

Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie und der Verdaulichkeit der Organischen Masse von Maisprodukten für Wiederkäuer

1. Einleitung

Für eine bedarfsgerechte Energieversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere muss der energetische Wert der Futtermittel bekannt sein. Die Umsetzbare Energie (metabolizable energy, ME) ist der Maßstab zur Energiebewertung beim Wiederkäuer (GfE, 2001). Die Berechnung des ME-Gehaltes eines Futtermittels erfolgt aus den verdaulichen Rohnährstoffen gemäß folgender Gleichung (GfE, 2001):

$$\begin{aligned}[1] \text{ME (MJ/kg)} &= 0,0312 && \bullet \text{verdauliches Rohfett (g/kg)} \\ &+ 0,0136 && \bullet \text{verdauliche Rohfaser (g/kg)} \\ &+ 0,0147 && \bullet \text{verdaulicher organischer Rest (verdauliche Organische} \\ &&& \text{Masse – verdauliches Rohfett – verdauliche Rohfaser) (g/kg)} \\ &+ 0,00234 && \bullet \text{Rohprotein (g/kg)} \end{aligned}$$

Bei der Arbeitsroutine in den Untersuchungslaboren werden für die Berechnung der ME Schätzgleichungen genutzt. Für Maisprodukte wurde von der GfE (2008) die folgende Gleichung veröffentlicht:

$$\begin{aligned}[2] \text{ME (MJ/kg TM)} &= 7,15 \\ &+ 0,00580 && \bullet \text{ELOS (g/kg TM)} \\ &- 0,00283 && \bullet \text{aNDFom (g/kg TM)} \\ &+ 0,03522 && \bullet \text{XL (g/kg TM)} \end{aligned}$$

Eine Validierung der Gleichung 2 auf Basis von 120 neuen Verdaulichkeitsmessungen mit Maisprodukten aus den Jahren 2007 bis 2018 aus Deutschland, Österreich und der Schweiz ergab zwar einen mit 3,2 % geringen Schätzfehler, das Bestimmtheitsmaß war mit 0,58 jedoch unbefriedigend gering. Die Differenz zwischen den geschätzten und den aus der Verdaulichkeitsmessung ermittelten ME-Gehalten betrug bis zu 1 MJ/kg TM. Es wurde daher eine neue Schätzgleichung abgeleitet, die der Ausschuss für Bedarfsnormen hiermit für die zukünftige Anwendung für Maisprodukte festlegt. Zusätzlich wurde mit dem Datenmaterial eine Gleichung zur Schätzung der Verdaulichkeit der Organischen Masse abgeleitet.

Bereits in der früheren Mitteilung wurde die im Hohenheimer Futterwerttest gemessene Gasbildung als in vitro-Kriterium bei der Ableitung der Schätzgleichung für Maisprodukte nicht empfohlen (GfE, 2008). Auch die neue Auswertung führte dazu, dass die Gasbildung unberücksichtigt bleibt.

2. Daten und Vorgehensweise

Für die Auswertung wurden 156 Datensätze aus Verdaulichkeitsversuchen verwendet, die in neun Versuchseinrichtungen durchgeführt wurden (Tab. 1). Die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe im frisch geernteten Silomais ($n=10$), in Maissilagen ($n=141$) und im silierten Restpflanzenmaterial ($n=5$) wurde nach den Richtlinien der GfE (1991) unter Nutzung von Hammeln im Zeitraum von 2000 bis 2018 bestimmt. Bei den silierten Materialien wurden die Trockenmassegehalte und die Nährstoffgehalte auf die Verluste flüchtiger Substanzen während der Trocknung nach den Vorgaben von Weißbach und Kuhla (1995) korrigiert.

Verwendete Abkürzungen: ADFom = Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung; aNDFom = Neutral-Detergenzien-Faser nach Amyleasebehandlung und Veraschung; B = Bestimmtheitsmaß; ELOS = Enzymlösliche Organische Substanz; GE = Bruttoenergie; ME = Umsetzbare Energie; NEL = Nettoenergie-Laktation; NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe; OM = Organische Masse; sR = Reststreuung; VQ OM = Verdaulichkeit der Organischen Masse; TM = Trockenmasse; XA = Rohasche; XF = Rohfaser; XP = Rohprotein; XL = Rohfett

Tabelle 1: Anzahl und Herkunft der Datensätze

Posieux	12
Braunschweig	11
Dummerstorf	16
Grub	17
Gumpenstein	36
Halle	2
Paulinenaue	20
Kleve	31
Freising-Weihenstephan	11

In der Tabelle 2 sind die Daten zur näheren Charakterisierung des Materials zusammengefasst.

Tabelle 2: Inhaltsstoffe, in vitro-Kriterien, Verdaulichkeit der Organischen Masse und berechneter ME-Gehalt für das Gesamtmaterial (Mittelwert, Standardabweichung s, Variationskoeffizient s%, Minimum und Maximum)

		n	Mittelwert	s	s%	Min	Max
Trockenmasse	g/kg	156	337	55	11,5	210	569
Rohasche	g/kg TM	156	39	8,3	21,3	22	75
Rohprotein	g/kg TM	156	75	8,7	11,5	52	106
Rohfett	g/kg TM	156	29	4,9	16,9	6	106
Stärke	g/kg TM	94	331	61,0	18,4	169	499
Rohfaser	g/kg TM	156	204	36,0	17,4	141	334
aNDFom	g/kg TM	156	421	64,3	15,2	271	690
ADFom	g/kg TM	156	230	42,3	18,4	145	437
Gasbildung	mL/200 mg TM	120	55,0	4,85	8,8	46,2	68,4
ELOS	g/kg TM	156	688	67,3	9,8	325	827
VQ OM	%	156	74,5	4,2	5,6	55,7	82,3
ME	MJ/kg TM	156	10,9	0,70	6,4	4,5	12,1

Das Datenmaterial wies mit Variationskoeffizienten zwischen 15 und 18 % für die Faserfraktionen, 11,5 % für Rohprotein, 16,9 % für Rohfett sowie von etwa 10 % für die ELOS eine ausreichend hohe Streuung zur Ableitung von Regressionsgleichungen auf. Für die Größen VQ OM und ME wurden mit 5,6 bzw. 6,4 % geringere Variationskoeffizienten ausgewiesen. Die Rohfasergehalte wurden im Rahmen der Charakterisierung des Materials ebenfalls ermittelt und sie werden zur Berechnung der Referenzwerte für die ME benötigt. Bei der Ableitung der Schätzgleichungen wurde die Rohfaser jedoch nicht als Variable berücksichtigt. Die Ableitung der Schätzgleichungen erfolgte auf der Basis der in den Verdaulichkeitsmessungen nach Gleichung [1] berechneten ME-Gehalte sowie der jeweiligen Nährstoffgehalte und der enzymlöslichen Organischen Substanz (ELOS) sowie der Gasbildung in der Trockenmasse. Für die Ableitung der Schätzgleichung für die VQ OM wurden die Nährstoffgehalte und die in vitro-Größen auf die Gehalte in der Organischen Masse berechnet.

Für die mathematische Ableitung der Schätzgleichungen wurden alle 156 Datensätze verwendet. 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. Die Gleichungen wurden mittels des Statistik-Datenpaketes SAS® (Version 9.4) unter Nutzung der Prozedur PROC REG bei schrittweiser Parameterauswahl ermittelt. Es wurden nur die Variablen berücksichtigt, die sich bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,15$ als signifikant erwiesen.

3. Ergebnisse

3.1 Regressionsgleichung zur Berechnung der ME

Insgesamt wurden 35 Schätzgleichungen abgeleitet, deren Bestimmtheitsmaße zwischen 0,20 und 0,78 variierten. Die Einbeziehung der aNDfom erwies sich in keinem Falle als sinnvoll, da das Signifikanzniveau des Regressionskoeffizienten jeweils deutlich geringer als das der ADFom war. Bezuglich der in vitro-Größen zeigte sich ein deutlich engerer Zusammenhang zwischen dem ELOS-Wert und dem ME-Gehalt als zwischen der Gasbildung und dem ME-Gehalt, was sich mit früheren Befunden deckt (GfE, 2008). Die folgende Gleichung wird zur Schätzung der ME in Maisprodukten unter Berücksichtigung der Schätzgüte und des erforderlichen Analyseaufwandes festgelegt:

$$\begin{aligned}[3] \text{ME (MJ/kg TM)} &= 9,46 \\ &+ 0,00336 \quad \bullet \text{ ELOS} \quad (\text{g/kg TM}) \\ &- 0,00636 \quad \bullet \text{ ADFom} \quad (\text{g/kg TM}) \\ &+ 0,01829 \quad \bullet \text{ XL} \quad (\text{g/kg TM}) \\ &+ 0,00865 \quad \bullet \text{ XP} \quad (\text{g/kg TM}) \\ &- 0,01474 \quad \bullet \text{ XA} \quad (\text{g/kg TM}) \end{aligned}$$

Bestimmtheitsmaß r²: 78 %; Reststreuung sR: 0,34; Schätzfehler sR*100/̄x: 3,08 %

Für Futtermittel 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:

$$[4] \quad \text{NEL (MJ)} = 0,6 \cdot [1 + 0,004 (q - 57)] \text{ ME (MJ)}, \text{ wobei } q = \text{ME}/\text{GE} \cdot 100$$

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

$$\begin{aligned}[5] \text{GE (MJ/kg TM)} &= 0,0239 \quad \bullet \text{ XP} \quad (\text{g/kg TM}) \\ &+ 0,0398 \quad \bullet \text{ XL} \quad (\text{g/kg TM}) \\ &+ 0,0201 \quad \bullet \text{ XF} \quad (\text{g/kg TM}) \\ &+ 0,0175 \quad \bullet \text{ NfE} \quad (\text{g/kg TM}) \end{aligned}$$

Die Validierung der Gleichung 3 erfolgte an einem unabhängigen Datensatz der bereits genannten Prüfeinrichtungen von 52 Verdaulichkeitmessungen für Maisprodukte aus den Jahren 2000 bis 2018. Die mittlere Differenz zwischen den geschätzten und den aus der Verdaulichkeitmessung ermittelten ME-Gehalten betrug 0,01 MJ/kg TM bei einem Bestimmtheitsmaß von 75 % und einem Schätzfehler von 3,6 %, worin eine ausreichende Genauigkeit gesehen wird.

3.2 Regressionsgleichung zur Schätzung der VQ OM

Es wurden auch Gleichungen zur Schätzung der VQ OM abgeleitet, da die Verdaulichkeit eine Voraussetzung für die Berechnung der Energiewerte ist, sie aber unabhängig von der Ausgestaltung eines Energiebewertungssystems bleibt. Zur Ableitung der Schätzgleichungen für die VQ OM 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 Masse. Variablen, deren Regressionskoeffizient nicht mindestens ein Signifikanzniveau von p=0,15 erreichte, wurden ausgeschlossen. Das mathematische Vorgehen war ebenso wie bei der Ableitung der ME-Schätzgleichung.

Bei den Schätzgleichungen für die VQ OM führte die Berücksichtigung der ELOS zu genaueren Gleichungen als die Berücksichtigung der Gasbildung. Ähnlich wie bei der ME-Schätzgleichung war bei Nutzung der ADFom die Schätzgüte höher als bei Verwendung der aNDfom. Von 18 berechneten Regressionsgleichungen zur Schätzung

der VQ OM legt der Ausschuss für Bedarfsnormen die folgende Gleichung fest:

$$[6] \quad \begin{aligned} \text{VQ OM (\%)} &= 64,45 \\ &+ 0,02677 \cdot \text{ELOS} \quad (\text{g/kg OM}) \\ &- 0,03814 \cdot \text{ADFom} \quad (\text{g/kg OM}) \end{aligned}$$

Bestimmtheitsmaß r²: 66 %; Reststreuung sR: 2,44; Schätzfehler sR*100/̄x: 3,27 %

4. Gültigkeitsbereich der Formeln zur Schätzung der ME und der VQ OM

Auf Basis der Nährstoffgehalte in dem für die Ableitung der Gleichungen genutzten Datensatz wird folgender Geltungsbereich für die Schätzung der ME und der VO OM angegeben:

ELOS: 325 - 825 g/kg TM
ADFom: 145 - 435 g/kg TM
XL: 5 - 105 g/kg TM
XP: 55 - 105 g/kg TM
XA: 25 - 75 g/kg TM

Falls die Nährstoffgehalte in einer Futterprobe außerhalb dieser Bereiche liegen, nimmt die Genauigkeit der Schätzung ab. Bei der Ausweisung der Ergebnisse ist auf diesen Umstand hinzuweisen.

5. Abschließende Bemerkung

Eine weitere Verbesserung der Schätzgenauigkeiten ist grundsätzlich möglich, wenn zusätzliche Analysendaten berücksichtigt werden können. Der Ausschuss für Bedarfsnormen hält es daher für erforderlich, dass in zukünftigen Verdaulichkeitsversuchen die geprüften Maisprodukte zusätzlich auf die Gehalte an Stärke und Zucker analysiert werden.

6. Literatur

- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (1991): Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 65, 229-234.
GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. 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.
Weiβbach, F. und S. Kuhla (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung der Trockenmasse von Silagen und Grünfutter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übers. Tierernährg. 23, 189-214.

Adresse:

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

Mitglieder:

Eder, K., Giessen
Kampf, D., Frankfurt
Kamphues, J., Hannover
Rodehutscord, M., Stuttgart-Hohenheim (Vorsitzender)
Schenkel, H., Stuttgart-Hohenheim
Südekum, K.-H., Bonn
Susenbeth, A., Kiel
Windisch, W., Freising-Weihenstephan
Zentek, J., Berlin

Sachverständige:

Losand, B., Dummerstorf
Pries, M., Bad Sassendorf
Feldmann, Bernadette, Bad Sassendorf

Weitere Unterstützende:

Arrigo, Y., Posieux
Ettle, T., Grub
Gruber, L., Gumpenstein
Hertwig, F., Paulinenaue
Kluth, H., Halle
Meyer, U., Braunschweig
Priepke, A., Dummerstorf
Schwarz, F., Freising-Weihenstephan