusses für Bedarfsnormen (AfBN) der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE)  
*About the activities of the Committee for Requirement Standards (AfBN) of the Society of Nutrition Physiology (GfE)*

---

Zielstellung:	Erarbeitung von Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere unter Berücksichtigung des internationalen Stands der Wissenschaft; später erweitert auf Futterbewertung und methodische Anleitungen
Mitglieder:	Sieben „feste Mitglieder“, die die wesentlichsten Fachgebiete der Tierernährung vertreten
Arbeitsweise:	Mindestens zwei zweitägige Plenarsitzungen pro Jahr; Detailarbeiten in Arbeitsgruppen unter Hinzuziehung von Sachverständigen
Gegenwärtige Vorhaben:	Versorgungsempfehlungen „Pferde“; Update der Versorgungsempfehlungen für „Milchkühe und Aufzuchtrinder“ sowie für „Mastrinder“

---

unter Berücksichtigung folgender Faktoren leiten:

Erhaltungsbedarf:

- Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit
- Endogene Verluste (Kot, Harn)
- Oberflächenverluste

Leistungsbedarf:

- Milchbildung
- Wachstum
- Trächtigkeit

GfE (2001) und NRC (2001) berücksichtigten bei den vor etwa zehn Jahren vorgenommenen Ableitungen von Versorgungsempfehlungen für Milchkühe für die Faktoren Erhaltungsbedarf, Laktation und Trächtigkeit die in Tab. 2 dargestellten Größen.

Dabei fällt auf, dass die verwendeten Ausgangsdaten bei beiden Systemen zumindest für die Milcherzeugung annähernd gleich sind. Der Erhaltungsbedarf wird vom NRC (2001) für Fleischrinder geringfügig niedriger und für Milchkühe etwas höher als von der GfE (2001) angesetzt. Bei der Trächtigkeit differenziert das NRC (2001) etwas stärker in Abhängigkeit von Zeitpunkt der Trächtigkeit und Geburtsgewicht des Kalbes, was jedoch nur zu geringen Unterschieden führt.

Für Spurenelemente und Vitamine ist die Datenbasis zur Ableitung von Versorgungsempfehlungen deutlich geringer, so dass Dosis-Wirkungsstudien meist die Grundlage der Bedarfsableitung sind. Es gibt jedoch auch Bemühungen, die Bedarfsableitung für Spurenelemente und Vitamine faktoriell vorzunehmen, wie in Tab. 3 exemplarisch für das Spurenelement Zink (NRC 2001) und in Tab. 4 für Vitamin A (GfE, 2001) gezeigt wird. Demgegenüber erfolgt im NRC (2001) die Angabe der Versorgungsempfehlungen für Vitamin A ausschließlich in Abhängigkeit von der Lebendmasse (Tab. 4).

Voraussetzung für die faktorielle Ableitung des Spurenelement- und Vitaminbedarfes ist die Verbesserung der Datenbasis. Die Schwankungen der Werte aus verschiedenen Messreihen (s. Zn-Gehalt in Milch bzw. in Lebendmassezunahme, Tab. 3) schlagen sich in den Ableitungen nicht nieder, so dass die verwendeten Mittelwerte eine Vereinfachung darstellen.

Tab. 2. Grundlagen zur faktoriellen Ableitung der Empfehlungen zur Energieversorgung von Milchkühen nach GfE (2001) und NRC (2001)  
*Basics for the factorial deduction of recommendations on the energy supply of dairy cows (after GfE 2001 and NRC 2001)*

Faktoren	GfE (2001)	NRC (2001)
Erhaltung (MJ NEL/kg LM <sup>0,75</sup> und Tag)	0,293	Fleischrinder
		0,272
		Milchrinder
		0,335
Laktation (MJ/l Milch)	3,17 <sup>1)</sup>	3,14 <sup>1)</sup>
Trächtigkeit (MJ NEL/Tag)	13	10,5 <sup>2)</sup>
	(6.-4. Woche vor Kalben)	(5. Woche vor Kalben)
	18	13,8 <sup>2)</sup>
	(3. Woche bis zum Kalben)	(2. Woche vor Kalben)

<sup>1)</sup>Bei 4% Fett, 12,8% T in der Milch

<sup>2)</sup>Bei einem angenommenen Geburtsgewicht des Kalbes von 40 kg

Tab. 3. Faktorieller Ansatz zur Ableitung des Spurenelementbedarfes am Beispiel Zink (Zn) nach NRC (2001) für die Milchkuh  
*Factorial approach for the deduction of minor element requirements using the example of zinc after NRC (2001) for the dairy cow*

Endogene Zn-Verluste im Kot	0,033 mg/kg LM
Endogene Zn-Verluste im Harn	<u>0,012 mg/kg LM</u>
Erhaltung	0,045 mg/kg LM
Trächtigkeit (190. Tag bis Geburt)	12 mg/Tag
Zn-Gehalt der Milch	4 mg/kg (3,4 – 5,8 mg)
Zn-Menge je kg Lebendmassezunahme	24 mg/kg (16 – 31 mg)
Nettobedarf (650 kg LM, 40 kg Milch/Tag)	190 mg/Tag
Absorption	15%
Bruttobedarf (mg/Tag)	1260
(mg/kg T bei 20 kg T/Tag)	63
Empfehlungen anderer Gesellschaften (mg/kg T)	
ARC (1980)	47
NRC (1989)	40
GfE (2001)	50

Ähnlich problematisch ist die Extrapolation bestimmter Grunddaten von einer Tierart zur anderen. Infolge fehlender Daten erfolgte im NRC (2001) eine Extrapolation des Er-

Tab. 4. Vorgehen bei der Ableitung von Vitamin A – Versorgungsempfehlungen für Milchkühe  
*Procedure to deduce the recommendations on the vitamin A supply for dairy cows*

GfE (2001):	Erhaltung:	≈ 60 IE/kg LM		
		≈ 40.000 IE/Tier und Tag bei 650 kg LM		
	Leistung:	Gehalt je kg Milch	≈ 1.000 IE	
		Verwertung	≈ 70%	
		Bedarf je kg Milch	≈ 1.500 IE	
	Versorgungsempfehlungen:			
		20 kg Milch/Tag:	≈ 70.000 IE/Tag	
	40 kg Milch/Tag:	≈ 100.000 IE/Tag		
NRC (2001):	Empfehlung:	110 IE/kg LM und Tag für Laktation und Trockensteher		
		450 kg LM:	49.500 IE/Tier und Tag	
		680 kg LM:	75.000 IE/Tier und Tag,	
		unabhängig von Leistungshöhe und Laktationsstadium		

Tab. 5. Energiequellen für die Hochleistungskuh und ausgewählte Einflussfaktoren auf die Energiebereitstellung  
*Energy sources for high yielding cows and selected influencing factors on energy supply*

Hohe Energieaufnahme durch Verzehr großer Mengen an energiereichen Mischungen	Energiemobilisation aus den Körperreserven
---	--

#### Einflussfaktoren/Konsequenzen

Erhöhte Passagerate im Pansen, Rückgang der Verdaulichkeit (teilweise Kompensation durch höheren Kraftfutteranteil), teilweise Verlagerung verschiedener Verdauungsprozesse aus dem Pansen in Dün- und Dickdarm	Ausmaß der Energiemobilisation hängt vom Energiedefizit, von der realisierten Höhe der Futteraufnahme, vom Ernährungszustand bzw. von der Leistungshöhe ab
Spezifische Einflüsse verschiedener Futtermittel (z.B. Gräser, Leguminosen)	Geringere Effizienz der Futterenergie ( $k_p$ bzw. $k_f = 0,35$ bzw. $0,64$ für Ansatz) (GfE, 2001)
Geringere Methanverluste im Pansen bei erhöhter Passagerate, geringere Harnenergieverluste	Stoffwechselstörungen möglich (z.B. Ketose)

haltungsbedarfes verschiedener B-Vitamine von der laktierenden Sau auf die Milchkuh. Im Ergebnis dieser Extrapolation wurden für verschiedene B-Vitamine (z.B. Folsäure, Pantothensäure) Bedarfswerte abgeleitet, die durch die Anflutung der Vitamine im Dünndarm im Ergebnis des By-Passes aus dem Futter und der mikrobiellen Synthese der jeweiligen Vitamine im Pansen lediglich zu ≈ 30-50% abgedeckt werden können (NRC, 2001; RAGALLER, 2009). Die Supplementation der Mischungen mit entsprechenden B-Vitaminen, auch in pansenstabiler Form, führte nicht immer zu wesentlichen Veränderungen physiologischer Parameter bzw. der Leistungen der Tiere (SACADURA et al., 2008), so dass dieser Weg der Bedarfsableitung kritisch zu hinterfragen ist.

### 3 Energieversorgung der Hochleistungskuh

Die Milchkuh kann den Energiebedarf über das aufgenommene Futter und durch Mobilisation von Körperreserven decken (Tab. 5). Die Futter- bzw. Energieaufnahme bei der Hochleistungskuh ist häufig nicht so hoch, wie es aus Sicht der Leistungshöhe erforderlich wäre, so dass bei diesen Tieren bzw. in diesen Laktationsphasen der Mobilisation von Körperreserven besondere Bedeutung zukommt. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die Mobilisation von Körpersubstanz beim Säuger ein völlig physiologischer Prozess ist (MOE et al., 1972). Entscheidend für das Wohlbefinden der Tiere sind allerdings das Ausmaß der Mobilisation und die daraus resultierende Stoffwechselbelastung (KASKE et al., 2005).

Zunächst soll der Einfluss der Höhe der Futter- bzw. Energieaufnahme auf die Deckung des Energiebedarfes analysiert werden. Nach GfE (2001) wird bei ansteigender Milchleistung ein linear ansteigender Energiebedarf unterstellt (Tab. 6). Der Mehrbedarf kann partiell über höhere T-Aufnahme und energiereichere Rationen gedeckt werden, wobei dem ansteigenden Futterverzehr (Tab. 6) die größere Bedeutung zukommt.

Mit zunehmendem Futterverzehr nimmt die Geschwindigkeit der Passage durch den Vormagen bzw. den gesamten Verdauungstrakt zu (Tab. 6), so dass mit einem Rückgang der Verdaulichkeit der Nährstoffe bzw. der Energie zu rechnen ist. In älteren Studien wird der Rückgang des Gehaltes an verdaulicher Energie (DE) je Einheit höheres Ernährungsniveau (EN) in Abhängigkeit von Rationsgestaltung, Tierart bzw. Altersgruppe zwischen 1,2 und 5,0% angegeben (Tab. 7). Dieser Rückgang kann durch geringere Methan- und Harnenergieverluste teilweise kompensiert werden (Tab. 7), so dass die Änderung des Gehaltes an umsetzbarer Energie (ME) je EN zwischen + 1.1 und -3.5% variiert.

Die GfE (2001) berücksichtigt einen mittleren Rückgang des ME-Gehaltes von 0,8% je EN, was zu einem mittleren Zuschlag von 0,1 MJ NEL/kg Milch führt (Tab. 8).

Aus diesen Zusammenhängen resultiert die Frage, ob die Korrekturen, die im Wesentlichen auf einer älteren Datenbasis beruhen (s. Tab. 7), auch bei sehr hohen Leistungen

Tab. 6. Einfluss der Milchleistung (kg/Tier und Tag; 650 kg LM der Kuh) auf die erforderliche T-Aufnahme (kg/Tier und Tag in Abhängigkeit von der Energiekonzentration der Ration) sowie die Passagerate des Futters (%/h)  
*Effect of milk yield (kg/cow and day; 650 kg LW of the cow) on the DM-intake needed (kg/cow and day in dependence on the energy concentration of the ration) as well as the passage rate of the digesta (%/h)*

Milch <sup>1)</sup> (kg/Tag)	Energiebedarf (MJ NEL/Tag)	Erforderliche T-Aufnahme (kg/Tag bei MJ NEL je kg T)			Passagerate <sup>3)</sup> (%/h)
		6,8	7,2	7,6 <sup>2)</sup>	
30	137	20,1	19,0	18,0	7
40	170	25,0	23,6	22,4	9,5
50	203	29,8	28,2	26,7	12
60	236	34,7	32,8	31,1	14

<sup>1)</sup>Milch mit 4% Fett und 3,4% Protein, Bedarf: 3,3 MJ NEL/kg Milch

<sup>2)</sup>in praxisnahen Rationen sind derartige NEL-Konzentrationen kaum realisierbar

<sup>3)</sup>bezogen auf die T-Aufnahme bei 7,2 MJ NEL/kg T

Tab. 7. Angaben zum Rückgang der Verdaulichkeit der Energie je EN sowie zur Kompensation der Depression durch verminderte Energieverluste durch Methan und Harn bei Milchkühen nach verschiedenen Autoren

*Data on the depression of energy digestibility per feeding level as well as on the compensation of the depression by reduced methane and urine energy losses in dairy cows after different authors*

Autor	Rückgang des DE-Gehaltes je EN <sup>2)</sup> (in %)	Kompensation des Rückganges durch geringere Methan- und Harnenergieverluste (in % je EN)
FLATT et al. (1969) <sup>1)</sup>	1,2	2,3
MOE et al. (1966) <sup>1)</sup>	2,6	2,1
SCHIEMANN et al. (1970)	2,5	2,3
SCHIEMANN et al. (1971)	3,0	2,1
Tyrrell and Moe (1972)		
(30% Kraftfutter)	3,0	1,1
(60% Kraftfutter)	3,7	0,3
TYRRELL and MOE (1974)		
(40% T Maissilage,	5,0	1,5
60% T Kraftfutter: Mais, Gerste)	3,7	3,9

<sup>1)</sup> gleiches Versuchsmaterial von verschiedenen Autoren ausgewertet

<sup>2)</sup> 1 EN= Energieerhaltungsbedarf

und veränderter Rationsgestaltung (erhöhter Kraftfuttereinsatz) noch zutreffen oder ob andere Korrekturen erforderlich sind.

Die zweite Energiequelle der Hochleistungskuh ist die Mobilisation von Körpersubstanz (Tab. 5). Die dabei bereitgestellte Energie hängt vom Ausmaß der Mobilisation und der Zusammensetzung der mobilisierten Körpersubstanz ab (Tab. 9). Je fett- bzw. energiereicher die Körperdepots sind, umso höher ist die Energielieferung je kg Substanzabbau. Andererseits ist bei zu fetten Tieren infolge der relativ geringeren Futterraufnahme auch mit einer erhöhten Mobilisation von Körpersubstanz und damit einer verstärkten Neigung zu Stoffwechselstörungen zu rechnen (REHAGE, 2002, REHAGE und KASKE, 2004).

Die aufgeführten Zusammenhänge wie z.B.:

- Variation im Anstieg der Futterraufnahme,
  - Schwankungen in der Höhe der Verdauungsdepression bzw. Ausmaß ihrer Kompensation durch verminderte Methan- und Harnenergieverluste sowie
  - Unterschiede in der Körperzusammensetzung und im Ausmaß der Mobilisierung von Körpersubstanz zur Energiegewinnung in der Hochleistungsphase
- erschweren die Ableitung von Versorgungsempfehlungen und beschreiben wesentliche Unterschiede für die Schwankungen zwischen den Tieren. Unter Berücksichtigung dieser Situation erscheint es kaum möglich, exakte Vorhersagen für das Einzeltier vornehmen zu können.

Tab. 8. Kalkulation der „Energiezuschläge“ je kg Milch bei höheren Milchleistungen infolge geringerer Verdaulichkeit bei steigendem Ernährungsniveau (GfE 2001)  
*Calculation of the additional energy per kg milk at higher milk yields because of reduced digestibility at increased feeding level (GfE 2001)*

Unterstellungen				
Milchenergie (MJ/kg Milch; 4% Fett):				3,2
Lebendmasse (kg/Kuh):				650
Erhaltungsbedarf (MJ NEL/Tier und Tag; EN=1):				37,7
Rückgang des ME-Gehaltes je EN (%):				0,8
Milchleistung (kg/Tier und Tag mit 4% Fett)	20	30	40	50
Milchenergie (MJ/Tag)	64,0	96,0	128,0	160,0
Erhaltung + Milch-Energie (MJ/Tag)	101,7	133,7	165,7	197,7
EN	2,64	3,47	4,29	5,11
(EN-1) x 0,8 (%)	1,31	1,98	2,63	3,29
(EN-1) x 0,8 x <u>(Erhaltung + Milch-Energie)</u>				
	100			
„Resteffekt“ MJ NEL/Tag	1,33	2,65	4,36	6,50
„Resteffekt“ MJ NEL/kg Milch	0,066	0,088	0,109	0,130

Die GfE (2001) nahm einen Zuschlag von 0,1 MJ NEL/kg Milch vor.

Tab. 9. Body Condition Score (BCS), Körperzusammensetzung von Milchkühen und Energiegewinn je kg Körpersubstanzabbau (nach NRC 2001)  
*Body condition score (BCS), body composition of dairy cows and energy gain per kg degradation of body substance*

BCS	Zusammensetzung je kg Körperleermasse			Energiegewinn für Milchbildung je kg Lebendmasse (MJ)
	Fett (g)	Protein (g)	Energie (MJ)	
1	38	194	21,5	(14,4)
2	113	181	26,8	16,0
3	188	168	31,8	19,6
4	264	154	37,1	23,3
5	339	141	(40,1)	26,9

Bemerkenswerte Versuchsergebnisse wurden kürzlich durch eine Arbeitsgruppe aus Arizona mitgeteilt (s. Abb. 1), die die Vorhersagen zu der zu erwartenden Milchleistung weiter komplizieren. Milchkühe wurden unter tropischen Bedingungen (Hitzestress) gehalten. Eine Vergleichsgruppe erhielt unter thermo-neutralen Bedingungen gleiche Futtermengen (pair feeding), wie sie die Versuchskühe bekamen (linkes Bild in Abb. 1). Obwohl die Futter- bzw. Energieaufnahme etwa gleiche Milchleistungen erwarten ließ, fiel bei den „Hitzestress-Kühen“ die tägliche Milchleistung von  $\approx 43$  auf  $< 30$  kg/Tag ab, wäh-



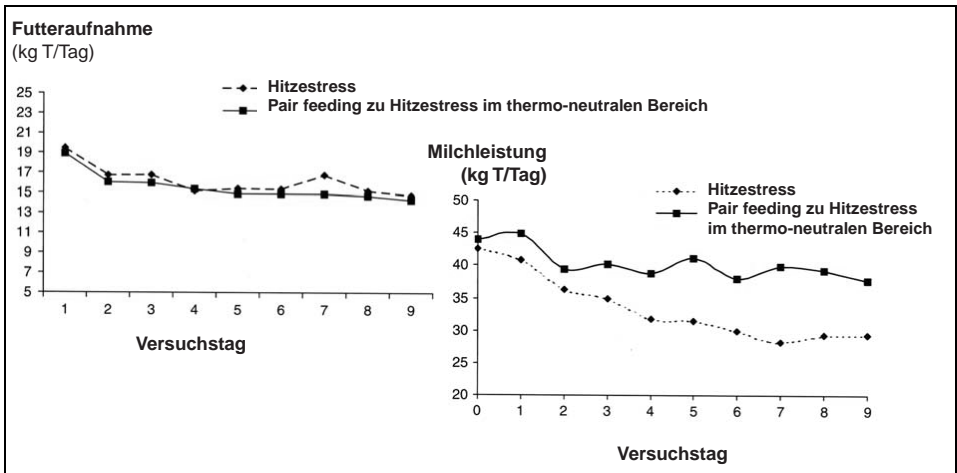


Abb. 1. Effekt von Hitzestress (Rektaltemp.: 40,6°C) und Pair feeding im thermo-neutralen Bereich auf die Milchleistung von Holstein-Kühen (RHOADS et al., 2007, Schwartz et al. 2008, WHEELLOCK et al., 2006)

*Effect of heat-stress (rectal temp.: 40,6°C) and pair feeding at the thermoneutral zone on the milk yield of Holstein cows (RHOADS et al., 2007, SHWARTZ et al., 2008, WHEELOCK et al., 2006)*

rend bei den Vergleichstieren noch annähernd 40 kg/Tier und Tag ermolken wurden (s. rechtes Bild in Abb. 1). Nach diesen Ergebnissen scheint das „Herunterkühlen“ des Körpers ähnlich energieaufwändig zu sein wie der erhöhte Energiebedarf für die Haltung der Tiere bei niedrigen Temperaturen. Die Umwelt- und Haltungsbedingungen sollten demnach bei der Ableitung von Versorgungsempfehlungen nicht unberücksichtigt bleiben (CALMARI und BERTONI, 2009) bzw. die Empfehlungen für unterschiedliche Haltungsbedingungen sind weiter zu präzisieren.

GRUBER et al. (2007) kamen in Auswertung von verschiedenen Fütterungsversuchen mit Hochleistungskühen u.a. zu folgenden Einschätzungen bezüglich der energetischen Futterbewertung:

- Der Energieerhaltungsbedarf ist höher als gegenwärtig festgelegt (0,30 – 0,40 MJ NEL (s. Tab. 2) bzw. 0,6 – 0,66 MJ ME/kg LM<sup>0,75</sup> und Tag).
- Die Verwertung der ME für Milchproduktion in den ersten Laktationsmonaten ist höher ( $k_1 = 0,64 - 0,71$ ) als gegenwärtig unterstellt ( $k_1 = 0,6$ ; Korrektur in Abhängigkeit von  $q$ ).

Diese Einschätzungen haben ihre Ursache vermutlich in dem hohen Energiemobilisationsvermögen der Tiere in den ersten Laktationsmonaten. In dieser Phase stammt mehr Energie aus den Körperreserven, so dass der Energiebedarf je kg erzeugte Milch anscheinend geringer bzw. die Verwertung der Futterenergie höher ist als aus der Futter- bzw. Energieaufnahme berechnet wurde. Der Energieerhaltungsbedarf, der bei hohen Leistungen (z.B. >50 kg Milch/Tag) weniger als 20% des Gesamtenergiebedarfes ausmacht, sollte unter diesen Bedingungen weiter präzisiert werden. Eine Verdoppelung des Energieerhaltungsbedarfes von 0,3 (Tab. 2) auf 0,6 MJNEL/kg LM<sup>0,75</sup> und Tag und eine Erhöhung der Verwertung der ME von  $k_1$  von 0,6 auf 0,7 lässt ab einer Laktationsleistung von 50 kg Milch/Tag keine wesentlichen Auswirkungen auf den Gesamtenergiebedarf des Tieres erwarten – bei einer Milchleistung von 20 oder 30 kg/Tag läge der Bedarf dagegen um etwa 25 bzw. 15% höher.

Unter Berücksichtigung der aufgelisteten Zusammenhänge stellt die Ableitung von Empfehlungen zur Energieversorgung für Hochleistungskühe eine echte Herausforderung für die Tierernährer dar. Dabei muss es gelingen, dass die Umsetzungen im Verdauungstrakt mit denen im Stoffwechsel kombiniert werden und dass dynamischere Betrachtungen in die Bedarfsableitung einfließen.

#### 4 Versorgung mit Nährstoffen

Diese Thematik soll am Beispiel der Protein-/Aminosäurenversorgung dargestellt werden. Auf ausgewählte Spurennährstoffe wurde bereits in den Tab. 3 und 4 eingegangen.

Der Protein-/Aminosäurenbedarf für Kühe wird in Deutschland in nutzbarem Rohprotein (nXP) angegeben, obwohl genau genommen die Wiederkäuer ebenso wie die Monogastrier einen Bedarf an Aminosäuren haben. Im Gegensatz dazu erfolgt in Frankreich bereits seit 1998 (RULQUIN et al., 1998) die Bedarfsberechnung auf der Basis von „wahr verdaulichen Aminosäuren im Dünndarm (AADI)“. Bisher wird jedoch seitens der GfE noch davon ausgegangen, dass aufgrund bestehender Unsicherheiten, Kenntnislücken und Wechselwirkungen im Pansen und N-Stoffwechsel die Berücksichtigung von Mengen, Absorbierbarkeit und Verwertung einzelner Aminosäuren bei der Proteinbewertung gegenüber der bisherigen empirisch abgeleiteten Vorgehensweise keine entscheidenden Vorteile bringt (FLACHOWSKY et al., 2004). Im Einzelnen sind hier an Unsicherheiten insbesondere folgende Punkte zu nennen:

Nettobedarf: Das Aminosäurenmuster der endogenen Sekrete sowie der im Fötus angesetzten Aminosäuren sind unsicher.

Tab. 10. Effizienz der AS-Verwertung für die Milchbildung nach Abzug des Bedarfs für die Erhaltung von der gesamten AS-Versorgung (DOEPEL et al., 2004)  
*Efficiencies of utilization of amino acids for lactation after discounting the maintenance requirements from total amino acid supply (DOEPEL et al., 2004)*

AS	Lineares Modell* (fixed)	Effizienz der AS-Verwertung für die Milchbildung				CNPS <sup>1)</sup> * (2000) (fixed)
		Logistisches Modell*				
		% der optimalen Versorgung				
		50%	75%	100%	125%	
Arg	0,59	0,71	0,57	0,49	0,44	0,35
His	0,95	1,09	0,88	0,76	0,68	0,96
Ile	0,74	0,86	0,72	0,65	0,58	0,66
Leu	0,70	0,83	0,70	0,61	0,55	0,72
Lys	0,77	0,90	0,76	0,68	0,60	0,82
Met	0,80	0,89	0,75	0,66	0,59	1,00
Phe	0,64	0,75	0,61	0,53	0,48	0,98
Thr	0,69	0,82	0,67	0,60	0,55	0,78
Val	0,76	0,86	0,71	0,62	0,56	0,62

\*Definitionen s. DOEPEL et al., 2004;

<sup>1)</sup>CNPS=Cornell net protein system

*Unabgebautes Futterprotein (UDP):* Der Proteinabbau wird durch viele futtermittelspezifische Faktoren, aber vor allem auch durch die Passagerate durch den Pansen, die Zusammensetzung der ruminalen Mikrobenfraktion, die Pansenverhältnisse und andere Faktoren beeinflusst. Unklar ist, wie sich dies auf die Menge und das Aminosäurenmuster des UDP auswirkt.

*Mikrobenprotein:* Die mikrobielle Proteinsynthese wird durch eine Vielzahl von Faktoren, die zum Teil noch weitgehend unklar sind und untereinander in Wechselbeziehung stehen, in beträchtlichem Maße beeinflusst. Je nach Gewinnung der Mikrobenfraktion und der Zusammensetzung der Population sind zudem beachtliche Unterschiede im Aminosäurenmuster der Mikroben möglich.

*Aminosäurenabsorption:* Es bestehen Unklarheiten bezüglich der Wechselwirkungen zwischen dem Umfang der Absorption, der Passagerate und der Wirkung anderer Stoffe im Darmchymus sowie des Abbaus von Aminosäuren im Darmepithel.

*Aminosäurenverwertung:* Die Angaben zur Verwertung der einzelnen absorbierten Aminosäuren für die verschiedenen Leistungen differieren z. T. beträchtlich in Abhängigkeit von Versorgungsstatus, metabolischem Status der Tiere, Aminosäurenmuster des nXP und der Energieversorgung der Tiere (Tab. 10). Allein der Anteil der glucoplastischen Aminosäuren an der Gluconeogenese, die bei einer Milchkuh mit 50 kg Milch gut 3,0 kg/Tag betragen kann, beläuft sich nach PIATKOWSKI et al. (1990) und DANFAER (1999) auf bis zu 25%.

*Passagerate der Digesta durch den Pansen:* Obwohl diese vor allem durch die Höhe der Futteraufnahme bestimmte Größe fast alle Vorgänge im Pansen maßgeblich beeinflusst, fehlen hierfür bisher exakte Angaben für die einzelnen Futtermittel bzw. Futtermittelbestandteile weitgehend.

Obwohl die Notwendigkeit, künftige Bewertungen der Proteinversorgung von Milchkuhen auf der Aminosäurenebene vorzunehmen, grundsätzlich zu unterstreichen ist, so sind zuvor weitere Untersuchungen zur Klärung der oben genannten Fragen unerlässlich.

## 5 Schlussfolgerungen

Aus den dargestellten Zusammenhängen können folgende Schlussfolgerungen für die Energie- und Nährstoffbedarfsableitung bei Hochleistungskühen abgeleitet werden:

- Hochleistungskühe verzehren mehr und energiereicheres Futter als Tiere mit niedrigeren Leistungen.
- Die höhere Futteraufnahme hat eine erhöhte Passagerate und eine verminderte Verdaulichkeit verschiedener Nährstoffe im Pansen zur Folge.
- Verminderte Gärgas- und Harnenergieverluste bei höherer Futteraufnahme sowie eine teilweise Verlagerung der Verdauung in den Dünndarm kompensieren die geringere Verdaulichkeit in gewissem Umfang.
- Die GfE (2001) kalkuliert Energiezuschläge je kg Milch bei höheren Milchleistungen auf der Basis des Rückganges des Energiegehaltes je EN von 0,1 MJNEL/kg Milch.
- Katabole Prozesse bei der Hochleistungskuh, starke individuelle Schwankungen und externe Einflüsse erschweren exakte Angaben.
- Die Ableitung von Versorgungsempfehlungen auf Aminosäuren-Basis bereitet erhebliche Schwierigkeiten, da in Abhängigkeit von der Energieversorgung eine nicht bekannte Menge an Aminosäuren zur Gluconeogenese verwendet wird.
- Die Kenntnisse zur Ableitung des Bedarfes an Mengen- und Spurenelementen sowie Vitaminen sind zu verbessern – im Vergleich zur Energie- und Protein-/Aminosäurenbedarfsableitung haben sie jedoch eine niedrigere Priorität.

- Komplexe Stoffwechselstudien mit Hochleistungskühen erscheinen trotz der hohen Aufwendungen zur Überprüfung verschiedener Unterstellungen erforderlich; sie stellen eine große Herausforderung für die Tierernährer dar.

## Literatur

- ARC, (1980): The nutrient requirements for ruminant livestock. Techn. Rev., Farnham Royal U.K. Commonw. Agr. Res. Bur.
- CALMARI, L. and G. BERTONI, (2009): Model to evaluate welfare in dairy cow farms. *Ital. J. Anim. Sci.* **8**(Suppl. 1), 301-323.
- CNPS, (2000): The Cornell University Nutrient Management Planning System. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CN-CPS version 4.0. November 3<sup>rd</sup> 2000. Model Documentation.
- DANFAER, A., (1999): Nutrient flow across the liver in dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **8**, 13-25.
- DOEPEL, L., D. PACHECO, J.J. KENNELLY, M.D. HANIGAN, I.F. LÓPEZ and H. LAPIERRE, (2004): Milk protein synthesis as a function of amino acid supply. *J. Dairy Sci.* **87**, 1279-1297.
- FLACHOWSKY, G., P. LEBZIEN and U. MEYER, (2002): Vorteile und Grenzen hoher Milchleistungen aus der Sicht der Tierernährung. *Züchtungskunde* **74**, 85-103.
- FLACHOWSKY, G. and H. MARTENS, (2006): Ableitung von Empfehlungen zur Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere mit Energie und Nährstoffen. *Tierärztl. Praxis* **34**, 197-200.
- FLACHOWSKY, G., U. MEYER and P. LEBZIEN, (2004): Zur Fütterung von Hochleistungskühen. Übers. *Tierern.* **32**, 103-147.
- FLATT, W.P., P.W. MOE, L.A. MOORE and P.J. VAN SOEST, (1969): Estimation and prediction of the energy value of feeds for ruminants. *Proc. 4<sup>th</sup> Symp. On Energy Met.*, Oriel Press Ltd., Newcastle, Europ. Ass. Anim. Prod. Publ. **12**, 59-65.
- GfE, (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt, 135.
- GRUBER, L., A. SUSENBETH, F.J. SCHWARZ, B. FISCHER, H. SPIEKERS, H. STEINGASS, U. MEYER, A. CHASSOT, T. JILG and A. OBERMAIER, (2007): Bewertung des NEL-Systems und Schätzung des Energiebedarfs von Milchkühen auf der Basis eines umfangreichen Datenmaterials aus Fütterungsversuchen in Deutschland, Österreich und der Schweiz. **119**. VDLUFA-Schriftenreihe **63**, Kongressband 2007, 479-502.
- KAMPHUES, J., R. BÖHM, G. FLACHOWSKY, M. LAHRSEN-WIEDERHOLT, U. MEYER und H. SCHENKEL, 2007: Empfehlungen zur Beurteilung der hygienischen Qualität von Tränkwasser für Lebensmittel liefernde Tiere unter Berücksichtigung der gegebenen rechtlichen Rahmenbedingungen. *Landbauforschung Völkenrode* **57**, (3), 255-272.
- KASKE, M., K. HORSTMANN, S. SEGGEWISS, G. FLACHOWSKY and U. MEYER, (2005): Die Futtermittelaufnahme der „Transition cow“: Schlüssel für die Tiergesundheit? *Landbauforschung Völkenrode*, Sdh. **299**, 29-42.
- MOE, P.W., W.P. FLATT and H.F. TYRRELL, (1972): Net energy value of feeds for lactation. *J. Dairy Sci.* **55**, 945-958.
- MOE, P.W., W.P. FLATT and L.A. MOORE, (1966): Effect of level of feed intake on energy losses by dairy cattle. *USDA, ARS, Ann. Meet. American Dairy Sci. Ass.*, Corvallis, Oregon, 4, 1.
- NRC, (1989): Nutrient requirements for dairy cattle, 6<sup>th</sup> rev. ed., Nat. Acad. Press, Washington D.C.
- NRC, (2001): Nutrient requirements for dairy cattle. 7<sup>th</sup> rev. ed., Nat. Acad. Press, Washington D.C., 381 p.
- PIATKOWSKI, B., H. GÜRTLER and J. VOIGT, (1990): Grundzüge der Wiederkäuerernährung. Gustav-Fischer-Verlag Jena, 236 pp.

- RAGALLER, V., (2009): Effects of folic acid and pantothenic acid supplementation to two rations on rumen fermentation, duodenal nutrient flow and serum and milk variables of dairy cows. Diss. Univ. Bonn.
- REHAGE, J., (2002): Steigende Leistungsanforderungen an Milchkühe – Bleibt die Tiergesundheit auf der Strecke? *Landbauforschung Völkenrode*. Sdh. **242**, 53-58.
- REHAGE, J. and M. KASKE, (2004): Interactions between milk yield and production diseases in dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **13**, 177-182.
- RHOADS, M.L., R.P. RHOADS, S.R. SANDERS, S.H. CAROLL, W.J. WEBER, B.A. CROOKER, R.J. COLLIER, M.J. VANBAALE and L.H. BAUMGARD, (2007): Effects of heat stress on production, lipid metabolism and somatotropin variables in lactating cows. *J. Dairy Sci.* **90**, 230.
- RULQUIN, H., J. GUINARD and R. VÉRITÉ, (1998): Variation of amino acid content in the small intestine digesta of cattle: development of a prediction model. *Livest. Prod. Sci.* **53**, 1-13.
- SACADURA, F.C., P.H. ROBINSON, E. EVANS and M. LORDELO, (2008): Effects of a ruminally protected B-vitamin supplement on milk yield and composition of lactating dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* **144**, 111-124.
- SCHIEMANN, R., W. JENTSCH, L. HOFFMANN and H. WITTENBURG, (1970): Die Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion. 1. Mitt.: Untersuchungen an Tieren mit unterschiedlichem Leistungspotential. *Arch. Tierern.* **20**, 227-251.
- SCHIEMANN, W., W. JENTSCH and H. WITTENBURG, (1971): Zur Abhängigkeit der Verdaulichkeit der Energie und der Nährstoffe von der Höhe der Futteraufnahme und der Rationszusammensetzung. *Arch. Tierern.* **21**, 223-240.
- SHWARTZ, G., J.B. WHEELOCK, L.L. HERNANDEZ, M.D. O'BRIEN, K.A. DAWSON, M.J. VANBAALE, R.P. RHOADS and L.H. BAUMGARD, (2008): The effects of supplementing a dietary novel yeast culture on body temperature indices, production and metabolism in heat-stressed lactating cows. *J. Dairy Sci.* **92**, E-Supplement 1, 134.
- WHEELOCK, J.B., S.R. SANDERS, G. SHWARTZ, L.L. HERNANDEZ, S.H. BAKER, J.W. MCFADDEN, L.J. ODENS, R. BURGOS, S.R. HARTMAN, R.M. JOHNSON, B.E. JONES, R.J. COLLIER, R.P. RHOADS, M.J. VANBAALE and L.H. BAUMGARD, (2006): Effects of heat stress and rbST on production parameters and glucose homeostasis. *J. Dairy Sci.* **89**, 290-291.
- TYRRELL, M.F. and P.W. MOE, (1974): Net energy value for lactation of a high and low concentrate ration containing corn silage. *J. Dairy Sci.* **55**, 1106-1112.