

# Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie

## Schätzung der Umsetzbaren Energie von Mischfuttermitteln für Schweine

Originaltext

GfE (2008): Prediction of Metabolisable Energy of compound feeds for pigs. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 17, 199-204

### Einleitung

Die Neuauflage der Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen (GfE, 2006) beinhaltet eine Überarbeitung der Gleichung zur Berechnung der Umsetzbaren Energie für Schweine ( $ME_S$ ) aus den verdaulichen Nährstoffen. Diese Gleichung lautet:

$$ME_S \text{ (MJ)} = 0,0205 \times \text{verdauliches Rohprotein (g)} + 0,0398 \times \text{verdauliches Rohfett (g)} + 0,0173 \times \text{Stärke (g)} + 0,0160 \times \text{Zucker (g)} + 0,0147 \times \text{verdaulicher Rest (g)}, \quad [\text{Gleichung 1}]$$

wobei der verdauliche Rest die verdauliche organische Substanz abzüglich der Summe aus verdaulichem Rohprotein, verdaulichem Rohfett, Stärke und Zucker ist. Die Einheit der Regressionskoeffizienten ist MJ/g.

Eine Änderung im Vergleich zu der zuvor gültigen Gleichung besteht insbesondere bei der Berücksichtigung der einzelnen Kohlenhydratfraktionen. In Folge der Änderungen musste auch die Gleichung zur Schätzung der  $ME_S$  in Mischfuttermitteln aus den analysierten Nährstoffen überarbeitet werden. Mit der vorliegenden Mitteilung empfiehlt der Ausschuss für Bedarfsnormen eine neue Gleichung für die Schätzung der  $ME_S$ . Mit der Anwendung der oben aufgeführten Gleichung 1 zur Berechnung der  $ME_S$  verliert die bisher gültige Gleichung zur Schätzung des Energiegehaltes im Mischfutter (GfE 1987, 1996) ihre Berechtigung und sollte nicht mehr angewendet werden.

Die Ableitung der neuen Schätzgleichung basiert auf Daten aus Verdaulichkeitsversuchen, die mit Mischfuttermitteln in verschiedenen Instituten durchgeführt wurden. Die schrittweise Evaluierung dieser Daten und die Entwicklung der Gleichung sind bei Bulang und Rodehutscord (2008) ausführlich beschrieben.

### Datensammlung, Entwicklung und Validierung der Schätzgleichung

Für die Ableitung der Schätzgleichung wurden 290 Datensätze aus Verdaulichkeitsversuchen mit Mischfuttermitteln verwendet. Die Datensätze umfassten Angaben zu den Gehalten an Trockensubstanz, Weender Rohnährstoffen, Stärke und Zucker sowie den ermittelten Verdaulichkeitswerten. Mit der zuvor genannten Gleichung 1 wurde der Gehalt an  $ME_S$  als Referenzwert berechnet und dieser anschließend bei der multiplen Regressionsanalyse als abhängige Variable bei der Ableitung der Schätzgleichung eingesetzt.

Der Ausschuss für Bedarfsnormen dankt den folgenden Institutionen für die zur Verfügung gestellten Daten: Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie in Kiel, Institut für Tierernährung in Braunschweig, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft in Grub, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Jena, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften in Halle und Institut für Nutztierwissenschaften und Technologie in Rostock. Voraussetzung war, dass die den Daten zugrunde liegenden Versuche in Übereinstimmung mit den Richtlinien für Versuche zur Bestimmung des energetischen Wertes von Futtermitteln (GfE, 2005) durchgeführt worden waren, mit der Einschränkung, dass keine Restriktion bezüglich der Lebendmasse (LM) vorgenommen wurde. Zusätzlich wurden Daten von Beste (1988), Kleine Klaus (1990) und Grünwald (1992) verwendet. Die chemischen Analysen wurden gemäß den offiziellen Methoden (VDLUFA, 2007) durchgeführt.

Der gesamte Datensatz wurde geteilt, wobei die eine Hälfte zur Berechnung der Gleichung und die andere zur Validierung verwendet wurden. Die Teilung erfolgte in Anlehnung an eine *cross-validation* Methode nach Shtatland et al. (2004) unter Nutzung der 'rununi' Funktion von SAS. Die Datensätze für Ferkel ( $\leq 30$  kg LM) und Mastschweine ( $> 30$  kg LM) wurden separat auf die jeweiligen Teile verteilt. Bei der Ableitung der Schätzgleichung wurde geprüft, ob getrennte Schätzgleichungen für Ferkel- und Mastschweinfutter im Vergleich zu nur einer Gleichung für alle Futtermittel eine höhere Schätzgenauigkeit aufweisen.

Die multiple Regressionsanalyse (Proc Reg) sowie die Berechnung der Korrelationen (Proc Corr) wurden mit dem Softwarepaket von SAS 9.1 (SAS Institute Inc.) durchgeführt. Für die Auswahl des am besten geeigneten Modells wurde in Anlehnung an die Methode von Hurvich & Tsai (1989) zusätzlich zur Reststandardabweichung (RMSE) das *Akaike-Information-Criterion* kalkuliert. Dieses Kriterium zeigt bei Regressionsanalysen mit Datensätzen unterschiedlichen Umfangs stabilere und geringere Schätzfehler als andere Modellkriterien (Spilke and Mielenz, 2006). Als unabhängige Variable fanden die Gehalte an Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Stärke, Zucker und der organische Rest Eingang in das Modell. Der organische Rest wurde als Differenz zwischen der organischen Substanz und der Summe von Rohprotein, Rohfaser, Rohfett und Stärke berechnet, wobei die Einheit g je kg Trockensubstanz (T) war. Die Neutral-Detergenzienfaser (NDF) und Säure-Detergenzienfaser (ADF) konnten nicht berücksichtigt werden, da nur für sehr wenig Mischfuttermittel Daten für diese Fraktionen vorlagen. Es wurde kein Absolutglied (Intercept) in das Modell integriert, da die Variation in der ME<sub>S</sub> nur durch die unabhängigen Variablen und den Restfehler erklärt werden sollte.

## Informationen zum Datensatz

Der Großteil der berücksichtigten Futtermischungen bestand hauptsächlich aus Weizen (160), Gerste (54) oder einer Mischung aus beiden (41) (Tabelle 1). Die Einzelkomponente, die den höchsten Anteil innerhalb des jeweiligen Futtermittels hatte oder die Einzelkomponenten, deren Anteile entweder gleich groß waren oder eine maximale Differenz von 1% bezüglich ihrer Anteile im Futtermittel aufwiesen, wurden als Hauptkomponente bezeichnet. Die Zusammensetzung von 7 Alleinfuttermitteln, die aus dem Handel bezogen worden waren, war unbekannt. Die Angaben zu den analysierten Nährstoffen, den Verdaulichkeiten und den Gehalten an ME<sub>S</sub> sind Tabelle 2 zusammengefasst. Alle Merkmale wiesen eine große Variabilität auf, wie auch anhand der Abbildung 1 für einige Nährstoffe ersichtlich ist. Eine Gleichverteilung der Nährstoff- und ME<sub>S</sub>-Gehalte innerhalb des Datensatzes lag nicht vor. So lag beispielsweise der Energiegehalt

bei dem Großteil der Futtermittel zwischen 15 und 16 MJ ME<sub>S</sub> pro kg T (Abbildung 2).

**Tabelle 1.** Mittlerer Anteil am Mischfuttermittel (%), Mw, Standardabweichung (SD), Minima (Min) und Maxima (Max) der Anteile der Hauptkomponenten der Mischfuttermittel (n = 290)

Hauptkomponente	Anzahl der Futtermittel	Mw	SD	Min	Max
Ackerbohnen	1	53	-	-	-
Erbsen	1	59	-	-	-
Gerste	54	50 <sup>1</sup>	14,3	27,5	97
Hafer	2	66	-	49	82
Mais	6	70	0	70	70
Rapsexpeller/Gerste	1	50	-	-	-
Roggen	7	43	14,3	30	72
Trockenschnitzel/Weizenkleie	2	24	-	24	24
Weizen	160	50	11,0	30	99
Weizen/Ackerbohne	1	48	-	-	-
Weizen/Gerste	41	35	6,4	25	49
Weizenkleie	7	32	10,8	26	56
Unbekannt <sup>2</sup>	7	-	-	-	-

<sup>1</sup> Es konnten lediglich 48 Futtermittel berücksichtigt werden, da für 6 der 54 keine Angaben zu den Anteilen der Hauptbestandteile vorlagen.

<sup>2</sup> Es lagen keine Informationen über die Inhaltsstoffe dieser Alleinfuttermittel vor.

**Tabelle 2.** Analysierte Gehalte und Verdaulichkeit der Nährstoffe der Mischfuttermittel (n = 290)

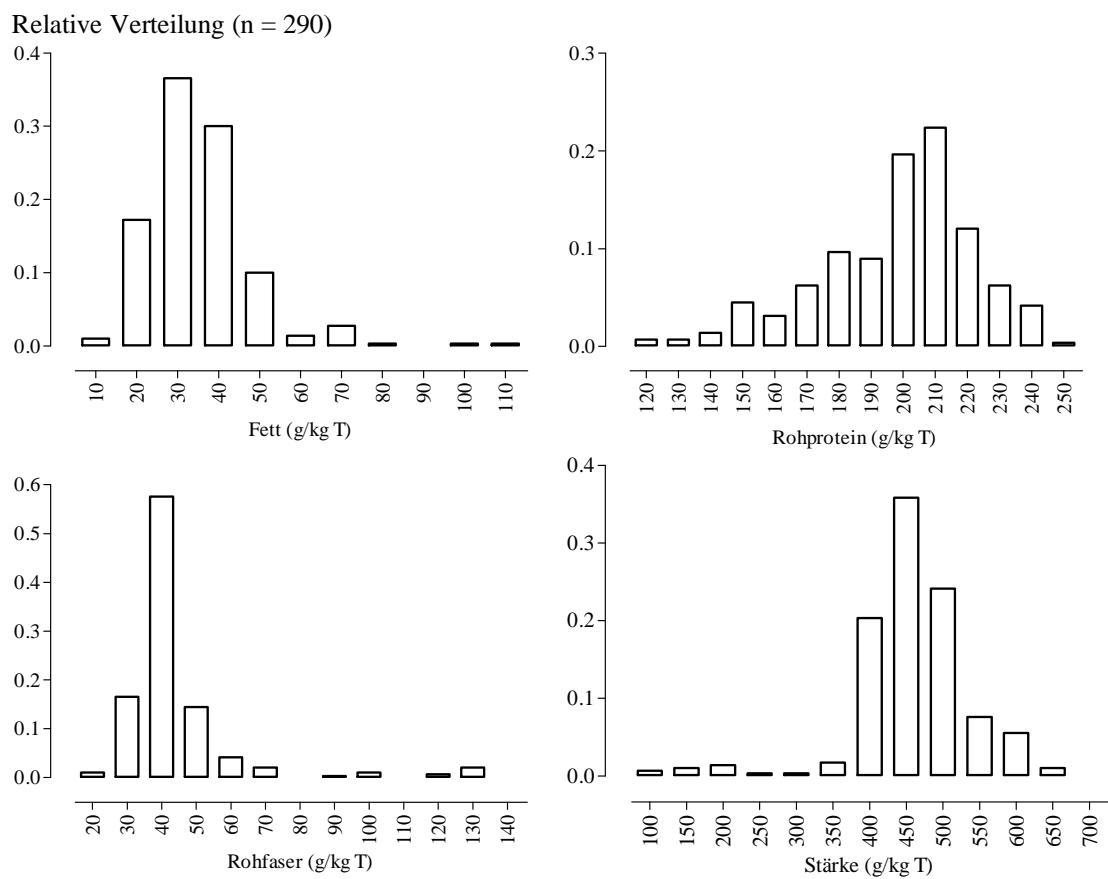
	Mw	SD	CV <sup>1</sup> (%)	Streuung			
				Min	Max	-25% <sup>2</sup>	+25% <sup>2</sup>
<i>Analysierte Gehalte, g/kg T</i>							
Rohasche	56	16	29	36	181	44	70
Organische Substanz	944	16	2	819	964	930	956
Rohprotein	198	24	12	120	245	163	224
Rohfett	35	13	36	9	107	22	52
Rohfaser	44	17	39	19	131	34	68
N-freie Extraktstoffe	667	39	6	523	827	622	715
Stärke	457	80	17	95	668	365	543
Zucker	46	18	40	22	162	32	67
<i>Verdaulichkeit, %</i>							
Organische Substanz	87,3	3,9	5	66,1	94,0	81,7	90,1
Rohprotein	84,7	4,6	5	62,0	92,3	78,8	88,4
Rohfett	74,0	14,1	19	-5,7	93,0	54,9	85,7
Rohfaser <sup>3</sup>	39,7	10,2	26	8,2	74,6	26,6	51,9
N-freie Extraktstoffe <sup>3</sup>	91,7	3,0	3	74,5	96,0	88,2	93,6
ME <sub>S</sub> <sup>4</sup> , MJ/kg T	15,0	0,9	6	10,4	16,6	14,0	15,7

<sup>1</sup> Variationskoeffizient.

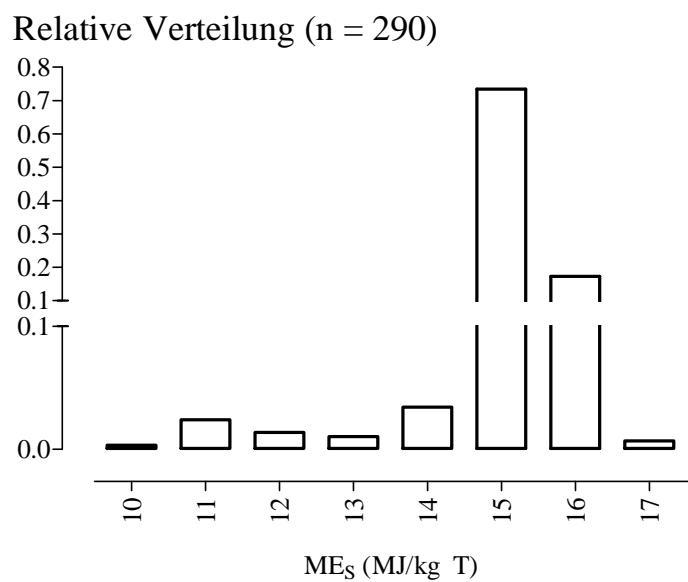
<sup>2</sup> Mittelwert der 25% niedrigsten und höchsten Werte.

<sup>3</sup> Aufgrund unvollständiger Datensätze wurden nur 287 Mischfuttermittel berücksichtigt.

<sup>4</sup> Die Berechnung der ME<sub>S</sub> erfolgte auf Basis der verdaulichen Nährstoffe, Stärke und Zucker (Gleichung 1).



**Abb. 1.** Verteilung der Nährstoffgehalte in den Mischfuttermitteln (n = 290)



**Abb. 2.** Verteilung der Gehalte an ME<sub>S</sub> in den Mischfuttermitteln (n = 290)

## **Empfohlene Gleichung und Ergebnis der Validierung**

Unter Berücksichtigung der mit dem Datensatz verbundenen Einschränkungen bezüglich der Nährstoffgehalte wird zur Schätzung des ME<sub>S</sub>-Gehaltes von Mischfuttermitteln für Schweine folgende Gleichung empfohlen (Gleichung 2). Die zusätzliche Berücksichtigung von Zucker und Rohasche reduzierte die Reststandardabweichung nur geringfügig, weshalb diese Fraktionen nicht als Variablen in die Schätzgleichung aufgenommen wurden.

$$ME_S \text{ (MJ/kg T)} = 0.021503 \times \text{Rohprotein} + 0.032497 \times \text{Rohfett} - 0.021071 \times \text{Rohfaser} + 0.016309 \times \text{Stärke} + 0.014701 \times \text{organischer Rest}$$

[Gleichung 2]

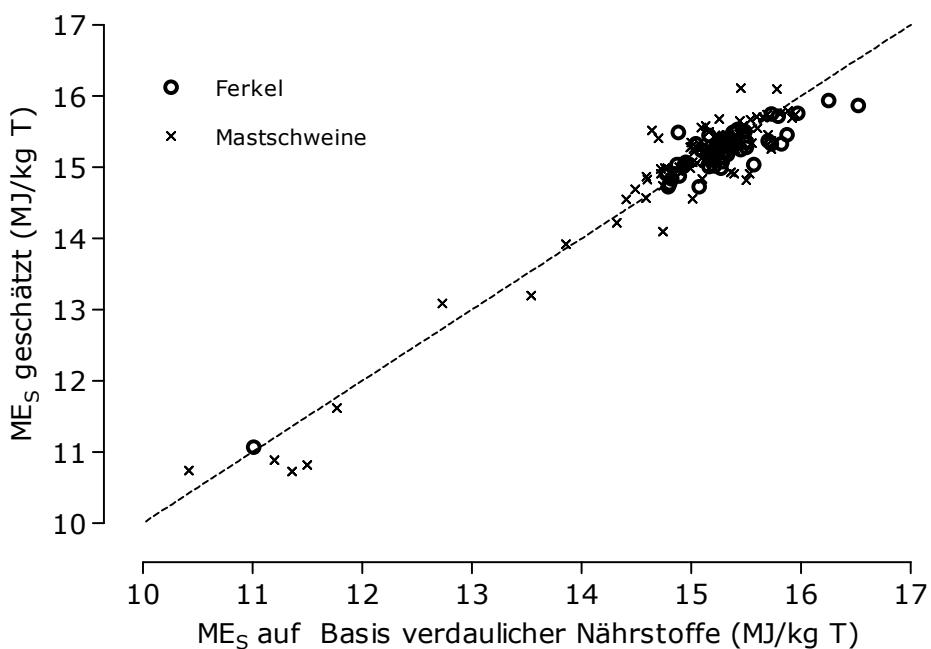
wobei der organische Rest als Differenz zwischen der organischen Substanz und der Summe aus Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und Stärke (jeweils in g/kg T) berechnet wird.

Die Gleichung 2 sollte nur auf Mischfuttermittel angewandt werden, die den folgenden Einschränkungen gerecht werden:

Rohprotein  $\geq 150$  und  $\leq 250$  g/kg T,  
 Rohfett  $\leq 60$  g/kg T,  
 Rohfaser  $\leq 80$  g/kg T.

Die Restriktionen im Hinblick auf die Nährstoffgehalte orientieren sich an der doppelten Standardabweichung, was bei einer Normalverteilung der Werte 95 % der Daten entspricht. Eine Anwendung der Gleichung für Mischfuttermittel, deren Nährstoffgehalte außerhalb dieser Begrenzungen liegen, ist grundsätzlich möglich. Es muss hierbei aber mit einem höheren Schätzfehler gerechnet werden.

Die unabhängigen Validierungen für Ferkel- und Mastschweinefutter wiesen eine gute Übereinstimmung ( $r^2 = 0,92$ ; RMSE = 0,26) zwischen der auf Basis der verdaulichen Nährstoffe berechneten und der geschätzten ME<sub>s</sub> auf, vor allem in dem Bereich zwischen 14 und 16 MJ/kg T (Abbildung 3). Es ist grundsätzlich möglich, auch die ME<sub>s</sub>-Gehalte von Futtermitteln mit niedrigem Energiegehalt zu schätzen, wobei in solchen Fällen aber mit einer geringeren Schätzgenauigkeit gerechnet werden muss. Dies ist eine Folge des unbalancierten Datensatzes, im Besonderen des geringen Anteils von Futtermitteln mit niedrigen ME<sub>s</sub>-Gehalten. Um zukünftig höhere Schätzgenauigkeiten erzielen zu können, müssen zunächst mehr Verdaulichkeitsversuche mit solchen Futtermitteln durchgeführt werden.



**Abb. 3.** Vergleich der anhand der Gleichung 2 geschätzten  $ME_S$  und der mittels der verdaulichen Nährstoffe gemäß Gleichung 1 berechneten  $ME_S$  für die Mischfuttermittel des Validierungsdatensatzes (die gepunktete Linie ist die Winkelhalbierende;  $r^2 = 0,92$ ; RMSE = 0,26)

## Literatur

- Beste, R. (1988): Untersuchungen zur Bewertung des Einsatzes von Sojaextraktionsschrot, Ackerbohnen, Weizen und Roggen sowie von synthetischen Aminosäuren in der Schweinemast. Diss. agr., Universität Bonn.
- Bulang, M., Rodehutscord, M. (2008): Development of equations for predicting metabolisable energy concentrations in diets for pigs. Manuscript in Bearbeitung.
- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] 1987. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 4 Schweine. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] 1996. Anwendung der Schätzformel für die Kontrolle des Energiegehaltes von Mischfutter für Schweine. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 5, 157-158.
- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] 2005. Determination of digestibility as the basis for energy evaluation of feedstuffs for pigs. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 14, 207-213.
- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] 2006. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Grünwald, K.-H. (1992): Untersuchungen an Mastschweinen zur Verminderung der N-Ausscheidungen durch Einsatz freier Aminosäuren. Diss. agr., Universität Bonn.
- Hurvich, C.M., Tsai, C.-L., 1989. Regression and time series model selection in small samples. Biometrika 76, 297-307.
- Kleine Klausing, H. (1990): Untersuchungen zur Bewertung des Einsatzes von Hafer, Ackerbohnen und Erbsen in der Schweinemast. Diss. agr., Universität Bonn

- Shtatland, E. S., Kleinman K., Cain E. M. (2004). A new strategy of model building in proc logistic with automatic variable selection, validation, shrinkage and model averaging. SUGI '29 Proceeding, Paper191-29, Cary, NC: SAS Institute, Inc.
- Spilke, J., Mielenz, N., 2006. Vergleich von Kriterien und Verfahren zur Modellwahl bei der multiplen linearen Regression. 10. Konferenz der SAS-Anwender in Forschung und Entwicklung. Shaker Verlag, Aachen, pp. 215-223.
- VDLUFA [Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten] (Editor) 2007. Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik, Band 3, Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Edition, 1976 mit Ergänzungen 1 bis 7 (1983, 1988, 1993, 1997, 2004, 2006, 2007), VDLUFA-Verlag, Speyer.

Adresse:

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

Mitglieder:

Flachowsky, G., Braunschweig (Vorsitzender)  
Kamphues, J., Hannover  
Rodehutscord, M., Halle (Saale)  
Schenkel, H., Hohenheim  
Südekum, K.-H., Bonn  
Susenbeth, A., Kiel  
Staudacher, W., Frankfurt

Sachverständige:

Bulang, M., Halle (Saale)  
Pallauf, J., Gießen  
Pfeffer, E., Bonn  
Schulz, E., Braunschweig