

119. VDLUFA-Kongress 2007 in Göttingen

Beitrag V-024: Schätzung des Energiegehaltes in Grasprodukten

Martin Pries¹, B. Losand², Annette Menke¹, E. Tholen³, L. Gruber⁴,
F. Hertwig⁵, T. Jilg⁶, H. Kluth⁷, H. Spiekers⁸, H. Steingäß⁹, K.-H. Südekum³

¹ Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Nevinghoff 40, 48147 Münster; ² Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierproduktion Dummerstorf, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf; ³ Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn; ⁴ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Raumberg 38, A 8952 Irdning, Österreich; ⁵ Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Gutshof 7, 14641 Paulinenaue; ⁶ Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf, Atzenberger Weg 99, 88326 Aulendorf; ⁷ Martin-Luther-Universität Halle, Professur für Tierernährung, Emil-Abderhalden-Straße 26, 06108 Halle; ⁸ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Prof.-Dürrwaechter-Platz 3, 85586 Poing; ⁹ Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung, Emil-Wolff-Straße 8 u. 10, 70599 Stuttgart

Einleitung

Der Schätzung des Futterwertes wirtschaftseigener Futtermittel kommt aufgrund der hohen Variabilität der Inhaltsstoffe und deren Verdaulichkeit einerseits und wachsender Anforderungen an die Genauigkeit der Rationserstellung wie auch Kontrollierbarkeit der Fütterung andererseits für den Landwirt eine immer größere Bedeutung zu. Allein in den letzten 10 bis 15 Jahren wurde der durchschnittliche Energiegehalt von Grassilagen beispielsweise um fast 0,5 MJ NEL/kg TM erhöht. Hinzu kommt die ständige Veränderung der Eigenschaften von Grünlandaufwüchsen auf züchterischem Wege, die auch die bekannten Beziehungen zwischen dem Gehalt an Wertbestimmenden Rohnährstoffen und deren Verdaulichkeit ständig modifizieren. Dies führt im Hinblick auf Methoden zur Schätzung des Futterwertes international immer mehr zur Nutzung von in vitro-Parametern, die die Verdaulichkeit der organischen Substanz oder der Fasergehalte selbst imitieren.

Ein weiterer Aspekt, bestehende Schätzmöglichkeiten für den Energiegehalt zu überdenken, ist die prinzipielle in Fragestellung der Weender Futtermittelanalyse im Hinblick auf die Charakterisierung der Kohlenhydrate der Pflanzenzellen. Bereits in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts war das Phänomen bekannt, dass im Ergebnis der chemischen Rohfaserbestimmung das Lignin in einem weit variierenden Umfang nicht mit erfasst wurde. Als Alternative wurde von Van Soest (1963) mit der Neutral-Detergenzien-Faser (NDF) und der Säure-Detergenzien-Faser (ADF) eine erweiterte Faseranalytik angeboten. Die Einbeziehung dieser erweiterten Faseranalytik in die weitgehende Futterwertcharakterisierung scheiterte bisher vor allem daran, dass Rohfaser und NfE in dem jetzt in Deutschland angewendeten System von Futterbewer-

tung und Nährstoff- bzw. Energiebedarfsbeschreibung tragende Parameter sind und Doppelbestimmungen von Kohlenhydratfraktionen ökonomisch nicht sinnvoll erscheinen. Seit einigen Jahren gibt es jedoch auch im deutschsprachigen Raum Europas zunehmend praktische Erfahrungen in der Anwendung der erweiterten Faseranalytik bei der Bewertung des Futters einerseits und der Bedürfnisse der Tiere andererseits, so dass deren Einbeziehung in die Futterbewertung umgesetzt werden kann.

Material und Methoden

In die Auswertung kamen Ergebnisse aus 506 Verdauungsversuchen, die gemäß der Leitlinien der GfE (1991) an Hammeln mit Frischgras, Grassilagen und Heu aus acht verschiedenen Einrichtungen Deutschlands und Österreichs der Jahre ab 1990 durchgeführt wurden. Für jeden Versuch wurde der Gehalt an umsetzbarer Energie (ME) aus den verdaulichen Rohnährstoffen gemäß den Vorgaben der GfE (2001) bestimmt und anschließend Schätzgleichungen für den ME-Gehalt abgeleitet. Die Verteilung auf die Einrichtungen und Grasprodukte zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Anzahl der Datensätze nach Produkten und Einrichtungen

Produkt Anzahl n gesamt Einrichtung	mit		Gras- produkte gesamt	Gras- silagen	Frisch- gras	Heu
	Gas- bildung (Gb)	E- LOS	506	264	61	181
Gumpenstein	X	X	119	40	13	66
Dummerstorf		X	113	76	7	30
Haus Riswick	X	X	99	44	-	55
Paulinenaue	(X) *	X	76	35	41	-
Aulendorf	X	X	47	28	-	19
Hohenheim	X	X	27	27	-	-
Grub		X	21	12	-	9
Halle	X		4	2	-	2

*nur in Grassilagen

Für die Validierung der abzuleitenden Schätzgleichungen war die Erstellung eines unabhängigen Datenpools notwendig. Dazu wurden die Datensätze für Grassilage und Heu nach Energiegehalt sortiert. Jeder 4. Datensatz wurde der Validierungsdatei zugeordnet. So wurde gesichert, dass der Validierungsdatenpool in ähnlicher Weise die Verhältnisse in der landwirtschaftlichen Praxis widerspiegelt wie der für die Schätzung genutzte Datenpool. Beim Frischgras wurden aufgrund der geringen Datenmenge keine Validierungsdaten erzeugt. Tabelle 2 zeigt eine zusammenfassende Beschreibung der verschiedenen Ma-

terialien des zur Ableitung von Schätzgleichungen genutzten Datenpools. Alle Nährstoffgehalte werden auf der Basis Trockenmasse angegeben. Für jeden Parameter sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Minimum und Maximum angegeben. Zusätzlich zu den auf Basis Trockensubstanz dargestellten Inhaltsstoffen erfolgte eine Umrechnung auf Basis Organische Masse (OM = Trockenmasse um Faktor Rohasche bereinigt).

Tabelle 2: Rohnährstoffgehalte, in vitro- Parameter sowie in vivo ermittelte Gehalte an Umsetzbarer Energie (ME) des Gesamtmaterials der Grasprodukte für die Ableitung von Schätzgleichungen

Variable		n	Mean	Std Dev	min	max
TM	g/kg	344	567	258	126	937
XA	g/kg TM	395	96	27	35	207
XP	g/kg TM	395	145	41	49	265
XL	g/kg TM	395	28	10	6	62
XF	g/kg TM	395	269	42	176	396
ADForg	g/kg TM	395	321	54	204	487
NDForg	g/kg TM	395	523	90	306	739
NFC	g/kg TM	395	208	61	70	409
Gb	ml/200 mg in TM	257	44	6	21	59
ELOS	g/kg TM	341	602	89	338	790
VQ OS	%	395	69	8,1	41,7	84,0
ME	MJ/kg TM	395	9,52	1,17	5,88	11,84

Im ersten Schritt wurden Schätzgleichungen erarbeitet, die wie bisher die einzelnen Materialien von Grasaufwüchsen (Frischgras, Grassilagen, Heu) gesamt sowie nach Schnittnummern charakterisieren. Anschließend wurden alle Materialien zusammen und getrennt nach Schnittnummern ausgewertet. In einem zweiten Schritt wurde die Genauigkeit der umfassenderen Auswertung mit der der spezielleren Ableitungen verglichen. Ziel war die Entscheidung, ob die allgemeinere die spezifischen Ableitungen ohne Genauigkeitsverlust ersetzen kann.

Die Schätzgleichungen wurden mit Hilfe von SAS-Prozeduren im Stepwise-Verfahren abgeleitet. In den Schätzmodellen verblieben nur solche Parameter, die ein Signifikanzniveau von $p = 0,15$ unterschritten.

Die in die Auswertung einbezogenen Parameter waren:

- **Rohnährstoffe:** Rohasche, Rohfett, Rohprotein, ADForg, NDForg
- **in vitro-Kriterien:** Gasbildung (Gb), ELOS

Der Parameter Rohfaser (XF) wurde als Schätzgröße nicht zugelassen, da die Zellwandfraktionen über ADForg und NDForg besser beschrieben werden.

Ergebnisse

Die Tabelle 3 beinhaltet eine Zusammenstellung von Beurteilungskriterien für die Güte der abgeleiteten Schätzgleichungen auf Basis TM. Dargestellt sind das Bestimmtheitsmaß (b-Wert) sowie der prozentuale Schätzfehler der Gleichungen.

Im weiteren Vorgehen wurden mit den Gleichungen, die am Gesamtmaterial abgeleitet wurden, in den verschiedenen Teilmaterialien die Energiegehalte geschätzt und durch Vergleich mit den am Hammel bestimmten Energiewerten Schätzfehler und Bias-Werte berechnet. Die so ermittelten Schätzfehler und Bias-Werte sind ebenfalls in der Tabelle 3 dargestellt. Um eine Beurteilung mit der über die spezifischen Gleichungen erreichbaren Genauigkeit vornehmen zu können, sind die dargestellten Schätzfehler aus der Gesamtgleichung mit den Schätzfehlern der Teilmaterialien zu vergleichen.

Tabelle 3: Bestimmtheitsmaße (b-Wert) und Schätzfehler von Modellen ohne NDForg für das Gesamt- und verschiedene Teilmaterialien

Materialien	Schnitt- nummer	Parameter	An- zahl	Gleichungen je Teilmaterialien auf Basis TM		Gleichung Gesamtmaterialien	
				b-Wert (%)	Schätzf. %	Schätzf. % TM	Bias, MJ ME
Gesamt	alle	Rohnährstoffe	395	68,7	6,9	6,8	0,00
		Rohn. + ELOS	341	81,2	5,2	5,2	0,00
		Rohn. + GB	257	82,4	4,7	4,7	0,00
Gesamt	1. Schnitt	Rohn.	183	75,1	6,9	7,0	-0,15
		Rohn. + ELOS	155	87,5	4,8	4,9	0,15
		Rohn. + GB	113	87,3	4,4	4,5	0,06
	Folge- schnitte	Rohn.	151	59,8	6,3	6,5	0,09
		Rohn. + ELOS	133	74,1	5,0	5,2	-0,09
		Rohn. + GB	151	66,8	5,0	5,2	-0,04
Gras- silage	alle	Rohn.	194	62,1	7,0	7,0	-0,03
		Rohn. + ELOS	163	82,3	4,8	4,9	0,05
		Rohn. + GB	134	82,0	4,8	4,8	0,00
Frisch gras	alle	Rohn.	61	58,9	8,2	8,0	0,16
		Rohn. + ELOS	59	76,0	6,3	6,4	-0,09
		Rohn. + GB	13	- *	- *	7,7	0,24
Heu	alle	Rohn.	140	67,6	5,8	5,9	0,08
		Rohn. + ELOS	119	75,3	4,7	5,0	-0,02
		Rohn. + GB	110	80,6	4,2	4,4	0,00

* Der in vitro-Parameter wurde im Modell nicht berücksichtigt

Für die Ableitung allgemeingültiger und robuster Schätzgleichungen waren folgende Fragen zu beantworten.

- **Welche Parameter sind in den Schätzgleichungen zu verwenden?**

Die gleichzeitige Verwendung von ADForg und NDForg führt zu keiner wesentlichen Verbesserung der Schätzgenauigkeit. Der Informationsgewinn durch Verwendung von NDForg erweist sich als sehr gering, so dass dieser Parameter in den Schätzgleichungen nicht zu berücksichtigen ist.

Die besten Ergebnisse werden durch Gleichungen mit den Parametern Roh-nährstoffe + Gb erzielt. Mit geringem Abstand folgen Gleichungen auf Basis Roh-nährstoffe + ELOS. Modelle, die ausschließlich Roh-nährstoffparameter verwenden, liegen im Bestimmtheitsmaß häufig um 10 %-Punkte niedriger. Der Schätzfehler ist um etwa 2 %-Punkte erhöht.

- **Sollen die Schätzgleichungen die Parameter auf Basis TM oder OM verwenden?**

In der Regel haben Gleichungen auf Basis Nährstoffgehalte in der OM ein um 2 %-Punkte höheres Bestimmtheitsmaß. Dies gilt nicht, wenn Gleichungen nur für Grassilage abgeleitet werden. Dann sind die Schätzgleichungen auf Basis TM bezüglich Bestimmtheitsmaß gleichwertig. Auswirkungen auf die Schätzfehler sind nicht gegeben.

- **Soll nach Grassilage, Frischgras und Heu differenziert werden?**

Nach Futterart differenzierende Gleichungen führen im Vergleich zu einer Gleichung für alle Materialien zum Teil zu deutlich geringeren Bestimmtheitsmaßen. Dies gilt nicht für spezielle Grassilagegleichungen mit in vitro-Parametern, bei denen vergleichbare Bestimmtheitsmaße und Schätzfehler ermittelt werden. Da Grassilage den überwiegenden Teil des Probenmaterials bei den Untersuchungseinrichtungen ausmacht, müssen Verbesserungen der Schätzgenauigkeit bei dieser Futterart eine besondere Bedeutung in der Entscheidungsfindung haben. Jedoch führt eine Energieschätzung im Material Grassilage mit Hilfe der Gleichung für das Gesamtmaterial zu Schätzfehlern, die sich nicht von den Schätzfehlern der speziellen Grassilagegleichungen unterscheiden. Auch beim Heu ergeben sich so gut wie keine Unterschiede zwischen den Schätzfehlern. Für Frischgras kann auf Grund der zu geringen Stichprobenzahl keine Schätzung mit dem Parameter Gasbildung vorgenommen werden. Bei Anwendung der Gleichung für alle Materialien und Schnitte auf Frischgras ergeben sich die gleichen Schätzfehler wie bei Verwendung materialspezifischer Gleichungen für alle Schnitte.

- **Soll nach Schnittnummer unterschieden werden?**

Schätzgleichungen, die für das Gesamtmaterial nach Schnittnummer differenzieren, führen beim ersten Aufwuchs zu einem Anstieg des Bestimmtheitsmaßes um 5- bis 8 %-Punkte. Bei den Folgeaufwüchsen nimmt das Bestimmtheitsmaß im Vergleich zu einer universellen Gleichung um mindestens die gleiche Größenordnung ab. Die Schätzfehler der Gleichungen für den ersten Schnitt sind um bis 0,4 %-Punkte verbessert. Bei Gleichungen für die Folgeaufwüchse sind sie nur unwesentlich verbessert. Eine Differenzierung der Schätzgleichungen nach Futterart und Aufwuchsnummer führt bei Grassilage, 1. Schnitt, zu den höchsten Bestimmtheitsmaßen und niedrigsten Schätzfehlern aller geprüften Modelle. Gegenüber einer allgemeinen Gleichung ergeben sich Anstiege der Bestimmtheitsmaße von etwa 3 %-Punkten und eine Verringerung der Schätzfehler von 0,6 bis 1,0 %-Punkten. Bei den Grassilagefolge-schnitten wird keine Verbesserung der Schätzgenauigkeit festgestellt. Wird innerhalb Heu nach Aufwuchsnummer differenziert, verbleiben zu wenige Datensätze für die Schätzung, so dass entsprechend stark reduzierte Bestimmtheitsmaße die Folge sind. Für Frischgras können aus gleichem Grund keine sinnvollen Gleichungen abgeleitet werden. Wird eine Energieschätzung im Material Grassilage 1. Schnitt mit der am Gesamtmaterial abgeleiteten Gleichung vorgenommen, sind die Schätzfehler bei den Gleichungen mit in vitro-Parametern nur unwesentlich größer als bei den speziellen Gleichungen für Grassilage 1. Schnitt.

Wird eine einheitliche Gleichung für alle Aufwüchse angewendet, scheint sich unabhängig von der Verwendung der Parameter eine größere Ungenauigkeit vor allem für die Folgeaufwüchse zu ergeben. Der erste Aufwuchs (vor allem Grassilagen) dagegen wird im Prinzip fast ebenso genau geschätzt. Als Gesamtaussage kann deshalb eine Gleichung für alle Materialien und Schnitte unter Verwendung von in vitro-Parametern empfohlen werden.

Darstellung der gewählten Schätzgleichungen

Angaben: XA, XP, XL, ADForg und ELOS in g/kg TM sowie Gasbildung (Gb) in ml/200 mg TM

HFT 2007	Cellulasemethode 2007
ME (MJ/kg TM) = 7,81 + 0,07559 Gb - 0,00384 XA + 0,00565 XP + 0,01898 XL - 0,00831 ADForg b = 82,4 % Schätzfehler: 4,7 %	ME (MJ/kg TM) = 5,51 + 0,00828 ELOS - 0,00511 XA + 0,02510 XL - 0,00392 ADForg b = 81,2 % Schätzfehler: 5,2 %

Tabelle 4 beinhaltet die Schätzfehler und Biaswerte für die verschiedenen Validierungsdatensätze. Insbesondere die Gleichungen auf Basis Rohnnährstoffe und eines in vitro-Parameter führen in den Validierungsdatensätzen zu sehr niedrigen Schätzfehlern. Gegenüber den Gleichungen ohne in vitro-Parameter ist der Fehler um bis zu 2,0 %-Punkte kleiner. Da die Biaswerte fast alle negativ sind, findet überwiegend eine Unterschätzung statt. Jedoch zeigt die Größenordnung der Biaswerte nur eine sehr geringe systematische Unterschätzung der Energiegehalte durch die abgeleiteten Gleichungen an. Als Gesamtergebnis der Validierung zeigt sich eine Überlegenheit solcher Schätzgleichungen, die die in vitro-Parameter Gasbildung (Gb) oder ELOS verwenden.

Tabelle 4: Schätzfehler und Bias bei Verwendung der Gleichungen Gesamtmaterial über alle Schnitte; Datensätze der Validierungsdatei

				Gleichungen Gesamtmaterialien auf Basis TM	
Materia- lien	Schnitt- nummer	Parameter	An- zahl	Schätz- fehler (%)	Bias, MJ ME
Gesamt	alle	Rohnährstoffe.	172	7,1	-0,04
		Rohn. + ELOS	149	5,7	-0,03
		Rohn. + Gb	86	5,3	0,04
Gesamt	1.Schnitt	Rohn.	84	8,1	-0,18
		Rohn. + ELOS	71	5,9	-0,15
		Rohn. + Gb	42	6,2	0,11
	Folge- schnitte	Rohn.	70	5,4	0,04
		Rohn. + ELOS	62	4,8	-0,18
		Rohn. + Gb	33	4,4	0,01
Grassilage	alle	Rohn.	70	7,1	-0,07
		Rohn. + ELOS	58	5,7	0,05
		Rohn. + Gb	42	5,7	0,08
Heu	alle	Rohn.	41	5,3	0,09
		Rohn. + ELOS	32	4,3	-0,05
		Rohn. + Gb	31	4,8	-0,02

Schlussfolgerungen

Aufgrund der genaueren Energieschätzung gegenüber der Verwendung von Rohnnährstoffgleichungen sind Gleichungen mit dem in vitro-Parameter Gasbildung zu wählen. Alternativ können auch Gleichungen auf Basis ELOS Anwendung finden. Da beide in vitro-Parameter in verschiedenen Untersuchungseinrichtungen in Anwendung sind, sollten zwei alternative Gleichungen angegeben werden.

Wenn nach Futtertyp differenzierende Gleichungen gewählt werden, sind Modelle auf Basis in vitro-Parameter und Rohnährstoffe in der TM zu bevorzugen. Ansonsten ist der Bezug auf TM oder OM für die Güte der Schätzung nicht entscheidend. Obwohl aus sachlogischen Gründen (Rohasche ist frei von Energie) die Schätzung auf Basis der organischen Masse zu bevorzugen wäre, wird deshalb weiterhin eine Schätzung auf Basis Trockenmasse vorgeschlagen.

Die Verwendung einer Gleichung für alle Materialien führt zu einer hinreichenden Genauigkeit, so dass die Anwendung produktspezifischer Gleichungen nicht erforderlich ist.

Eine Differenzierung nach Schnittnummer erscheint insgesamt nicht erforderlich.

Als Gesamtaussage kann deshalb eine Gleichung für alle Materialien und Schnitte unter Verwendung von in vitro-Parametern empfohlen werden.

Literatur

- GfE (2001): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8; DLG Frankfurt a. Main
- GfE (1991): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie: Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 65, 229-234
- Van Soest (1963) Use of detergents in the analysis of fibrous feed Journal of Association of Official Agriculture Chemists 46, 829 – 835