

Schätzgleichungen zur Energieberechnung bei Versuchen im Grünland und Feldfutterbau

K. Rutzmoser¹, S. Hartmann² und M. Diepolder³

¹Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing-Grub, ²Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising, ³Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Freising, alle Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Fragestellung

In Pflanzenbauversuchen mit Futterpflanzen ist es ein wichtiges Ziel, den vom Nutztier verwertbaren Energiegehalt möglichst richtig zu bewerten. Dabei muss der Aufwand an Untersuchungen in einem vertretbaren Rahmen gehalten werden. Da die vom Tier nutzbare Energie nicht direkt gemessen werden kann, müssen Zusammenhänge gefunden und in Formeln umgesetzt werden, mit denen aus Messgrößen der Energiegehalt abgeleitet werden kann.

Im Feldversuchswesen der Länder wird ab 2006 – nach einer Einführungsphase im Bereich der Landessortenversuche (LSV) und Wertprüfungen (WP) – verbindlich das Planungs-, Informations- und Auswertungssystem im Feldversuchswesen (PIAF) eingesetzt. Dies erst ermöglicht die ebenfalls verbindlich vereinbarte länderübergreifende Anlage und Auswertung von Versuchsserien. Um Grünlandversuche im Rahmen von PIAF auch bezüglich des wichtigen Paramters „Energie“ auswerten zu können, ist die Integration einer einheitlichen, allgemein akzeptierten Energiebewertungsmethode unabdingbar. Aber auch für Pflanzenbau und Tierernährung sollte die Berechnung der Energie nach einheitlichen Regeln erfolgen. Es werden daher wichtige Grundzüge der Energiebewertung und der Anwendung des in der Beratung in Bayern verwendeten Verfahrens zur Auswertung von Grünlandversuchen dargestellt.

Berechnung der Energie

Die mit dem Futter aufgenommene Energie kann entsprechend der Verwertung im Tier aufgeteilt werden. Die Bruttoenergie (GE, gross energy) ist der Brennwert der organischen Stoffe (OM), etwa 18 MJ je kg Trockenmasse (T). Bei der Verdauung wird ein Teil der Stoffe verdaut, bei Grundfuttermitteln um 70 %. Der unverdauliche Teil wird als Kot ausgeschieden. Von den verdauten Stoffen ist die Energie im Harn und in Methan nicht verfügbar, bei Wiederkäuern liegen diese Verluste bei rund 10 % der Bruttoenergie. Der Rest der verdauten Stoffe bzw. Energie steht als umsetzbare Energie (ME, MJ) dem Tier zur Verfügung als zu bewertende Größe.

In die Formeln zur Berechnung der ME gehen, entsprechend der Weender Analyse (Rohprotein XP, Rohfaser XF, Rohfett XL, NfE XX) die verdaulichen Rohnährstoffe (DXP, DXF usw.) ein. Die zugeordneten Energiefaktoren, aus Stoffwechselversuchen abgeleitet, entsprechen etwa den um die Verluste in Harn und Methan korrigierten Brennwerten der Rohnährstoffe.

Die Formel der ME für Wiederkäuer ist beispielsweise in den DLG-Tabellen für Wiederkäuer (1997) aufgeführt:

$$\text{ME MJ} = 0,0312 * \text{DXL} + 0,0136 * \text{DXF} + 0,0147 * (\text{DOM} - \text{DXL} - \text{DXF}) + 0,00234 * \text{XP}$$

Bei dieser Schreibweise enthält das Differenzglied (DOM – DXL – DXF) das verdauliche Rohprotein DXP und die verdaulichen NfE DXX. Nach algebraischer Umformung (Ersetzen des Differenzgliedes, Einsetzen von Verdaulichkeiten) kann die Formel der ME für Wiederkäuer folgendermaßen geschrieben werden:

$$\text{ME MJ} = 0,0147 * \text{XP} * \text{dP} / 100 + 0,0312 * \text{XL} * \text{dL} / 100 \\ + 0,0136 * \text{XF} * \text{dF} / 100 + 0,0147 * \text{XX} * \text{dX} / 100 + 0,00234 * \text{XP}$$

In dieser Form ist offensichtlich, dass zu den Rohnährstoffgehalten (welche analytisch bestimmt werden) deren Verdaulichkeiten (VQ, dP, dL usw.) eingesetzt werden müssen. Der in der Regel etwas höhere Energiegehalt von Proteinen ist im letzten Glied mit XP enthalten.

Schätzung der Verdaulichkeiten

Es hat sich angeboten, Schätzungen der Verdaulichkeiten bei Futtermitteln aus Rohnährstoffgehalten abzuleiten. Die dazu erforderlichen entsprechenden Wertepaare wurden aus den DLG-Tabellen entnommen. Darin sind für verschiedene Alters- (Reife-)Stufen der Futterarten neben den Rohnährstoffen deren Verdaulichkeiten (wie in obiger Formel enthalten) zusammengestellt. Aus den Angaben kann zusätzlich der Gehalt an Rohprotein und Rohfaser auch auf die organische Masse (OM, Rest zu Rohasche XA, 1000 – XA) bezogen werden:

$$\text{XPOM} = \text{XP} / \text{OM} = \text{XP} / (1000 - \text{XA})$$

$$\text{XFOM} = \text{XF} / \text{OM} = \text{XF} / (1000 - \text{XA}).$$

Anhand von Werten der 7. Auflage der DLG-Tabelle Wiederkäuer (1997) werden die Zusammenhänge geprüft. Dazu wurden innerhalb von Futterarten lineare Regressionsgleichungen berechnet. Dabei sind die VQ von Rohprotein, Rohfaser, Rohfett und NfE in Abhängigkeit der Gehalte von XP, XPOM, XF, XFOM, XL und XA gesetzt.

In Tabelle 1 sind die Bestimmtheitsmaße von verschiedenen möglichen Kombinationen von Regressionsgleichungen von 36 Grundfutterarten der DLG-Tabellen (1997) mit den mittleren Bestimmtheitsmaßen (Median) ausgewertet.

Tab 1: Mittlere Bestimmtheitsmaße der Regressionen Rohnährstoff auf VQ aus 36 Grundfutterarten

	XP	XPOM	XF	XFOM	XL	XA
VQ Rohprotein	0,78	0,78	0,70	0,68	0,61	0,29
VQ Rohfaser	0,50	0,51	0,66	0,64	0,36	0,32
VQ Rohfett	0,24	0,26	0,39	0,31	0,21	0,16
VQ NfE	0,66	0,65	0,84	0,85	0,46	0,28

Insgesamt ist die Verdaulichkeit der NfE am genauesten zu schätzen, gefolgt von VQ Rohprotein und VQ Rohfaser. Der VQ Rohfett ist unsicherer zu bestimmen, was aber wegen des üblicherweise niedrigen Rohfettgehaltes in diesen Futtermitteln nicht so schwer wiegt. Die Verdaulichkeit des Rohproteins ist im Mittel am engsten mit dem XP- bzw. XPOM-Gehalt verknüpft. Die Verdaulichkeiten von Rohfaser, Rohfett und NfE weisen in der Mehrzahl der Fälle mit dem XF- bzw. XFOM-Gehalt die besten Beziehungen auf, was zur Aufnahme in die VQ-Schätzung spricht. Außerdem decken Rohprotein und Rohfaser bei den meisten Grundfuttermitteln einen weiten Bereich ab, sie verändern sich mit der Reife und führen dadurch zu stabilen Gleichungen.

Durch den Bezug von Rohprotein und Rohfaser auf die organische Masse (XPOM, XFOM) ist der Störeinfluss einer stärkeren Verschmutzung (hoher Rohaschegehalt XA) auszuschalten. Weil damit mögliche Extremwerte abzufangen sind, werden die Bezugswerte XPOM und XFOM verwendet. Die Schätzgleichungen stellen sich allgemein geschrieben folgendermaßen dar:

$$VQ\ XP\ (dP) = aVqXP + bVqXP * XPOM\ (v.\ H.)$$

$$VQ\ XF\ (dF) = aVqXF + bVqXF * XFOM\ (v.\ H.)$$

$$VQ\ XL\ (dL) = aVqXL + bVqXL * XFOM\ (v.\ H.)$$

$$VQ\ XX\ (dX) = aVqXX + bVqXX * XFOM\ (v.\ H.)$$

Dabei wird mit „a“ das Absolutglied (Achsenabschnitt) und mit „b“ das Steigungsmaß, die Veränderung des VQ abhängig vom XPOM- oder XFOM-Wert bezeichnet.

Die in der Beratung in Bayern verwendete Energieschätzung beruht auf den Gleichungen mit den zusammengefassten Daten aus der 6. Auflage 1991 und der 7. Auflage 1997 der DLG-Tabellen für Wiederkäuer. Für die Anwendung in pflanzenbaulichen Grünlandversuchen sind die Gleichungssätze jeweils für Wiesengras des ersten Aufwuchses und von Folgeaufwüchsen anzuwenden. Die Faktoren sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tab 2: Faktoren der Gleichung zur VQ-Schätzung von Wiesengras

VQ Rohnährstoff	Wiesengras Erstaufwüchse		Wiesengras Folgeaufwüchse	
	a Absolutglied	b Steigungsmaß	a Absolutglied	b Steigungsmaß
VQ XP (dP)	55,14	94,87	51,16	98,93
VQ XF (dF)	96,88	- 72,51	95,96	- 78,23
VQ XL (dL)	77,02	- 84,44	66,68	- 59,51
VQ XX (dX)	104,65	- 101,29	92,05	- 71,68

Anwendung der Gleichung

Die Energieschätzung soll an einem (fiktiven) Beispiel gezeigt werden. Von einem Wiesengras, 1. Schnitt seien folgende Rohnährstoffgehalte ermittelt worden:

100 g/kg T XA Rohasche

150 g/kg T XP Rohprotein = 0,1667 XPOM

250 g/kg T XA Rohfaser = 0,2778 XFOM

35 g/kg T XL Rohfett (gemessen oder mittlerer Tabellenwert)

Die Schätzung der Verdaulichkeit ergibt folgende Werte:

$$VQ\ XP\ (dP) = 55,14 + 94,87 * 166,7 = 70,95\ (v.\ H.)$$

$$VQ\ XF\ (dF) = 96,88 - 72,51 * 277,8 = 76,74\ (v.\ H.)$$

$$VQ\ XL\ (dL) = 77,02 - 84,44 * 277,8 = 53,56\ (v.\ H.)$$

$$VQ\ XX\ (dX) = 104,65 - 101,29 * 277,8 = 76,51\ (v.\ H.)$$

Diese VQ-Werte in die obige ME-Formel eingesetzt ergibt 10,34 MJ ME/kg T.

Unterscheidung nach Futterartgruppen

Für die Auswertung von Versuchen mit verschiedenen Pflanzenarten und Gemengen stellt sich die Frage, welche Unterscheidungen zu treffen sind. Dazu werden in Tabelle 3 modellhaft die Auswirkungen auf die ME-Gehalte dargestellt, wenn die Verdaulichkeiten nach futterartbezogenen Gleichungen ermittelt werden, entsprechend den Unterteilungen wie sie in den DLG-Tabellen getroffen sind. Zusätzlich ist die Schätzung nach den Formeln für Gras nach Rohnährstoffen (GfE 1998) aufgeführt.

Tab. 3: ME-Gehalte nach futterartbezogenen Gleichungen

Futterart	junges Futter		älteres Futter	
	Erstaufwüchse	Folgeaufwüchse	Erstaufwüchse	Folgeaufwüchse
Wiesengras	11,16	10,54	9,55	9,17
Rotklee	10,62	10,18	8,61	8,84
Rotklee gras	10,82	10,15	9,14	8,99
Luzerne	10,28	10,25	8,66	8,68
Luzernegras	10,29	9,98	9,13	9,03
Weidelgras	11,31	10,38	9,39	9,19
Gras DLG	11,31	10,54	9,45	9,47

Aus den VQ-Schätzungen ergeben sich bei reinem Rotklee und Luzerne geringere ME-Gehalte als bei Wiesengras, Mischungen liegen meist dazwischen. Die Werte für Weidelgras kommen dem Wiesengras recht nahe.

Folgerungen

Da in der praktischen Arbeit bei Grünland- und Futterbauversuchen der Anteil an Leguminosen mit vertretbarem Aufwand nicht bestimmt werden kann, wird angestrebt, die Schätzung auf je einen Formelsatz für Erst- und Folgeaufwüchse von Gras (und Grasgemengen) einzuschränken, womit eine gewisse Überschätzung der ME bei Leguminosenmischungen in Kauf genommen werden muss. Wiesengras von Beständen mit sehr später Nutzung oder hohem Anteil minderwertiger Gräser verhält sich anders in den Verdaulichkeiten (niedrigere VQ bei vergleichbarem Rohfasergehalt), weshalb die Schätzung nicht auf solches Grüngut angewendet werden sollte.

Literatur

DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer (1991, 1997), DLG-Verlag Frankfurt.

MITTEILUNGEN DES AUSSCHUSSES FÜR BEDARFSNORMEN IN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (GfE) (1998): Formeln zu Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie in Futtermitteln aus Aufwüchsen des Dauergrünlandes und Mais-Ganzpflanzen. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 9.

RUTZMOSE, K. und MOOSMEYER, M. (1999): Verdaulichkeitsschätzung zur Energieberechnung beim Wiederkäuer. BLT Grub Information 4/99, 32-40.