

Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie und der Verdaulichkeit der Organischen Substanz von Grobfutterleguminosen für Wiederkäuer

Juli 2016

1. Einführung

In den vergangenen Jahren hat der Anbau reiner Bestände von Leguminosen wie Luzerne, Rot- und Weißklee zur Grobfuttergewinnung an Bedeutung gewonnen. Dies ist vor allem für eine wirtschafts-eigene Proteinversorgung der Wiederkäuer, aber auch zur Verbesserung der Versorgung mit strukturwirksamen Grobfuttermitteln relevant. Bei der Verwendung von Grobfutterleguminosen in der Rationsplanung ist eine Einschätzung ihres Energiewertes notwendig. In Auswertungen des Datenmaterials, das nachfolgend beschrieben wird, hatte sich ergeben, dass bei Anwendung der Gleichungen, die zur Schätzung der Umsetzbaren Energie (ME) für Gras und Grasprodukte empfohlen werden (GfE 2008), eine hinreichend genaue Schätzung der ME von Grobfutterleguminosen nicht möglich war. Es wurden daher Schätzgleichungen speziell für Grobfutterleguminosen abgeleitet. Hierzu standen Daten aus verschiedenen Institutionen und Regionen Deutschlands sowie aus der Schweiz zur Verfügung, die aus Verdaulichkeitsversuchen mit Luzerne, Rot- und Weißklee sowie Esparsette stammen und deren Inhaltsstoffe über einen sehr weiten Bereich variierten (Losand et al. 2013). Unabhängig von der ME-Schätzung wurden auch Gleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der Organischen Substanz (VQOS) abgeleitet.

2. Daten und Vorgehensweise

Für die Auswertung wurden insgesamt 89 Datensätze aus Verdaulichkeitsversuchen verwendet, die in sieben Versuchseinrichtungen durchgeführt wurden (Tab. 1). Die Verdaulichkeit der Nährstoffe im frisch geernteten Grünfutter, in Silagen, Heu und Trockengrün wurde nach den Richtlinien der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE 1991) unter Nutzung von Hammeln im Zeitraum von 2000 bis 2014 bestimmt. Die Berechnung der ME erfolgte aus den verdaulichen Rohnährstoffen unter Verwendung der folgenden Gleichung (GfE 1995, 2001):

$$\begin{aligned} \text{ME (MJ/kg)} &= 0,0312 \cdot \text{verdauliches Rohfett (g/kg)} \\ &+ 0,0136 \cdot \text{verdauliche Rohfaser (g/kg)} \\ &+ 0,0147 \cdot \text{verdaulicher Organischer Rest (verdauliche Organische} \\ &\quad \text{Substanz – verdauliches Rohfett – verdauliche Rohfaser) (g/kg)} \\ &+ 0,00234 \cdot \text{Rohprotein (g/kg)} \end{aligned}$$

Verwendete Abkürzungen: **ADFom** = Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung; **ADL** = Säure-Detergenzien-Lignin; **aNDFom** = Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung; **B** = Bestimmtheitsmaß; **ELOS** = Enzymlösliche Organische Substanz; **Gb** = Gasbildung; **GE** = Bruttoenergie; **ME** = Umsetzbare Energie; **NEL** = Nettoenergie-Laktation; **NfE** = Stickstofffreie Extraktstoffe; **s_R** = Reststreuung; **VQOS** = Verdaulichkeit der Organischen Substanz; **TM** = Trockenmasse; **XA** = Rohasche; **XF** = Rohfaser; **XP** = Rohprotein; **XL** = Rohfett

Tabelle 1: Anzahl von Datensätzen nach Herkunft, Konservierungsart und Aufwuchsnummer

Herkunft	Konservierungsart			Aufwuchsnummer			
	Gesamt	Frisch	Siliert	Getrocknet	1. Aufwuchs	Folgeaufwüchse	Ohne Angabe
ALP Posieux	20	7	4	9	7	11	2
Bingen	8		8		4	4	
Dummerstorf	35	15	12	8	9	24	2
Grub	16		16		6	6	4
Halle	1		1				1
Köllitsch	4	2		2			4
Kleve	5			5			5

Für die mathematische Ableitung der Schätzgleichungen wurde das gesamte Datenmaterial von 89 Datensätzen verwendet. Für die Validierung wurden die abgeleiteten Gleichungen auf die Kategorien Grünfütter, Silage und Heu/Trockengrün sowie 1. Aufwuchs, Folgeaufwüchse bzw. „ohne Angabe“ jeweils getrennt oder auf das gesamte Datenmaterial angewandt. In der Tabelle 2 sind die Daten zur näheren Charakterisierung des Materials zusammengefasst.

Tabelle 2: Inhaltsstoffe¹⁾, *in vitro*-Kriterien, Verdaulichkeit der organischen Substanz und berechneter ME-Gehalt für das Gesamtmaterial (Mittelwert, Standardabweichung s, Variationskoeffizient s%, Minimum und Maximum)

		n	Mittelwert	s	s%	Min	Max
Rohasche		89	120	34,5	28,7	69	282
Rohprotein		89	194	34,9	18,0	112	276
Rohfett		89	23	7,7	34,1	5	38
Rohfaser	g/kg TM	89	265	64,0	24,1	114	382
aNDFom		84	402	89,8	22,4	185	600
ADFom		84	317	62,9	19,8	141	412
Lignin (ADL)		21	63	10,8	17,2	36	83
Gasbildung	ml/200 mg TM	54	41,6	5,8	14,0	29,7	51,3
ELOS	g/kg TM	82	597	64,7	10,8	459	741
VQOS	%	89	67,5	7,0	10,4	53,5	82,8
ME	MJ/kg TM	89	9,2	0,9	9,3	7,5	11,3

¹⁾ Hinsichtlich der Silagen mit Ausnahme der Gasbildung korrigiert um den Verlust an flüchtigen Substanzen

Das Datenmaterial weist mit Variationskoeffizienten zwischen 20 und 24 % für die Faserfraktionen, 18 % für Rohprotein, 34 % für Rohfett sowie von etwa 10 % für die VQOS und den ME-Gehalt eine ausreichende Streuung zur Ableitung von Regressionsgleichungen auf. Der Ligningehalt (als Säure-Detergenzien-Lignin [ADL] bestimmt) war nur in einem Teil der Datensätze angegeben. Deshalb wurde diese Fraktion bei den Regressionsberechnungen nicht berücksichtigt. Die Werte sind jedoch zur Ergänzung und als Grundlage für zukünftige Aktualisierungen in die Tab. 2 aufgenommen. Auch die Werte für die Rohfasergehalte sind zur Charakterisierung des Materials genannt. Sie werden zur Berechnung der Referenzwerte für die ME benötigt. Die Rohfaser wurde jedoch nicht als Variable bei der Ableitung der Schätzgleichungen berücksichtigt. Die Ableitung der Schätzgleichungen erfolgte auf der Basis der ME-Gehalte sowie der Nährstoffgehalte und der enzymlöslichen Organischen Substanz (ELOS) sowie der Gasbildung (Gb) in der Organischen Substanz. Die Validierung sowie die Angabe des Standardfehlers und Bias (systematischer Fehler) erfolgten aber nach Umrechnung der Werte auf den ME-Gehalt in der Trockenmasse (TM).

In einem ersten Schritt wurden verschiedene Schätzgleichungen zur Vorhersage des Gehaltes an ME abgeleitet und anhand ihres Bestimmtheitsmaßes (B), der Reststreuung (sr) und des Bias miteinander verglichen. Zunächst wurde versucht, lediglich eine einzige Schätzgleichung mit Gültigkeit für das gesamte Material der Grobfutterleguminosen abzuleiten. Dies führte nicht bei allen

Konservierungstypen und Aufwuchsnummern zu befriedigenden Ergebnissen. Daher wurde, ähnlich früheren Vorgehensweisen für Grasprodukte (GfE 1998), auch die getrennte Ableitung von Schätzgleichungen nach 1. Aufwuchs und Folgeaufwüchsen geprüft. In einem dritten Schritt wurden die abgeleiteten Schätzgleichungen am gesamten Datenpool jeweils getrennt nach Konservierungstyp sowie Aufwuchsnummer validiert. Die Gleichungen wurden mithilfe des Statistik-Datenpaketes SAS® unter Nutzung der Prozedur PROC REG bei schrittweiser Parameterauswahl abgeleitet. Berücksichtigt wurden bei Verwendung eines konstanten additiven Wertes folgende Variablen: Rohprotein, Rohfett, ADFom bzw. aNDFom sowie ELOS und Gb, jeweils bezogen auf den Gehalt in der Organischen Substanz. Konzeptionell wurden erst Varianten unter Verwendung einer der beiden *in vitro*-Kenngrößen gerechnet, anschließend wegen der relativ geringen Korrelation zwischen ELOS und Gb ($r = 0,64$) auch beide gemeinsam in einer Ableitung genutzt. Es wurden schließlich nur die Variablen berücksichtigt, deren Signifikanzniveau $p < 0,15$ war.

3. Ergebnisse

3.1 Regressionsgleichungen zur Berechnung der ME

Die Ergebnisse der Auswertung sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Einbeziehung der aNDFom erwies sich in keinem Falle als sinnvoll, da das Signifikanzniveau des Regressionskoeffizienten jeweils deutlich geringer als das der ADFom war. Die Gleichungen 1 - 3 sind jeweils unter Einbeziehung des gesamten Datenpools ohne spezielle Berücksichtigung der Aufwuchsnummer abgeleitet worden. Diese Gleichungen sind im Hinblick auf Schätzgenauigkeit (B , s_R) nur bedingt miteinander vergleichbar, da sie jeweils auf unterschiedlich großen Datenpools beruhen. Trotz des vergleichsweise hohen Bestimmtheitsmaßes von $B = 0,84$ und der geringen Reststreuung s_R von 0,47 bzw. 0,50 MJ/kg OS wird die Sicherheit bei der Schätzung des ME-Gehaltes der Grobfutterleguminosen durch die gemeinsame Verwendung von ELOS und Gb noch verbessert. Ähnliches gilt für die getrennte Schätzung des ME-Gehaltes für den 1. Aufwuchs und die Folgeaufwüchse bzw. die Kategorie ohne Angabe der Aufwuchsnummer. Die Materialien, für die eine Aufwuchsnummer nicht bekannt war, wurden in der Auswertung zu den „Folgeaufwüchsen“ und nicht zum 1. Aufwuchs gezählt.

Tabelle 3: Bestimmtheitsmaß (B) und Reststreuung (s_R) der abgeleiteten Schätzgleichungen für den Gehalt an ME in der Organischen Substanz

Gleichung Nr.	n	Variablen	Aufwuchsnummer	B	s_R
ME_1	81	ADFom, XP, XL, ELOS	nicht differenziert	0,84	0,47
ME_2	54	ADFom, XP, XL, Gasbildung	nicht differenziert	0,84	0,50
ME_3	53	ADFom, XP, XL, ELOS, Gasbildung	nicht differenziert	0,89	0,43
ME_1_1	22	ADFom, XP, XL, ELOS	1	0,90	0,36
ME_2_1	17	ADFom, XP, XL, Gasbildung	1	0,89	0,42
ME_3_1	16	ADFom, XP, XL, ELOS, Gasbildung	1	0,89	0,36
ME_1_2	58	ADFom, XP, XL, ELOS	Folge und ohne	0,85	0,46
ME_2_2	36	ADFom, XP, XL, Gasbildung	Folge und ohne	0,86	0,50
ME_3_2	36	ADFom, XP, XL, ELOS, Gasbildung	Folge und ohne	0,91	0,41

3.1.1 Validierung der Gleichungen zur Schätzung der ME

Die Validierung erfolgte am Gesamtdatenpool, für die Kategorien Grünfütter, Silagen und Heu sowie getrennt nach 1. und Folgeaufwuchs bzw. Datenmaterial ohne Angabe der Aufwuchsnummer (Tabelle 4) mit Hilfe des Verfahrens „Leave-One-Out-Kreuzvalidierung“. Eine unabhängige Validierung war aufgrund der begrenzten Probenanzahl nach der Differenzierung in die verschiedenen Kategorien nicht möglich. Es zeigte sich, dass die Wahl der *in vitro*-Kennzahl in

Bezug auf die Genauigkeit der Schätzung unerheblich ist, da der Standardfehler etwa gleich bleibt. Bei Vorhandensein von Analyseergebnissen zu beiden *in vitro*-Kennzahlen lässt sich die Schätzgenauigkeit noch einmal verbessern. Hinsichtlich des Konservierungstyps ist die Robustheit einer allgemeinen Gleichung, die dies nicht berücksichtigt, nur für die Verwendung von ELOS gegeben. Bei Nutzung der Gb für den – allerdings nicht deckungsgleichen – Datenpool ergibt sich für das Grünfutter eine deutliche Unterschätzung bei Anwendung der Schätzgleichung. Markanter jedoch ist die recht deutliche und generelle Unterschätzung des ME-Gehaltes für den 1. Aufwuchs um mehr als 0,2 MJ ME/kg TM bei Verwendung der Gleichungen 1 - 3. Es bestehen somit Unterschiede zwischen den Pflanzen aus dem 1. Aufwuchs und den Folgeaufwüchsen eines Jahres, die durch die üblichen Untersuchungskennzahlen, auch unter Einbeziehung der beiden *in vitro*-Kennzahlen für die Verdaulichkeit, nicht abgebildet wird. Bei getrennter Ableitung von Schätzgleichungen für Materialien aus dem 1. Aufwuchs und den Folgeaufwüchsen wird diese gerichtete Abweichung weitgehend aufgehoben. Es bleibt jedoch auch in diesem Fall eine gerichtete Unterschätzung des ME-Gehaltes des Grünfutters bei Verwendung der Gb.

Tabelle 4: Standardfehler (s%) und Bias bei der Validierung der abgeleiteten Schätzgleichungen zur Berechnung des ME-Gehaltes (MJ ME/kg TM) differenziert nach Konservierungsart und Aufwuchsnummer

Gleichung	Parameter	alle	Konservierungstyp			Aufwuchsnummer		
			Frisch	Siliert	Getrocknet	1	Folgeaufwüchse	ohne Angabe
ME_1	n	81	24	34	23	23	42	16
	Mittelwert	9,22	9,78	9,12	8,78	9,55	9,22	8,73
	% Standardfehler	4,4	5,2	4,3	3,3	3,5	4,4	3,7
	Bias	0,00	-0,04	-0,04	0,11	-0,25	0,05	0,24
ME_2	n	54	13	19	22	18	24	12
	Mittelwert	9,11	9,90	8,85	8,88	9,41	9,06	8,78
	% Standardfehler	4,7	2,5	5,3	4,6	3,7	4,4	5,4
	Bias	0,00	-0,28	0,03	0,14	-0,23	0,06	0,23
ME_3	n	53	13	19	21	17	24	12
	Mittelwert	9,11	9,97	8,86	8,80	9,45	9,07	8,71
	% Standardfehler	4,0	3,4	4,6	3,4	3,6	4,0	3,2
	Bias	0,00	-0,20	0,04	0,09	-0,20	0,06	0,16
ME_1_1/ ME_1_2	n	81	24	34	23	23	42	16
	Mittelwert	9,21	9,77	9,16	8,76	9,80	9,13	8,63
	% Standardfehler	4,3	5,0	4,0	3,9	3,6	4,6	4,3
	Bias	0,01	-0,03	-0,02	0,08	0,01	-0,05	0,14
ME_2_1/ ME_2_2	n	54	13	19	22	18	24	12
	Mittelwert	9,15	9,92	8,94	8,92	9,70	8,97	8,70
	% Standardfehler	5,6	2,7	7,0	4,9	6,1	47,6	6,7
	Bias	0,04	-0,26	0,07	0,18	0,01	-0,03	0,16
ME_3_1/ ME_3_2	n	53	12	20	21	17	24	12
	Mittelwert	9,11	9,97	8,93	8,78	9,63	8,96	8,65
	% Standardfehler	4,5	4,0	5,1	3,9	4,8	4,3	4,3
	Bias	0,00	-0,21	0,05	0,07	-0,01	-0,04	0,10

Abbildung 1 zeigt die Differenzen der nach Gleichung 1 geschätzten ME-Gehalte von den aus den verdaulichen Rohnährstoffen (Verdaulichkeitsstudien mit Schafen) berechneten Werten. Über fast die gesamte Variationsbreite schätzt Gleichung 1 den ME-Gehalt mit etwa gleicher Reststreuung. Abbildung 2 zeigt dagegen deutlich die negativen Abweichungen des über Gleichung 1 geschätzten ME-Gehaltes von Materialien des 1. Aufwuchses. Diese Unterschätzung des ME-Gehaltes wird in Gleichung 1 durch die tendenzielle Überschätzung der Materialien ohne Angabe der

Aufwuchsnummer ausgeglichen. Bei getrennter Auswertung des 1. Aufwuchses ist diese Fehleinschätzung für den 1. Aufwuchs und die Materialien ohne Angabe der Aufwuchsnummer nicht mehr vorhanden (Abbildung 3).

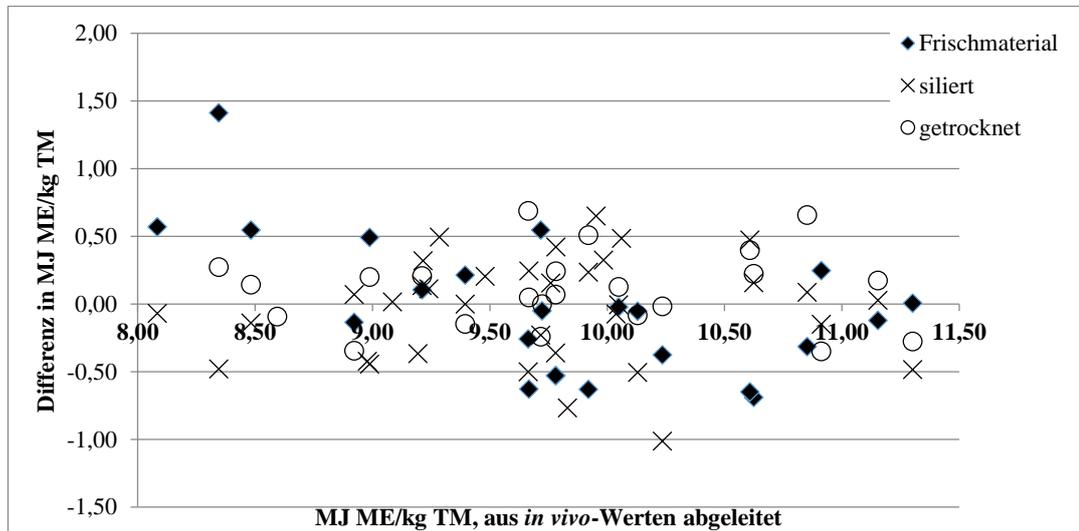


Abbildung 1: Differenzen der Schätzwerte für die Gehalte an ME zu den in Verdaulichkeitsstudien mit Hammeln ermittelten ME-Gehalten nach Konservierungsart (Gleichung ME₁)

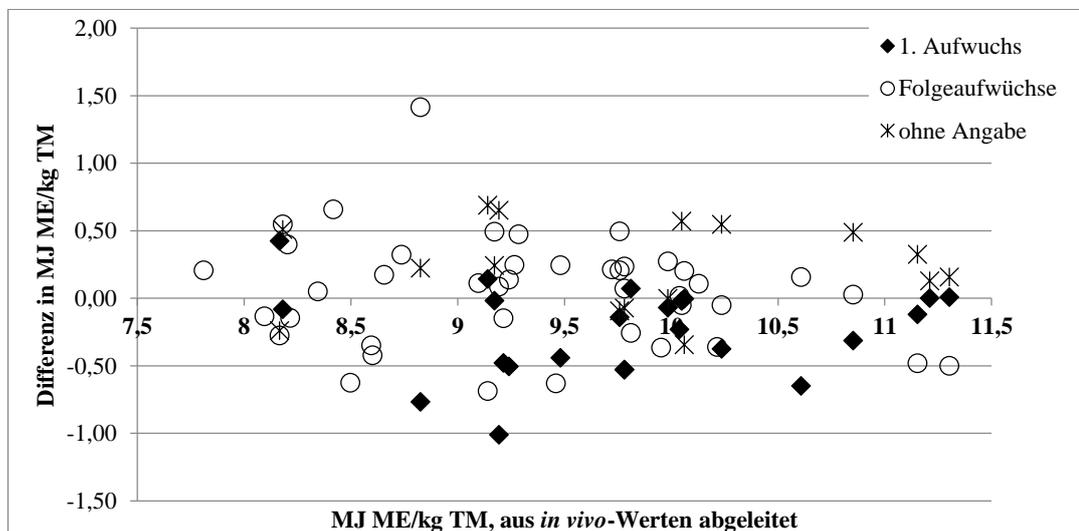


Abbildung 2: Differenzen der Schätzwerte für die Gehalte an ME zu den in Verdaulichkeitsstudien mit Hammeln ermittelten ME-Gehalten nach Aufwuchsnummer (Gleichung ME₁)

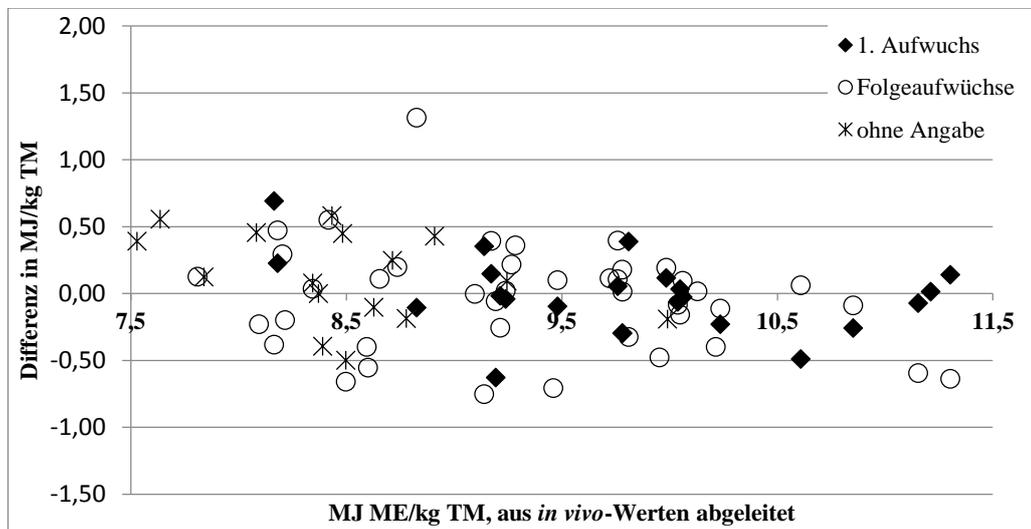


Abbildung 3: Differenzen der Schätzwerte für die Gehalte an ME zu den in Verdaulichkeitsstudien mit Hammeln ermittelten ME-Gehalten nach Aufwuchsnummer (Gleichungen ME_1_1 und ME_1_2)

3.1.2 Empfohlene Gleichungen zur Schätzung der ME von Grobfutterleguminosen

In Anlehnung an das Vorgehen bei Gras- und Maisprodukten (GfE 2008) und Mischfuttermitteln für Wiederkäuer (GfE 2009) empfiehlt der Ausschuss für Bedarfsnormen (AfBN) zur Schätzung der ME in Grobfutterleguminosen jeweils zwei alternative Gleichungen unter Berücksichtigung von entweder ELOS oder Gb (Tab. 5). In beiden Varianten ist jedoch für den 1. Aufwuchs eine separate Gleichung anzuwenden, weil die Genauigkeit der Schätzung hierdurch höher ist. Für Folgeaufwüchse wird dementsprechend eine andere Gleichung empfohlen. Liegen keine Angaben zur Aufwuchsnummer vor, wird die Gleichung für Folgeaufwüchse genutzt. Nicht gekennzeichnete Proben des 1. Aufwuchses werden dann um etwa 0,3 MJ ME/kg TM unterbewertet. Zur Vermeidung dieses systematischen Fehlers ist es für den Routinebetrieb daher wichtig, dass die Probeneinsender eine eindeutige Angabe zur Aufwuchsnummer der Proben machen.

Tabelle 5: Empfohlene Gleichungen zur Schätzung des ME-Gehaltes in der Organischen Substanz von Grobfutterleguminosen

Basierend auf ELOS:			
Erster Aufwuchs		Folgeaufwüchse bzw. ohne Aufwuchsangabe	
ME =	11,91	ME =	9,83
-	0,01034	• ADFom	- 0,01010
+	0,00389	• XP	+ 0,00039
+	0,01870	• XL	+ 0,00802
+	0,00191	• ELOS	+ 0,00571
B = 0,904		B = 0,852	
<i>s_R</i> = 0,36		<i>s_R</i> = 0,46	
ME in MJ/kg OS; XP, XL, ADFom, ELOS in g/kg OS			
Basierend auf Gasbildung:			
Erster Aufwuchs		Folgeaufwüchse bzw. ohne Aufwuchsangabe	
ME =	12,49	ME =	11,09
-	0,01140	• ADFom	- 0,01040
+	0,00425	• XP	+ 0,00497
+	0,02690	• XL	+ 0,00750
+	0,01683	• Gb	+ 0,0351
B = 0,891		B = 0,862	
<i>s_R</i> = 0,42		<i>s_R</i> = 0,50	
ME in MJ/kg OS; XP, XL, ADFom in g/kg OS; Gb in ml/200 mg OS			

Die Umrechnung auf den ME-Gehalt in der Trockenmasse erfolgt dann für die konkret zu bewertende Probe anhand ihres Gehaltes an Organischer Substanz nach folgender Gleichung:

$$ME \text{ (MJ/kg TM)} = ME \text{ (MJ/kg OS)} \cdot [1000 - XA \text{ (g/kg TM)}] / 1000$$

Für Milchkühe kann die Nettoenergie-Laktation (NEL) aus der ME unter Berücksichtigung der Umsetzbarkeit der Bruttoenergie (GE) (q) gemäß GfE (2001) wie folgt errechnet werden:

$$NEL \text{ (MJ)} = 0,6 [1 + 0,004 (q - 57)] ME \text{ (MJ)}, \text{ wobei } q = ME/GE \cdot 100$$

Dafür muss der Gehalt an GE, falls dieser nicht bombenkalorimetrisch gemessen wurde, zunächst nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$GE \text{ (MJ/kg TM)} = 0,0239 \cdot XP \text{ (g/kg TM)} + 0,0398 \cdot XL \text{ (g/kg TM)} + 0,0201 \cdot XF \text{ (g/kg TM)} + 0,0175 \cdot NfE \text{ (g/kg TM)}$$

Für diese Berechnung muss der Gehalt an Rohfaser und N-freien Extraktstoffen (NfE) bekannt sein. Falls diese Werte nicht bekannt sind, kann die Umrechnung der ME auf den Gehalt an NEL vereinfacht nach folgender Gleichung erfolgen (Weißbach et al. 1996):

$$NEL \text{ (MJ)} = ME [0,46 + 12,38 \cdot ME / (1000 - XA)], \text{ wobei: ME in MJ und XA in g/kg TM}$$

3.2 Regressionsgleichungen zur Schätzung der VQOS

Da die Verdaulichkeit eine Voraussetzung für die Berechnung der Energiewerte, sie aber unabhängig von der Ausgestaltung eines Energiebewertungssystems ist, wurden auch Gleichungen zur Schätzung der VQOS abgeleitet. Zur Ableitung der Schätzgleichungen für die VQOS wurden ebenfalls die Konzentrationen an Rohprotein, Rohfett, ADFom, aNDFom sowie mindestens ein *in vitro*-Kriterium verwendet. Die Berechnungen erfolgten auf der Basis der Gehalte in der Organischen Substanz. Parameter, deren Regressionskoeffizient nicht mindestens ein Signifikanzniveau von $p=0,15$ erreichten, wurden als nicht signifikant ausgeschlossen. Ähnlich dem Vorgehen bei der Schätzung der ME wurde im ersten Schritt eine allgemeingültige Gleichung für alle Konservierungstypen und Aufwuchsangaben abgeleitet. Im zweiten Schritt wurde für die Proben des 1. Aufwuchses eine eigene Gleichung abgeleitet. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen sind in Tab. 6 dargestellt.

Tabelle 6: Bestimmtheitsmaß (B) und Reststreuung (s_R) der abgeleiteten Schätzgleichungen für die Berechnung der Verdaulichkeit der Organischen Substanz (in %)

Gleichungs-Nr.	n	Variablen	Aufwuchsangabe	B	s_R
VQOS_1	81	ADFom, XP, ELOS	nicht differenziert	0,82	3,17
VQOS_2	54	ADFom, Gb	nicht differenziert	0,82	3,37
VQOS_3	53	ADFom, ELOS, Gb	nicht differenziert	0,87	2,93
VQOS_1_1	22	ADFom, ELOS	1	0,89	2,31
VQOS_2_1	17	ADFom, Gb	1	0,88	2,76
VQOS_3_1	16	ADFom, ELOS, Gb	1	0,89	2,72
VQOS_1_2	58	ADFom, ELOS	Folge und ohne	0,81	3,23
VQOS_2_2	36	ADFom, Gb	Folge und ohne	0,83	3,36
VQOS_3_2	36	ADFom, ELOS, Gb	Folge und ohne	0,88	2,91

Auffallend ist die deutliche Reduzierung der Anzahl an unabhängigen Parametern gegenüber der Schätzung des ME-Gehalts (Tab. 3), womit eine größere Wichtung der *in vitro*-Parameter für die Schätzung der VQOS im Vergleich zur ME-Schätzung einhergeht. Durch die Nutzung beider *in vitro*-Kenngrößen konnte eine gewisse Verbesserung der Schätzgenauigkeit gegenüber der alternativen Nutzung nur einer einzelnen Kenngröße erreicht werden.

3.2.1 Validierung der Gleichungen zur Schätzung der VQOS

Die Validierung erfolgte wiederum am Gesamt-Datenpool sowie für die Teilkategorien (Tab. 7) mit Hilfe des Verfahrens „Leave-One-Out-Kreuzvalidierung“. Ähnlich der Vorgehensweise bei der Schätzung der ME ergeben sich für die Schätzung der VQOS bei Nutzung nur jeweils einer Gleichung über alle Aufwuchsbedingungen und Konservierungstypen grundsätzlich gerichtete negative Abweichungen für Proben des 1. Aufwuchses von 1,5 bis 1,8 Prozentpunkten und positive Abweichungen vor allem bei den nicht durch Aufwuchsangaben gekennzeichneten Materialien. Hinzu kommen Ungenauigkeiten bei der Differenzierung der VQOS von frischem und trockenem Erntematerial bei Verwendung der Gb (Gleichung VQOS_2). Bei getrennter Ableitung von Schätzgleichungen für Materialien aus dem 1. Aufwuchs und den Folgeaufwüchsen ist eine gerichtete Abweichung nicht vorhanden (Gleichung VQOS_1_1+2 bis VQOS_3_1+2; Abbildung 4). Es bleibt jedoch der Mangel der gerichteten Unterschätzung von Grünfütter bei Verwendung der Gb.

Tabelle 7: Standardfehler und Bias bei Anwendung der abgeleiteten Gleichungen zur Schätzung der VQOS (in %) am Gesamtdatenmaterial sowie an Teilkategorien

Gleichung	Parameter	alle	Konservierungstyp			Aufwuchs-Nr.		
			Frisch	Siliert	Getrocknet	1	Folge- aufwüchse	ohne Angabe
VQOS_1	n	81	24	34	23	23	42	16
	Mittelwert	67,7	72,0	66,1	65,6	69,3	68,6	63,2
	% Standardfehler	4,6	5,6	4,2	3,7	3,4	4,7	4,5
	Bias	-0,01	-0,53	0,11	0,37	-1,68	0,35	1,44
VQOS_2	n	54	13	19	22	18	24	12
	Mittelwert	67,3	74,4	63,4	67,1	68,4	68,4	63,6
	% Standardfehler	4,9	3,0	5,3	4,8	4,0	4,5	5,8
	Bias	0,00	-2,29	0,07	1,18	-1,69	0,48	1,58
VQOS_3	n	53	13	19	21	17	24	12
	Mittelwert	67,3	74,6	63,7	66,0	68,6	68,4	63,2
	% Standardfehler	4,2	3,7	4,9	3,5	3,5	4,0	4,7
	Bias	0,01	-1,73	0,80	0,36	-1,47	0,46	1,17
VQOS_1_1 / VQOS_1_2	n	81	23	35	23	23	42	16
	Mittelwert	67,7	72,1	66,3	65,4	71,0	67,8	62,6
	% Standardfehler	4,7	5,5	4,4	4,2	3,6	4,9	5,5
	Bias	-0,02	-0,50	0,20	0,1	0,04	-0,39	0,83
VQOS_2_1 / VQOS_2_2	n	54	12	20	22	18	24	12
	Mittelwert	67,4	74,9	63,5	66,7	70,0	67,6	62,9
	% Standardfehler	5,0	3,6	5,1	5,4	4,4	4,9	6,2
	Bias	-0,02	-1,77	0,15	0,88	-0,06	-0,34	0,85
VQOS_3_1 / VQOS_3_2	n	53	12	20	21	17	24	12
	Mittelwert	67,1	75,0	63,7	65,8	69,6	67,6	62,4
	% Standardfehler	4,4	4,1	4,3	4,4	3,7	4,4	5,4
	Bias	-0,20	-1,72	0,31	0,18	-0,46	-0,32	0,4

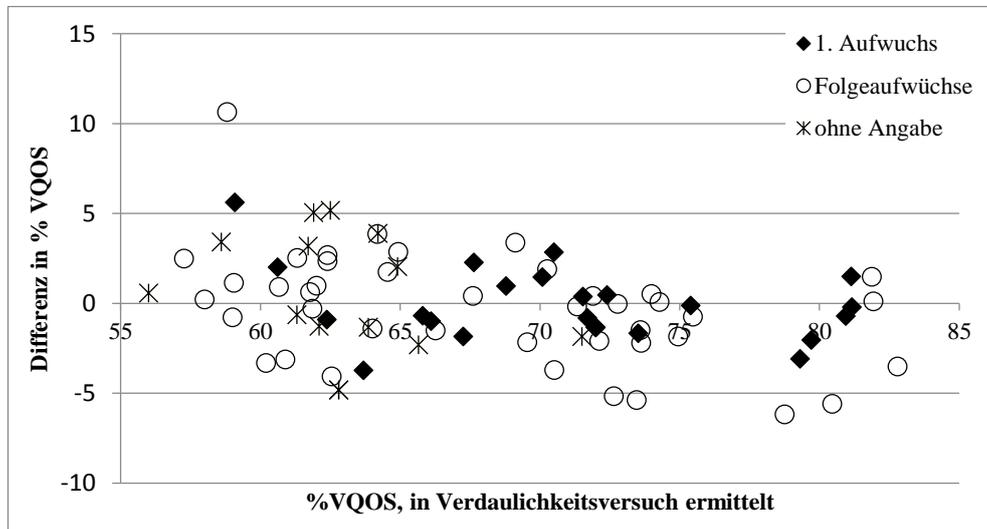


Abbildung 4: Differenzen der Schätzwerte für die Verdaulichkeit der Organischen Substanz (VQOS) auf Basis von ELOS im Vergleich zu den an Schafen ermittelten Werten nach Aufwuchsnummer (Gleichung VQOS_1_1 und VQOS_1_2)

3.2.2 Empfohlene Gleichungen zur Schätzung der VQOS von Grobfutterleguminosen

Der AfBN empfiehlt auch für die Schätzung der VQOS von Grobfutterleguminosen zwei alternative Gleichungen unter Verwendung der ELOS sowie der Gb mit Differenzierung nach Aufwuchsnummer (Tab. 8). In beiden alternativen Empfehlungen ist für den 1. Aufwuchs eine eigene Gleichung anzuwenden. Für Folgeaufwüchse ist die entsprechende Gleichung zu verwenden. Werden keine Angaben zur Aufwuchsnummer gemacht, ist die Gleichung für die Folgeaufwüchse zu nutzen. Die Anwendung der zweiten Gleichung auf nicht gekennzeichnete 1. Aufwüchse führt zu einer Unterschätzung der Verdaulichkeit von etwa 2,5 Prozentpunkten.

Tabelle 8: Empfohlene Gleichungen zur Schätzung der VQOS in Grobfutterleguminosen

Basierend auf ELOS			
Erster Aufwuchs		Folgeaufwüchse bzw. ohne Aufwuchsangabe	
VQOS =	81,71	VQOS =	70,77
-	0,0711	-	0,0683
	• ADFom		• ADFom
+	0,0195	+	0,0302
	• ELOS		• ELOS
B =	0,892	B =	0,806
s_R =	2,31	s_R =	3,23
VQOS in %; ADFom, ELOS in g/kg OS			
Basierend auf Gasbildung			
Erster Aufwuchs		Folgeaufwüchse bzw. ohne Aufwuchsangabe	
VQOS =	95,72	VQOS =	77,90
-	0,0859	-	0,0711
	• ADFom		• ADFom
+	0,0964	+	0,2997
	• Gb		• Gb
B =	0,859	B =	0,832
s_R =	2,813	s_R =	3,36
VQOS in %; ADFom in g/kg OS; Gb in ml/200 mg OS			

Literatur

- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie], (1991): Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 65, 229-234
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie], (1995): Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie: Zur Energiebewertung beim Wiederkäuer. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 4, 121-123
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie], (1998): Mitteilung des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie: Formeln zur Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie in Futtermitteln aus Aufwüchsen des Dauergrünlandes und Mais-Ganzpflanzen. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 7, 141-150
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie], (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie], (2008): Communications of the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology: New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 17, 191-198
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie], (2009): Communications of the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology: New equations for predicting metabolisable energy of compound feeds for cattle. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 18, 143-146
- Losand, B., H.-J. Alert, Y. Arrigo, T. Ettle, H. Kluth, C. Koch, A. Menke, A. Priepke, M. Pries, F.-J. Romberg, O. Steinhöfel, J. Trautwein, (2013): Energiebestimmung von Grobfuttermitteln aus kleinkörnigen Leguminosen. VDLUFA-Schriftenr. 69, 762-770
- Weißbach, F., L. Schmidt und S. Kuhla (1996): Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der NEL aus der umsetzbaren Energie. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 5, 117

Adresse:

Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
Eschborner Landstraße 122
60489 Frankfurt am Main

Mitglieder:

Rodehutschord, M., Hohenheim (Vorsitzender)
Kamphues, J., Hannover
Schenkel, H., Hohenheim
Südekum, K.-H., Bonn
Susenbeth, A., Kiel
Staudacher, W., Frankfurt
Windisch, W., Freising-Weihenstephan

Sachverständige:

Losand, B., Dummerstorf
Pries, M., Münster

Weitere Unterstützende:

Alert, H.-J., Köllitsch
Arrigo, Y., Posieux
Ettle, T., Poing
Kluth, H., Halle
Koch, C., Münchweiler an der Alsenz
Menke, Annette, Münster
Priepke, Antje, Dummerstorf
Romberg, F.-J., Münchweiler an der Alsenz
Steinhöfel, O., Köllitsch
Trautwein, Julia, Bingen