

Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Rapsextraktionsschroten bei der Legehennen

Mohammad R. Rezvani, Holger Kluth, Michael Bulang und Markus Rodehutschord

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Universität Halle-Wittenberg, Emil-Abderhalden-Straße 26, 01608 Halle (Saale), und ¹Institut für Tierernährung, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 8-10, 70599 Stuttgart

Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung war es, die Verdaulichkeit der Aminosäuren von 9 Rapsextraktionsschroten zu prüfen. Die Schrote stammten aus der laufenden Produktion deutscher Ölmühlen. Die Gehalte an Rohprotein und Rohfaser in den Schroten lagen in Bereichen von 367 bis 410 und 137 bis 175 g/kg T. Die Aminosäurenkonzentrationen im Rohprotein waren zwischen den Schroten nur geringfügig unterschiedlich. Der Gesamtgehalt an Glucosinolaten betrug im Durchschnitt 9,0 µmol/g T und schwankte zwischen 5,1 und 12,9 µmol/g T.

Die Prüfung erfolgte durch die Zulage des jeweiligen Rapsextraktionsschrotes zu einer Grundmischung im Austausch gegen Maisstärke (200 g/kg Futtermischung). Jede Versuchsmischung wurde an je 6 caeectomierte Legehennen verfüttert. An eine fünftägige Adaptationsphase schloss sich eine fünftägige tierindividuelle Exkrement-sammlung an. Die Verdaulichkeit der Aminosäuren wurde mittels linearer Regression zwischen aufgenommener und verdauter Aminosäuremenge ermittelt.

Der Mittelwert der Verdaulichkeit aller Aminosäuren variierte zwischen den Schroten von 77 bis 83 %. Arginin und Methionin wiesen die höchste und Cystin sowie Lysin durchgehend die niedrigste Verdaulichkeit auf. Bei allen Aminosäuren traten signifikante Unterschiede in der Verdaulichkeit zwischen den Schroten auf. Am größten waren die Unterschiede in der Verdaulichkeit des Lysins (bis zu 10 Prozentpunkten) und des Threonins (bis zu 11 Prozentpunkten). Weitere Berechnungen ergaben, dass sich der Gehalt an verdaulichen Aminosäuren im Rapsextraktionsschrot bei Kenntnis der Nährstoff- und Glucosinolatgehalte schätzen lässt.

Summary

It was the objective to study the digestibility of amino acids in 9 rapeseed meals originating from rapeseed processing plants in Germany. The concentration in the meals of crude protein and crude fibre varied from 367 to 410 and 137 to 175 g/kg dry matter, respectively. The concentration of individual amino acids in crude protein was only slightly different between the meals. The concentration of glucosinolates was, on average, 9.0 $\mu\text{mol/g}$ dry matter and varied between 5.1 and 12.9 $\mu\text{mol/g}$ dry matter. Experimental diets contained each meal at a level of inclusion of 200 g/kg. The meals were included at the expense of maize starch. Each diet was fed to 6 caecectomised laying hens that were housed in balance cages. Excreta were quantitatively collected during five days, following five days of adjustment to the diets. The digestibility of amino acids in the meals was calculated by multiple linear regression analysis. The average amino acid digestibility varied from 77 to 83% between the meals. Arginine and methionine were the amino acids with the highest digestibility in all meals and cystine and lysine those with the lowest digestibility. The greatest differences between meals were found for lysine (up to 10 percentage points) and threonine (up to 11 percentage points). Multiple linear regression analysis showed that the concentration of digestible amino acids in rapeseed meal can be predicted on the basis of the concentrations of crude nutrients and glucosinolates.

1. Einleitung und Zielsetzung

Extraktionsschrote als proteinreiche Koppelprodukte der Ölgewinnung sind fester Bestandteil der Fütterung landwirtschaftliche Nutztiere. Sie tragen wesentlich zur Versorgung mit essentiellen Aminosäuren bei. Rapsextraktionsschrot enthält im Vergleich zum Sojaextraktionsschrot zwar weniger Rohprotein, der Anteil von Methionin im Rohprotein ist aber höher. Unter diesem Aspekt bietet sich Rapsextraktionsschrot als Proteinquelle insbesondere für die Herstellung von Mischfuttermitteln für Geflügel an. Die relativ hohen Gehalte an Rohfaser begrenzen aber den Einsatz unter energetischen Aspekten, zumindest beim Mastgeflügel. Antinutritive Inhaltsstoffe wie Glucosinolate können sich zudem nachteilig auswirken. In der Legehennenfütterung ist vor allem das Sinapin problematisch, weil es zur Einlagerung von Trimethylamin in das Ei beitragen kann, wenn eine genetische Prädisposition der Hennen hierfür vorliegt.

Nachdem der genetische Defekt molekularbiologisch charakterisiert und lokalisiert wurde (HONKATUKIA et al., 2005), sind Legehybriden auf dem Markt, bei denen es nicht mehr zu dem genetisch bedingten Auftreten von „Stinkeiern“ kommen kann. Vor diesem Hintergrund steigen die Attraktivität des Einsatzes von Rapsextraktionsschrot in der Legehennenfütterung (POTTGÜTER, 2006) und damit der Bedarf der Mischfutterhersteller an Informationen über den Futterwert und seine Variabilität. Erste Untersuchungen mit Broilern (RODEHUTSCORD et al., 2004) und Legehennen (REZVANI et al., 2008b) zur Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Rapsextraktionsschrot gibt es. Systematische Untersuchungen mit Legehennen zur Variabilität der am Markt vorhandenen Schrote fehlen aber.

Das Hauptziel dieser Untersuchungen war es daher, aus verschiedenen Ölmühlen stammende Rapsextraktionsschrote auf ihren Gehalt an verdaulichen Aminosäuren mit Legehennen zu untersuchen und damit die Variation der am Markt verfügbaren Schrote zu beschreiben. Die Gehalte an Umsetzbarer Energie (ME) sollten ebenfalls ermittelt werden.

2. Material und Methoden

2.1 Rapsextraktionsschrote

Die geprüften Chargen stammten aus der laufenden Produktion von 9 deutschen Ölmühlen und wurden im Zeitraum zwischen Dezember 2007 bis Februar 2008 von den Ölmühlen bereitgestellt. Die Gehalte an Rohnährstoffen lagen in einem für dieses Futtermittel typischen Bereich (Tab. 1). Im Mittel aller Chargen wurde für das Rohprotein ein Wert von 387 g/kg Trockenmasse (T) ermittelt. Für das Rohfett und die Rohfaser ergaben sich durchschnittliche Gehalte von 37 bzw. 156 g/kg T. Der Variationsbereich war sehr ähnlich wie der des UFOP-Monitorings. Dies gilt auch für die Gehalte an Glucosinolaten. Es wurde ein Bereich für die Gesamtglucosinolate von 5,1 bis 12,9 $\mu\text{mol/g T}$ ermittelt. Dies steht in guter Übereinstimmung mit Ergebnissen aus früheren Untersuchungen. SCHUMANN (2004) und WEIß (2006) gaben Gehalte von 7 bis 10 und 5 bis 12 $\mu\text{mol/g T}$ an. Die verwendeten Schrote können daher als repräsentativ für den derzeitigen Markt in Deutschland betrachtet werden.

Tab. 1: Gehalte an Rohnährstoffen und Detergenzienfasern (g/kg T) sowie Glucosinolaten (GSL, $\mu\text{mol/g T}$)

	Rapsextraktionsschrot									Mw	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
T-Gehalt, g/kg	882	879	878	891	895	896	894	877	895	887	8,2
Rohasche	76	87	80	79	85	78	80	78	85	81	3,8
Rohprotein	374	378	367	410	384	405	390	381	398	387	14,5
Rohfett	37	54	35	30	38	28	30	51	32	37	9,3
Rohfaser	165	152	167	161	175	140	158	151	137	156	12,5
NDForg	312	266	252	214	236	248	315	281	263	265	33,3
ADForg	224	201	228	222	244	219	242	239	223	227	13,5
Alkenyl-GSL ¹	4,8	6,0	11,7	11,6	6,8	9,6	4,6	10,8	7,0	8,1	2,85
Indolyl-GSL ²	0,2	0,4	0,8	1,1	0,6	1,0	0,2	0,8	0,4	0,6	0,33
Sonstige GSL ³	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,7	0,1	0,2	0,19
GSL, gesamt ⁴	5,1	6,4	12,8	12,9	7,6	10,9	5,1	12,4	7,6	9,0	3,28

¹ Alkenyl-GSL: Progoitrin, Gluconapoleiferin, Gluconapin, Glucobrassicinapin

² Indolyl-GSL: 4- Hydroxyglucobrassicin, Glucobrassicin, 4-Methoxyglucobrassicin, Neoglucobrassicin

³ Sonstige GSL: Glucoiberin, EPI-Progoitrin, Glucoraphanin, Glucoalyssin, Glucosinalbin, Gluconasturtiin

⁴ GSL, gesamt: Summe aus Alkenyl-GSL, Indolyl-GSL und sonstigen GSL

Die Gehalte der Aminosäuren im Rohprotein waren zwischen den Chargen nur geringfügig verschieden (Tab. 2). Größere Differenzen traten lediglich beim Arginin zwischen Charge 1 und 2 auf.

Tab. 2: Gehalte an essentiellen Aminosäuren (g/16 g N)

	Rapsextraktionsschrot									Mw	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Arginin	5,7	6,3	5,9	6,2	6,1	6,3	5,9	5,9	6,0	6,0	0,21
Cystin	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4	2,4	0,06
Isoleucin	3,7	4,0	3,7	3,7	3,9	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	0,12
Leucin	6,9	7,2	6,9	7,0	7,2	7,1	7,0	6,8	7,0	7,0	0,13
Lysin	5,5	5,8	5,7	5,5	5,5	5,6	5,2	5,6	5,4	5,5	0,16
Methionin	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,9	0,05
Phenylalanin	3,8	4,1	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	3,8	3,9	3,9	0,09
Threonin	4,6	4,7	4,6	4,5	4,6	4,7	4,6	4,5	4,5	4,6	0,08
Tryptophan	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	0,02
Valin	4,4	4,8	4,4	4,3	4,6	4,5	4,4	4,4	4,4	4,5	0,14

2.2 Futtermischungen

Grundlage der Untersuchung bildete eine stärkereiche Grundmischung mit den Hauptkomponenten Mais und Weizenkleber (Tab. 3). Im Austausch gegen Stärke wurde jedes Rapsextraktionsschrot mit einem Mischungsanteil von 200 g/kg zugelegt, so dass insgesamt 10 Futtermischungen eingesetzt wurden. Bei Zulage der Schrote war der Gehalt an Rohprotein von 170 auf ca. 250 g/kg T erhöht. Der kalkulierte ME-Gehalt in der Grundmischung lag bei 14,1 MJ/kg T. Alle Mischungen wurden zunächst pelletiert und die Pellets anschließend gebrochen.

Tab. 3: Zusammensetzung der Futtermischungen (g/kg)

Komponente	Anteil Rapsextraktionsschrot	
	0	200
Mais	432	432
Weizenkleber	158	158
Mineralfutter ¹	96,5	96,5
Vitamin-Spurenelement-Vormischung	10	10
L-Lysin·HCl	3,3	3,3
DL-Methionin	0,2	0,2
Maisstärke	300	100
Rapsextraktionsschrot	0	200

¹ einschließlich Dicalciumphosphat, Futterkalk und Viehsalz

2.3 Versuchstiere und deren Haltung

Für den Versuch standen 16 Legehennen der Herkunft Lohmann braun im Alter von 65 Wochen zur Verfügung. Es handelte sich um caeectomierte Tiere, denen im Alter zwischen 18 und 22 Wochen die Blinddärme operativ entfernt worden waren (REZVANI et al., 2007).

Die Hennen wurden einzeln in Stoffwechsellkäfigen gehalten, so dass eine tierindividuelle und quantitative Sammlung der Exkremate möglich war. Die tägliche Futtermenge betrug 120 g und war auf zwei Mahlzeiten verteilt. Die Festlegung dieser Futtermenge beruhte auf Ergebnissen aus einer Vorfütterungsperiode. Wasser stand über Nippeltränken zur freien Verfügung.

In vorangegangenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die mit caeectomierten Hennen ermittelten Verdaulichkeiten der Aminosäuren von Einzelkomponenten vergleichbar hoch sind wie die praecaecalen Verdaulichkeiten (REZVANI et al., 2008a). Die Vorteile bei der Verwendung caeectomierter Tiere sind darin zu sehen, dass man mit erheblich weniger Versuchstieren auskommt und wiederholte Messungen mit denselben Tieren durchführen kann. Außerdem hat sich gezeigt, dass bei quantitativer Exkrematsammlung die Variation in der

Aminosäurenverdaulichkeit zwischen den Messwiederholungen erheblich geringer ist als bei praecaecalen Messungen.

2.4 Versuchsbeschreibung und Probennahme

Insgesamt wurden 4 Versuchsperioden durchgeführt. Jede Periode umfasste 5 Tage Adaptation an die jeweilige Versuchsmischung sowie eine anschließende Exkrement-sammlung von ebenfalls 5 Tagen. Zwischen jeder Periode erhielten die Hennen ein übliches Legehennenalleinfutter für 4 Tage verabreicht. In jeder Periode wurden entweder 1 oder 2 Hennen jeder Futtermischung zugeordnet, so dass am Ende für jede Futtermischung 6 Messwiederholungen vorlagen. Jede Henne erhielt dabei jede Futtermischung nur einmal.

Zu Beginn und zum Ende einer jeden Periode erfolgte eine Tierwägung. Die Eiablage wurde täglich erfasst.

Die Sammlung der Exkremente erfolgte tierindividuell zweimal täglich um 8 und 17 Uhr. Bis zur Aufbereitung wurden die Exkremente tiefgefroren gelagert. Für die Analysen wurden die Exkremente aufgetaut und homogenisiert, anschließend gefriergetrocknet und über ein 0,5 mm-Sieb vermahlen.

2.5 Laboranalysen

In den Versuchsmischungen und den Rapsextraktionsschroten wurden Rohasche (Verfahrensnummer 8.1), Rohfett (5.1.1, Verfahren A), Rohfaser (6.1.1) und Rohprotein (4.1.1) nach der Weender Analyse entsprechend den Richtlinien des VDLUFA bestimmt (NAUMANN und BASSLER, 1976). Die Bestimmung der Gehalte an den Faserfraktionen NDForg und ADForg erfolgte nach den Methoden 6.5.1 und 6.5.2 (NAUMANN und BASSLER, 1988). Die Bestimmung des Brennwertes erfolgte mittels Bombenkalorimetrie.

Die Analytik der Aminosäuren in den Futtermitteln und Exkrementen wurde nach etablierten Methoden durchgeführt. Nach vorangegangener Oxidation des Probenmaterials erfolgte eine saure Hydrolyse und eine Trennung mittels Aminosäureanalytator (RODEHUTSCORD et al., 2004). Tryptophan wurde nach basischer Hydrolyse mittels HPLC gemessen (FATUFE et al., 2005).

Die Glucosinolate aus den Rapsextraktionsschroten wurden nach Methanolextraktion und Desulfatisierung mittels HPLC-Methode nach EN ISO 9167-1 analysiert (ANONYM, 1995). Die Messungen wurden im Institut für Acker- und Pflanzenbau der Landesanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in Gülzow vorgenommen.

2.6 Berechnungen und statistische Auswertung

Die Verdaulichkeit (VQ) der Aminosäuren (AS) wurde tierindividuell wie folgt berechnet:

$$VQ (\%) = \frac{[(AS\text{-Aufnahme, mg/d} - AS\text{-Ausscheidung, mg/d}) / AS\text{-Aufnahme, mg/d}] \times 100$$

Die Beziehung zwischen aufgenommener und verdauter Aminosäurenmenge wurde mittels multipler linearer Regression beschrieben. Da die Stärke gegen das Rapsextraktionsschrot ausgetauscht wurde, kann die zugelegte Aminosäurenmenge nur aus den Schroten stammen. Die Steigung der Regressionsgeraden kann somit als Verdaulichkeit der jeweiligen Aminosäure aus dem zugelegten Rapsextraktionsschrot (RES) interpretiert werden (RODEHUTSCORD et al., 2004).

Für die Regressionsanalyse wurde das folgende Modell in Anlehnung an KLUTH et al. (2005) verwendet:

$$y_{ijk} = a + b_{GMi} \times x_{GMi} + c_{RESj} \times x_{RESj} + e_{ijk}, \text{ mit}$$

y_{ijk} :	verdaute AS-Menge in den Mischungen, mg/d
a :	Intercept
b_{GMi} :	Verdaulichkeit der AS aus der Grundmischung (GM), rel.
x_{GMi} :	Aufnahme der jeweiligen AS aus der GM, mg/d
c_{RESj} :	Verdaulichkeit der AS aus den RES 1 bis 9, rel.
x_{RESj} :	Aufnahme der jeweiligen AS aus den RES 1 bis 9, mg/d
e_{ijk} :	Restfehler.

Die simultane Schätzung der Koeffizienten (Steigungen) anhand des gewählten Modells schloss die direkte Prüfung auf signifikante Differenzen zwischen den Steigungskoeffizienten der einzelnen Schrote ein.

Die Auswertung zum ME-Gehalt konnte nicht auf diese Weise vorgenommen werden, weil der Versuchsansatz im Gegensatz zu den Aminosäuren keine reine Zulage von Energie aus dem jeweiligen Schrot ermöglichte. Der ME-Gehalte der Schrote wurde daher per Differenz aus den gemessenen ME-Gehalten der Mischungen berechnet, wobei für die Stärke ein Gehalt an ME von 16,8 kJ/g unterstellt wurde.

Zudem sollte geprüft werden, ob sich die Verdaulichkeit der AS und der Gehalt an verdaulichen AS anhand von analysierten Kenngrößen schätzen lassen. Dazu wurden neben einfachen Korrelationsanalysen multiple Regressionsanalysen durchgeführt. Als Maß für die Güte der Schätzungen wurde das korrigierte Akaike-Information-Criterion (AIC_{cor}) nach HURVICH und TSAI (1989) herangezogen. Das Model mit

dem kleinsten AIC_cor wurde ausgewählt. Mit dieser Methode der Modellwahl soll einerseits vermieden werden, Merkmale mit unbedeutendem Einfluss auf die Zielgröße einzubeziehen. Andererseits soll damit aber auch die Wahrscheinlichkeit reduziert werden, dass für die Beschreibung der Zielgröße bedeutsame Merkmale übersehen werden (SPILKE und MIELENZ, 2006).

Alle statistischen Analysen erfolgten mit dem Programm SAS (V 9.1, SAS Institute Inc.).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Leistungsparameter

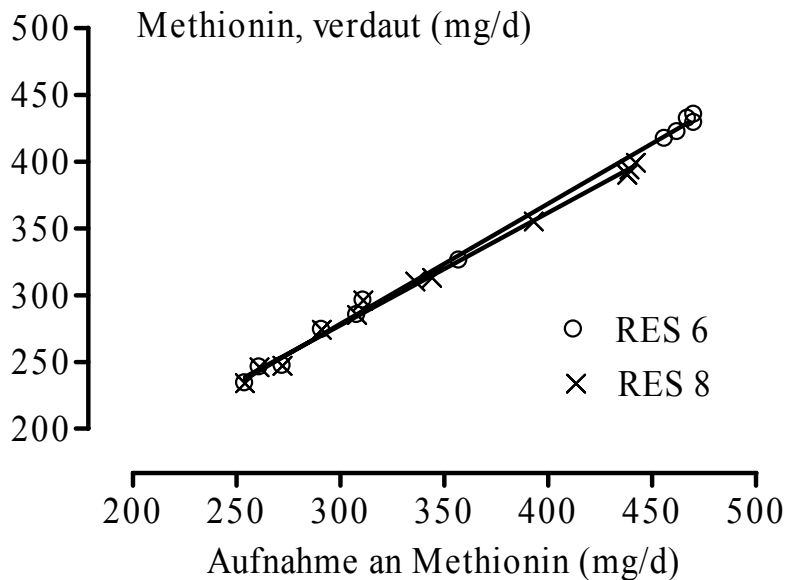
Der tägliche Futtermittelverzehr schwankte von 94 (RES 5) bis 106 g T/d (RES 4 und 6; Tab. 4). Es waren jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen feststellbar. Auch wenn eine Bewertung dieser Größe nicht im Mittelpunkt der Untersuchung stand, kann, unter dem Vorbehalt des kurzen Versuchszeitraums, geschlossen werden, dass ein Anteil von 20% Rapsextraktionsschrot im Futter für Legehennen keine verzehrmindernde Wirkung hatte. Für die mittlere Lebendmasse und Legeleistung wurden Werte von 1,94 kg und 79% ermittelt. Es bestanden auch bei diesen Kriterien keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 4: Futteraufnahme, Legeleistung und Lebendmasse im Versuchszeitraum

GM	Rapsextraktionsschrot									Pooled SEM	ANOVA p-Wert	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Futteraufnahme (g T/d)	100	96	103	103	106	94	106	96	98	97	4,0	0,400
Lebendmasse (kg)	1,90	1,89	1,92	2,02	2,03	1,95	1,84	1,98	1,89	2,00	0,080	0,871
Legeleistung (%)	89	68	91	81	91	65	81	60	88	77	6,0	0,165

3.2 Verdaulichkeit der Aminosäuren aus den Rapsextraktionsschroten

In der Abbildung 1 ist zunächst die lineare Beziehung zwischen verdauter und aufgenommener Aminosäurenmenge am Beispiel des Methionins dargestellt. Generell konnte die erkennbare Linearität für alle übrigen Aminosäuren bestätigt werden. Alle mit der Ableitung der Regressionen ermittelten Parameter sind in der Tabelle A1 des Anhangs zusammengestellt.



$$\text{RES 6: } y = -0,32 (\pm 4,85) + 0,93 (\pm 0,02) x_{\text{GM}} + 0,89 (\pm 0,02) x$$

$$\text{RES 8: } y = -0,32 (\pm 4,85) + 0,93 (\pm 0,02) x_{\text{GM}} + 0,83 (\pm 0,02) x$$

Abb. 1: Beziehung zwischen Aufnahme und verdauter Menge an Methionin aus den Rapsextraktionsschroten (RES) 6 und 8

In Tabelle 5 sind die Verdaulichkeiten der AS aus den Rapsextraktionsschroten zusammengefasst. Es ist erkennbar, dass die Verdaulichkeit der Aminosäuren innerhalb eines Schrotes in einem weiten Bereich schwankte. So wurde für das Schrot 8 ein Unterschied von 18 Prozentpunkten ermittelt (68% Threonin; 86% Arginin). Dieses Schrot war im Mittel aller aufgeführten Aminosäuren und im Vergleich mit den übrigen Schroten mit 77% am niedrigsten verdaulich. Am besten verdaut wurden die Aminosäuren aus dem Schrot Nr. 5 mit durchschnittlich 83%.

Tab. 5: Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Rapsextraktionsschrot (%)

	Rapsextraktionsschrot									p-Wert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Arginin	85 ^c	88 ^{ab}	86 ^{bc}	89 ^a	90 ^a	89 ^a	89 ^a	86 ^{bc}	88 ^{ab}	<0,001
Cystin	71 ^{bc}	73 ^{bc}	73 ^{bc}	74 ^b	79 ^a	74 ^b	74 ^{ab}	70 ^c	71 ^{bc}	<0,001
Isoleucin	81 ^{ab}	83 ^a	80 ^{ab}	82 ^a	83 ^a	82 ^a	84 ^a	78 ^b	81 ^{ab}	<0,001
Leucin	85 ^{ab}	86 ^{ab}	85 ^{bc}	86 ^{ab}	88 ^a	87 ^{ab}	88 ^a	82 ^c	84 ^{bc}	<0,001
Lysin	68 ^c	76 ^{ab}	75 ^{ab}	78 ^a	77 ^a	76 ^a	72 ^b	72 ^b	73 ^{ab}	<0,001
Methionin	85 ^{bc}	87 ^{abc}	86 ^{abc}	87 ^{abc}	88 ^{ab}	89 ^a	88 ^{ab}	83 ^c	86 ^{abc}	<0,001
Phenylalanin	83 ^{bc}	85 ^{abc}	86 ^{ab}	86 ^a	87 ^a	86 ^a	86 ^{ab}	82 ^c	84 ^{abc}	<0,001
Threonin	73 ^{cd}	76 ^{abc}	73 ^{bc}	76 ^{abc}	79 ^a	77 ^{abc}	77 ^{ab}	68 ^d	75 ^{abc}	<0,001
Tryptophan	79 ^{bc}	83 ^a	77 ^c	83 ^a	84 ^a	83 ^a	83 ^a	79 ^{bc}	81 ^{ab}	<0,001
Valin	77 ^{ab}	77 ^{ab}	73 ^b	75 ^{ab}	77 ^{ab}	75 ^{ab}	78 ^a	73 ^b	75 ^{ab}	<0,001

^{a,b,c,d} kennzeichnen signifikante Differenzen in der Verdaulichkeit zwischen den Schroten (Tukey Test, $p < 0,05$)

Arginin und Methionin waren generell die Aminosäuren mit der höchsten Verdaulichkeit. Im Mittel aller Chargen ergaben sich für diese Aminosäuren Werte von 88 und 87%. Die niedrigste Verdaulichkeit wurde für Cystin und Lysin mit 73 und 74% ermittelt.

Ähnliche Ergebnisse für Rapsextraktionsschrot liegen bereits aus früheren Untersuchungen aus unserem Institut vor, allerdings bei der Messung der pc Verdaulichkeit (Rezvani et al., 2008b). Arginin war mit 80 % am besten verdaulich, Cystin mit nur 66 % am niedrigsten.

Hervorgehoben werden sollen die deutlichen Unterschiede von maximal 10 und 11 Prozentpunkten in der Verdaulichkeit von Lysin und Threonin zwischen den einzelnen Chargen.

Partielle Korrelationen zwischen der Verdaulichkeit einzelner Aminosäuren und Inhaltsstoffen der Chargen bestanden nur in sehr wenigen Fällen und waren nicht gerichtet (Tab. A2).

Die multiple Regressionsrechnung ergab, dass sowohl die Verdaulichkeit der Aminosäuren als auch der Gehalt an verdaulichen Aminosäuren in den Schroten im Wesentlichen unter Verwendung der Gehalte an Rohprotein und Rohasche geschätzt werden konnten (Tabelle A3). Lediglich die Verdaulichkeit des Lysins sowie der Gehalt an verdaulichem Tryptophan waren durch den Glucosinolatgehalt beeinflusst. Mit zunehmender Konzentration an Glucosinolaten stieg auch die Verdaulichkeit des Lysins. Dies deutet darauf hin, dass die Verdaulichkeit des Lysins bei einer zu intensiven thermischen Behandlung des Extraktionsschrotes Schaden nehmen kann.

Die Schätzgleichungen wurden so kalkuliert, dass für jede einzelne Aminosäure eine möglichst hohe Genauigkeit der Schätzung erzielt werden konnte. Dieses Vorgehen bedingt, dass die berücksichtigten Schätzparameter bei den einzelnen Aminosäuren unterschiedlich sind. Im Falle der Schätzung des Gehaltes an verdaulichen Aminosäuren betrifft dies Arginin, Lysin und Tryptophan (Tab. A3). Für die routinemäßige Anwendung dieser Formeln kann dies von Nachteil sein, insbesondere wenn nicht alle Nährstoffgehalte bekannt sind. Aus diesem Grunde wurden für diese drei Aminosäuren ergänzend auch Gleichungen berechnet, die lediglich, wie bei allen anderen Aminosäuren, den Gehalt an Rohprotein als Variable berücksichtigen (Gleichungen „b“ in Tab. A3). In der Anwendung dieser Formeln muss man sich aber bewusst sein, dass die Genauigkeit der Schätzung im Vergleich zu den Ausgangsgleichungen geringer ist.

3.3 Gehalt an Umsetzbarer Energie

Der Gehalt an AME_N betrug im Mittel 7,9 MJ/kg T (Tab. 6) und lag auf einem niedrigeren Niveau als in früheren Untersuchungen. Die Vergleichbarkeit dieser Daten mit Daten aus der Literatur ist wegen Unterschieden in der methodischen Vorgehensweise aber eingeschränkt.

Tab. 6: Geschätzte Gehalte an AME_N (MJ/kg T)

	Rapsextraktionsschrot									Mittel	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
AME _N	7,5	8,2	7,4	7,0	8,8	7,4	8,5	8,2	7,8	7,9	0,59

4. Schlussfolgerungen

Die geprüften Rapsextraktionsschrote unterschieden sich in der Aminosäurenverdaulichkeit sowohl innerhalb als auch zwischen den Chargen. Bedeutsam für die praktische Anwendung sind vor allem die signifikanten Differenzen in der Verdaulichkeit zwischen den Chargen. Dies betraf in erster Linie Lysin (bis zu 10 Prozentpunkten) und Threonin (bis zu 11 Prozentpunkten). Im Fall des Lysins könnten Einflüsse des Produktionsprozesses (Dauer und Intensität der Erhitzung) als Ursache vermutet werden. Dem sollte in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden. Der Gehalt an Rohprotein ist ein geeigneter Indikator zur Schätzung des Gehaltes an verdaulichen Aminosäuren in Rapsextraktionsschrot.

5. Literaturverzeichnis

- ANONYM, 1995: EN ISO 9167-1: Rapeseed - Determination of glucosinolates content - Part 1: Method using high performance liquid chromatography. German version
- FATUFE, A. A., F. HIRCHE, M. RODEHUTSCORD, 2005: Estimation of individual factors of tryptophan requirement based on protein and tryptophan accretion responses to increasing tryptophan supply in broiler chicken. *Archives of Animal Nutrition* 59, 181-190.
- HONKATUKIA, M., K. REESE, R. PREISINGER, M. TUISKULA-HAAVISTO, S. WEIGEND, J. ROITO, A. MÄKI-TANILA, J. VILKKI, 2005: Fishy taint in chicken eggs is associated within a conserved motif of the FMO3 gene. *Genomics* 86, 225-232.
- HURVICH, C. M., C. TSAI, 1989: Regression and time series model selection in small samples, *Biometrika* 76, 297-307.
- KLUTH, H., M. MANTEI, C. ELWERT, M. RODEHUTSCORD, 2005: Variation in precaecal amino acid and energy digestibility between pea (*Pisum sativum*) cultivars determined using a linear regression approach. *British Poultry Science* 46, 325-332.
- NAUMANN, C., R. BASSLER 1976: VDLUFA-Methodenbuch, Vol. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln mit Ergänzungen von 1983, 1988, 1993, 1997, 2004 und 2006. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- POTTGÜTER, R., 2006: New prospects for using rape seed (canola) in layer rations. *Lohmann-Information* 41, 51-56 (www.lohmann-information.com/content/l_i_41_2006-12_artikel7.pdf; zugegriffen 22. Juli 2008)
- REZVANI, R. M., H. KLUTH, M. RODEHUTSCORD, 2008a: Comparison of amino acid digestibility determined prececally or based on total excretion of cecectomized laying hens. *Poultry Science* 87, 2311-2319.
- REZVANI, R.M., H. KLUTH, C. ELWERT, M. RODEHUTSCORD, 2008b: Effect of ileum segment and protein sources on net disappearance of crude protein and amino acids in laying hens. *British Poultry Science* 49, 28-36.
- REZVANI, M., H. KLUTH, G. WOITWOW, M. RODEHUTSCORD, 2007: Studies on the effect of age and caeectomy on amino acid excretion and digestibility in laying hens. *Archiv für Geflügelkunde* 71, 241-246.
- RODEHUTSCORD, M., M. KAPOCIUS, R. TIMMLER, A. DIECKMANN, 2004: Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science* 45, 85-92.
- SCHUMANN, W., 2004: Glucosinolatgehalte in Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen. 8. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Institut für Ernährungswissenschaften, Wittenberg, 23. bis 25. November 2004, 96-98.
- SPIPKE, J., N. MIELENZ, 2006: Vergleich von Kriterien und Verfahren zur Modellwahl bei der multiplen linearen Regression. In: Statistik und Datenanalyse mit SAS. Proceedings der 10. Konferenz der SAS

Anwender in Forschung und Entwicklung, Shaker-Verlag, Aachen, 215-223.

WEIß, J., 2006: Untersuchungen in Praxisbetrieben zum Futterwert von Rapsextraktionsschrot aus deutschen Ölmühlen. Forum für angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda, 5. bis 6. April 2006, 88-90.

Tabelle A1: Parameter der Regressionsanalyse (kursiv: Standardfehler der Schätzung für den jeweiligen Parameter)

		RES 1	RES 2	RES 3	RES 4	RES 5	RES 6	RES 7	RES 8	RES 9	r ²
	Konstante	Anstieg	Anstieg	Anstieg	Anstieg	Anstieg	Anstieg	Anstieg	Anstieg	Anstieg	
Arginin	4,42 <i>10,63</i>	0,85 <i>0,01</i>	0,88 <i>0,01</i>	0,86 <i>0,01</i>	0,89 <i>0,01</i>	0,90 <i>0,01</i>	0,89 <i>0,01</i>	0,89 <i>0,01</i>	0,86 <i>0,01</i>	0,88 <i>0,01</i>	0,99
Cystin	-0,00 <i>7,28</i>	0,71 <i>0,02</i>	0,73 <i>0,02</i>	0,73 <i>0,02</i>	0,74 <i>0,02</i>	0,79 <i>0,02</i>	0,74 <i>0,02</i>	0,74 <i>0,02</i>	0,70 <i>0,02</i>	0,71 <i>0,03</i>	0,99
Isoleucin	-6,16 <i>10,16</i>	0,81 <i>0,02</i>	0,83 <i>0,02</i>	0,80 <i>0,02</i>	0,82 <i>0,02</i>	0,83 <i>0,02</i>	0,82 <i>0,02</i>	0,84 <i>0,02</i>	0,78 <i>0,02</i>	0,81 <i>0,02</i>	0,99
Leucin	-10,64 <i>15,36</i>	0,85 <i>0,02</i>	0,86 <i>0,01</i>	0,85 <i>0,02</i>	0,86 <i>0,01</i>	0,88 <i>0,02</i>	0,87 <i>0,01</i>	0,88 <i>0,02</i>	0,82 <i>0,02</i>	0,84 <i>0,02</i>	0,99
Lysin	-6,70 <i>13,63</i>	0,68 <i>0,02</i>	0,76 <i>0,02</i>	0,75 <i>0,02</i>	0,78 <i>0,02</i>	0,77 <i>0,02</i>	0,76 <i>0,02</i>	0,72 <i>0,02</i>	0,72 <i>0,02</i>	0,73 <i>0,02</i>	0,99
Methionin	-0,32 <i>4,85</i>	0,85 <i>0,02</i>	0,87 <i>0,02</i>	0,86 <i>0,02</i>	0,87 <i>0,02</i>	0,88 <i>0,02</i>	0,89 <i>0,02</i>	0,88 <i>0,02</i>	0,83 <i>0,02</i>	0,86 <i>0,02</i>	0,99
Phenylalanin	-2,30 <i>8,32</i>	0,83 <i>0,02</i>	0,85 <i>0,01</i>	0,86 <i>0,01</i>	0,86 <i>0,01</i>	0,87 <i>0,02</i>	0,86 <i>0,01</i>	0,86 <i>0,02</i>	0,82 <i>0,01</i>	0,84 <i>0,02</i>	0,99
Threonin	-6,35 <i>14,09</i>	0,73 <i>0,02</i>	0,76 <i>0,02</i>	0,73 <i>0,02</i>	0,76 <i>0,02</i>	0,79 <i>0,02</i>	0,77 <i>0,02</i>	0,77 <i>0,02</i>	0,68 <i>0,03</i>	0,75 <i>0,02</i>	0,99
Tryptophan	-1,99 <i>3,02</i>	0,79 <i>0,02</i>	0,83 <i>0,01</i>	0,77 <i>0,02</i>	0,83 <i>0,01</i>	0,84 <i>0,02</i>	0,83 <i>0,01</i>	0,83 <i>0,01</i>	0,79 <i>0,02</i>	0,81 <i>0,02</i>	0,99
Valin	-30,84 <i>15,25</i>	0,77 <i>0,02</i>	0,77 <i>0,02</i>	0,73 <i>0,03</i>	0,75 <i>0,02</i>	0,77 <i>0,03</i>	0,75 <i>0,02</i>	0,78 <i>0,02</i>	0,73 <i>0,03</i>	0,75 <i>0,03</i>	0,99

Tabelle A2: Partielle Korrelationen (R, einschließlich p-Wert) zwischen der Verdaulichkeit einzelner Aminosäuren und den Gehalten an Weender Rohnährstoffen, NDForg, ADForg und Glucosinolaten¹

		XA	XP	XL	XF	NDForg	ADForg	Ges. GSL
Verdaulichkeit von								
Arginin	R	0,54	0,64	- 0,36	- 0,09	- 0,49	0,03	- 0,13
	p	0,137	0,065	0,347	0,823	0,180	0,933	0,748
Cystin	R	0,36	0,14	- 0,27	0,54	- 0,49	0,27	- 0,05
	p	0,338	0,713	0,486	0,131	0,186	0,489	0,899
Isoleucin	R	0,37	0,29	- 0,32	0,22	- 0,08	- 0,10	- 0,54
	p	0,329	0,449	0,409	0,569	0,839	0,801	0,131
Leucin	R	0,27	0,22	- 0,43	0,33	- 0,07	0,08	- 0,50
	p	0,477	0,568	0,243	0,386	0,861	0,841	0,172
Lysin	R	0,43	0,45	- 0,11	0,03	- 0,87	- 0,13	0,47
	p	0,244	0,220	0,774	0,943	0,002	0,741	0,203
Methionin	R	0,31	0,39	- 0,50	- 0,02	- 0,31	- 0,16	- 0,19
	p	0,423	0,293	0,171	0,956	0,423	0,690	0,617
Phenylalanin	R	0,27	0,29	- 0,46	0,33	- 0,57	- 0,01	0,11
	p	0,490	0,453	0,212	0,388	0,111	0,978	0,774
Threonin	R	0,49	0,41	- 0,48	0,16	- 0,35	- 0,03	- 0,35
	p	0,180	0,271	0,187	0,687	0,358	0,949	0,356
Tryptophan	R	0,49	0,60	- 0,14	- 0,14	- 0,24	- 0,13	- 0,37
	p	0,178	0,085	0,716	0,728	0,539	0,736	0,330
Valin	R	0,30	0,04	- 0,14	0,17	0,41	- 0,04	- 0,90
	p	0,437	0,910	0,719	0,660	0,270	0,914	0,001

¹ Grau unterlegt: signifikante Korrelationen (p < 0,01).

Tabelle A3: Gleichungen zur Schätzung der Aminosäureverdaulichkeit (y, %) sowie des Gehaltes an verdaulichen Aminosäuren (y, g/kg T)¹

	Verdaulichkeit der Aminosäuren	RMSE (%)	Gehalt an verdaulichen Aminosäuren ²	RMSE (%)
Arginin	$y = 0,004328 \text{ XA} + 0,001365 \text{ XP}$	1,82	a) $y = 0,066148 \text{ XP} - 0,019160 \text{ NDForg}$ b) $y = 0,053080 \text{ XP}$	3,53 4,93
Cystin	$y = 0,005405 \text{ XA} + 0,001302 \text{ ADForg}$	3,69	$y = 0,017358 \text{ XP}$	2,20
Isoleucin	$y = 0,004284 \text{ XA} + 0,001211 \text{ XP}$	2,81	$y = 0,030572 \text{ XP}$	4,55
Leucin	$y = 0,004348 \text{ XA} + 0,001302 \text{ XP}$	3,16	$y = 0,059992 \text{ XP}$	3,80
Lysin	$y = 0,008283 \text{ XA} + 0,007870 \text{ GSL}$	3,20	a) $y = 0,053344 \text{ XP} - 0,018070 \text{ NDForg}$ b) $y = 0,041015 \text{ XP}$	4,02 5,81
Methionin	$y = 0,004083 \text{ XA} + 0,001378 \text{ XP}$	2,70	$y = 0,016083 \text{ XP}$	3,92
Phenylalanin	$y = 0,004186 \text{ XA} + 0,001318 \text{ XP}$	2,91	$y = 0,033492 \text{ XP}$	3,71
Threonin	$y = 0,010548 \text{ XA} - 0,002790 \text{ XL}$	3,53	$y = 0,034492 \text{ XP}$	5,50
Tryptophan	$y = 0,003935 \text{ XA} + 0,001276 \text{ XP}$	2,04	a) $y = 0,014479 \text{ XP} - 0,003780 \text{ NDForg}$ $- 0,047120 \text{ GSL}$ b) $y = 0,010801 \text{ XP}$	2,09 3,84
Valin	$y = 0,003539 \text{ XA} + 0,000898 \text{ XP}$ $+ 0,000459 \text{ NDForg}$	2,21	$y = 0,033778 \text{ XP}$	4,51

¹ Die Gehalte an Nährstoffen sind in g/kg T und die Glucosinolate in µg/g T angegeben.

² Die mit "b" gekennzeichneten Gleichungen sind kalkuliert worden, um eine für alle Aminosäuren einheitliche Schätzung nur auf der Basis von Rohprotein zu ermöglichen. Sie weisen einen höheren Schätzfehler auf als die Ausgangsgleichungen.