

Schätzung des Energiegehaltes in Grasprodukten – Bericht zum Stand neuer Ableitungen

B. Losand¹, M. Pries², Annette Menke², E. Tholen³, L. Gruber⁴, F. Hertwig⁵, T. Jilg⁶, H. Kluth⁷, H. Spiekers⁸, H. Stein-gaß⁹, K.-H. Südekum³

1 Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierproduktion Dummerstorf, 18196 Dummerstorf, W.-Stahl-Allee 2

2 Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster, Nevinghoff 40, 48147 Münster

3 Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn

4 HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, A 8952 Irnding, Raumberg 38, Österreich

5 Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, 14641 Paulinenaue, Gutshof 7

6 Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf, Atzenberger Weg 99, 88326 Aulendorf

7 Martin-Luther-Universität Halle, Professur für Tierernährung, 06108 Halle, E.-Bderhalden-Strasse 26

8 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Prof.-Dürrewaechter-Platz 3, 85586 Poing

9 Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung Emil-Wolff-Straße 8 u. 10, 70599 Stuttgart

Einleitung

Der Schätzung des Futterwertes konkreter 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 ½ MJ NEL/kg TS 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 mit der Neutral-Detergentien-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 Futterbewertung 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 an Hammeln mit Frischgras, Grassilagen und Heu aus 8 verschiedenen Einrichtungen Deutschlands und Österreichs der Jahre ab 1990. Die Verteilung auf die Einrichtungen und Grasprodukte zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Anzahl der Datensätze nach Produkten und Einrichtungen

| Produkt Anzahl <i>n</i> gesamt Einrichtung | mit | | Grasprodukte gesamt 506 | Grassilagen 264 | Frischgras 61 | Heu 181 |
|--|--------------------|------|-------------------------------|--------------------|------------------|------------|
| | Gasbildung (GB) | ELOS | | | | |
| 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 Einrichtung 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 Materialien 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 |
| ADF _{org} | g/kg TM | 395 | 321 | 54 | 204 | 487 |
| NDF _{org} | 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, ADF_{org}, NDF_{org}
- in vitro-Kriterien: Gasbildung (GB), ELOS

Der Parameter Rohfaser (XF) wurde als Schätzgröße nicht zugelassen, da die Zellwandfraktionen über ADF_{org} und NDF_{org} besser beschrieben werden.

Ergebnisse

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

Im weiteren Vorgehen wurden mit den Gleichungen, die am Gesamtmaterial abgeleitet wurden (Zeile 1-3), in den verschiedenen Teilmaterialien [**Gesamtmaterial:** 1. Schnitt (Zeile 4-6), Folgeschnitte (Zeile 7-9); **Grassilage:** alle (Zeile 10-12), 1. Schnitt (Zeile 19-21), Folgeschnitte (Zeile 22-24); **Heu:** alle (Zeile 18-21), 1. Schnitt (Zeile 25-27), Folgeschnitte (Zeile 28-30), **Frischgras:** alle (Zeile 13-15)] 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 in den Spalten 9 bis 12 dargestellt. Um einen Vergleich mit der über die spezifischen Gleichungen erreichbaren Genauigkeit herstellen zu können, sind die in den Spalten 9 und 11 dargestellten Schätzfehler aus der Gesamtgleichung mit den in den Spalten 6 bzw. 8 angegebenen Schätzfehlern für die spezifischen Schätzgleichungen zu vergleichen.

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

- Welche Parameter sind in den Schätzgleichungen zu verwenden?

Die besten Ergebnisse werden durch Gleichungen mit den Parametern Rohnährstoffe + GB erzielt. Mit geringem Abstand folgen Gleichungen auf Basis Rohnährstoffe + ELOS. Modelle, die ausschließlich Rohnährstoffparameter 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 universellen Gleichung ergeben sich Anstiege der Bestimmtheitsmaße von etwa 3 %-Punkten und eine Verringerung der Schätzfehler von 0,6 bis 1,0 %-Punkten, die aber von einer allgemeinen Gleichung auch widerspiegelt wird (Zeile 19 - 21; Spalte 9 - 12). Bei den Grassilagefolgeschnitten 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 Grassilage) dagegen wird im Prinzip fast ebenso genau geschätzt.

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 | |
|-------------|---------------|--------------|--------|--|-------------|
| Materialien | Schnittnr. | Parameter | Anzahl | Schätzf. (%) | Bias, MJ ME |
| Gesamt | alle | Rohn. | 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 |
| | Folgeschnitte | 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 Roh Nährstoffgleichungen sind Gleichungen mit dem in vitro-Parametern Gasbildung 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-Parametern und Roh Nährstoffe in der TM zu bevorzugen. Ansonsten ist 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.

Darstellung der gewählten Schätzgleichungen

Angaben: XP, XL, ADF_{org} und ELOS in g/kg TM sowie Gasbildung (GB) in ml/200 mg TM

$$\begin{aligned} \text{ME (MJ/kg TM)} &= 7,80 \\ &+ 0,0756 \quad \times \quad \text{GB} \\ &- 0,00384 \quad \times \quad \text{XA} \\ &+ 0,00563 \quad \times \quad \text{XP} \\ &+ 0,0192 \quad \times \quad \text{XL} \\ &- 0,0083 \quad \times \quad \text{ADF}_{\text{org}} \\ \text{B} &= 82,4\%; \quad \text{Schätzfehler: } 4,7 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ME (MJ/kg TM)} &= 5,51 \\ &+ 0,00827 \quad \times \quad \text{ELOS} \\ &- 0,0051 \quad \times \quad \text{XA} \\ &+ 0,0251 \quad \times \quad \text{XL} \\ &- 0,00393 \quad \times \quad \text{ADF}_{\text{org}} \\ \text{B} &= 81,2\%; \quad \text{Schätzfehler: } 5,2 \% \end{aligned}$$

Tabelle 3: Zusammenstellung der Bestimmtheitsmaße (b-Wert) und Schätzfehler aller Gleichungen

| Zeile | Material | Schnittnr. | Parameter | Anzahl | auf Basis TM | | auf Basis OM | | Gleichung Gesamtmaterial | | | |
|-------|-----------------------|---------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|-------------|----------------|-------------|
| | | | | | b-Wert (%) | Schätzf. (%) | b-Wert (%) | Schätzf. (%) | Schätzf. TM, % | Bias, MJ ME | Schätzf. OM, % | Bias, MJ ME |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Gesamtmaterial | alle | Rohn. | 395 | 71,2 | 6,6 | 74,5 | 6,6 | 6,6 | 0,00 | 6,5 | 0,00 |
| 2 | | | Rohn. + ELOS | 341 | 81,4 | 5,2 | 84,0 | 5,2 | 5,2 | 0,00 | 5,2 | -0,01 |
| 3 | | | Rohn. + GB | 257 | 82,7 | 4,7 | 85,0 | 4,8 | 4,6 | 0,00 | 4,7 | 0,00 |
| 4 | Gesamtmaterial | 1.Schnitt | Rohn. | 183 | 79,1 | 6,4 | 82,1 | 6,3 | 6,5 | -0,12 | 6,5 | 0,13 |
| 5 | | | Rohn. + ELOS | 155 | 87,5 | 4,8 | 89,7 | 4,8 | 4,8 | 0,14 | 4,8 | 0,15 |
| 6 | | | Rohn. + GB | 113 | 88,0 | 4,3 | 89,4 | 4,5 | 4,4 | 0,05 | 4,6 | 0,05 |
| 7 | | Folgeschnitte | Rohn. | 151 | 59,8 | 6,3 | 60,3 | 6,3 | 6,6 | 0,12 | 6,6 | -0,13 |
| 8 | | | Rohn. + ELOS | 133 | 74,1 | 5,0 | 74,9 | 5,1 | 5,2 | -0,09 | 5,2 | -0,11 |
| 9 | | | Rohn. + GB | 151 | 66,8 | 5,0 | 70,3 | 5,0 | 5,2 | -0,06 | 5,2 | -0,06 |
| 10 | Grassilage | alle | Rohn. | 194 | 67,5 | 6,5 | 67,9 | 6,5 | 6,6 | 0,02 | 6,9 | -0,02 |
| 11 | | | Rohn. + ELOS | 163 | 82,3 | 4,8 | 83,0 | 4,8 | 4,9 | 0,04 | 5,1 | 0,03 |
| 12 | | | Rohn. + GB | 134 | 82,0 | 4,8 | 83,4 | 4,9 | 4,8 | -0,02 | 5,1 | -0,03 |
| 13 | Frischgras | alle | Rohn. | 61 | 58,9 | 8,2 | 65,8 | 8,3 | 8,1 | 0,14 | 8,2 | 0,08 |
| 14 | | | Rohn. + ELOS | 59 | 76,0 | 6,3 | 80,6 | 6,3 | 6,4 | -0,09 | 6,3 | -0,10 |
| 15 | | | Rohn. + GB | 13 | -* | -* | -* | -* | 7,7 | 0,21 | 6,8 | 0,26 |
| 16 | Heu | alle | Rohn. | 140 | 69,5 | 5,6 | 71,8 | 5,7 | 5,7 | -0,01 | 5,7 | 0,00 |
| 17 | | | Rohn. + ELOS | 119 | 75,3 | 4,8 | 78,2 | 5,1 | 5,0 | 0,00 | 4,9 | -0,01 |
| 18 | | | Rohn. + GB | 110 | 80,6 | 4,2 | 83,0 | 4,2 | 4,3 | 0,02 | 4,4 | 0,02 |
| 19 | Grassilage | 1.Schnitt | Rohn. | 116 | 75,9 | 5,2 | 76,3 | 5,2 | 5,4 | -0,11 | 5,3 | 0,13 |
| 20 | | | Rohn. + ELOS | 91 | 84,7 | 4,2 | 85,2 | 4,2 | 4,3 | 0,14 | 4,3 | 0,14 |
| 21 | | | Rohn. + GB | 78 | 85,5 | 4,1 | 82,0 | 4,4 | 4,1 | 0,04 | 4,3 | 0,05 |
| 22 | | Folgeschnitte | Rohn. | 64 | 56,4 | 7,9 | 55,6 | 7,9 | 8,5 | 0,26 | 8,4 | -0,29 |
| 23 | | | Rohn. + ELOS | 61 | 81,8 | 5,2 | 81,4 | 5,2 | 5,7 | -0,06 | 5,7 | -0,08 |
| 24 | | | Rohn. + GB | 45 | 78,7 | 5,6 | 80,9 | 5,5 | 6,1 | -0,11 | 6,0 | -0,15 |
| 25 | Heu | 1.Schnitt | Rohn. | 35 | 60,6 | 7,5 | 60,6 | 7,4 | 7,4 | -0,02 | 7,4 | 0,00 |
| 26 | | | Rohn. + ELOS | 34 | 79,9 | 4,8 | 78,7 | 4,9 | 4,9 | 0,17 | 4,9 | 0,17 |
| 27 | | | Rohn. + GB | 30 | 75,5 | 5,2 | 78,0 | 5,1 | 5,4 | 0,07 | 5,4 | 0,05 |
| 28 | | Folgeschnitte | Rohn. | 62 | 76,4 | 3,3 | 70,7 | 3,3 | 3,9 | -0,02 | 3,8 | 0,02 |
| 29 | | | Rohn. + ELOS | 47 | 51,3 | 3,2 | 45,9 | 3,1 | 4,4 | -0,04 | 4,3 | -0,05 |
| 30 | | | Rohn. + GB | 42 | -* | -* | -* | -* | 4,1 | -0,02 | 4,2 | 0,00 |

Schätzung des Energiegehaltes von Maisernteprodukten – Bericht zum Stand neuer Ableitungen

F. Hertwig¹, J. Greef², T. Jilg³, Ehrengard Kaiser⁴, B. Losand⁵, U. Meyer⁶, M. Pries⁷, M. Rodehutschord⁸, F.-J. Schwarz⁹, H. Spiekers¹⁰, K.-H. Südekum¹¹, F. Weißbach¹²

1 LVL Brandenburg, Referat Grünland und Futterwirtschaft, 14641 Paulinenaue, Gutshof 7

2 Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

3 Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf, Atzenberger Weg 99, 88326 Aulendorf

4 Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Invalidenstr. 42, 10099 Berlin

5 Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei M-V, Institut für Tierproduktion, 18196 Dummerstorf, W.-Stahl-Allee 2

6 Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Tierernährung, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

7 Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster, Nevinghoff 40, 48147 Münster

8 Martin-Luther-Universität Halle, Professur für Tierernährung, 06108 Halle, E.-Bderhalden-Strasse 26

9 TU München, Freising-Weihenstephan, Department Tierwissenschaften

10 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Prof.-Dürrwaechter-Platz 3, 85586 Poing

11 Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn

12 Gösselweg 12, 18107 Elmenhorst

Ein wichtiges Kriterium für die Bewertung von Maisprodukten ist neben der Kenntnis ihrer Inhaltsstoffe die Energiekonzentration (EK). Die EK wird in der Regel auf der Basis von Schätzgleichungen unter Nutzung verschiedener Futterwertparameter berechnet. Vom Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) wurden 1997 zwei Gleichungen für die Schätzung des Energiegehaltes von Silomais und Maissilagen empfohlen. Die Grundlage der Gleichungen sind entweder Roh Nährstoffparameter oder Roh Nährstoffparameter und die enzymunlösliche organische Substanz (EULOS).

Bei der Validierung dieser Gleichungen wurde 2004 festgestellt, dass die statistischen Kenngrößen der Gleichung auf der Grundlage der Roh Nährstoffe eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus den Verdauungsversuchen aufwiesen. Die Gleichung auf der Basis von Roh Nährstoffen und des Parameters EULOS bewertete die Maisprodukte im Vergleich zum Tierversuch durchschnittlich um 0,26 MJ ME/kg TM niedriger. Die ungenügende Übereinstimmung wurde durch das geringe Bestimmtheitsmaß von nur 0,28 und einen hohen Schätzfehler deutlich. Daraus schlussfolgernd wurde die Überarbeitung der Gleichung angeregt.

Zielstellung war dabei die Erarbeitung einer Schätzgleichung auf der Basis von Roh Nährstoff- und in vitro - Parametern. Dazu standen insgesamt 139 Verdauungsversuche aus 11 Einrichtungen zur Verfügung, von denen sowohl die enzymlösliche organische Substanz (ELOS), der Rohfett- (XL), der Rohasche- (XA), der Rohprotein- (XP) und der NDF_{org} -Gehalt bekannt waren. In die statistische Auswertung mittels SAS wurden alle diese Parameter einbezogen und entsprechende Regressionsansätze zur Berechnung der Energiekonzentration mit einem möglichst hohen Bestimmtheitsmaß sowie einem geringen Schätzfehler gesucht. Dazu wurden die vorhandenen Verdauungsversuche nach ihrer Energiekonzentration sortiert und in eine Kalibrierungs- und Validierungsdatei im Verhältnis 2:1 aufgeteilt. Für die Ableitung der Schätzgleichung (Tab. 1) standen somit 93 und für die Validierung (Tab 3) 46 Verdauungsversuche zur Verfügung. In Tabelle 2 sind einige der berechneten Gleichungen mit ihren statistischen Kenngrößen dargestellt.

Tabelle 1: Wertebereich der Futterwertparameter für die Ermittlung der Schätzgleichung für die Berechnung der Energiekonzentration von Maisernteprodukten

| Parameter | ME _{in vivo} MJ/kg TM _{korrt} | ELOS | NDF _{org} | XL | XA | XP |
|-------------|--|--------------------------|--------------------|----|----|-----|
| | | g/kg TM _{korrt} | | | | |
| Anzahl | 93 | 93 | 93 | 93 | 93 | 93 |
| Mittelwert | 10,91 | 693 | 430 | 27 | 39 | 79 |
| Streuung, s | 0,95 | 87 | 85 | 6 | 10 | 8 |
| MIN | 7,24 | 325 | 116 | 6 | 16 | 64 |
| MAX | 13,90 | 942 | 690 | 40 | 72 | 105 |

Tabelle 2: **Schätzgleichung für die Berechnung der Energiekonzentration (ME) von Maisernteprodukten auf der Basis des ELOS - Wertes und Rohnährstoffparametern**

| Nr | R ² | s | s% | Formel | a | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ |
|----|----------------|-------------|------------|--|-------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| 1 | 0,75 | 0,48 | 4,4 | Y=a+b ₁ ELOS | 4,32 | 0,00951 | | | |
| 2 | 0,80 | 0,43 | 3,9 | Y=a+b ₁ ELOS+b ₂ NDF _{org} | 8,12 | 0,00643 | -0,00384 | | |
| 3 | 0,83 | 0,41 | 3,8 | Y=a+b₁ELOS+b₂NDF_{org}+b₃XL | 7,15 | 0,00580 | -0,00283 | 0,03522 | |
| 4 | 0,82 | 0,41 | 3,8 | Y=a+b ₁ ELOS+b ₂ NDF _{org} +b ₄ XA | 9,40 | 0,00521 | -0,00260 | | -0,02498 |

Auf der Basis der dargelegten Berechnungen wird die Nutzung der Gleichung auf der Basis des ELOS - Wertes, des Gehaltes an NDF_{org} und Rohfett empfohlen. Diese Gleichung hat bei einem hohen Bestimmtheitsmaß von 0,83 einen geringen Schätzfehler (s%) von 3,8. Alle Parameter werden dabei in g/kg TM berücksichtigt. Auf die Parameter Rohasche und Rohprotein konnte bei der Schätzung des Energiegehaltes von Maisernteprodukten verzichtet werden, da ihre Einbeziehung keine weitere Verbesserung der Schätzgenauigkeit brachte.

Die Überprüfung der Gleichung erfolgte mittels des unabhängigen Probensatzes aus der beschriebenen Validierungsdatei (Tab. 4). Sowohl das ermittelte Bestimmtheitsmaß von 0,75 als auch der Schätzfehler von 3,9 % bestätigen die Genauigkeit der Energiewertschätzung von Maisernteprodukten unter Nutzung der genannten Futterwertparameter.

Tabelle 3: **Wertebereich der Futterwertparameter für die Ermittlung der Schätzgleichung für die Berechnung der Energiekonzentration von Maisernteprodukten**

| Parameter | ME _{iv} MJ/kg TM _{korrr} | ELOS | NDF _{org} | XL | XA | XP |
|-------------|---|--------------------------|--------------------|----|----|-----|
| | | g/kg TM _{korrr} | | | | |
| Anzahl | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 |
| Mittelwert | 10,95 | 700 | 426 | 28 | 38 | 78 |
| Streuung, s | 0,85 | 71 | 75 | 6 | 9 | 8 |
| MIN | 7,88 | 399 | 116 | 12 | 16 | 61 |
| MAX | 13,74 | 951 | 655 | 40 | 75 | 101 |

Tabelle 4: **Validierungsergebnisse von Schätzformeln für die Energiekonzentration von Maisernteprodukten**

| Parameter | Maßeinheit | ME _{in vivo} | ME _{ELOS + NDF + XL} |
|------------------|------------|-----------------------|-------------------------------|
| n | | 46 | 46 |
| EKn | MJ /kg TM | 10,95 | 10,98 |
| Bestimmtheitsmaß | | | 0,75 |
| Schätzfehler | % | | 3,9 |
| MIN | MJ /kg TM | 7,88 | 8,04 |
| MAX | MJ /kg TM | 13,74 | 13,74 |

Die Ergebnisse der Berechnungen wurden auf der Sitzung des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie am 08.02.2007 vorgestellt und diskutiert. Dabei wurde vorgeschlagen, die z. Z. eingesetzte Gleichung zur Schätzung des Energiegehaltes von Maisernteprodukten auf der Basis der enzymunlöslichen organischen Substanz, des Rohasche- sowie des Rohproteingehaltes durch die Gleichung unter Nutzung der Parameter enzymlösliche organische Substanz, NDF_{org}, und Rohfett zu ersetzen.

Darstellung der gewählten Schätzgleichungen

Angaben: ELOS, NDF_{org} und XL in g/kg TM

$$\begin{aligned}
 \text{ME (MJ/kg TM)} &= 7,15 \\
 &+ 0,00580 \quad \times \quad \text{ELOS} \\
 &- 0,00283 \quad \times \quad \text{NDF}_{\text{org}} \\
 &+ 0,03522 \quad \times \quad \text{XL}
 \end{aligned}$$

B = 0,83; Schätzfehler: 3,8 %