

Bewertung des NEL-Systems und Schätzung des Energiebedarfs von Milchkühen auf der Basis von umfangreichen Fütterungsversuchen in Deutschland, Österreich und der Schweiz

L. Gruber, A. Susenbeth, F.J. Schwarz, B. Fischer, H. Spiekers, H. Steingäß, U. Meyer, A. Chassot, T. Jilg und A. Obermaier (Irdning, Kiel, Freising, Iden, Poing, Hohenheim, Braunschweig, Posieux, Aulendorf, Poing)

1 Einleitung und Literatur

Der Erhaltungsbedarf an Energie wird in den derzeit angewendeten Energiesystemen der verschiedenen Länder für Milchkühe (Tabelle 1) mit 0,289 bis 0,349 MJ NEL (Nettoenergie Laktation) pro kg LM^{0,75} (metabolische Lebendmasse) angegeben, im Mittel 0,310 MJ NEL (ARC 1980, AFRC 1993, INRA 1989 und 2007, SCA 1990, GfE 2001, NRC 2001). Ausgedrückt in umsetzbarer Energie (ME) beträgt der Mittelwert 0,507 MJ ME pro kg LM^{0,75}, mit einem Minimum von 0,476 und einem Maximum von 0,558 MJ ME pro kg LM^{0,75}. Die Ermittlung des Erhaltungsbedarfs erfolgte in UK (ARC 1980, AFRC 1993) sowie in Australien (SCA 1990) auf der Basis des Grundumsatzes, in den übrigen Ländern dagegen nach der Regressionsmethode, d.h. Fütterung auf verschiedenen Energieniveaus und Extrapolation auf eine Energiebilanz von Null. Die in den Systemen zu Grunde liegenden Formeln sind in Tabelle 2 angeführt, die Berechnungsgrundlagen (Lebendmasse, Milchleistung, Energiekonzentration etc.) in Tabelle 1.

Die Umwandlung der ME in Milchennergie (LE), d.h. deren Verwertung (k_l) für die Milchsynthese ($k_l = LE/ME$), ist von der Umsetzbarkeit (q) der Energie abhängig ($q = ME/GE$), wobei die Beziehungen zwischen q und k_l zwischen den Systemen leicht unterschiedlich sind (Tabelle 2). Bei $q = 0,57$ (entspricht etwa 10,5 MJ ME; bei einem Gehalt an Bruttoenergie (GE) von 18,4 MJ) ergibt sich ein durchschnittlicher k_l -Wert über alle Energiesysteme von 0,609; mit einem Minimum von 0,600 (GfE 2001, INRA 1989 und 2007) und einem Maximum von 0,627 (NRC 2001). Für einen Leistungsbereich von 10 – 50 kg Milch wurde nach GfE (2001) eine Energiekonzentration von 9,60 – 12,12 MJ ME bzw. eine Umsetzbarkeit von $q = 0,522 - 0,658$ unterstellt (Tabelle 1). Daraus wurde für die verschiedenen Systeme im Durchschnitt ein k_l -Wert von 0,608 errechnet, mit Extremwerten von 0,588 – 0,631.

Aus Abbildung 1 geht klar hervor, dass zwischen dem Erhaltungsbedarf (NEL_m) und dem Verwertungskoeffizienten für die Milchproduktion (k_l) der einzelnen Energiesysteme eine positive Beziehung besteht ($R^2 = 0,74$), mit

dem Effekt, dass sich der Gesamtenergiebedarf zwischen den Systemen kaum unterscheidet, auch wenn sehr unterschiedliche Milchleistungen von 10, 30 und 50 kg ECM unterstellt werden. Die positive Beziehung zwischen NEL_m und k_1 ergibt sich aus dem für Respirationsversuche üblichen Auswertungsschema (ARC 1980), bei dem die Leistung an LE der aufgenommenen Menge an umsetzbarer Energie (MEI) (auf Basis $LM^{0,75}$) in einem linearen Modell gegenübergestellt wird (bzw. umgekehrt). Bei einer gegebenen Energieaufnahme muss ein hoher Erhaltungsbedarf einem hohen Verwertungskoeffizienten (d.h. niedrigen Leistungsbedarf) entsprechen (und vice versa). Das Intercept ergibt den Erhaltungsbedarf und der Regressionskoeffizient den Verwertungskoeffizienten k_1 (ARC 1980):

$$LE/LM^{0,75} = k_1 \times MEI/LM^{0,75} - a \quad (1)$$

$$MEI/LM^{0,75} = (1/k_1) \times LE/LM^{0,75} + \alpha \quad (2)$$

Neuere Forschungsergebnisse aus Respirationsversuchen in Nordirland zeigen (Agnew & Yan 2000, Agnew et al. 2003), dass der Erhaltungsbedarf von Kühen mit hoher Leistung deutlich höher ist als in den zur Zeit angewendeten Energiesystemen, deren Entwicklung bis zu 40 Jahre zurückliegt (Tabelle 1 und 2). In diesem Zeitraum hat sich die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh bedeutend erhöht. Als Grund für den höheren Erhaltungsbedarf wird angeführt, dass hochleistende Kühe auf Grund intensiver Fettmobilisation einen höheren Proteingehalt in ihrem Körper aufweisen und dass der Anteil innerer Organe für Verdauung und Stoffwechsel ebenfalls höher ist. Der Erhaltungsbedarf ist eher eine Funktion der Proteinmenge im Körper als der Lebendmasse, da die Erhaltung von Protein einen wesentlich höheren Energiebedarf nach sich zieht als die von Fett. Der Erhaltungsbedarf beruht also zu einem großen Teil auf dem Energieaufwand für den Protein-Turnover (Oldham & Emmans 1990). Die höhere Leistung ist mit höherer Futteraufnahme verbunden. Gleichzeitig damit steigt auch der Anteil und die Aktivität der inneren Organe, welche die Verdauung und den Stoffwechsel der hohen Futter- und Nährstoffmengen durchführen, bis hin zum Herz-Kreislauf-System zur Erfüllung des Bluttransportes, um die Nährstoffe an das Euter heranzuführen. Die Leber und weitere innere Organe weisen eine deutlich höhere Wärmeproduktion (= Energiebedarf) auf als das Muskelgewebe (Baldwin et al. 1985, Johnson et al. 1990).

Agnew & Yan (2000) ermittelten den Erhaltungsbedarf ME_m und den Verwertungskoeffizienten k_1 auf Grund einer Datenbasis aus 42 Respirationsversuchen mit Milchkühen (Mittelwerte), die seit 1976 weltweit publiziert wurden. Aus dem Mittel beider Gleichungen ($ME_m = 0,371/0,637 = 0,582$ bzw. $0,664$ lässt sich ein Erhaltungsbedarf von $ME_m = 0,62 \text{ MJ/kg } LM^{0,75}$ und ein Verwertungskoeffizient der ME für Milchproduktion von $k_1 = 0,66$ ableiten. Dieser Erhaltungsbedarf (ME_m) ist um 22 % höher als der sich aus Tabelle 1 ergebende Mittelwert von $0,507 \text{ MJ}$.

Tabelle 1: Literaturübersicht zum Erhaltungsbedarf (NEL_m , ME_m) und zur Verwertung der ME für die Milchproduktion (k_l)

Quelle	NEL_m	Lebendmasse (kg)				k_l	Milchleistung (kg)			Grundlagen zur Kalkulation			
		650	500	650	800		10	30	50	Milch	10	30	50
		$ME_m^{1)}$	NEL_m	NEL_m	NEL_m	bei $q=0,57$	k_l	k_l	k_l	DMI	12,5	20,0	26,0
GfE 2001	0,293	0,488	0,293	0,293	0,293	0,600	0,588	0,607	0,621	MEI	120,0	220,0	315,0
										ME	9,60	11,00	12,12
										q	0,522	0,598	0,658
INRA 1989		0,488	0,296	0,293	0,293	0,600	0,588	0,607	0,621	LM	500	650	800
										UFL	4,40	5,30	6,20
										NEL	31,30	37,70	44,10
										$NEL^{0,75}$	0,296	0,293	0,293
INRA 2007	0,292	0,486	0,292	0,292	0,292	0,600	0,588	0,607	0,621	LM	500	650	800
ARC 1980		0,519	0,327	0,322	0,318	0,620	0,603	0,629	0,650	FH	34,52	41,39	47,80
AFRC 1993										k_m	0,686	0,712	0,733
										k_l	0,603	0,629	0,650
										$NEL^{0,75}$	0,327	0,322	0,318
NRC 2001	0,335	0,534	0,335	0,335	0,335	0,627	0,620	0,631	0,637	ME	2,294	2,629	2,896
										NEL	1,423	1,658	1,846
										k_l	0,620	0,631	0,637
SCA 1990	FN=1	0,476	0,289	0,291	0,292	0,610	0,592	0,620	0,642	LM	500	650	800
	20kgECM	0,558	0,349	0,340	0,334	0,610	0,592	0,620	0,642	FM	35,68	43,43	50,75
										k_m	0,692	0,720	0,742
										k_l	0,592	0,620	0,642
										ME_m	51,55	60,32	68,37
										NEL_m	30,52	37,40	43,92
		¹⁾ $q=0,57$								NEL_{m20}	36,92	43,80	50,32

Tabelle 2: Formeln zur Ableitung des Erhaltungsbedarfs (NEL_m , ME_m) und der Verwertung der ME für Erhaltung (k_m), Milchproduktion (k_l) und Körperansatz ($k_{g(l)}$) sowie Effizienz der Körpermobilisation (k_t) in verschiedenen Energiesystemen

Quelle	Erhaltungsbedarf (MJ)	k für	Verwertung
GfE 2001	$NEL_m = 0,293 \times kg LM^{0,75}$	Erhaltung Milchproduktion Körperansatz Körpermobilisation	$k_m = 0,554 + 0,287 \times q$ $k_l = 0,463 + 0,240 \times q$ $k_{g(l)} = k_l$ $k_t = 0,825$
INRA 1989 INRA 2007	$NEL_m = 1,7 \times 4,184 \times (1,4 + 0,6 \times kg LM / 100)$ $NEL_m = 1,7 \times 4,184 \times 0,041 \times kg LM^{0,75}$	Erhaltung Milchproduktion Erhaltung Milchproduktion	$k_m = 0,554 + 0,287 \times q$ $k_l = 0,463 + 0,240 \times q$ $k_m = 0,554 + 0,287 \times q$ $k_l = 0,463 + 0,240 \times q$
ARC 1980 AFRC 1993	$ME_m = (0,530 \times (kg LM / 1,08)^{0,67} + 0,0043 \times kg LM) / k_m$	Erhaltung Milchproduktion Körperansatz Körpermobilisation	$k_m = 0,503 + 0,350 \times q$ $k_l = 0,420 + 0,350 \times q$ $k_{g(l)} = k_l \times 0,95$ $k_t = 0,84$
NRC 2001	$NEL_m = 0,08 \times 4,184 \times kg LM^{0,75}$	Milchproduktion Körperansatz Körpermobilisation	$k_l = (-0,19 + 0,73 \times ME) / ME$ $k_{g(l)} = 0,75$ $k_t = 0,82$
SCA 1990	$ME_m = 1,4 \times (0,28 \times kg LM^{0,75} \times \exp(-0,03 \times Jahre)) / k_m$	Erhaltung Milchproduktion Körperansatz Körpermobilisation	$k_m = 0,5 + 0,02 \times ME$ $k_l = 0,4 + 0,02 \times ME$ $k_{g(l)} = 0,60$ $k_t = 0,84$

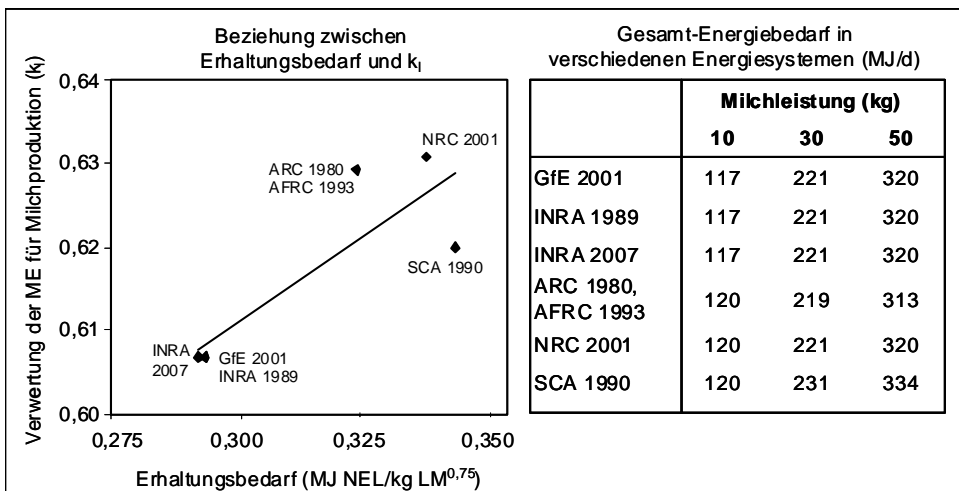


Abbildung 1: Beziehung zwischen Energie-Erhaltungsbedarf (NEL_m) und Verwertung der ME für Milchproduktion (k_l) sowie Gesamtenergie-Bedarf in den verschiedenen Energiesystemen

$$LE_{(0)} = 0,637 \times MEI - 0,371 \quad (R^2 = 0,89) \quad (3)$$

$$MEI = 0,664 \times LM^{0,75} + 1,452 \times LE + 1,079 \times EB \quad (R^2 = 0,92) \quad (4)$$

LE = Milchennergie-Output (MJ/kg LM^{0,75})

EB = Energie-Bilanz (MJ/kg LM^{0,75})

MEI = Energie-Aufnahme (MJ/kg LM^{0,75})

LM^{0,75} = metabolische Lebendmasse (kg)

LE₍₀₎ = LE + EB (wenn EB > 0, d.h. bei positiver Energiebilanz)

LE₍₀₎ = LE - 0,84 × EB (wenn EB < 0, d.h. bei negativer Energiebilanz)

Aus den Gleichungen (3) und (4) lässt sich die Verwertung der ME für die Milchproduktion (k_l) mit 0,637 bzw. $1/1,452 = 0,689$ ableiten. Der Mittelwert beider Auswertungsmethoden von $k_l = 0,66$ ist ebenfalls höher als die in Tabelle 1 angeführten Werte der zur Zeit gültigen Energiesysteme (im Mittel $k_l = 0,617$ bei 30 kg Milch), und zwar um 7 %.

In den Fütterungsnormen Australiens (SCA 1990) wurde daher folgerichtig der Energie-Erhaltungsbedarf an den Leistungsbedarf gekoppelt, indem 10 % der für die Milchleistung erforderlichen ME zusätzlich dem Erhaltungsbedarf (basal metabolic rate) zugerechnet werden. Das neue Fütterungssystem in Großbritannien (FiM 2004, „Feed into Milk“) geht von einem auf Produktionsniveau bestimmten Erhaltungsbedarf aus ($ME_m = 0,647$ MJ ME/kg LM^{0,75}). Mit steigender Energieversorgung wird ein relativ abnehmender Anteil der ME in Richtung Milchennergie umgewandelt (LE korrigiert um Mobilisation bzw. Retention). Daraus ergibt sich eine mit steigender Leistung abnehmende Verwertung der ME für Milchproduktion entsprechend der Mitscherlich-Funktion ($k_l = 0,666, 0,647, 0,631, 0,614, 0,599$ bei einer Energieaufnahme incl. Erhaltung von 0,8, 1,2, 1,6, 2,0, 2,4 MJ ME/kg LM^{0,75}). Neben FiM (2004) haben auch ARC (1980), Menke & Huss (1987) und SCA (1990) darauf hingewiesen, dass die Beziehung zwischen Energieaufnahme und Energie-Output nicht rein linear sondern degressiv kurvilinear verläuft.

2 Material und Methoden

2.1 Datenmaterial

Für die Untersuchungen wurden die Daten aus einer umfangreichen Kooperation von Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz herangezogen ($n = 24,583$), die zur Erarbeitung der Futteraufnahme-Schätzformel von Milchkühen gesammelt wurden (Gruber et al. 2004). Die Daten zeichnen sich durch eine große Streuung in wesentlichen tier- und rationsspezifischen Parametern aus, was durch die einzelnen Produktionsgebiete, Rassen (Holstein Friesian, Brown Swiss, Fleckvieh) und bes. Fragestellungen bei den verschiedenen Versuchen zu erklären ist (Tabelle 3).

Tabelle 3: Beschreibung des Datenmaterials

		Mittel	± s	Min	Max
Futteraufnahme	kg TM	18,5	3,4	6,2	31,0
Energieaufnahme	MJ NEL	121,1	28,2	33,4	212,3
Energieaufnahme	MJ ME/LM ^{0,75}	1,583	0,344	0,437	2,733
Energiebilanz	MJ NEL	0,8	16,5	-113,9	68,0
Kraftfutteranteil	% der TM	32,6	15,1	0,0	80,3
Milchmenge	kg	24,6	7,9	2,5	55,8
Lebendmasse	kg	634	75	398	999
LM-Veränderung	g/Tag	189	492	-1500	1500

Die Futter- und Energieaufnahme betrug im Durchschnitt $18,5 \pm 3,4$ kg TM bzw. $121,1 \pm 28,2$ MJ NEL. Daraus ergibt sich ein Fütterungsniveau von $3,3 \pm 0,7$ (Vielfaches des Erhaltungsbedarfes). Die (errechnete) Energiebilanz war im Durchschnitt mit 0,8 MJ NEL ausgeglichen, wies jedoch eine große Streuung und Extremwerte auf ($\pm 16,5$; -114 – 68 MJ NEL). Der große Bereich an Energieversorgung ist auch an den Werten der Lebendmasse-Veränderung abzulesen. Daten von über 1,500 g bzw. unter -1,500 g wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Weitere Angaben zum Datenmaterial (Futtermittel, Rationen etc.) finden sich bei Gruber et al. (2004).

2.2 Statistische Auswertung

Die Validierung des NEL-Systems erfolgte über eine lineare Regression des errechneten NEL-Bedarfs auf die tatsächliche NEL-Aufnahme. Die Rest-Varianz dieser Beziehung wurde nach Bibby & Toutenburg (1977) in Bias, Regression und Zufall aufgeteilt. Der NEL-Bedarf wurde entsprechend den Vorgaben der GfE (2001) kalkuliert:

$$\text{Erhaltung (MJ NEL/Tag): } 0,293 \times \text{kg LM}^{0,75} \quad (5)$$

$$\text{Milchleistung (MJ NEL/kg): } 0,38 \times \text{Fett\%} + 0,21 \times \text{Protein\%} + 0,95 \quad (6)$$

$$\text{Lebendmasse-Zunahme: } 25,5 \text{ MJ NEL/kg} \quad (7a)$$

$$\text{Lebendmasse-Abnahme: } 25,5 \times 0,825 = 21,0 \text{ MJ NEL/kg} \quad (7b)$$

Auch die Energiebewertung der einzelnen Futtermittel wurde nach den Gleichungen der GfE (2001) vorgenommen. Die Verdaulichkeit wurde in den meisten Versuchen *in vivo* mit Hammeln auf Erhaltungsniveau nach den Leitlinien für Verdauungsversuche ermittelt (GfE 1991). Standen diese Daten nicht zur Verfügung, wurde auf die Verdauungskoeffizienten der DLG-Tabelle für Wiederkäuer zurückgegriffen (DLG 1997), wobei zwischen den Vegetationsstadien entsprechend dem Rohfasergehalt der Futtermittel linear interpoliert wurde (Gruber et al. 1997).

$$GE = 0,0239 \times XP + 0,0398 \times XL + 0,0201 \times XF + 0,0175 \times XX \quad (8)$$

GE = Bruttoenergie (MJ/kg TM)

XP, XL, XF, XX = Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, N-freie Extraktstoffe (g/kg TM)

$$ME = 0,0312 \times DXL + 0,0136 \times DXF + \quad (9)$$

$$0,0147 \times (DOM - DXL - DXF) + 0,00234 \times XP$$

ME = umsetzbare Energie (MJ/kg TM)

DXL, DXF, DOM = verdauliches Rohfett, Rohfaser, organische Masse (g/kg TM)

$$NEL = 0,6 \times [1 + 0,4 \times (ME/GE - 0,57)] \times ME \quad (10)$$

NEL = Nettoenergie Laktation (MJ/kg TM)

Zur Schätzung des Energiebedarfs über das vorliegende Datenmaterial aus Fütterungsversuchen wurden folgende drei Auswertungsmodelle angewendet:

(1) klassisches Modell nach ARC (1980) bzw. Agnew & Yan (2000):

$$MEI = b_{LM} \times LM^{0,75} + b_{LE} \times LE + b_{LMV} \times LMV$$

(2) Modell nach SCA (1990): Berücksichtigung eines höheren Erhaltungsbedarfes mit steigender Milchleistung

$$MEI = (b_{LM} + b_{(LM \times \text{Milch})}) \times LM^{0,75} + b_{LE} \times LE + b_{LMV} \times LMV$$

(3) gemischtes Modell mit Berücksichtigung der fixen Effekte Rasse, Laktationszahl sowie Laktationsmonat und dem klassischen Modell nach ARC (1980):

$$MEI = \text{Rasse} + \text{Lakzahl} + \text{Lakmonat} + \\ b_{LM} \times LM^{0,75} + b_{LE} \times LE + b_{LMV} \times LMV$$

MEI = Energie-Aufnahme (MJ ME)

LM = Lebendmasse (kg), b_{LM} = Regressionskoeffizient für LM

LE = Milchenergie-Output (MJ), b_{LE} = Regressionskoeffizient für LE

LMV = Lebendmasse-Veränderung (kg), b_{LMV} = Regressionskoeffizient für LMV

Der Bedarf für Trächtigkeit wurde entsprechend den Angaben der GfE (2001) berechnet und von der Energieaufnahme subtrahiert, also nicht in das statistische Modell einbezogen. Um sowohl negative als auch positive Lebendmasse-Veränderungen (d.h. Mobilisation und Retention) in ein und demselben statistischen Modell berücksichtigen zu können, müssen die Umwandlungsverluste von den Fettreserven in Milchenergie berücksichtigt werden (Agnew & Yan 2000). Im Falle negativer Lebendmasse-Veränderungen wurden daher die Werte mit dem Faktor 0,825 korrigiert, wobei den Angaben der GfE (2001) gefolgt wurde, die einen Umwandlungskoeffizient der Fettmobilisation in Milchenergie im Ausmaß von 80 – 85 % angibt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit den Programmen Harvey (1987), SAS (1999) und Statgraphics Plus (2000).

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Validierung des NEL-Systems

Die Ergebnisse der Validierung des NEL-Systems sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Gegenüberstellung von errechnetem NEL-Bedarf und tatsächlicher NEL-Aufnahme ergab folgende lineare Beziehung:

$$\text{NEL-Bedarf (MJ)} = 24,1 + 0,83 \times \text{NEL-Aufnahme (MJ)} \quad (11)$$

$$R^2 = 0,660, \text{ MSPE} = 316, \text{ MPE} = \pm 17,8 \text{ MJ NEL } (\pm 14,7 \%)$$

Aufteilung des MSPE: Bias = 3,7 %, Regression = 10,9 %, Zufall = 85,4 %

Diese Ergebnisse weisen auf eine relativ schwache Beziehung zwischen errechnetem NEL-Bedarf und tatsächlicher NEL-Aufnahme hin, d.h. dass die Kühe des vorliegenden umfangreichen Versuchsdatenmaterials eine Energieaufnahme aufweisen, die relativ stark von den Empfehlungen der GfE (2001) zur Energieversorgung abweichen können ($R^2 = 66 \%$, $\text{MPE} = \pm 17,8 \text{ MJ}$ bzw. $\pm 14,7 \%$). Das entspricht einer Milchleistung von $\pm 5,6 \text{ kg}$. Die Abweichungen sind nicht so sehr systematisch gerichtet, sondern vor allem (zu 85,4 %) zufallsbedingt. Der Bias macht nur 3,7 % des MPE aus (mittlerer NEL-Bedarf = 124,5 MJ und mittlere NEL-Aufnahme = 121,1 MJ). Der Energiebedarf wird also systematisch leicht überschätzt (im Durchschnitt um 3,4 MJ, d.h. um 1,1 kg Milch). Die regressionsbedingte Abweichung (10,9 % des MPE) besagt, dass im Bereich niedriger Futtermittelaufnahme die tatsächliche Energieaufnahme niedriger ist als der Bedarf (d.h. der Bedarf überschätzt wird), dagegen wird bei hoher Futtermittelaufnahme der Bedarf unterschätzt (tatsächliche Aufnahme ist höher als der Bedarf).

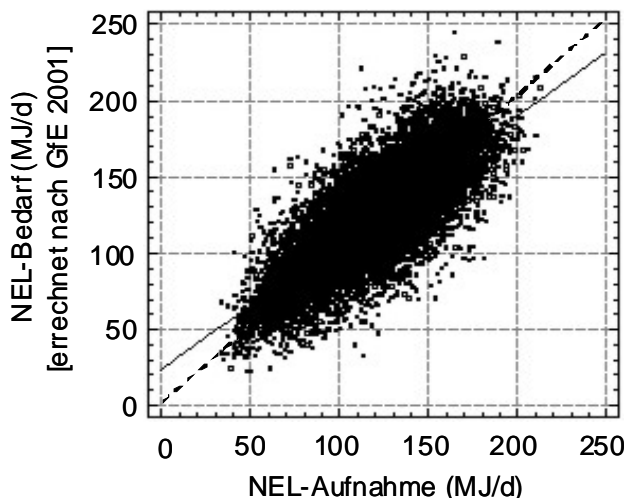


Abbildung 2: Beziehung zwischen tatsächlicher Energie-Aufnahme und Energie-Bedarf (MJ NEL) nach GfE (2001)

3.2 Schätzung des Energiebedarfs

3.2.1 Klassisches Modell nach ARC (1980) bzw. Agnew & Yan (2000):

Die Aufteilung der Energieaufnahme (MJ MEI) auf die Bereiche metabolische Lebendmasse (kg $LM^{0,75}$), Milchenergie-Output (MJ LE), und Lebendmasse-Veränderung (kg LMV) entsprechend dem klassischen multiplen Modell nach ARC (1980) bzw. Agnew & Yan (2000) ergab folgende Regressionsgleichung:

$$MEI = 0,648 \times LM^{0,75} + 1,41 \times LE + 17,6 \times LMV \quad (12)$$

$$R^2 = 0.716, \text{ RSD} = 24.1 \text{ MJ (12.1 \%)}$$

Diese Ergebnisse weisen auf einen deutlich höheren Energie-Erhaltungsbedarf hin, als in den zur Zeit gültigen Energiesystemen festgelegt ist, und zwar um 28 % (ARC 1980 bzw. AFRC 1993, INRA 1989 und 2007, GfE 2001, NRC 2001 – siehe Tabelle 1). Dagegen kommt der bei SCA (1990) in Australien an die Milchleistung gekoppelte Erhaltungsbedarf den vorliegenden Ergebnissen wesentlich näher (Tabelle 1). Agnew & Yan (2000) haben aus Literaturdaten seit 1976 (42 Untersuchungen, denen >1500 individuelle Messungen des Energiestoffwechsels zu Grunde liegen) einen Energie-Erhaltungsbedarf von 0,623 MJ pro kg $LM^{0,75}$ abgeleitet. Weiters haben Agnew et al. (2003) aus 12 langfristigen Fütterungsversuchen (n = 838 Milchkühe) – die gleiche Methodik wird auch in der vorliegenden Arbeit angewendet – bei exakter Energiebewertung der eingesetzten Futtermittel einen Erhaltungsbedarf von 0,603 MJ ME pro kg $LM^{0,75}$ ermittelt. Im neuen Fütterungssystem Großbritanniens (FiM 2004) wird der Erhaltungsbedarf mit 0,647 MJ pro kg $LM^{0,75}$ festgelegt, wobei Erhaltungsbedarf ME_m und Verwertungskoeffizient k_l über eine Mitscherlich-Funktion gemeinsam ermittelt wurden. Diese drei Angaben der nordirischen Forschergruppe zum Erhaltungsbedarf entsprechen in hohem Maße den vorliegenden eigenen Ergebnissen. Agnew & Yan (2000) haben als Gründe für den höheren Erhaltungsbedarf einen höheren Proteingehalt des Körpers (als Folge verstärkter Fettmobilisation) und einen höheren Anteil innerer Organe für Verdauung und Stoffwechsel (bedingt durch höhere Futteraufnahme und höheren Aufwand für Stoffwechsel und Blutkreislauf) bei hochleistenden Kühen diskutiert (siehe Einleitung).

Andererseits ist der Verwertungskoeffizient der ME für die Laktation (k_l) mit 0,709 (= 1/1,41) deutlich höher (d.h. der Leistungsbedarf niedriger) als in den angeführten Energiesystemen (Tabelle 1). Dies bestätigt den positiven Zusammenhang zwischen Erhaltungsbedarf und Verwertungskoeffizient k_l , wie er auch aus den Literaturdaten abgeleitet wurde (Abbildung 1). Agnew & Yan (2000) sowie Agnew et al. (2003) haben aus Literaturdaten bzw. Produktionsversuchen Verwertungskoeffizienten von $k_l = 0,663$ bzw. 0,654 ermittelt. Diese Werte sind höher als die in den derzeitigen Energienormen (Tabelle 1), jedoch niedriger als sie in der vorliegenden Untersuchung festgestellt wurden. Als möglicher Grund für die höhere Verwertung ist der höhere Anteil von

pansenstabilen Nährstoffen in heutigen Futterrationen denkbar, die geringere Fermentationsverluste durch Pansenmikroben nach sich ziehen. Auch ein relativ geringerer Aufwand für die Kauarbeit bei hohen Futterraufnahmen und intensiver Zerkleinerung ist vorstellbar (Susenbeth et al. 2004). Als wesentlicher Grund ist allerdings der sehr niedrige Koeffizient des Energie-Gehaltes für die Lebendmasse-Veränderung zu betrachten.

Der Regressionskoeffizient von 17,6 für LMV besagt, dass pro kg Lebendmasse-Zunahme ein ME-Aufwand von nur 17,6 MJ erforderlich war bzw. 1 kg LMV 17,6 MJ ME bei der Mobilisation liefert. Unter Berücksichtigung des in der Gleichung ermittelten Verwertungskoeffizienten k_1 von 0,709 wären das 12,5 MJ NEL, was nur etwa der Hälfte des von der GfE (2001) angegebenen Wertes von 21 MJ entspricht. Nach diesen Ergebnissen ist die LMV kein geeigneter Parameter zur Beschreibung der Energiebilanz bzw. der Charakterisierung von Mobilisation/Retention von Milchkühen. Dies bestätigt auch die Gegenüberstellung der LMV und der errechneten Energiebilanz des vorliegenden Datenmaterials in Abbildung 3, die nur ein niedriges R^2 von 11,4 % und einen großen Restfehler von 15,5 MJ NEL ergibt. Allerdings ist der lineare Regressionskoeffizient von 11,3 dem Wert aus dem multiplen Modell von 12,5 ($= 17,6 \times 0,709$) in Gleichung (12) sehr ähnlich.

$$\text{NEL-Bilanz (MJ)} = -1,4 + 11,3 \times \text{LMV (kg)} \quad (13)$$

$$R^2 = 0.114, \text{RSD} = 15.5 \text{ MJ}$$

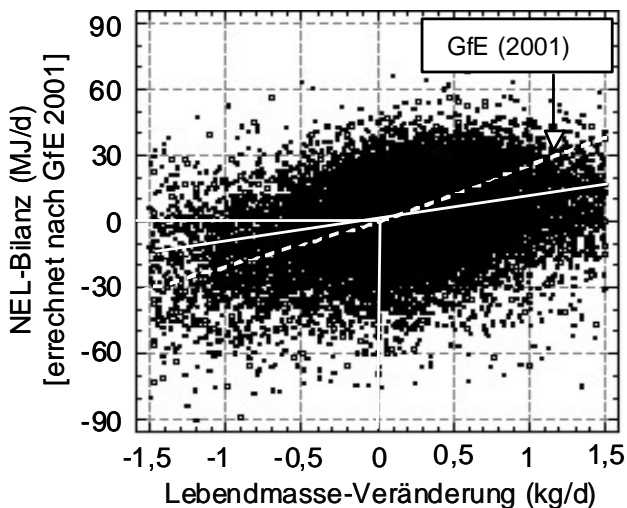


Abbildung 3: Beziehung zwischen Lebendmasse-Veränderung (kg/d) und errechneter Energie-Bilanz (MJ NEL/d)

Die schwache Beziehung zwischen LMV und Energiebilanz ist auf die bekannten Probleme bei der Feststellung der Lebendmasse zurückzuführen (Füllung des Verdauungstraktes). Weiters ist zu berücksichtigen, dass die Mobilisation und Retention von Körperreserven durch die Veränderung der Lebendmasse nur unzureichend beschrieben werden kann (unterschiedliche Füllung des Verdauungstraktes, Einlagerung von Wasser in Folge von Fettschmelzung im Zuge der β -Oxidation, Entwicklung von Fötus und Euter; siehe Kirchgeßner 1997, Fox et al. 1999, Martin & Sauvant 2002, Lins et al. 2003). Die Körperkondition zur Beschreibung des Ernährungszustandes (Edmonson et al. 1989) liegt in diesem Datenmaterial nicht vor.

Da mit dem vorliegenden Modell der Verwertungskoeffizient der ME für die Laktation (k_1) und besonders der Energiegehalt der Lebendmasse-Veränderung offensichtlich nicht ganz zutreffend zu schätzen waren, wurden in einem weiteren Auswertungsschritt jeweils einzelne Koeffizienten ($LM^{0,75}$, LE, LMV) fixiert bzw. variiert und deren Wirkung auf die beiden anderen Koeffizienten untersucht. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tabelle 4 angeführt.

Die Fixierung des Koeffizienten für $LM^{0,75}$ (0,500 – 0,650) beeinflusst vor allem den Koeffizienten für LE und nicht so sehr den für LMV, ebenso wie sich die Fixierung des Koeffizienten für LE (0,60 – 0,69) auf den Koeffizienten für $LM^{0,75}$ niederschlägt und nicht auf den von LMV. Dabei ist wieder der schon mehrmals festgestellte negative Zusammenhang zwischen Erhaltungsbedarf und Bedarf für die Milchproduktion aufgetreten (Abbildung 1). Ein niedriger Erhaltungsbedarf führt zu einem hohen Leistungsbedarf (und vice versa). Wenn z.B. der Erhaltungsbedarf auf 0,500 MJ ME pro kg $LM^{0,75}$ fixiert wird, ergibt sich ein Verwertungskoeffizient k_1 von 0,619, was den Vorgaben der derzeit gültigen Energiesysteme gut entspricht (Tabelle 1). In ähnlicher Weise führt die Fixierung des Verwertungskoeffizienten k_1 auf 0,60 zu einem Erhaltungsbedarf von 0,484 MJ ME pro kg $LM^{0,75}$. Doch die statistische Analyse nach dem klassischen Modell nach ARC (1980) hat im Gegensatz dazu einen hohen Erhaltungs- und niedrigen Leistungsbedarf ergeben, was die Schlussfolgerung zulässt, dass die auf diese Weise ermittelten Parameter auch in biologischer Hinsicht zutreffen. Dies vor allem deshalb, da der größte Unsicherheitsfaktor, der Koeffizient für LMV, auf die Variation der Koeffizienten für $LM^{0,75}$ und LE nur geringfügig reagiert und in keinem Fall den erwarteten Wert von 35 – 40 MJ (ca. 21/0,62 – 25,5/0,62) pro kg LMV annimmt.

Tabelle 4: Einfluss der Fixierung einzelner Koeffizienten für $LM^{0,75}$, LE, LMV

Fixierung von $LM^{0,75}$			Fixierung von LE			Fixierung von LMV		
$LM^{0,75}$	LE	LMV	$LM^{0,75}$	LE	LMV	$LM^{0,75}$	LE	LMV
0,500	0,619	20,1	0,484	0,60	18,6	0,632	0,705	40
0,550	0,647	19,2	0,535	0,63	18,3	0,652	0,710	32
0,600	0,677	18,4	0,581	0,66	18,0	0,591	0,694	24
0,650	0,711	17,5	0,623	0,69	17,7	0,611	0,699	16

3.2.2 Berücksichtigung eines höheren Erhaltungsbedarfes mit steigender Milchleistung nach dem Modell nach SCA (1990):

Die Literaturübersicht von Agnew & Yan (2000) belegt eindeutig, dass der Energie-Erhaltungsbedarf der Kühe in den letzten Jahrzehnten (seit den grundlegenden Arbeiten zum Energiestoffwechsel in Holland (van Es), Großbritannien (Blaxter), USA (Flatt und Mitarbeiter) und Rostock (Schiemann und Mitarbeiter) deutlich angestiegen ist, was mit dem erhöhten Leistungsniveau dieser Tiere erklärt wird (höherer Anteil innerer Organe und höhere Stoffwechselaktivität). Kritisch wird auch angemerkt, dass der Energie-Erhaltungsbedarf nach ARC (1980) in Großbritannien auf der Basis des Grundumsatzes (Hungerstoffwechsel) ermittelt wurde. Eine ausführliche Diskussion dieser Vorgangsweise zur Schätzung des Energie-Erhaltungsbedarfes in SCA (1990) belegt klar, dass der Erhaltungsbedarf mit der Futteraufnahme ansteigt („nicht-produktiver Energieaufwand“ bzw. „support metabolism“). Die Verwendung des Grundumsatzes zur Schätzung des Energie-Erhaltungsbedarfes wird auch auf Grund der Tatsache kritisch gesehen, dass der Grundumsatz eines Organismus mit der Dauer des Hungerzustandes in Folge von Anpassungsmechanismen zurückgeht. Daraus ist der Schluss zu ziehen, dass ein auf Basis des Grundumsatzes ermittelter Energie-Erhaltungsbedarf den Erhaltungsbedarf von in Produktion stehenden Tieren unterschätzt.

Als weiteres Indiz für einen mit dem Leistungsniveau ansteigenden Energie-Erhaltungsbedarf ist bei ARC (1980, Seite 76) angeführt. Ein steigendes Futterniveau bewirkte eine nicht linear, sondern nur degressiv zunehmende Energie-Retention bei ausgewachsenen Wiederkäuern. Zum gleichen Ergebnis kommt auch die dem neuen Fütterungssystem in Großbritannien (FiM 2004) zu Grunde liegende Auswertung von Respirationsversuchen mit Milchkühen, nämlich dass mit steigender Energieaufnahme keine lineare, sondern eine nur degressiv zunehmende Response an Milchenergie-Output erfolgt (entsprechend dem „Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs nach Mitscherlich“). In beiden Fällen (ARC 1980, FiM 2004) wird diese abnehmende Response als Rückgang des Verwertungskoeffizienten der ME in Nettoenergie (k_g bzw. k_l) interpretiert. Nach SCA (1990) kann genauso eine konstante Verwertung, jedoch ein mit steigender Leistung zunehmender Erhaltungsbedarf vorausgesetzt werden. Dies kann mit einem erhöhten Anteil innerer Organe, welche die höhere Leistung überhaupt erst ermöglichen, und deren intensiverer Stoffwechselaktivität bezüglich Verdauung und Kreislauf physiologisch klar begründet werden. Es ist somit eine Frage der Interpretation und des Standpunktes, ob der mit steigender Leistung verbundene Aufwand im Stoffwechsel dem Bereich der Erhaltung oder der Leistung zugerechnet wird. Der Stoffwechsel ist als Einheit anzusehen und eine Trennung in verschiedene Bereiche von der Bedarfsermittlung her zwar verständlich, jedoch nicht in jedem Fall möglich, zumal zwischen den Bereichen Erhaltung und Leistung gegenseitige Wechselwirkungen bestehen, wie mehrfach gezeigt wurde.

In nachfolgender Gleichung (14) wurde – entsprechend der Vorgangsweise von SCA (1990) – zusätzlich zu den Bedarfskomponenten $LM^{0,75}$, LE, LMV ein Term ($b_{(LM \times \text{Milch})}$) eingeführt, mit dem der Koeffizient für $LM^{0,75}$ in Abhängigkeit von der Milchleistung (kg) korrigiert wird. Dies ist als Wechselwirkung zwischen Erhaltungs- und Leistungsbedarf zu interpretieren. Der Koeffizient besagt, dass der Energie-Erhaltungsbedarf (MJ ME pro kg $LM^{0,75}$) um 0,0088 MJ pro kg Milch ansteigt. Dies entspricht 4,5 % der für die Milchproduktion erforderlichen ME ($0,0088 \times 3,2 \text{ MJ LE}/0,62 \times 100 = 4,5 \%$). SCA (1990) veranschlagt einen Wert von 10 %, bei einem allerdings geringeren Erhaltungsbedarf.

$$MEI = (0,633 + (0,0088 \times \text{Milch})) \times LM^{0,75} + 1,09 \times LE + 17,7 \times LMV \quad (14)$$

$$R^2 = 0.721, \text{ RSD} = 23.9 \text{ MJ (12.0 \%)}$$

Durch diese Vorgangsweise ergibt sich ein noch höherer Energie-Erhaltungsbedarf bei gleichzeitig geringerem Leistungsbedarf. Der niedrige Koeffizient für die Milchproduktion ($0,917 = 1/1,09$) ist physiologisch nicht mehr zu interpretieren, da ein Teil des Energie-Bedarfs für die Milchproduktion von der Wechselwirkung zwischen Erhaltungs- und Leistungsbedarf übernommen wird. Allerdings zeigen die Ergebnisse, dass der mit steigender Leistung erhöhte Energiebedarf zum Teil der Komponente $LM^{0,75}$ (also dem Erhaltungsbedarf) zugerechnet wird, was durch erhöhten Anteil innerer Organe und intensivere Stoffwechselaktivität bezüglich Verdauung und Kreislauf bei höherer Leistung physiologisch auch begründet werden kann. Der Koeffizient für Lebendmasse-Veränderung änderte sich durch dieses Modell nicht.

3.2.3 Gemischtes Modell mit Berücksichtigung der fixen Effekte Rasse, Laktationszahl sowie Laktationsmonat und dem klassischen Modell nach ARC (1980):

Eine eingehende Analyse der Daten hat gezeigt, dass die Regressionskoeffizienten für $LM^{0,75}$, LE, LMV in Abhängigkeit von der Energiebilanz, der Lebendmasse-Veränderung sowie dem Laktationsstadium sehr unterschiedlich ausgeprägt sind (Tabelle 5). Innerhalb dieser Gruppen ergab sich daher ein höheres R^2 und ein geringerer Restfehler (RSD) des Modells.

Bei Kühen in negativer Energiebilanz (nach Normen der GfE 2001) ergab sich ein niedrigerer Erhaltungsbedarf (0,527 MJ pro kg $LM^{0,75}$) als bei Kühen in positiver Energiebilanz (0,666 MJ). Andererseits wiesen sie einen höheren Verwertungskoeffizienten k_1 auf (0,72 bzw. 0,61). Die Energielieferung pro kg LMV bei den Kühen in negativer Energiebilanz ergab einen höheren Wert als die Kosten pro kg LMV für den Energieansatz bei den Kühen in positiver Energiebilanz (9,86 bzw. 4,64 MJ pro kg LMV).

Tabelle 5: Einfluss von Energiebilanz (EB), Lebendmasse-Veränderung (LMV) sowie Laktationsmonat (Lakmonat) auf die Koeffizienten für $LM^{0,75}$, LE und LMV

	Anzahl	$LM^{0,75}$	LE	LMV	RSD	R ²
Energiebilanz						
EB < 0	11.516	0,527	1,38	9,86	17,4	0,851
EB > 0	13.067	0,666	1,63	4,64	15,2	0,847
Lebendmasse-Veränderung						
LMV < 0	7.428	0,709	1,33	27,03	25,6	0,707
LMV > 0	17.155	0,656	1,45	9,21	23,1	0,719
Laktationsmonat						
Lakmonat = 1	1.379	0,697	1,06	11,58	27,3	0,535
Lakmonat = 2	2.702	0,719	1,23	15,89	24,4	0,667
Lakmonat = 3	3.431	0,633	1,44	12,86	22,5	0,741
Lakmonat = 4	3.865	0,536	1,62	15,95	22,3	0,764
Lakmonat = 5	3.603	0,543	1,67	13,01	21,4	0,771
Lakmonat = 6	3.049	0,546	1,68	8,03	20,8	0,773
Lakmonat = 7	2.073	0,577	1,63	9,61	20,6	0,746
Lakmonat = 8	1.718	0,551	1,67	10,05	19,6	0,767
Lakmonat = 9	1.482	0,538	1,72	10,59	19,8	0,783
Lakmonat = 10	1.281	0,578	1,65	5,56	22,3	0,702

Die Aufteilung der Tiere in eine Gruppe mit negativer und positiver Lebendmasse-Veränderung (Ab- und Zunahme der LM) zeigte nicht den gleichen Einfluss auf die Regressionskoeffizienten wie die Unterteilung der Tiere in solche mit negativer und positiver Energiebilanz. Dies ist ein weiteres Zeichen, dass die LMV kein geeigneter Parameter zur Beschreibung der Mobilisation bzw. Retention ist. Die Koeffizienten für $LM^{0,75}$ und LE sind in beiden Gruppen ähnlich (0,709 und 0,656 MJ pro kg $LM^{0,75}$ sowie 1,33 und 1,45 MJ pro MJ LE). Allerdings unterschieden sich die Koeffizienten für LMV in extremer Weise (27,0 und 9,2 pro kg LMV).

Die Unterteilung der Kühe nach Laktationsmonat (1 – 10) spiegelt im Wesentlichen die Energiebilanz wider, in der sich die Tiere je nach Laktationsstadium befinden. Im Trend werden die Regressionskoeffizienten für LE mit fortschreitendem Laktationsstadium höher, die Verwertung k_1 also ungünstiger (siehe auch Tiere in negativer und positiver Energiebilanz). Ebenso nehmen die Regressionskoeffizienten für LMV im Laufe der Laktation geringere Werte an. Es fällt auf, dass sich alle Koeffizienten (für $LM^{0,75}$, LE und LMV) ab dem 4. Laktationsmonat nicht mehr ändern, also nach der Phase mit negativer Energiebilanz. Im Gegensatz zu LE und LMV verhalten sich die Regressionskoeffizienten für $LM^{0,75}$ nicht in der Weise, wie von der Energiebilanz her zu erwarten wäre. Sie nehmen im Laufe der Laktation ab, während bei positiver Energiebilanz ein höherer Koeffizient festgestellt wurde.

Abschließend wurde daher versucht, über das klassische Modell nach ARC (1980) hinaus, weitere Einflussfaktoren zu berücksichtigen, welche die Energieverwertung von Milchkühen beeinflussen können, und zwar auf den Ebenen Erhaltungsbedarf, Leistungsbedarf sowie Mobilisation bzw. Retention. Aus diesem Grunde wurden die fixen Effekte *Rasse*, *Laktationszahl* und *Laktationsmonat* in das statistische Modell aufgenommen sowie die Regressionskoeffizienten für $LM^{0,75}$, LE und LMV *innerhalb Laktationsmonat* geschätzt. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Formel (15) sowie in Tabelle 6 und Abbildung 4 dargestellt:

$$MEI = 197,6 + \text{Rasse} + \text{Lakzahl} + \text{Lakmonat} + \\ b_{LM} \times (LM^{0,75} - 126,2) + b_{LE} \times (LE - 80,3) + b_{LMV} \times (LMV - 0,21) \quad (15) \\ R^2 = 0.771, \text{RSD} = 21.7 \text{ MJ (10.9 \%)}$$

Tabelle 6: Fixe Effekte von Rasse, Laktationszahl (Lakzahl) sowie Laktationsmonat (Lakmonat) auf den Energiebedarf (MEI, MJ) und Regressionskoeffizienten für $LM^{0,75}$ (Lebendmasse^{0,75}), LE (Milchenergie-Output) und LMV (Lebendmasse-Veränderung) innerhalb Laktationsmonat

Rasse	Laktationsmonat	Laktationsstadium	Regressionskoeffizienten für		
			$LM^{0,75}$	LE	LMV
FV -6,15	1	-23,7	1,11	1,01	11,9
BS -5,24	2	-5,9	1,08	1,17	15,3
HF +3,28	3	-0,3	0,99	1,37	12,4
	4	1,9	0,84	1,54	14,6
	5	5,1	0,86	1,59	12,3
	6	5,4	0,86	1,61	7,7
Laktationszahl	7	4,5	0,82	1,56	9,3
1 +0,68	8	4,4	0,77	1,61	9,4
2-3 +1,71	9	6,2	0,82	1,66	10,4
≥4 -2,39	10	2,3	1,01	1,62	8,0

Tabelle 6 und Abbildung 4 zeigen, dass – unter Konstanthaltung von $LM^{0,75}$, LE und LMV – alle drei in das Modell aufgenommenen fixen Effekte (Rasse, Laktationszahl und Laktationsmonat) zusätzlich einen signifikanten Einfluss auf den Energiebedarf von Milchkühen ausüben. Der Einfluss der Rasse ist als Unterschied im Erhaltungsbedarf zu interpretieren, der auf einer höheren Stoffwechselrate und dem hormonellen Status von Tieren mit höherer Leistung beruht (Fox et al. 1992, Mürger 1994). Kühe der Rassen Fleckvieh und Holstein unterscheiden sich demnach im Erhaltungsbedarf um 9,4 MJ ME. Der Einfluss der Laktationszahl reflektiert einerseits die unterschiedliche Körperzusammensetzung von Kühen unterschiedlichen Alters, wobei der höhere Erhaltungsbedarf von jüngeren Tieren auf deren höherem Proteingehalt beruht. In Abschnitt 1 wurde festgestellt, dass der Erhaltungsbedarf vor allem eine Folge der Körper-Proteinmasse ist (Oldham & Emmans 1990). Außerdem weisen jüngere Tiere eine höhere Bewegungsaktivität auf, was den Erhaltungs-

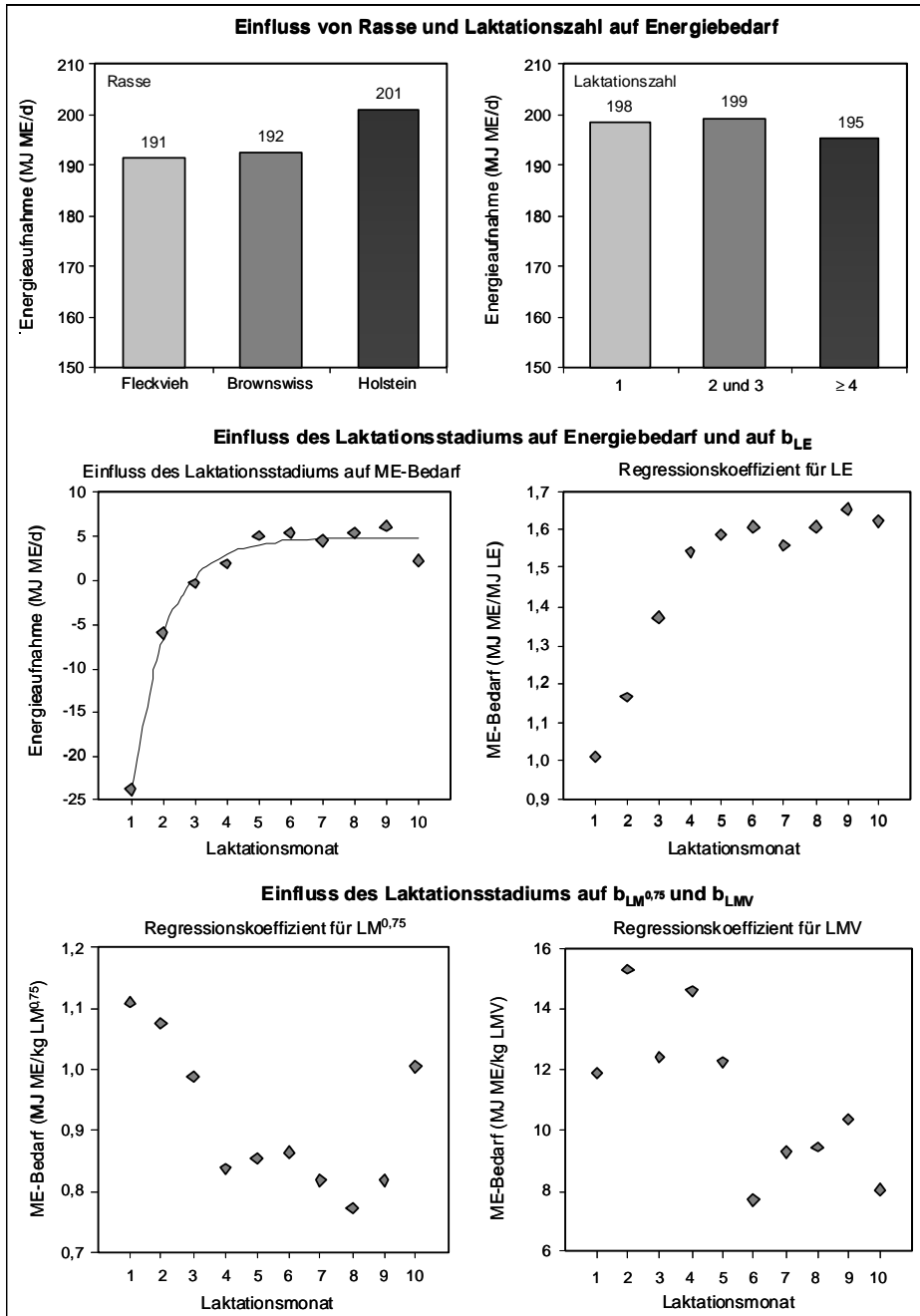


Abbildung 4: Einfluss der fixen Effekte von Rasse, Laktationszahl und Laktationsmonat auf den Energiebedarf sowie Einfluss des Laktationsstadiums auf die Regressionskoeffizienten von $LM^{0.75}$, LE und LMV

bedarf zusätzlich erhöht. Der Unterschied von Kühen der ersten und der ≥ 4 . Laktation beträgt 3,1 MJ ME.

Einen überaus großen Einfluss auf den Energiebedarf übt das Laktationsstadium aus. Bedingt durch das Fortpflanzungsgeschehen erfährt der Stoffwechsel einer Milchkuh während der Laktation und der anschließenden Trockenstehzeit tiefgreifende, hormonell gesteuerte Veränderungen. Zu Beginn der Laktation (in der Phase höchsten Nährstoffbedarfs und geringster Futteraufnahme) mobilisiert die Kuh Nährstoffe (besonders Fettreserven), um den Bedarf für die Milchsynthese abzudecken. Das zweite Drittel der Laktation ist durch eine relativ ausgeglichene Energiebilanz gekennzeichnet. In der letzten Phase der Laktation und ganz besonders in der Hochträchtigkeit findet eine Retention (Wiederauffüllen) von Nährstoffen statt, die zu Beginn der nächsten Laktation wieder zur Mobilisation bereitstehen, usw. Das Ausmaß der Mobilisation hängt von der Energieversorgung (Kraftfutteranteil, Grundfutterqualität) und vom Leistungspotenzial der Kuh ab (Pond 1984, Chilliard 1987, Chilliard et al. 1991, Chilliard et al. 2000, Bell & Baumann 1994, McNamara 1994, Schwager-Suter et al. 2001). Die Ergebnisse in Abbildung 4 zeigen, dass die Mobilisation vor allem durch das Laktationsstadium abgebildet wird und nicht durch die Lebendmasse-Veränderung. Die Mobilisation ist besonders groß im ersten Laktationsmonat und geht im 3. Monat in Retention, d.h. positive Energiebilanz über.

Das starke Ausmaß der Mobilisation zu Laktationsbeginn ist auch der Grund für die (scheinbar) hohe Effizienz der Milcherzeugung (k_i) in dieser Phase. Einerseits wird ein gewisser Teil der mobilisierten Nährstoffe (Fett, Protein) direkt in Milch übergeführt, sodass der Beitrag der Nahrungsenergie für die Milcherzeugung tatsächlich geringer ist. Andererseits stößt vielleicht auch die Zuordnung der Nährstoffflüsse über statistische Methoden bei hoher Mobilisation, die nur über LMV erfasst wird, an Grenzen. Die Verwertung der ME für die Milcherzeugung (k_i) ab dem 4. Laktationsmonat beträgt im Durchschnitt 0,626. Dieser Wert entspricht den Literaturdaten in hohem Maße (Tabelle 1, Abbildung 1).

Es fällt auf, dass gerade in diesen ersten 3 Laktationsmonaten der Regressionskoeffizient für den Erhaltungsbedarf ($LM^{0,75}$) besonders hoch ist. In diesem Abschnitt wurde eine hohe Mobilisation und eine hohe Verwertung (k_i) ermittelt. Dies ist die Phase der höchsten Milchleistung und der Wert bestätigt einleuchtend die Theorie des „support metabolism“ (SCA 1990), dass nämlich mit der Erbringung der Milchleistung ein höherer Erhaltungsbedarf einhergeht, der eine höhere Milchsynthese erst ermöglicht (erhöhter Anteil innerer Organe, intensivere Stoffwechselaktivität bezüglich Verdauung und Kreislauf). Weiters ist auch denkbar, dass der Vorgang der Mobilisation an sich mit einem höheren Erhaltungsbedarf an Energie verbunden ist. Im weiteren Verlauf der Laktation geht der Erhaltungsbedarf zurück, ist jedoch

mit 0,828 MJ ME pro kg LM^{0,75} als sehr hoch einzuschätzen, entspricht aber weitgehend dem mit Formel (14) nach dem Modell von SCA (1990) kalkulierten Energiebedarf (0,849 MJ ME). Der Rückgang des Erhaltungsbedarfs in diesem Laktationsabschnitt kann mit zunehmendem Fettgehalt des Körpers begründet werden (Agnew & Yan 2000).

Auch mit dem vorliegenden Modell ergibt sich ein deutlich unter den Literaturwerten liegender Energiegehalt pro kg LMV bei Mobilisation bzw. Energiebedarf pro kg LMV bei Retention, der jedoch den auf Basis der beiden anderen Auswertungsmodelle erhaltenen Daten entspricht. Es fällt auf, dass in der ersten Laktationshälfte (bei vorwiegend Lebendmasse-Abnahme) ein höherer Energiegehalt gefunden wurde (im Mittel 13,3 MJ ME pro kg LMV) als in der zweiten (im Mittel 9,0 MJ ME pro kg LMV), in dem vorwiegend Lebendmasse-Zunahme stattfindet. Auch Tamminga et al. (1997) sowie Agnew & Yan (2000) haben darauf hingewiesen, dass sich der Energiegehalt der LMV in Abhängigkeit vom Laktationsstadium stark ändert.

Der Einfluss des Laktationsstadiums auf den Energiebedarf und die Abhängigkeit der Regressionskoeffizienten für LM^{0,75}, LE und LMV vom Laktationsstadium bestätigen die bei der Ableitung der Futteraufnahme-Schätzformel gefundenen Gesetzmäßigkeiten (Gruber et al. 2004). Als Schlussfolgerung aus den vorliegenden Ergebnissen ist festzuhalten, dass der Energie-Erhaltungsbedarf von hochleistenden Kühen höher ist, als in den derzeit angewendeten Energiesystemen, was mit den bei hoher Leistung einhergehenden erforderlichen Stoffwechselaktivitäten für Verdauung und Kreislauf sowie mit einem höheren Anteil innerer Organe eindeutig zu erklären ist, die einen höheren Energiebedarf als Muskelgewebe aufweisen. Es wurde auch eine höhere Verwertung der ME für die Milchleistung (k_l) festgestellt. Allerdings zeigt die nach Laktationsstadium differenzierte Auswertung, dass dies nur in den ersten Laktationsmonaten zutrifft (d.h. bei intensiver Mobilisation). Die Lebendmasse-Veränderung ist kein geeigneter Parameter zur Beschreibung von Mobilisation bzw. Retention und ändert ihren Energiegehalt während der Laktation.

Zusammenfassung

Neuere Versuche mit Hochleistungskühen in Nordirland zeigen (Agnew et al. 2003), dass – gegenüber den derzeitigen Bedarfsnormen (INRA 1989, AFRC 1993, GfE 2001) – mit einem höheren Energie-Erhaltungsbedarf zu rechnen ist. Daher wurde das derzeitige NEL-System (GfE 2001) an einem umfangreichen Datenmaterial (Gruber et al. 2004) von Fütterungsversuchen aus 9 Forschungsinstituten in Deutschland, Österreich und der Schweiz validiert, in dem die tatsächliche NEL-Aufnahme dem auf der Grundlage des NEL-Systems (GfE 2001) berechneten NEL-Bedarf in einer linearen Regression

gegenüber gestellt wurde. Die Daten weisen eine sehr große Streuung in den tierbezogenen und auch den futterrelevanten Parametern auf (Milch 24.3 ± 8.1 , $2.2 - 60.6$ kg/d, Futterraufnahme 18.5 ± 3.5 , $5.4 - 31.6$ kg TM/d, NEL-Gehalt 5.9 ± 0.5 , $4.1 - 7.4$ MJ /kg TM, Kraftfutteranteil 25.6 ± 17.9 , $0.0 - 81.3$ %).

Beziehung zwischen NEL-Bedarf und NEL-Aufnahme:

NEL-Bedarf = $24.1 + 0.83 \times \text{NEL-Aufnahme}$ (NEL, MJ/d)

$R^2 = 0.660$, MSPE = 316, MPE = 17.8 MJ NEL (14.7 %)

Aufteilung des MSPE: Bias = 3.7 %, Regression = 10.9 %, Zufall = 85.4 %

Die Gleichung weist auf eine systematische Überschätzung des NEL-Bedarfs hin (\emptyset Bedarf = 124.5 MJ, \emptyset Aufnahme = 121.1 MJ NEL), besonders im niedrigen Leistungsbereich (Intercept = 24.1). Im oberen Bereich der Energieaufnahme wurde dagegen der Bedarf unterschätzt. Der größte Teil der Streuung (85.4 %) ist allerdings auf zufällige (individuelle) Ursachen zurückzuführen (14.7 % der NEL-Aufnahme).

Um mögliche Ursachen dieser Diskrepanz zu erkennen, wurde eine multiple Regression durchgeführt, indem der ME-Bedarf (MJ/d) über die metabolische Lebendmasse ($LM^{0.75}$, kg), die Milchenergieleistung (LE, MJ/d) und die Lebendmasse-Veränderung (LMV, kg/d) ermittelt wurde:

ME- Aufnahme = $0.648 \times LM^{0.75} + 1.41 \times LE + 17.6 \times LMV$

$R^2 = 0.716$, RSD = 24.1 MJ (12.1 %)

Die Ergebnisse weisen auf einen deutlich höheren Energie-Erhaltungsbedarf hin, als in den gängigen Futterbewertungssystemen zur Zeit festgelegt ist (INRA 1989, AFRC 1993, GfE 2001, NRC 2001), stimmen allerdings mit aktuellen Versuchsergebnissen in Nordirland gut überein ($0.600 - 0.660$ MJ ME/kg $LM^{0.75}$; Agnew & Yan 2000, Agnew et al. 2003). Die Verwertung der ME für die Milchproduktion ist ebenfalls höher ($k_1 = 1/1.41 = 0.71$). Agnew & Yan (2000) und Agnew et al. (2003) haben ein k_1 von $0.64 - 0.69$ festgestellt. Am deutlichsten weicht der Energiegehalt der Mobilisation/Retention von Körperreserven ($17.6 \times 0.71 = 12.5$ MJ/kg) von den üblichen Annahmen ab ($21 - 25$ MJ, GfE 2001).

In einem weiteren Auswertungsschritt wurde der Erhaltungsbedarf an die Milchleistung gekoppelt, wie dies auch im australischen Energiesystem durchgeführt wird.

MEI = $(0,633 + (0,0088 \times \text{Milch})) \times LM^{0.75} + 1,09 \times LE + 17,7 \times LMV$

$R^2 = 0.721$, RSD = 23.9 MJ (12.0 %)

Die Ergebnisse zeigen, dass der mit steigender Leistung erhöhte Energiebedarf zum Teil der Komponente $LM^{0.75}$ (also dem Erhaltungsbedarf) zugerechnet wird, was durch erhöhten Anteil innerer Organe und intensivere Stoffwechselaktivität bezüglich Verdauung und Kreislauf bei höherer Leistung physiologisch auch begründet werden kann.

Abschließend wurden, über das klassische Modell nach ARC (1980) hinaus, weitere Einflussfaktoren berücksichtigt, welche die Energieverwertung von Milchkühen beeinflussen können, und zwar auf den Ebenen Erhaltungsbedarf, Leistungsbedarf sowie Mobilisation bzw. Retention. Aus diesem Grunde wurden die fixen Effekte *Rasse*, *Laktationszahl* und *Laktationsmonat* in das statistische Modell aufgenommen sowie die Regressionskoeffizienten für $LM^{0,75}$, LE und LMV *innerhalb Laktationsmonat* geschätzt. Der Einfluss des Laktationsstadiums auf den Energiebedarf und die Abhängigkeit der Regressionskoeffizienten für $LM^{0,75}$, LE und LMV vom Laktationsstadium bestätigen die bei der Ableitung der Futteraufnahme-Schätzformel gefundenen Gesetzmäßigkeiten (Gruber et al. 2004). Als Schlussfolgerung aus den vorliegenden Ergebnissen ist festzuhalten, dass der Energie-Erhaltungsbedarf von hochleistenden Kühen höher ist, als in den derzeit angewendeten Energiesystemen, was mit den bei hoher Leistung einhergehenden erforderlichen Stoffwechselaktivitäten für Verdauung und Kreislauf sowie mit einem höheren Anteil innerer Organe eindeutig zu erklären ist, die einen höheren Energiebedarf als Muskelgewebe aufweisen. Es wurde auch eine höhere Verwertung der ME für die Milchleistung (k_l) festgestellt. Allerdings zeigt die nach Laktationsstadium differenzierte Auswertung, dass dies nur in den ersten Laktationsmonaten zutrifft (d.h. bei intensiver Mobilisation). Die Lebendmasse-Veränderung ist kein geeigneter Parameter zur Beschreibung von Mobilisation bzw. Retention und ändert ihren Energiegehalt während der Laktation.

Literatur

- AFRC (Agricultural Food and Research Council), 1993: Energy and Protein Requirements of Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK, 159 S.
- ARC (Agricultural Research Council), 1980: The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Technical Review by an Agricultural Research Council Working Party. CAB, Farnham Royal, England, 351 S.
- Agnew, R.E. und T. Yan, 2000: Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* **66**, 197-215
- Agnew, R.E., T. Yan, J.J. Murphy, C.P. Ferris und F.J. Gordon, 2003: Development of maintenance energy requirement and energetic efficiency for lactation from production data of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* **82**, 151-162
- Baldwin, B.R., N.E. Forsberg und C.Y. Hu, 1985: Potential for altering partition in the lactating cow. *J. Dairy Sci.* **68**, 3394-3402
- Bell, A.W. und D.E. Bauman, 1994: Animal models for the study of adipose regulation in pregnancy and lactation. In: *Nutrient Regulation during Pregnancy, Lactation, and Infant Growth*. L. Allen et al. (eds.), Plenum Press, New York, 71 f.
- Bibby, J. und H. Toutenburg, 1977: Prediction and Improved Estimation in Linear Models. John Wiley & Sons, 188 S.

- Chilliard, Y., 1987: Literature survey: body composition and lipid metabolism in adipose tissues and liver during pregnancy and lactation. *Reprod. Nutr. Develop.* **27**, 327-398
- Chilliard, Y., M. Cisse, R. Lefavre und B. Remond, 1991: Body composition of dairy cows according to lactation stage, somatotropin treatment, and concentrate supplementation. *J. Dairy Sci.* **74**, 3103-3116
- Chilliard, Y., A. Ferlay, Y. Faulconnier, M. Bonnet, J. Ruel und F. Bocquier, 2000: Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* **59**, 127-134
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer, 7. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt, 212 S.
- Edmonson, A.J., I.J. Lean, L.D. Weaver, T. Farver und G. Webster, 1989: A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* **72**, 68-78
- FiM (Feed into Milk Consortium), 2004: Feed into Milk. A new applied feeding system for dairy cows. An advisory manual. Ed. C. Thomas. Nottingham University Press, 68 S.
- Fox, D.G., C.J. Sniffen, J.D. O'Connor, J.B. Russell und P.J. Van Soest, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: 3. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Anim. Sci.* **70**, 3578-3596
- Fox, D.G., M.E. Van Amburgh und T.P. Tytlutki, 1999: Predicting requirements for growth, maturity and body reserves of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **82**, 1968-1977
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 1991: Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* **65**, 229-234
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, No. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. Frankfurt/Main, DLG-Verlag, 135 S.
- Gruber, L., A. Steinwider, T. Guggenberger und G. Wiedner, 1997: Interpolation der Verdauungskoeffizienten von Grundfuttermitteln der DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. Aktualisiertes Arbeitspapier der ÖAG-Fachgruppe Fütterung über die Grundlagen zur Berechnung der Verdaulichkeit und des UDP-Gehaltes auf der Basis der DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (7. Auflage 1997)
- Gruber, L., F.J. Schwarz, D. Erdin, B. Fischer, H. Spiekers, H. Steingäß, U. Meyer, A. Chassot, T. Jilg, A. Obermaier und T. Guggenberger, 2004: Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 116. VDLUFA-Kongress, 13.-17. Sept. 2004, Rostock, Kongressband 2004, 484-504
- Harvey, W.R., 1987: User's Guide for Mixed Model Least-Squares and Maximum Likelihood Computer Program. Ohio State University, USA, 59 S.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables (R. Jarrige ed.), John Libbey Eurotext Paris-London-Rome, 389 S.

- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 2007: Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. Besoins des Animaux – Valeurs des Aliments. Tables INRA 2007. Editions Quae, c/o INRA, RD 10, 78026 Versailles Cedex, 307 S.
- Johnson, D.E., K.A. Johnson und R.L. Baldwin, 1990: Changes in liver and gastrointestinal tract energy demands in response to physiological work load in ruminants. *J. Nutr.* **120**, 649-655
- Kirchgeßner, M., 1997: Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. Verlagsunion Agrar, 10. Auflage, 582 S.
- Lins, M., L. Gruber und W. Obritzhauser, 2003: Zum Einfluss der Energieversorgung vor der Abkalbung auf Futteraufnahme, Körpermasse und Körperkondition sowie Milchleistung und Stoffwechsel von Milchkühen. Übers. *Tierernährg.* **31**, 75-120
- Martin, O. und D. Sauvant, 2002: Metaanalysis of input/output kinetics in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **85**, 3363-3381
- McNamara, J.P., 1994: Lipid metabolism in adipose tissue during lactation: a model of a metabolic control system. *J. Nutr.* **124**, 1383S-1391
- Menke, K.-H. und W. Huss, 1987: Tierernährung und Futtermittelkunde. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 3. Auflage, 424 S.
- Münger, A., 1994: Effizienzvergleiche bei unterschiedlichen Milchviehtypen. *Agrarforschung* **1**, 389-392
- NRC (National Research Council), 2001: Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th Edition). National Academy Press, Washington, D.C., 381 S.
- Oldham, J.D. und G.C. Emmans, 1990: Animal performance as the criterion for feed evaluation. In: J. Wiseman & D.J.A. Cole (Eds.), *Feedstuff Evaluation*, Butterworth, London, 73-90
- Pond, C.M., 1984: Physiological and ecological importance of energy storage in the evolution of lactation. Evidence for a common pattern of anatomical organisation of adipose tissue in mammals. *Symp. Zool. Soc. Lond.* **51**, 1-32
- SAS Institute Inc., 1999: SAS/STAT® User's Guide, Version 8, Cary, NC, 3884 S.
- SCA (Standing Committee on Agriculture – Ruminants Subcommittee), 1990: Feeding Standards for Australian Livestock – Ruminants. CSIRO Publications, Australia, 266 S.
- Schwager-Suter, R., C. Stricker, D. Erdin und N. Künzi, 2001: Quantification of changes in body weight and body condition scores during lactation by modelling individual energy balance and total net energy intake. *Anim. Sci.* **72**, 325-334
- Statgraphics Plus 5, 2000: Manugistics Leveraged Intelligence. User Manual. Maryland, USA.
- Susenbeth, A., T. Dickel, K.-H. Südekum, W. Drochner und H. Steingäß, 2004: Energy requirements of cattle for standing and for ingestion, estimated by a ruminal emptying technique. *J. Anim. Sci.* **82**, 129-136
- Tamminga, S., P.A. Luteijn und R.G.M. Meijer, 1997: Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. *Livest. Prod. Sci.* **52**, 31-38