

Münster, den 10. März 2009

Neue Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie von Mischfutter für Rinder

Erarbeitet von:

Dr. Martin Pries und Annette Menke

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Referat Tierproduktion, Münster

Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum und Dr. Ernst Tholen

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften, Bonn

Weitere Datensätze wurden bereit gestellt von:

Univ.-Doz. Dr. Leonard Gruber, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Irnding, Österreich

Dr. Frank Hertwig, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Abteilung Landwirtschaft, Paulinenaue

Dr. Hubert Spiekers, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing

	Seite
Verzeichnis der Abkürzungen	3
1 Einleitung	4
2 Warum eine neue Energieschätzgleichung?.....	5
3 Welche Daten wurden berücksichtigt?.....	6
4 Welche Methoden wurden angewandt?	8
5 Welche Schätzgleichung wählen?.....	9
6 Wird eine ausreichende Genauigkeit bei hohen und niedrigen Gehalten an Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und Stärke erreicht?	11
7 Wie werden Mischfutter mit speziellen Komponenten bewertet?	16
a) Mischfutter mit geschützten Proteinträgern	16
b) Mischfutter mit Glycerin oder Propylenglykol	16
8 Wie werden Prüffutter aus dem Jahr 2008 bewertet?	18
9 Zusammenfassende Schlussfolgerungen.....	20
10 Literatur.....	22
11 Anhang:	23

Verzeichnis der Abkürzungen

ADForg	Säure-Detergenzien-Faser (acid detergent fibre)
DOM	Verdaulichkeit organische Masse
DOR	Verdaulichkeit organischer Rest
DXF	Verdaulichkeit Rohfaser
DXL	Verdaulichkeit Rohfett
DXP	Verdaulichkeit Rohprotein
EO = ELOS	Enzymlöslichkeit der organischen Substanz, Cellulase-Löslichkeit
Gb	Gasbildung
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
KF	Kälberaufzuchtfutter
m	Mittelwert
ME	umsetzbare (metabolische) Energie
MJ	Mega-Joule
MLF	Milchleistungsfutter
NDForg	Neutral-Detergenzien-Faser (neutral detergent fibre)
NEL	Nettoenergie-Laktation
NFC	Nichtfaser-Kohlenhydrate (non-fibre carbohydrates) (TM-XA-XL-XP-NDForg)
OR	Organischer Rest (TM-XA-XL-XF)
R²	Bestimmtheitsmaß
RM	Rindermastfutter
s	Standardabweichung
TM	Trockenmasse
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XS	Stärke
XX	stickstofffreie Extraktstoffe, N-freie Extraktstoffe
XZ	Zucker

1 Einleitung

Gemäß GfE (2001) ist die Umsetzbare Energie (ME) der generelle Maßstab zur Energiebewertung beim Wiederkäuer. Die Berechnung des ME-Gehaltes eines Futtermittels erfolgt dabei aus den verdaulichen Rohnährstoffen nach einer Gleichung der GfE aus dem Jahr 1995. Für Milchkühe erfolgt die energetische Bewertung auf Basis der Nettoenergie Laktation (NEL), die unter Berücksichtigung der Umsetzbarkeit und des Teilwirkungsgrades aus der ME berechnet wird.

Im Jahr 1996 wurden von der GfE Schätzgleichungen für den NEL- und den ME-Gehalt in Wiederkäuermischfuttern auf Basis der Rohnährstoffe veröffentlicht. Diese Gleichungen fanden auch Berücksichtigung in der derzeit gültigen Futtermittelverordnung. Die Schätzgleichungen lauten:

Nettoenergie-Laktation NEL (MJ/kg)	Umsetzbare Energie ME (MJ/kg)
-XA x XF x 0,0000487	XP x 0,0126
+XP x Gb x 0,0001329	+XF x 0,0225
+XL x XL x 0,0001601	+XX x 0,0112
+XF x XF x 0,0000135	+XA x XL x 0,0003975
+XX x Gb x 0,0000631	-XA x XF x 0,0001993
+3,81	+EO x EO x 0,0002449
	-0,15
R ² = 0,603	R ² = 0,646
S _{y,x} = 0,1741	S _{y,x} = 0,2275
Schätzfehler (%) = 2,06	Schätzfehler (%) = 2,11

Rohnährstoffe in g/kg, Gasbildung (Gb) in ml/200 mg

EO = ELOS = Cellulase-Löslichkeit in %

alle Werte bezogen auf Originalsubstanz

2 Warum eine neue Energieschätzgleichung?

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen einen Vergleich des aus Verdauungsversuchen abgeleiteten Energiewertes (in vivo) mit den über die Schätzgleichungen (GfE 1996) ermittelten Energiegehalten in 456 Milchleistungsfuttern aus der energetischen Futterwertprüfung NRW der letzten neun Jahre. Mischfutter mit höherem Energiegehalt werden demnach systematisch unterschätzt. Eine Anpassung der Schätzgleichungen scheint geboten.

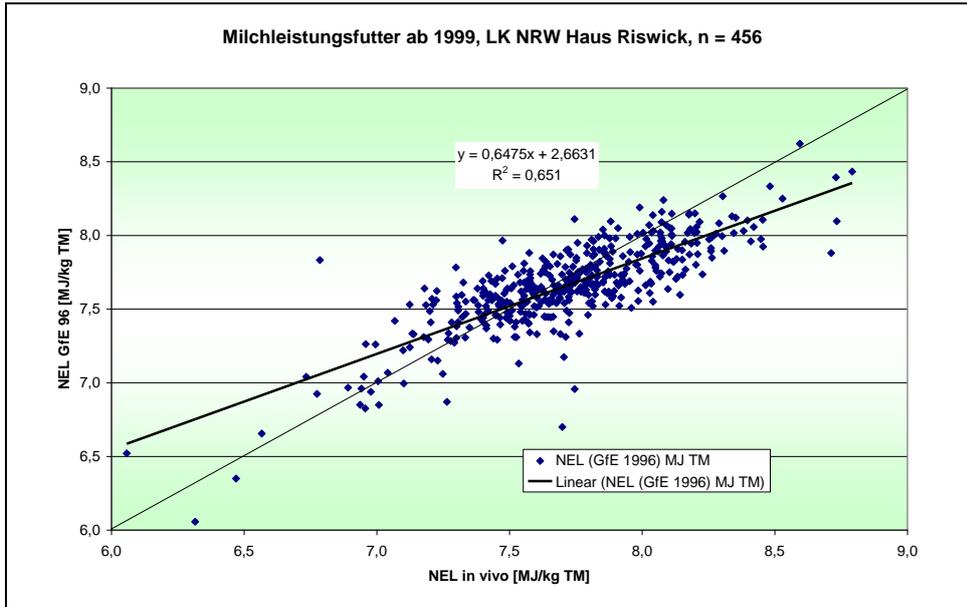


Abbildung 1: Vergleich des aus Verdauungsversuchen abgeleiteten NEL-Gehaltes (in vivo) mit dem über die Gleichung der GfE (1996) geschätzten NEL-Wert

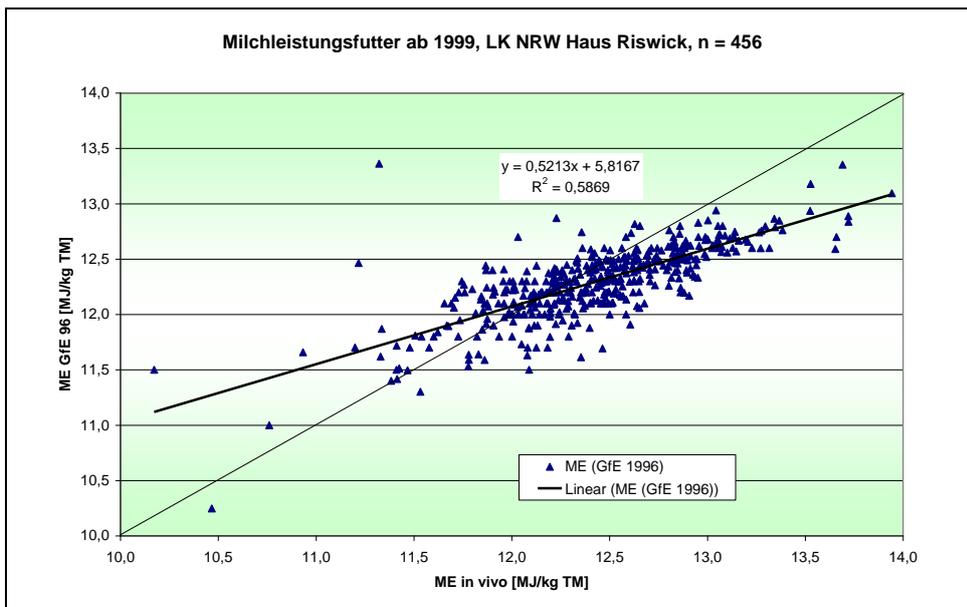


Abbildung 2: Vergleich des aus Verdauungsversuchen abgeleiteten ME-Gehaltes (in vivo) mit dem über die Gleichung der GfE (1996) geschätzten ME-Wert

3 Welche Daten wurden berücksichtigt?

Berücksichtigt wurden Mischfutter für Wiederkäuer aus der energetischen Futterwertprüfung, bei denen der Energiegehalt im Rahmen einer Verdaulichkeitsmessung gemäß den Vorgaben der GfE (1991) aus den verdaulichen Rohnährstoffen abgeleitet wurde. Die Analyse der Rohnährstoffgehalte, der ADForg und NDForg sowie der Stärke erfolgte gemäß den Vorschriften des Methodenbuches des VDLUFA (2007).

Aus folgenden Einrichtungen standen Datensätze zur Verfügung:

- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, LZ Haus Riswick, Kleve
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing-Grub

Die Mischfutter wurden in Jahren 1999 bis 2008 der Verdaulichkeitsprüfung unterzogen. Im LZ Haus Riswick wurden Futter aus Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Hessen und Rheinland-Pfalz sowie aus Belgien und den Niederlanden geprüft. Die Übersicht 1 informiert über den Prüfumfang bei verschiedenen Futterarten.

Übersicht 1: Umfang der verschiedenen Futterarten in der energetischen Futterwertprüfung

Einrichtung	Anzahl gesamt	MLF	RM	KF
Haus Riswick	338	308	27	3
Grub	11	4	-	7
Gesamt	349	312	27	10

Ingesamt kamen 349 Mischfutter in die Auswertung. Die Datensätze wurden nach dem ME-Gehalt sortiert und anschließend wurde jeder fünfte Datensatz der Validierungsdatei zugeordnet. Die Tabellen 1 bis 3 zeigen die Rohnährstoffgehalte der verschiedenen Datensätze sowie deren Variationen.

Tabelle 1: Rohrnährstoffgehalte, Verdaulichkeiten und Energiegehalte aller ausgewerteten Wiederkäuermischfutter, n = 349

Einheit		m	s	5 % Quantil	95 % Quantil	min	max
TM	g/kg	888	11,8	869	908	858	929
XA	g/kg TM	77	14,6	61	110	51	140
XP	g/kg TM	232	50,1	188	365	155	455
XL	g/kg TM	42	10,9	30	58	14	129
XF	g/kg TM	105	24,5	66	144	47	216
OR	g/kg TM	775	36,0	721	829	575	866
XS	g/kg TM	208	89,4	67	346	32	490
XZ	g/kg TM	85	21,7	50	120	27	184
NDForg	g/kg TM	299	71,4	178	404	79	468
ADForg	g/kg TM	148	42,6	84	212	50	373
NFC	g/kg TM	349	80,8	223	491	167	577
Gb	ml/200 mg TM	57,2	4,5	47,4	62,3	38,1	65,3
ELOS	g/kg TM	792	48,2	709	861	638	924
DOM	%	84	3,1	78	88	72	93
DXP	%	81	3,9	79	84	67	92
DXL	%	86	5,3	77	93	52	99
DXF	%	60	9,8	42	75	28	85
DOR	%	87	2,6	82	91	78	94
ME*	MJ/kg TM	12,4	0,51	11,6	13,3	10,5	13,9
NEL*	MJ/kg TM	7,73	0,38	7,06	8,32	6,32	8,79

* aus den verdaulichen Rohrnährstoffen abgeleitet

Tabelle 2: Rohrnährstoffgehalte, Verdaulichkeiten und Energiegehalte der Wiederkäuermischfutter der Schätzdatei, n = 280

Einheit		m	s	5 % Quantil	95 % Quantil	min	max
TM	g/kg	888	11,3	869	907	861	923
XA	g/kg TM	77	14,1	62	107	51	140
XP	g/kg TM	230	47,0	188	346	155	455
XL	g/kg TM	42	11,1	29	58	14	129
XF	g/kg TM	105	24,6	66	144	47	216
OR	g/kg TM	776	35,6	724	828	575	866
XS	g/kg TM	209	87,0	72	343	32	490
XZ	g/kg TM	85	22,2	50	120	27	184
NDForg	g/kg TM	302	71,3	176	405	79	468
ADForg	g/kg TM	148	41,9	85	215	50	368
NFC	g/kg TM	350	78,3	224	489	167	577
Gb	ml/200 mg TM	57,5	4,2	48,0	62,1	39,3	65,3
ELOS	g/kg TM	793	48,3	710	862	644	924
ME*	MJ/kg TM	12,4	0,51	11,5	13,3	10,5	13,9
NEL*	MJ/kg TM	7,73	0,38	7,05	8,33	6,32	8,79

* aus den verdaulichen Rohrnährstoffen abgeleitet

Tabelle 3: Rohnährstoffgehalte, Verdaulichkeiten und Energiegehalte der Wiederkäuermischfutter der Validierungsdatei, n = 69

	Einheit	m	s	5 % Quantil	95 % Quantil	min	max
TM	g/kg	887	13,7	868	910	858	929
XA	g/kg TM	80	16,3	61	111	54	132
XP	g/kg TM	244	60,4	186	399	161	427
XL	g/kg TM	42	10,2	30	55	28	99
XF	g/kg TM	104	24,4	66	145	51	162
OR	g/kg TM	774	37,5	721	835	621	842
XS	g/kg TM	203	99,1	49	385	35	441
XZ	g/kg TM	83	19,5	49	110	35	124
NDForg	g/kg TM	287	70,7	182	394	149	420
ADForg	g/kg TM	148	45,5	83	205	55	373
NFC	g/kg TM	347	90,9	196	500	175	562
Gb	ml/200 mg TM	56,3	5,3	45,3	62,5	38,1	63,0
ELOS	g/kg TM	788	48,0	710	859	638	874
ME*	MJ/kg TM	12,5	0,48	11,7	13,2	11,2	13,7
NEL*	MJ/kg TM	7,74	0,37	7,14	8,29	6,73	8,73

* aus den verdaulichen Rohnährstoffen abgeleitet

4 Welche Methoden wurden angewandt?

Es wurden Regressionsgleichungen für die aus der Verdaulichkeitsprüfung ermittelten Gehalte an ME mit Hilfe von SAS-Prozeduren im Stepwise-Verfahren abgeleitet. In den Schätzmodellen verblieben nur solche Parameter, die ein Signifikanzniveau von $p = 0,15$ unterschritten. Folgende Variablen wurden für die Ableitung von Schätzgleichungen berücksichtigt:

- Rohnährstoffe: Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, ADForg, NDForg, Stärke
- in vitro-Kriterien: Gasbildung (Gb), Enzymlöslichkeit der organischen Substanz („Cellulaselöslichkeit“, ELOS)

Die Verwendung von Rohfaser bzw. NDForg oder ADForg erfolgte alternativ. Eine zusätzliche Beschränkung bestand darin, dass ADForg und NDForg nicht gleichzeitig als Variablen einer Schätzgleichung fungieren konnten. Des Weiteren wurden Gleichungen mit und ohne Absolutglied geprüft.

5 Welche Schätzgleichung wählen?

Maßstab für die Güte von Schätzgleichungen ist das Bestimmtheitsmaß (R^2) und der relative Schätzfehler. Die Tabelle 4 zeigt die gewählten Variablen von acht verschiedenen Schätzgleichungen mit und ohne Berücksichtigung eines Absolutglieds und deren Gütekriterien. Ebenfalls angegeben sind die Schätzfehler und die Werte für die Verzerrung („bias“), die sich bei Anwendung der Gleichungen für die Validierungsdatensätze ergeben.

Tabelle 4: Darstellung der Modelle mit den jeweiligen Variablen sowie Bestimmtheitsmaß, Schätzfehler und Bias für die Schätz- bzw. Validierungsdaten

	Modell 1a		Modell 1b		Modell 2a		Modell 2b	
Angebote Variablen	XA, XP, XL, XS, XF Gb		XA, XP, XL, XS, XF ELOS		XA, XP, XL, XS, ADForg, Gb		XA, XP, XL, XS, NDForg, ELOS	
Gewählte Variablen								
Absolutglied	X		X		X		X	
XA	X		X		X	X	X	
XP	X	X	X	X	X	X	X	X
XL	X	X	X	X	X	X	X	X
XF	X	X	X	X				
XS	X	X	X	X	X	X	X	X
NDForg							X	X
ADForg					X	X		
Gb	X	X			X	X		
ELOS			X	X			X	X
Schätzdatei, n = 280								
R²	0,80		0,77		0,79		0,76	
Schätzfehler, %	1,87	2,36	2,01	3,17	1,89	2,35	2,04	2,96
Validierungsdatei, n = 69								
Schätzfehler, %	2,01	2,65	2,06	2,96	2,00	2,64	2,03	2,93
Bias, MJ ME/kg TM	-0,03	-0,03	-0,03	-0,05	-0,03	-0,02	-0,03	-0,06

Die Schätzfehler der acht geprüften Gleichungen variieren für die Daten der Schätzdatei zwischen 1,87 und 3,17 %. Gleichungen ohne Absolutglied weisen um 0,46 bis 1,16 %-Punkte

höhere Schätzfehler auf. Diese Unterschiede in den Schätzfehlern sind als erheblich zu betrachten, so dass Gleichungen ohne Absolutglied nicht weiter verfolgt werden.

Bei Gleichungen mit Absolutglied sind die Gasbildungsgleichungen den ELOS-Gleichungen geringfügig überlegen. Die Verwendung der Rohfaser führt zu gleichen Genauigkeiten wie der Einsatz der Variablen ADForg bzw. NDForg. Unter Berücksichtigung der Schätzgüte sowie der Routinen in den verschiedenen Untersuchungseinrichtungen können zunächst die in Übersicht 2 dargestellten Gleichungen empfohlen werden.

Übersicht 2: Schätzgleichungen mit Absolutglied für den Gehalt an ME (MJ/kg TM)
(Angaben: Rohnährstoffgehalte in g/kg TM, Gasbildung (Gb) in ml/200 mg TM)

	Modell 1a	Modell 1b	Modell 2a	Modell 2b
	XA, XP, XL, XS, XF Gb	XA, XP XL, XS, XF ELOS	XA, XP, XL, XS, ADForg, Gb	XA, XP, XL, XS, NDForg, ELOS
Absolut- glied	7,37674	9,7796	7,17089	9,67092
XA	-0,01084	-0,01624	-0,01171	-0,01698
XP	+0,00693	+0,00353	+0,00712	+0,00340
XL	+0,01647	+0,01168	+0,01657	+0,01126
XF	-0,00412	-0,00398		
XS	+0,00191	+0,00094	+0,00200	+0,00123
NDForg				-0,00097
ADForg			-0,00202	
Gb	+0,06338		+0,06463	
ELOS		+0,00356		+0,00360
Schätzdatei				
R²	0,80	0,77	0,79	0,76
Schätz- fehler, %	1,87	2,01	1,89	2,04

In Analogie zu den Grobfuttergleichungen sollten auch für die Energieschätzung von Mischfutter für Rinder Gleichungen mit den Variablen NDForg oder ADForg gegenüber Schätzungen auf Basis der Rohfaser bevorzugt werden, da die Detergenzienfasern eine vollständigere Erfassung der Zellwandbestandteile liefern als die Kenngröße Rohfaser. Hinzu kommt die Tatsache, dass die Detergenzienfasern weltweit gebräuchlicher sind als die traditionelle Rohfaserfraktion. Beachtet werden sollte aber, dass bisher für die NDForg und ADForg keine

Analysenspielräume bzw. Toleranzen vom VDLUFA bzw. vom Verordnungsgeber festgelegt sind. Dies macht einen Einsatz der Schätzgleichungen in der amtlichen Futtermittelüberwachung bisher unmöglich. Jedoch dürfte es möglich sein, relativ kurzfristig die Analysenspielräume auch für die Detergenzienfasern festzulegen, da davon auszugehen ist, dass mittlerweile ausreichende Analysenumfänge in den Untersuchungsinstituten zur Festlegung der Analysenspielräume vorhanden sind. Aus diesen Erwägungen sollten die Gleichungen 2a und 2b favorisiert werden.

6 Wird eine ausreichende Genauigkeit bei hohen und niedrigen Gehalten an Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und Stärke erreicht?

Robuste Schätzgleichungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie auch bei hohen bzw. niedrigen Gehalten einzelner Rohnährstoffe zuverlässige Energiewerte liefern. Zur Prüfung dieser Forderung wurde das Gesamtmaterial in Rohprotein-, Rohfett-, Rohfaser- und Stärkeklassen eingeteilt und anschließend die Schätzfehler und Biaswerte innerhalb der Nährstoffklassen berechnet. Die Klasseneinteilung wurde bei jedem Rohnährstoff nach dem oberen und unteren Quartil vorgenommen. Die Tabellen 4 bis 7 zeigen die Ergebnisse. Die mittleren Nährstoffgehalte in den einzelnen Klassen finden sich im Anhang in den Tabellen A1 bis A4.

Tabelle 4: Güte verschiedener ME-Schätzgleichungen in Abhängigkeit vom Rohprotein (XP)-Gehalt, n = 349

	Modell 1a	Modell 1b	Modell 2a	Modell 2b	GfE '96
	XA, XP, XL, XS, XF Gb	XA, XP XL, XS, XF ELOS	XA, XP, XL, XS, ADForg, Gb	XA, XP, XL, XS, NDForg, ELOS	<i>Basis ELOS</i>
XP kleiner 206 g/kg TM, n = 88					
Schätz- fehler, %	2,03	2,04	2,06	1,99	2,19
Bias, MJ ME/kg TM	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06
XP von 206 bis 237 g/kg TM, n = 173					
Schätz- fehler, %	1,78	1,84	1,76	1,82	2,46
Bias, MJ ME/kg TM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XP größer 238 g/kg TM, n = 88					
Schätz- fehler, %	1,91	2,27	1,98	2,40	2,84
Bias, MJ ME/kg TM	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03	-0,11

Bei allen Modellen ergeben sich die geringsten Schätzfehler bei den Mischfuttern mit mittleren Rohproteingehalten. Mischfutter mit geringeren und höheren Rohproteingehalten werden von allen Modellen mit leicht höheren Fehlern geschätzt. In allen Schätzungen bei Verwendung der neuen Modelle sind die Bias-Werte Null bzw. sehr nahe bei Null. Eine systematische Unter- oder Überschätzung erfolgt deshalb durch keine der geprüften Gleichungen.

Geringe Schätzfehler für Mischfutter mit hohen Rohproteingehalten werden vor allem bei den Gleichungen erzielt, die die in vitro-Größe Gasbildung verwenden. Wird die Energieschätzung mit der Gleichung der GfE (1996) vorgenommen, ergeben sich deutlich erhöhte Schätzfehler im Vergleich zu den neuen Gleichungen. Dies gilt insbesondere für rohproteinreiche Mischfutter.

Tabelle 5: Güte verschiedener ME-Schätzgleichungen in Abhängigkeit vom Rohfett-(XL)-Gehalt, n = 349

	Modell 1a	Modell 1b	Modell 2a	Modell 2b	GfE '96
	XA, XP, XL, XS, XF Gb	XA, XP XL, XS, XF ELOS	XA, XP, XL, XS, ADForg, Gb	XA, XP, XL, XS, NDForg, ELOS	<i>Basis ELOS</i>
XL kleiner 37 g/kg TM, n = 93					
Schätzfehler, %	1,92	1,99	1,87	1,96	2,14
Bias, MJ ME/kg TM	-0,01	0,00	-0,01	0,01	-0,10
XL von 37 bis 45 g/kg TM, n = 161					
Schätzfehler, %	1,85	2,00	1,87	1,97	2,24
Bias, MJ ME/kg TM	0,02	0,01	0,01	0,00	-0,01
XL größer 45 g/kg TM, n = 95					
Schätzfehler, %	1,88	2,03	1,96	2,15	3,15
Bias, MJ ME/kg TM	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03	0,08

In allen Rohfettklassen ergeben sich vergleichbare Schätzfehler, so dass sich fettarme und fettreiche Mischfutter gleichermaßen gut schätzen lassen. Die Biaswerte sind in allen Situationen nahe bei Null. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse werden ebenfalls Schätzfehler und Biaswerte bei Verwendung der GfE-Gleichung von 1996 angegeben. Auffällig sind hier wiederum die höheren Schätzfehler im Vergleich zu den neuen Gleichungen.

Tabelle 6: Güte verschiedener ME-Schätzgleichungen in Abhängigkeit vom Rohfaser-(XF)-Gehalt, n = 349

	Modell 1a	Modell 1b	Modell 2a	Modell 2b	GfE '96
	XA, XP, XL, XS, XF Gb	XA, XP XL, XS, XF ELOS	XA, XP, XL, XS, ADForg, Gb	XA, XP, XL, XS, NDForg, ELOS	<i>Basis ELOS</i>
XF kleiner 90 g/kg TM, n = 97					
Schätzfehler, %	1,79	1,69	1,84	1,72	1,90
Bias, MJ ME/kg TM	-0,01	-0,01	-0,03	-0,03	-0,12
XF von 90 bis 119 g/kg TM, n = 164					
Schätzfehler, %	1,88	1,97	1,85	1,97	2,25
Bias, MJ ME/kg TM	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,01
XF größer 119 g/kg TM, n = 88					
Schätzfehler, %	2,00	2,41	2,04	2,43	3,44
Bias, MJ ME/kg TM	-0,01	-0,02	0,00	0,02	0,07

Mit zunehmendem Fasergehalt lässt die Genauigkeit bei allen Schätzgleichungen nach. Der Abfall in der Genauigkeit ist bei den Gb-Gleichungen wesentlich geringer als bei den ELOS-Gleichungen. Die Biaswerte sind wiederum nahe bei Null. Insbesondere die faserreichen Futtermittel lassen sich mit der GfE-Gleichung von 1996 relativ ungenau schätzen.

Tabelle 7: Güte verschiedener ME-Schätzgleichungen in Abhängigkeit vom Stärke-(XS)-Gehalt, n = 349

	Modell 1a	Modell 1b	Modell 2a	Modell 2b	GfE '96
	XA, XP, XL, XS, XF Gb	XA, XP XL, XS, XF ELOS	XA, XP, XL, XS, ADForg, Gb	XA, XP, XL, XS, NDForg, ELOS	<i>Basis</i> <i>ELOS</i>
XS kleiner 131 g/kg TM, n = 88					
Schätzfehler, %	1,97	2,39	2,04	2,52	3,66
Bias, MJ ME/kg TM	0,00	0,01	0,00	0,01	0,06
XS von 131 bis 271 g/kg TM, n = 172					
Schätzfehler, %	1,91	1,96	1,89	1,88	2,03
Bias, MJ ME/kg TM	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	0,00
XS größer 271 g/kg TM, n = 89					
Schätzfehler, %	1,77	1,70	1,78	1,74	2,04
Bias, MJ ME/kg TM	0,00	0,01	0,00	0,02	-0,10

Mit zunehmendem Stärkegehalt werden die Schätzfehler bei allen Modellen geringer. Die Gleichungen mit der Variablen Gasbildung weisen in den ersten beiden Stärkeklassen die geringeren Schätzfehler auf. Zudem sind die Differenzen in den Schätzfehlern zwischen den Stärkeklassen bei den Gb-Gleichungen am niedrigsten.

Zwischenresümee:

Auch bei hohen bzw. niedrigen Gehalten an Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und Stärke werden mit den neuen Gleichungen zuverlässige Schätzwerte für den Energiegehalt ermittelt. Im Vergleich zur Schätzgleichung der GfE von 1996 ergeben sich deutliche Vorteile, d. h. es werden genauere Schätzergebnisse insbesondere in den Randbereichen der Verteilung erzielt.

7 Wie werden Mischfutter mit speziellen Komponenten bewertet?

a) Mischfutter mit geschützten Proteinträgern

In der Milchkuhfütterung werden häufig Milchleistungsfutter eingesetzt, in denen geschützte (pansenstabile) Soja- und Rapsextraktionsschrote eingemischt sind. Es stellt sich die Frage, wie diese speziellen Milchleistungsfutter energetisch über die Schätzgleichungen bewertet werden. Für insgesamt 21 Futter der Prüffahre 2004 - 2008 wurden die Energieschätzungen mit Hilfe der neuen Gleichungen durchgeführt. Im Anhang (Tabelle A5) sind die Rohnährstoff- und Energiegehalte aufgeführt. Die Schätzfehler und Bias-Werte der unterschiedlichen Gleichungen für dieses spezielle Sortiment der Milchleistungsfutter liegen auf einem sehr niedrigen Niveau (Tabelle 8). Die Gb-Gleichungen führen dabei tendenziell zu einer leichten Unterschätzung der Mischfutter mit geschützten Proteinträgern.

Tabelle 8: Mischfutter mit geschützten Proteinträgern 2004 - 2008, Güte verschiedener ME-Schätzgleichungen, n = 21

	Modell 1a	Modell 1b	Modell 2a	Modell 2b	GfE '96
	XA, XP, XL, XS, XF Gb	XA, XP XL, XS, XF ELOS	XA, XP, XL, XS, ADForg, Gb	XA, XP, XL, XS, NDForg, ELOS	<i>Basis</i> <i>ELOS</i>
Schätzfehler, %	1,45	1,29	1,53	1,27	1,16
Bias, MJ ME/kg TM	-0,13	-0,08	-0,12	-0,08	-0,15

b) Mischfutter mit Glyzerin oder Propylenglykol

Ebenfalls am Markt verfügbar sind Milchleistungsfutter, in denen Glyzerin oder Propylenglykol eingemischt ist. Für 17 dieser Futter der Prüffahre 2004 - 2007 wurden die Energieschätzungen mit Hilfe der neuen Gleichungen durchgeführt. Nach Herstellerangabe enthielten die Mischfutter zwischen 2,5 und 8 % Propylenglykol bzw. Glyzerin. Im Anhang (Tabelle A6) sind die Rohnährstoffgehalte und Energiegehalte aufgeführt. Die Tabelle 9 zeigt die Schätzfehler und Bias-Werte der unterschiedlichen Gleichungen für dieses spezielle Sortiment der Milchleistungsfutter. Insbesondere die Gb-Gleichungen liefern für diese Spezialfutter sehr günstige Schätzfehler. Die Biaswerte sind insgesamt sehr niedrig und für die verschiedenen Modelle vergleichbar.

Insgesamt verdeutlichen die Auswertungen, dass die neuen Gleichungen auch spezielle Milchleistungsfutter mit geschützten Proteinträgern und antiketogenen Substanzen energetisch noch ausreichend gut bewerten.

Tabelle 9: Mischfutter mit Glyzerin oder Propylenglykol 2004 - 2007, Güte verschiedener ME-Schätzgleichungen, n = 17

	Modell 1a	Modell 1b	Modell 2a	Modell 2b	GfE '96
	XA, XP, XL, XS, XF Gb	XA, XP XL, XS, XF ELOS	XA, XP, XL, XS, ADForg, Gb	XA, XP, XL, XS, NDForg, ELOS	Basis ELOS
Schätz- fehler, %	1,66	2,15	1,70	2,10	2,35
Bias, MJ ME/kg TM	-0,09	-0,09	-0,08	-0,11	-0,11

8 Wie werden Prüffutter aus dem Jahr 2008 bewertet?

Im Jahr 2008 wurden im Rahmen der energetischen Futterwertprüfung im LZ Haus Riswick weitere 47 Mischfutter für Wiederkäuer, davon 40 Milchleistungsfutter, vier Schaffutter und drei Kälberaufzuchtfutter, geprüft. Auch an diesem unabhängigen Datensatz wurden die neuen Schätzgleichungen validiert. In der Tabelle 10 werden die Roh Nährstoffgehalte, Verdaulichkeiten und die daraus abgeleiteten Energiewerte dargestellt. Die Angaben werden auf Basis der Trockenmasse gemacht. Im Vergleich zur Schätz- und Validierungsdatei ergeben sich höhere Stärke- und Energiegehalte. Die Werte für Rohasche, Rohfett und Rohprotein sind ähnlich.

Tabelle 10: Roh Nährstoffgehalte, Verdaulichkeiten und Energiegehalte der in 2008 geprüften Mischfutter für Wiederkäuer, n = 47

		m	s	5 % Quantil	95 % Quantil	min	max
TM	g/kg	880	7,3	869	892	867	894
XA	g/kg TM	73	14,0	59	91	57	140
XP	g/kg TM	216	34,8	176	252	170	391
XL	g/kg TM	38	7,8	24	49	22	56
XF	g/kg TM	92	28,0	48	136	40	174
OR	g/kg TM	798	35,4	742	844	689	870
XS	g/kg TM	294	89,2	168	437	51	513
XZ	g/kg TM	83	18,8	49	106	42	126
NDForg	g/kg TM	252	60,8	159	351	128	418
ADForg	g/kg TM	118	41,3	60	182	43	242
Gb	ml/200 mg TM	58,8	3,4	54,6	63,4	46,3	66,1
ELOS	g/kg TM	821	49,2	731	892	718	909
DOM	%	86	2,73	82	91	79	93
DXP	%	82	3,5	77	87	72	88
DXL	%	84	6,2	70	91	64	93
DXF	%	62	12,7	43	82	36	96
DOR	%	89	2,2	86	93	84	93
ME*	MJ/kg TM	12,7	0,43	11,8	13,3	11,7	13,6
NEL*	MJ/kg TM	7,95	0,33	7,31	8,48	7,20	8,63

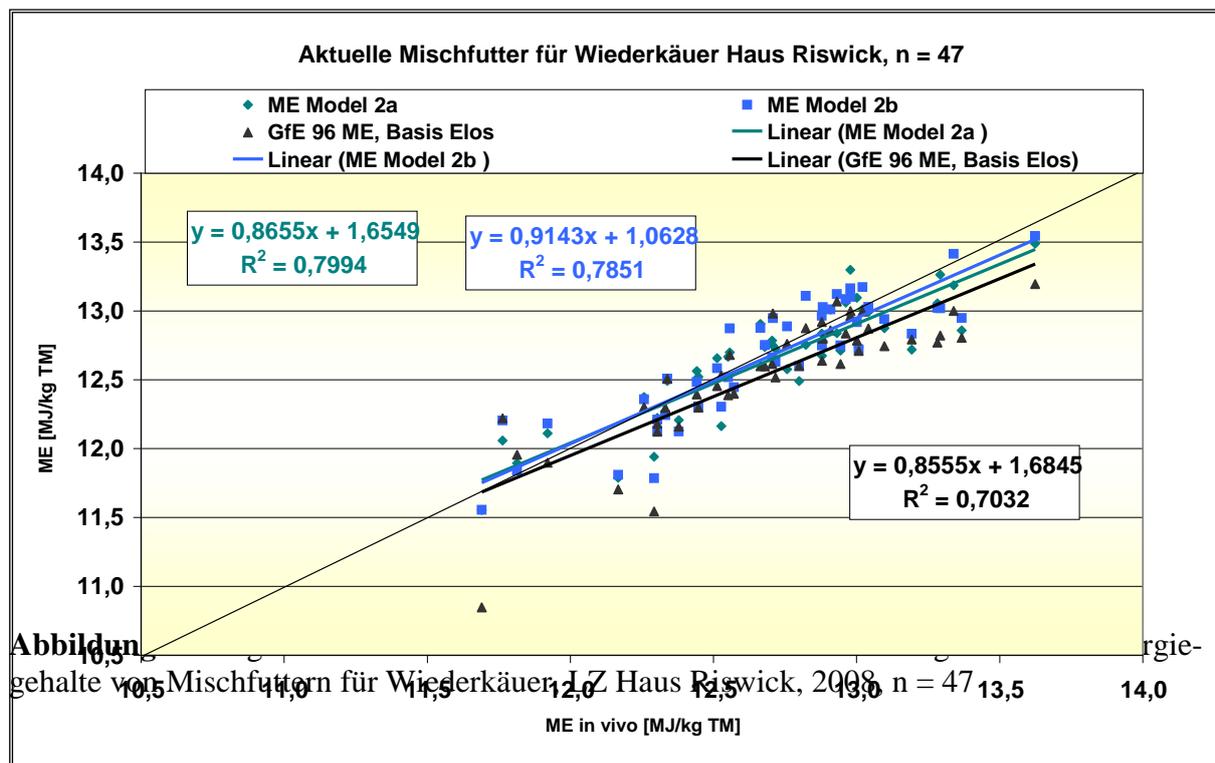
* aus den verdaulichen Roh Nährstoffen bestimmt

Die Tabelle 11 zeigt Schätzfehler und Biaswerte bei Anwendung der beiden Schätzgleichungen auf die in 2008 geprüften Futter. Es ergeben sich insgesamt geringe Schätzfehler, die für die Gb-Gleichungen tendenziell niedriger als für die ELOS-Gleichungen sind. Der Schätzfehler für die GfE-Gleichung von 1996 ist dagegen deutlich höher. Die Bias-Werte sind bei den

neuen Gleichungen nahe bei Null, so dass es zu keiner systematischen Verschiebung der geschätzten Energiewerte kommt. In der Abbildung 3 wird der Sachverhalt grafisch verdeutlicht.

Tabelle 11: Güte verschiedener ME-Schätzgleichungen bei Mischfuttern für Wiederkäuer aus 2008, n = 47

	Modell 2a	Modell 2b	GfE '96
	XA, XP, XL, XS, ADForg, Gb	XA, XP, XL, XS, NDForg, ELOS	Basis ELOS
Schätzfehler, %	1,54	1,65	1,95
Bias, MJ ME/kg TM	-0,05	-0,02	-0,15



9 Zusammenfassende Schlussfolgerungen

1. Die aktuell gültigen Schätzgleichungen für den Energiegehalt von Wiederkäuermischfuttern (GfE 1996) führen insbesondere bei den energiereichen Futtern zu einer systematischen Unterschätzung in nennenswerter Größenordnung. Ursächlich hierfür ist eine im Vergleich zu den für die Ableitung der bisherigen Schätzgleichungen genutzten Mischfuttern geänderte Zusammensetzung der Futter, die vor allem zu höheren Stärkegehalten führt.
2. Für die Ableitung und Validierung neuer Schätzgleichungen stand ein Datenpool von 349 Mischfuttern der Jahre 1999 bis 2008 aus zwei Versuchseinrichtungen zur Verfügung. Bei diesen Futtern wurde nach einer Verdaulichkeitsmessung an Hammeln der Energiegehalt aus den verdaulichen Rohnährstoffen abgeleitet. Die Mischfutter können als repräsentativ für das heute am Markt verfügbare Kraftfutter betrachtet werden.
3. Es wurden insgesamt acht verschiedene Schätzgleichungen im Hinblick auf Schätzfehler und Bestimmtheitsmaß geprüft. Gleichungen ohne Absolutglied zeigten einen deutlichen höheren Schätzfehler. Bei den Gleichungen mit Absolutglied ergaben sich tendenziell bessere Schätzgenauigkeiten bei solchen Modellen, die die in vitro-Größe Gasbildung verwenden. Da die Unterschiede im Vergleich zu den ELOS-Gleichungen nicht sehr groß sind und in den bundesweiten Untersuchungseinrichtungen beide in vitro-Parameter alternativ zur Anwendung kommen, werden zur Schätzung des ME-Gehaltes (MJ/kg TM) die beiden folgenden Gleichungen auf der Basis der Gasbildung (2a) und des Gehaltes an ELOS (2b) empfohlen:

	Modell 2a	Modell 2b
Absolutglied	7,17	9,67
XA	-0,01171	-0,01698
XP	+0,00712	+0,00340
XL	+0,01657	+0,01126
XS	+0,00200	+0,00123
NDForg		-0,00097
ADForg	-0,00202	
Gb	+0,06463	
ELOS		+0,00360
R²	0,79	0,76
Schätzfehler, %	1,89	2,04

Angaben: Rohnährstoffgehalte in g/kg TM, Gasbildung (Gb) in ml/200 mg TM

4. Für die in den Schätzgleichungen verwendeten Variablen sollten folgende Restriktionen berücksichtigt werden:

Variable		Empfohlener Anwendungsbereich	
		von	bis
XA,	g/kg TM	55	140
XP,	“	155	455
XL,	“	15	100
XS,	“	35	440
NDForg,	“	150	450
ADForg,	“	55	370
Gb,	ml/200 mg TM	40	65
ELOS,	g/kg TM	645	920

5. Weiterhin wird gefolgert, dass die Schätzgleichungen für alle Mischfutter für Wiederkäuer (Rinder, Schafe, Ziegen) Gültigkeit besitzen.
6. Der Gehalt an NEL in Mischfuttern für Milchkühe lässt sich aus den ME-Werten nach den Vorgaben der GfE (2001) unter Berücksichtigung der Umsetzbarkeit der Bruttoenergie und des Teilwirkungsgrades der ME für die Milchbildung kalkulieren.

10 Literatur

- GfE (1991): [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie]: Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern.
J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 65, 229-234
- GfE (1995) [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie]: Zur Energiebewertung beim Wiederkäuer.
Proc. Soc. Nutr. Physiol. 4, 121-123
- GfE (1996): [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] Formeln zur Schätzung des Gehaltes an Umsetzbare Energie und Nettoenergie-Laktation in Mischfuttern.
Proc. Soc. Nutr. Physiol. 5, 153-155
- GfE (2001): [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt a. Main
- Van Soest, P.J. (1963): The use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin.
J. Assoc. Offic. Agric. Chem. 46, 829-835
- VDLUFA [Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten] (Hrsg.) (1976): VDLUF Methodenbuch, Band 3, mit Ergänzungslieferungen von 1983, 1988, 1993, 1997, 2004, 2006 und 2007, VDLUFA-Verlag, Darmstadt

11 Anhang:

Tabelle A1: Auswertung nach XP-Klassen, Rohnährstoffgehalte, Verdaulichkeiten und Energiegehalte, n = 349, Angaben in Trockenmasse

	ME, MJ/kg	NEL, MJ/kg	TM, g	XA, g	XP, g	XL, g	XF, g	XS, g	XZ, g	ADForg, g	NDForg, g	Gb, ml/200 mg	ELOS, g
kleiner 206 g XP/kg TM, n = 88													
m	12,4	7,7	892	73	195	42	108	218	83	161	323	59,2	782
s	0,4	0,3	11	8	10	9	22	82	23	42	66	2,6	40
min	11,4	7,0	862	52	155	24	51	82	29	57	152	50,7	667
max	13,7	8,7	923	96	205	95	161	490	144	368	468	65,3	900
206 bis 237 g XP/kg TM, n = 173													
m	12,5	7,8	887	73	219	41	103	229	83	144	303	58,5	800
s	0,5	0,4	12	9	9	11	25	81	21	45	71	2,8	45
min	11,3	6,8	862	51	206	14	47	62	27	50	123	39,3	655
max	13,7	8,7	929	128	237	129	216	418	144	373	456	63,2	924
größer 238 g XP/kg TM, n= 88													
m	12,4	7,7	886	91	296	43	106	154	90	144	267	52,9	784
s	0,7	0,5	12	20	63	12	25	92	20	37	65	5,6	58
min	10,5	6,3	858	56	238	28	58	32	52	66	79	38,1	638
max	13,9	8,8	919	140	455	99	178	347	184	218	390	63,0	893

Tabelle A2: Auswertung nach XL-Klassen, Rohnährstoffgehalte, Verdaulichkeiten und Energiegehalte, n = 349, Angaben in Trockenmasse

	ME, MJ/kg	NEL, MJ/kg	TM, g	XA, g	XP, g	XL, g	XF, g	XS, g	XZ, g	ADForg, g	NDForg, g	Gb, ml/200 mg	ELOS, g
kleiner 37 g XL/kg TM, n = 93													
m	12,4	7,8	886	77	232	32	102	228	91	138	285	58,7	813
s	0,4	0,3	12	11	45	4	27	81	18	42	68	3,3	43
min	11,5	7,0	866	51	186	14	51	44	45	55	123	44,7	705
max	13,7	8,7	922	114	429	36	216	387	132	259	448	64,3	924
37 bis 45 g XL/kg TM, n = 161													
m	12,4	7,7	888	77	233	41	105	201	83	152	304	57,2	785
s	0,5	0,4	12	15	54	2	22	88	24	40	70	4,2	44
min	10,5	6,3	858	54	175	37	60	32	34	66	79	42,0	655
max	13,7	8,5	929	140	455	45	178	443	184	373	456	63,9	862
größer 45 g XL/kg TM, n= 95													
m	12,5	7,8	888	78	231	54	108	198	81	152	304	55,9	782
s	0,6	0,4	12	17	49	13	26	97	19	46	76	5,4	54
min	10,9	6,6	862	52	155	45	47	45	27	50	125	38,1	638
max	13,9	8,8	923	128	427	129	168	490	139	368	468	65,3	900

Tabelle A3: Auswertung nach XF-Klassen, Rohnährstoffgehalte, Verdaulichkeiten und Energiegehalte, n = 349, Angaben in Trockenmasse

	ME, MJ/kg	NEL, MJ/kg	TM, g	XA, g	XP, g	XL, g	XF, g	XS, g	XZ, g	ADForg, g	NDForg, g	Gb, ml/200 mg	ELOS, g
kleiner 90 g XF/kg TM, n = 97													
m	12,9	8,1	885	72	233	41	76	294	78	104	231	58,5	830
s	0,4	0,3	14	12	45	11	11	70	20	23	53	3,5	33
min	11,8	7,3	858	51	155	23	47	61	27	50	79	44,5	726
max	13,9	8,8	929	140	418	88	90	490	122	180	337	65,3	924
90 bis 120 g XF/kg TM, n = 164													
m	12,4	7,7	889	77	233	41	105	198	86	150	308	57,4	792
s	0,4	0,3	11	13	58	9	8	72	22	24	54	3,9	37
min	11,5	7,0	861	57	161	14	90	32	35	90	168	42,3	667
max	13,7	8,5	917	132	455	95	120	386	144	225	413	64,3	885
größer 120 g XF/kg TM, n= 88													
m	12,0	7,4	890	84	229	44	137	130	90	194	356	55,5	748
s	0,5	0,3	10	17	40	14	15	48	22	36	55	5,8	44
min	10,5	6,3	863	60	179	24	120	33	44	97	176	38,1	638
max	12,7	7,9	919	135	407	129	216	235	184	373	468	63,0	850

Tabelle A4: Auswertung nach XS-Klassen, Rohnährstoffgehalte, Verdaulichkeiten und Energiegehalte, n = 349, Angaben in Trockenmasse

	ME, MJ/kg	NEL, MJ/kg	TM, g	XA, g	XP, g	XL, g	XF, g	XS, g	XZ, g	ADForg, g	NDForg, g	Gb, ml/200 mg	ELOS, g
kleiner 131 g XS/kg TM, n = 88													
m	12,0	7,4	890	91	271	45	126	93	95	181	328	53,1	751
s	0,5	0,4	10	19	76	13	21	28	21	32	74	5,9	46
min	10,5	6,3	868	66	181	29	86	32	49	97	168	38,1	638
max	13,7	8,5	919	140	455	129	216	130	184	259	468	62,1	839
131 bis 271 g XS/kg TM, n = 172													
m	12,4	7,7	889	75	221	41	107	207	85	154	315	58,2	791
s	0,4	0,3	12	8	30	9	18	40	21	37	58	2,6	38
min	11,4	7,0	861	60	162	24	61	131	29	81	171	50,4	667
max	13,9	8,8	923	103	390	88	161	271	144	373	434	64,3	885
größer 271 g XS/kg TM, n= 89													
m	12,8	8,1	884	68	216	40	81	321	75	106	238	59,4	833
s	0,3	0,3	12	7	22	10	16	41	19	25	56	2,5	30
min	12,0	7,4	858	51	155	14	47	271	27	50	79	50,7	738
max	13,7	8,7	929	92	283	95	120	490	112	178	359	65,3	924

Tabelle A5: Auswertung MLF mit geschützten Proteinträgern, Roh Nährstoffgehalte und Energiegehalte, n = 21, Angaben in Trockenmasse

	ME, MJ/kg	NEL, MJ/kg	TM, g	XA, g	XP, g	XL, g	XF, g	XS, g	XZ, g	ADForg, g	NDForg, g	Gb, ml/200 mg	ELOS, g
m	12,78	8,00	880	72	232	40	95	268	77	127	282	58,1	826
s	0,25	0,19	7	10	43	8	22	70	21	34	65	3,6	26
min	12,27	7,64	863	63	196	24	66	45	37	71	79	46,6	773
max	13,22	8,33	896	103	405	53	161	344	129	201	390	63,0	857

Tabelle A6: Auswertung MLF mit Glycerin oder Propylenglykol, Roh Nährstoffgehalte und Energiegehalte, n = 17, Angaben in Trockenmasse

	ME, MJ/kg	NEL, MJ/kg	TM, g	XA, g	XP, g	XL, g	XF, g	XS, g	XZ, g	ADForg, g	NDForg, g	Gb, ml/200 mg	ELOS, g
m	12,85	8,05	879	74	226	47	89	264	83	114	264	58,6	825
s	0,57	0,42	11	9	30	16	22	73	16	38	73	2,7	43
min	12,02	7,42	862	52	155	26	51	200	57	55	200	54,8	731
max	13,94	8,79	899	91	273	84	131	490	106	174	490	65,3	900