

Möglichkeiten zur Schätzung des Energiegehaltes in Rationen zur Sportpferdefütterung

Annette Zeyner (+), M. Hoffmann (+) und R. Fuchs (*)

Institut für Fütterung und Ernährungsschäden
der Veterinärmedizinischen Fakultät (+)
und Lehr- und Versuchsstation Abtnaundorf (*);
Universität Leipzig

Schlüsselwörter: Pferd, verdauliche Energie, Futterbewertung

Einleitung

Die Schätzung des Gehaltes an verdaulicher Energie in Rationen für Pferde wird herkömmlicherweise über Fraktionen der Weender Analyse (*DLG-Futterwerttabellen*, 1974) sowie z. T. unter Einbeziehung des Gehaltes an Stärke, Zucker und organischem Rest (*Meyer*, 1986) bzw. an ADF (*NRC*, 1989) im Futter vorgenommen. Basierend auf folgenden Gleichungen zur Berechnung des Gehaltes an verdaulicher Energie im Pferdefutter reduziert sich die Energiewertschätzung auf das Kernproblem einer Erstellung wissenschaftlich begründbarer und hochgradig reproduzierbarer Regressionen zur Ermittlung der scheinbaren Verdaulichkeit der Energie (I) bzw. der Rohnährstoffe (II):

$$I \text{ DE (MJ)} = \text{GE (MJ)} * 0,01 \text{ Vdk. E (Prozent)}$$

$$II \text{ DE (MJ)} = 0,0230 \text{ g vRp} + 0,0381 \text{ g vRf} + 0,0172 \text{ g vRfaa} + 0,0172 \text{ g vNfE (DLG-Futterwerttabellen, 1984)}$$
 Beim Pferd steht die entsprechende regressive Verwendung von Fraktionen der Weender Analyse zunehmend unter Kritik (*Hoffmann et al.*, 1984, 1986; *Fuchs et al.*, 1989). In Anlehnung an Entwicklungen in der Wiederkäuerernährung sind Fraktionen der Detergentfaseranalyse nach *Van Soest* auf ihre Eignung als Grundlage von Regressionen sowie duale Modelle der Verdaulichkeitsschätzung (*Van Soest*, 1965, 1967; *Goering und Van Soest*, 1970) auf ihre Anwendbarkeit bei der Schätzung des Gehaltes an verdaulicher Energie in Rationen für Pferde zu prüfen. Dabei ermöglicht der Lucas-Test (*Lucas et al.*, 1961) eine Unterteilung des Futters in Fraktionen, welche hinsichtlich ihrer Verdaulichkeit unterschiedlich beeinflusst werden.

Der Lucas-Test stellt mathematisch eine einfaktoriell lineare Regression zwischen dem Gehalt der geprüften Fraktion (x) sowie deren verdaulichen Anteilen (y) im Futter dar. Sehr hoch gesicherte Gleichungen dieser Art bedeuten ein positives Testergebnis. Dabei steht die Repräsentativität der Besetzung des Definitionsbereiches in direkter Beziehung zur Wiederholbarkeit des Ergebnisses. Die Verdaulichkeit von Fraktionen mit positivem Testergebnis wird

Zusammenfassung

Im Ergebnis von 10 Verdauungsversuchen an adulten Sportpferden wurden auf der Basis der Verdaulichkeitsschätzung Gleichungen zur Berechnung des Gehaltes an verdaulicher Energie in Rationen ermittelt. Während eine regressive Verwendung des Rohfasergehaltes als zu ungenau abgelehnt wird, scheint die Energiewertschätzung über den ADL-Gehalt bei einem mittleren Fehler von $0,36 \pm 0,191$ MJ DE/kg TS möglich zu sein. Die Berücksichtigung der wesentlichsten Einflussfaktoren auf die Verdaulichkeit resultiert in einem dualen Modell zur Schätzung des Gehaltes an verdaulicher Energie mit einem mittleren Fehler von $0,21 \pm 0,155$ MJ DE/kg TS:

$$\text{DE (MJ/kg TS)} = 0,01 \text{ Bruttoenergie (MJ/kg TS)} (123,42 + 0,549 \text{ Zellinhalt (Prozent der TS)} - 76,52 \text{ lgF})$$

$$\text{lgF} \dots \text{dekadischer Logarithmus des prozentualen Gehaltes an Säure-Detergens-Faser im Säure-Detergens-Lignin. Zum Zwecke der energetischen Futterbewertung auf dieser Energiestufe wird eine Detergentienfaserfraktionierung des Futters als notwendige Voraussetzung angesehen.}$$

Possibilities of computation of the content of digestible energy in diets for riding-horses

Adult riding-horses were fed 10 different diets to predict energy digestibility. Digestion trials result in equations to compute the energy content in diets (DE). If there is no fixed relationship between energy digestibility and the content of crude fibre, this fraction is not useable to compute energy content in horse diets. It seems to be possible to predict energy density on account of ADL-content in diet. This equation had a main error of 0.36 ± 0.191 MJ DE/kg DM. In respect of chemical factors influencing digestibility most, computation of energy content results in a dual model. This kind of equation had a main error of 0.21 ± 0.155 MJ DE/kg DM:

$$\text{DE (MJ/kg DM)} = 0.01 \text{ gross energy (MJ/kg DM)} (123.42 + 0.549 \text{ cell contents (\% DM)} - 76.52 \text{ lgF})$$

$$\text{lgF} \dots \log_{10} (\text{acid detergent fibre [\% acid detergent Lignin]})$$
 The detergent fibre scheme of feed analysis seems to be necessary to compute the content of digestible energy in feed.

hauptsächlich vom eigenen Gehalt im Futter bestimmt, während diejenige von Fraktionen mit negativem Resultat primär von anderen Faktoren beeinflusst wird. Hier stehen qualitative Faktoren der Lignifizierung im Mittelpunkt des Interesses. Die Verdaulichkeit von Fraktionen, welche im Sinne des Lucas-Testes heterogen zusammengesetzt sind, d. h. aus Komponenten mit positivem und negativem Testergebnis bestehen, wird dual geschätzt. Dabei gehen die wesentlichsten Einflussfaktoren auf die Verdaulichkeit beider Komponenten als Regressoren in eine Schätzgleichung ein.

Damit trägt das duale Modell der Energiewertschätzung auf der Stufe der verdaulichen Energie folgenden Charakter: $\text{DE} = \text{GE} (ax_1 + bx_2)$, wohin die Verdaulichkeit des Zellinhalts bzw. der Zellwand eine Funktion von x_1 bzw. x_2 ist.

Material und Methode

In 10 Verdauungsversuchen an je 5 (8 Versuche) bzw. 4 (2 Versuche) adulten Warmblutpferden wurde die scheinbare Verdaulichkeit der Energie, der organischen Substanz und von Nährstoffen (Tab. 1) mit Hilfe der Indikatorermethode der 4N HCl-unlöslichen Asche nach der Vorschrift von *Fuchs et al.* (1987) bestimmt. Dabei kamen Hafer- und

Maiskörner (gequetscht und geschrotet), Knaulgrasheu (*Dactylis glomerata*) und Roggenstroh (lang) sowie Sonnenblumenöl zum Einsatz (Tab. 1).

Tab. 1: Futterart und Futtermenge

Versuch	Futtermittel (g/kg LM ^{0,75} /d)				
	Hafer	Mais	Heu	Stroh	Öl
1	29,2	-	38,0	-	-
2	21,3	7,1	37,0	-	-
3	6,8	20,4	35,4	-	-
4	-	26,1	34,0	-	-
5	-	-	75,9	-	-
6	-	32,8	-	37,5	-
7	-	36,5	-	28,6	-
8	-	40,0	-	19,6	-
9	10,3	30,8	35,8	-	-
10	8,3	25,1	30,5	-	3,0

Tabelle 2 enthält die chemische Zusammensetzung der Versuchsrationen. Die Verdauungsversuche beinhalten eine 4- bis 16tägige Gewöhnungs-, eine 5- bis 12tägige Vor- sowie je eine 5tägige Hauptperiode. Die Pferde wurden im gesamten Versuchszeitraum täglich 45 Minuten longiert (Versuche 1 – 8) bzw. 120 Minuten geritten (Versuch 9 und 10).

Ergebnisse und Diskussion

Die mittlere Verdaulichkeit aller geprüften Fraktionen (Tab. 3) wurde signifikant durch die Rationsgestaltung beeinflusst. Das Ergebnis des Lucas-Testes war für Rohprotein, Rohfett, N-freie Extraktstoffe, lösliche Kohlenhydrate und den Zellinhalt positiv, sowie für Energie, organische Substanz, Rohfaser, Rohkohlenhydrate und die Zellwand negativ (Tab. 4). Dieses Ergebnis entspricht im wesentlichen den Resultaten von *Fonnesbeck* (1968a, b, 1969) beim Einsatz von Rauhfuttermitteln am Pferd. Weiterhin werden Literaturbefunde am Wiederkäuer (*Van*

Tab. 2: Chemische Zusammensetzung der Versuchsrationen

Versuch	Ra	oS	Rp	Rfe	Rfa	Nfe (% der TS)	NDF	ADF	ADL	GE (MJ/kg TS)
1	6,3	93,7	12,3	3,3	23,9	54,2	49,9	28,9	3,7	18,5
2	6,2	93,8	12,0	3,3	22,8	55,7	47,7	27,3	3,4	18,3
3	6,1	93,9	11,4	3,2	20,6	58,8	43,2	24,1	2,7	18,2
4	6,0	94,0	11,1	3,2	19,4	60,3	41,0	22,5	2,3	18,2
5	8,8	91,2	12,1	2,7	32,0	44,4	61,2	36,4	3,8	18,2
6	3,4	96,6	6,3	2,7	27,8	59,9	53,3	34,0	5,6	18,5
7	3,2	96,8	6,9	2,9	23,4	63,6	46,7	28,8	4,7	18,4
8	3,0	97,0	7,6	3,2	18,4	67,9	38,8	22,8	3,7	18,4
9	5,5	94,6	11,2	3,4	17,9	62,1	39,1	21,3	2,4	18,2
10	5,3	94,7	10,7	8,2	17,3	58,6	37,6	20,5	2,3	19,2

Ra Rohasche Rp Rohprotein Rfa Rohfaser NDF Neutral-Detergens-Faser ADL Säure-Detergens-Lignin
oS organische Substanz Rfe Rohfett Nfe Stickstofffreie Extraktstoffe ADF Säure-Detergens-Faser GE Bruttoenergie

Tab. 3: Mittlere scheinbare Verdaulichkeiten in den Versuchsrationen

Versuch	Mittlere scheinbare Verdaulichkeiten (%)									
	oS	Rp	Rfe	Rfa	Nfe	RKH	LKH	CC	CWC	GE
1	63,7	78,6	64,8	40,8	70,5	61,5	86,8	83,3	47,5	62,2
2	68,1	76,8	57,9	48,7	74,7	67,8	92,1	85,6	51,2	66,5
3	74,1	76,0	62,5	51,1	82,2	74,5	93,7	88,3	58,6	72,4
4	78,4	75,6	62,2	60,2	85,8	79,2	94,4	88,0	64,8	76,1
5	63,0	66,4	28,8	57,3	68,3	63,7	78,3	69,1	60,1	60,4
6	54,7	53,7	32,2	29,1	71,5	57,8	76,9	81,9	40,2	54,7
7	62,1	48,5	25,4	36,7	74,6	64,6	93,1	83,1	39,8	58,5
8	63,3	57,0	28,2	36,8	78,0	65,0	95,0	86,4	28,2	61,6
9	72,6	68,8	40,9	48,6	81,9	74,4	93,4	85,2	53,2	70,1
10	75,3	75,1	74,9	49,8	82,9	75,5	93,4	87,4	57,6	73,8
± s ¹⁾	6,7	9,7	7,0	0,7	4,3	4,8	2,3	2,0	8,3	5,1

¹⁾ als Streuungsmaß wurde die Reststreuung aus der Varianzanalyse benutzt

RKH Rohkohlenhydrate = Nfe + Rfa CC Zellinhalt = oS - NDF
LKH leichtlösliche Kohlenhydrate = oS - NDF - Rp - Rfe CWC Zellwand = NDF

Soest, 1967) auch beim Pferd bestätigt. Bezüglich einer Beeinflussung der Verdaulichkeit strukturierter Rohkohlenhydrate stehen qualitative Faktoren der Lignifizierung, d. h. der Ligningehalt relativ zur Zellwand oder einer ihrer Bestandteile, im Mittelpunkt des Interesses.

Dementsprechend war die regressive Verdaulichkeitsschätzung für Zellinhalt, Rohprotein und mit Einschränkungen auch Rohfett am sichersten durch den eigenen Gehalt in der Ration vorzunehmen, während die Verdaulichkeit von Zellwand und Rohfaser am deutlichsten durch den dekadischen Logarithmus des prozentualen Gehaltes an ADL in der ADF (lgF) bzw. den ADL : Cellulose-Quotienten beeinflusst wurde. Da Energie, organische Substanz, N-freie Extraktstoffe und Rohkohlenhydrate im Sinne des Lucas-Testes heterogen zusammengesetzt sind (E bzw. $oS = CC + CWC$; NfE bzw. $RKH = LKH + CWC$), war für diese Fraktionen eine duale Verdaulichkeitsschätzung erfolgreich zu realisieren.

Es konnten insgesamt 175 signifikante lineare und nichtlineare Regressionsgleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der Energie, der organischen Substanz und der Rohnährstoffe über die chemische Zusammensetzung des Futters ermittelt werden (Zeyner, 1992). Tabelle 5 beinhaltet jeweils die Gleichung mit der höchsten statistischen Sicherheit und theoretischen Reproduzierbarkeit. Im Ergebnis des Lucas-Testes und der regressiven Verdaulich-

keitsschätzung wurden 8 Varianten zur Realisierung der Gleichungen I und II ermittelt. Dabei bietet die Berechnung des Gehaltes an verdaulicher Energie über die Verdaulichkeit der Energie gegenüber einer Schätzung über die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe wesentliche Vorteile hinsichtlich Schätzgenauigkeit, analytischem Aufwand und theoretischer Reproduzierbarkeit. Der Rohfasergehalt wird als Depressor in Gleichung I bei einem mittleren Schätzfehler von $0,80 \pm 0,492$ MJ DE/kg TS auf Grund erheblicher Unsicherheiten abgelehnt. Eine Verwendung des ADL-Gehaltes ist bei einem mittleren Fehler von $0,36 \pm 0,191$ Einheiten wahrscheinlich möglich:

DE (MJ/kg TS) = $0,01$ GE (MJ/kg TS) (87,42 - 6,28 ADL [Prozent der TS])

Eine vollständige Berücksichtigung des dualen Charakters der Verdaulichkeitsbeeinflussung in der Energiewertschätzung führt bei einem mittleren Fehler von $0,21 \pm 0,155$ Einheiten zum sichersten Ergebnis und läßt die höchste Reproduzierbarkeit erwarten:

DE (MJ/kg TS) = $0,01$ GE (MJ/kg TS) (123,42 + 0,549 CC [Prozent der TS] - 76,52 lgF).

Die Verwendung von regressiv ermittelten bzw. tabellierten Gehaltswerten an Bruttoenergie (Nehring et al., 1970) verursachte gegenüber bombenkalorimetrisch bestimmten Werten keine signifikante Veränderung des Schätzergebnisses.

Tab. 4: Ergebnisse des Lucas-Testes

(g verdaul. Nährstoff bzw. MJ DE)/kg TS = a + b ([g Nährstoff bzw. MJ GE]/kg TS)					
Fraktion	a	b	r	α	Testergebnis
Energie	- 30,60	+ 2,29	+ 0,636	< 0,05	negativ
organische Substanz	+ 1286,83	- 0,685	- 0,182	nicht sign.	negativ
Rohprotein	- 33,52	+ 1,03	+ 0,979	< 0,001	positiv
Rohfett	- 15,18	+ 0,945	+ 0,964	< 0,001	positiv
Rohfaser	+ 2,81	+ 0,445	+ 0,665	< 0,05	negativ
N-freie Extraktstoffe	- 143,00	+ 1,02	+ 0,908	< 0,001	positiv
Rohkohlenhydrate	+ 431,19	+ 1,153	+ 0,130	nicht sign.	negativ
leichtlösl. Kohlenhydrate	- 44,69	+ 1,03	+ 0,985	< 0,001	positiv
Zellinhalt	+ 99,74	+ 1,05	+ 0,994	< 0,001	positiv
Zellwand	+ 31,28	+ 0,570	+ 0,655	< 0,05	negativ

Tab. 5: Regressionsgleichungen zur Schätzung der scheinbaren Verdaulichkeit (Vdk.) der Energie (E), der organischen Substanz und der Rohnährstoffe

Fraktion	Regressionsgleichung	B ¹⁾	α
GE	Vdk. GE (%) = 123,42 + 0,549 CC (% der TS) - 76,52 lgF	0,954	< 0,001
oS	Vdk. oS (%) = 127,85 + 0,557 CC (% der TS) - 76,16 lgF	0,956	< 0,001
Rp	Vdk. Rp (%) = 24,50 + 4,26 Rp (% der TS)	0,815	< 0,001
Rfe ²⁾	Vdk. Rfe (%) = -87,18 + 42,76 Rfe (% der TS)	0,453	< 0,05
Rfa	Vdk. Rfa (%) = 175,45 - 117,20 lgF	0,904	< 0,001
NfE	Vdk. NfE (%) = 118,75 + 0,680 LKH (% der TS) - 59,31 lgF	0,945	< 0,001
RKH	Vdk. RKH (%) = 142,82 + 0,608 LKH (% der TS) - 86,83 lgF	0,943	< 0,001

¹⁾ bei multiplen Regressionen wurde eine Schrumpfungskorrektur des Bestimmtheitsmaßes nach Förster und Rönnz (1979) vorgenommen

²⁾ nicht gültig für aufgefettete Rationen

lgF ... dekadischer Logarithmus des prozentualen Gehaltes an ADL in der ADF

Zum Zwecke der Energiewertschätzung auf der Stufe der verdaulichen Energie wird eine Detergentienfaserfraktionierung des Futters als unerlässlich betrachtet. Additivitätsprobleme waren lediglich bei der Verdaulichkeitsschätzung für Rohfett festzustellen. Diese Abweichungen von der Linearität könnten im Hinblick auf die energetische Bewertung von Rationen mit hohem Fettgehalt relevant werden.

Literaturverzeichnis

- DLG-Futterwerttabellen für Pferde* (1974): Frankfurt (Main): DLG-Verlag
- DLG-Futterwerttabellen für Pferde* (1984): 2., erw. u. neubearb. Aufl. Frankfurt (Main): DLG-Verlag.
- Fonnesbeck, P. V.* (1968a): Digestion of soluble and fibrous carbohydrate of forage by horses. *J. Anim. Sci.* 27, 1336 - 1344.
- Fonnesbeck, P. V.* (1968b): True digestibility of forage nutrients. In: *Equine Nutr. Res. Abstracts*. Kentucky: Univ., College of Agriculture Lexington. 25.-27. July 1968. 9 - 10.
- Fonnesbeck, P. V.* (1969): Partitioning the nutrients of forage for horses. *J. Anim. Sci.* 28, 624 - 633.
- Förster, E., und Rönz, B.* (1979): Methoden der Korrelations- und Regressionsanalyse. Berlin: Verlag die Wirtschaft.
- Fuchs, R., Kaske, H., Kretschmer, E., Zeyner, A., und Hoffmann, M.* (1989): Untersuchungen zum Einfluß von Grünfutter und Maissilage als Rationskomponenten auf die Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe beim Reitpferd. Leipzig: Univ., Sekt. Tierprod. und Vet. Med., Wissenschaftsbereich Tierfütterung und Ernährungsschäden. Forschungsbericht.
- Fuchs, R., Militz, H., und Hoffmann, M.* (1987): Untersuchungen zur Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe bei Pferden. 1. Mitt.: Methoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit. *Arch. Tierernährg.* 37, 235 - 246.
- Goering, K. H., und Van Soest, P. J.* (1970): Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agriculture Handbook No. 379*. Agricultural Research Service U. S. D. A.
- Hoffmann, M., Fuchs, R., Kretschmer, E., Kaske, H., und Schilling, H.* (1984): Untersuchung des Einflusses der Belastungsintensität und der Rationsgestaltung auf die Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe beim Reitpferd. Leipzig: Univ., Sekt. Tierprod. und Vet. Med., Wissenschaftsbereich Tierfütterung und Ernährungsschäden. Forschungsbericht.
- Hoffmann, M., Fuchs, R., Pieper, F., und Kaske, H.* (1986): Einfluß der Rasse auf die Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe beim Pferd. Leipzig: Univ., Sekt. Tierprod. und Vet. Med., Wissenschaftsbereich Tierfütterung und Ernährungsschäden. Forschungsbericht.
- Lucas, H. L., Smart, W. W. G., Cipolloni, M. A., und Gross, H. D.* (1961): Relations between digestibility and composition of feeds and foods. S-45 Report, North Carolina State College.
- Meyer, H.* (1986): Energiebewertung von Mischfuttermitteln. Vortrag Mitgliederversammlung FN-Arbeitskreis „Pferdefutter und Fütterungstechnik“. Maria Veen: 20. Nov. 1986.
- Nehring, K., Beyer, M., und Hoffmann, B.* (1970): Futtermitteltabellenwerk. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- NRC (National Research Council)* (1989): Nutrient requirements of horses. 5., überarb. Aufl. Washington: National Academy Press.
- Van Soest, P. J.* (1965): Comparison of two different equations for prediction of digestibility from cell contents, cell-wall constituents and lignin content of acid detergent fiber. *J. Dairy Sci.* 48, 815.
- Van Soest, P. J.* (1967): Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. *J. Anim. Sci.* 26, 119 - 128.
- Zeyner, A.* (1992): Untersuchungen zur Schätzung des Gehaltes an verdaulicher Energie in Rationen für Sportpferde. Leipzig: Univ., Vet. Med. Fak., Diss.

Dr. A. Zeyner
Universität Leipzig,
Veterinärmedizinische Fakultät,
Zwickauer Straße 55,
O-7010 Leipzig