



UFOP-SCHRIFTEN | AGRAR

# ABSCHLUSSBERICHT

Untersuchungen zur Proteinqualität von Rapsextraktionsschrot aus deutschen Ölmühlen sowie nach unterschiedlicher Behandlung während des Produktionsprozesses

## Autoren

Rainer Mosenthin, Ulrike Messerschmidt & Meike Eklund  
Universität Hohenheim – Institut für Tierernährung  
Emil-Wolff-Str. 10, 70599 Stuttgart

Friedrich Schöne  
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft  
Naumburger Str. 98, 07743 Jena

# **Untersuchungen zur Proteinqualität von Rapsextraktionsschrot aus deutschen Ölmühlen sowie nach unterschiedlicher Behandlung während des Produktionsprozesses**

Rainer Mosenthin<sup>1</sup>, Ulrike Messerschmidt<sup>1</sup>, Friedrich Schöne<sup>2</sup>, Meike Eklund<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Tierernährung, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 10, 70599 Stuttgart

<sup>2</sup>Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburger Str. 98, 07743 Jena

## **Zusammenfassung**

Ziel der Untersuchungen war es, den Proteinwert von Rapsextraktionsschroten (RES) für Schweine zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurde die standardisierte praecaecale Verdaulichkeit (pcV) der Aminosäuren (AS) in jeweils 5 RES bestimmt, die entweder aus der Produktion verschiedener deutscher Ölmühlen stammten oder die in einer Pilotanlage im Industriemaßstab unter definierten, aber unterschiedlichen Prozessbedingungen aus einer Rapssaat hergestellt wurden. In den RES wurden die Gehalte an Rohprotein (XP), Rohfett, Rohasche, Zucker, Neutral-Detergentien-Faser (NDF), Säure-Detergentien-Faser (ADF), Säure-Detergentien-Lignin (ADL), NDF unlöslichem XP (NDF-XP), reaktivem Lysin sowie die Gehalte an Glucosinolaten (GSL) ermittelt. Bei den 5 RES aus der Produktion deutscher Ölmühlen war die Abnahme der Gehalte an GSL mit einer Reduktion der Gehalte an XP und reaktivem Lysin verbunden, während gleichzeitig höhere Gehalte an NDF, ADF, ADL und NDF-XP bestimmt wurden ( $p < 0,05$ ). Dies deutet darauf hin, dass die niedrigeren Gehalte an GSL auf eine stärkere Hitzeschädigung der Proteinfraction in den betroffenen RES zurückzuführen sind. Die pcV der AS variierte zwischen den einzelnen RES aus der Produktion deutscher Ölmühlen um bis zu 7 Prozentpunkte ( $p < 0,05$ ). Jedoch konnte in diesen RES kein signifikanter ( $p > 0,05$ ) Zusammenhang zwischen der pcV der AS und den Gehalten an GSL bzw. an reaktivem Lysin nachgewiesen werden. Die Unterschiede in der pcV der AS stehen somit nicht in eindeutiger Beziehung zu ihren Gehalten an GSL oder reaktivem Lysin. Damit bleibt offen, ob die beobachteten Differenzierungen in der pcV der AS auf den Verarbeitungsprozess bei der Herstellung der RES und/oder auf Unterschieden im Ausgangsgehalt an GSL in der Rapssaat beruhen. Um die Wirkung einer definierten unterschiedlichen technologischen Behandlung auf den Proteinwert von RES zu untersuchen, wurden daher in einer Pilotanlage im Industriemaßstab unter standardisierten Versuchsbedingungen aus einer homogenen Charge Rapssaat insgesamt 5 verschiedene RES produziert, die sich hinsichtlich

der Verweilzeit im Desolventizer/Toaster (DT) und/oder in der Art der Hitzebehandlung unterschieden. Mit zunehmender Verweilzeit im DT konnte eine Reduktion der Gehalte an GSL und reaktivem Lysin bei gleichzeitigem Anstieg der Gehalte an NDF in den RES beobachtet werden ( $p < 0,05$ ). Parallel dazu nahm die pcV der AS in den untersuchten RES ab ( $p < 0,05$ ). Unter definierten Prozessbedingungen lassen sich somit Veränderungen in den untersuchten chemischen Parametern der RES eindeutig den ermittelten *in vivo* Unterschieden in der pcV der AS beim Schwein zuordnen. Aufgrund dieser Zusammenhänge werden die Ölmühlen in die Lage versetzt, die Prozessbedingungen während der Verarbeitung von Rapssaat zu RES zu optimieren.

## Summary

### **Determination on the protein quality of rapeseed meals from German oil mills and different processing conditions during production**

The studies aimed to determine the protein value of rapeseed meals (RSM) for pigs. Five RSM samples originating from 5 different German oil mills and 5 differently processed RSM were used to determine the standardized ileal digestibility (SID) of amino acids (AA) of RSM in ileally cannulated pigs. In addition, analyses of crude protein (CP), ether extract, ash, sugar, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), neutral detergent fiber bound CP (NDF-CP), reactive lysine and glucosinolates (GSL) were conducted.

For the 5 RSM obtained from German oil mills, lower GSL contents were associated with lower levels of CP and reactive lysine, whereas contents of NDF, ADF, NDF-CP were higher ( $p < 0.05$ ). These observations indicate higher heat damage of the protein at lower contents of GSL in RSM. The SID of AA differed up to 7 %-units between all 5 RSM obtained from German oil mills, but SID of AA was not affected ( $p > 0.05$ ) by the content of GSL or reactive lysine. To determine the effect of varying technological treatments on protein value of RES, in total 5 RSM originating from the same rapeseed were subjected to different toasting treatments in a pilot plant under industrial scale conditions. With increasing toasting time, the GSL content decreased ( $p < 0.05$ ), but toasting time had no effect on the content of proximate nutrients. The SID of AA and contents of GSL and reactive lysine decreased and NDF content increased as toasting time was increased during processing of RSM ( $p < 0.05$ ). Furthermore, SID of AA declined as content of NDF increased, whereas SID of AA increased as contents of GSL and reactive lysine were higher ( $p < 0.05$ ). Obviously, differences in SID of AA of RSM manufactured in German oil mills cannot be undoubtedly linked to their contents of GSL or reactive lysine. Thus, it remains speculative if the observed variations in SID of AA are due to differences during pro-



cessing of rapeseed and/or to variations in the initial GSL content of the rapeseeds used for manufacturing RSM. However, under defined and standard processing conditions in a pilot plant, the observed reduction in GSL content of the manufactured RSM resulted in a lower SID of AA in these RSM. Based on these results, oil mills may optimize their processing conditions during the processing of rapeseed to produce RSM to be used in diets for pigs.

## 1. Einleitung

Auch vor dem Hintergrund einer weiteren Absenkung des Gehaltes an Glucosinolaten (GSL) in der Rapssaat auf unter 18  $\mu\text{mol/g}$  Saat bestehen noch immer Vorbehalte gegen einen vermehrten Einsatz von Rapsextraktionsschrot (RES) in der Schweinefütterung. Dabei belegen Ergebnisse aus Fütterungsversuchen unter Praxisbedingungen, dass beispielsweise bis zu 150 g/kg RES in Rationen für Mastschweine ohne Leistungseinbußen eingesetzt werden können.

Futterwertbestimmend für RES bei Schweinen über die hier nicht näher behandelte umsetzbare Energie (ME) hinaus sind der Gehalt an GSL und die Proteinqualität, d.h. die Gehalte an verdaulichen bzw. an verfügbaren Aminosäuren (AS). Diese Gehalte können erheblich schwanken, und zwar in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial (Rapssaat), aber auch von den Bedingungen während des Produktionsprozesses in den jeweiligen Ölmühlen. Maßgebliche Einflussfaktoren während der Verarbeitung sind die Wasserdampfbehandlung zum Austreiben des Lösungsmittels (Desolventierung), die Prozesstemperatur, die Druckbedingungen sowie die Verweilzeit des RES im Toaster. Prinzipiell ist zwar bekannt, dass durch Variation dieser Prozessbedingungen der GSL-Gehalt und damit auch die Proteinqualität von RES zu beeinflussen sind (SCHÖNE et al., 2006), gezielte Untersuchungen unter Einbeziehung der standardisierten praecaecalen Verdaulichkeit (pcV) der AS zur Charakterisierung des Proteinwertes von unterschiedlich behandeltem RES für Schweine existieren aber bisher nicht.

Mit der offiziellen Einführung der Proteinbewertung von Futtermitteln für Schweine auf der Basis pcV von AS durch die GFE in 2006 stellte sich heraus, dass für eine Reihe von Einzelfuttermitteln keine oder nur wenige verwertbare Daten für die praktische Anwendung zur Verfügung stehen. Analog zur damaligen Situation bei Körnerleguminosen (MOSENTHIN et al., 2007) gibt es für RES deutscher Herkunft und Produktion keine aktualisierten Daten zur pcV von Rohprotein (XP) und AS beim Schwein. Die vorliegende Arbeit steht im engen Kontext mit weiteren von der UFOP

unterstützten Forschungsvorhaben zur Beurteilung des Proteinwertes von RES aus deutscher Produktion beim Wiederkäuer und Geflügel.

## **2. Zielsetzungen**

Eine Zielsetzung dieses Forschungsvorhabens war es, den Proteinwert von RES aus der laufenden Produktion deutscher Ölmühlen zu bestimmen. Diese für den Markt relevanten und repräsentativen RES (n = 9) bildeten bereits die Grundlage für UFOP Forschungsprojekte beim Geflügel (REZVANI et al., 2009) und Wiederkäuer (STEINGASS et al., 2011). Futterwertrelevante Inhaltsstoffe in den verwendeten RES wurden analytisch erfasst; anschließend erfolgte die Lagerung der RES in Gefriercontainern bis zur Durchführung der Verdauungsversuche mit Schweinen.

Eine weitere Zielsetzung bestand darin, den Proteinwert von verschiedenen RES zu bestimmen, die unter definierten und standardisierten Verarbeitungsbedingungen in einer Pilotanlage (CREOL; Pessac, Frankreich) aus einer Partie deutscher Rapssaat definierter Sortenherkunft produziert wurden. Diese RES wurden während des Toastens einer unterschiedlichen Hitze-, Feuchte- und Druckbehandlung unterzogen, um RES mit unterschiedlichen Gehalten an GSL zu produzieren, wie sie in dieser Spannbreite auch unter praktischen Produktionsbedingungen in deutschen Ölmühlen hergestellt werden.

Die RES wurden in 2 separaten Verdauungsversuchen mit wachsenden Schweinen eingesetzt, um die pcV der AS zu bestimmen.

## **3. Material und Methoden**

### **3.1. Verdauungsversuch I**

#### *Eingesetzte Rapsextraktionsschrote*

Aus insgesamt 9 RES, die aus der laufenden Produktion deutscher Ölmühlen im Jahr 2008 stammten, wurden 5 für den Verdauungsversuch zur Bestimmung des Proteinwertes ausgewählt. Als Hauptauswahlkriterium diente der Gehalt an GSL, der bei den 5 ausgewählten RES von 4,9 bis 14,5  $\mu\text{mol/g}$  Trockensubstanz (TS) variierte. Außerdem wurden bei der Auswahl vorhandene Differenzen im Gehalt an reaktivem Lysin als Gradmesser für eine mögliche Hitzeschädigung des Proteins während der Verarbeitung sowie die an Legehennen ermittelte praecaecale Lysinverdaulichkeit berücksich-

sichtigt (REZVANI et al., 2009). In Tabelle 1 ist die chemische Zusammensetzung der 5 ausgewählten RES aufgezeigt.

**Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der Rapsextraktionsschrote in Verdauungsversuch I (g/kg TS, wenn nicht anders angegeben)**  
*Chemical composition of the rapeseed meals (g/kg DM)*

	Rapsextraktionsschrot				
	1	4	6	7	9
Trockensubstanz (g/kg Originalsubstanz)	883	872	896	896	897
Rohprotein	369	409	408	396	405
Rohfett	37	30	28	30	32
NDF-XP	109	78	79	114	86
NDF	413	328	325	388	343
ADF	249	211	204	227	210
ADL	118	110	114	128	120
Rohasche	76	79	78	80	85
Zucker	90	98	105	96	96
GSL ( $\mu\text{mol/g TS}$ )	4,9	14,5	13,7	6,3	10,4
Essentielle Aminosäuren					
Arginin	20,9	25,1	24,8	23,4	24,6
Histidin	9,9	10,9	10,8	10,5	10,9
Isoleucin	14,2	15,9	16,0	15,4	15,9
Leucin	25,4	28,8	28,6	27,8	28,7
Lysin	19,5	22,5	22,3	20,9	22,1
reaktives Lysin	15,2	18,1	17,7	15,7	17,0
Methionin	7,6	8,3	8,2	8,0	8,3
Phenylalanin	14,6	16,6	16,5	16,1	16,5
Threonin	16,6	18,6	18,4	18,2	18,2
Tryptophan	4,9	5,6	5,6	5,5	5,7
Valin	18,5	20,6	20,9	20,1	20,7
Nichtessentielle Aminosäuren					
Alanin	16,0	17,8	17,6	17,3	17,6
Asparaginsäure	26,3	31,5	31,3	30,1	30,9
Cystein	8,6	9,6	9,4	8,8	9,4
Glutaminsäure	60,9	69,0	69,2	65,0	69,8
Glycin	18,9	21,2	21,0	20,5	21,0
Prolin	22,8	24,8	25,0	23,9	24,9
Serin	16,0	17,9	17,8	17,3	17,6

NDF = Neutral-Detergentien-Faser inklusive mineralischer Bestandteile; NDF-XP = Neutral-Detergentien-Faser unlösliches Rohprotein; ADF = Säure-Detergentien-Faser inklusive mineralischer Bestandteile; ADL = Säure-Detergentien-Lignin; TS = Trockensubstanz; GSL = Gesamtglucosinolate.

### *Versuchsrationen*

Entsprechend den Vorgaben der GFE (2002, 2005) wurde bei der Formulierung der Versuchsrationen die Einhaltung der Schwellenwerte für XP und für die essentiellen AS berücksichtigt. Diese Schwellenwerte entsprechen den Mindestgehalten an XP

und AS in den Versuchsrationen, die für die Ableitung der pcV für XP und AS aus den entsprechenden scheinbaren Verdauungswerten erforderlich sind. Der Verdauungsversuch wurde als Direktversuch konzipiert, d.h. das zu prüfende RES war alleinige Proteinquelle in einer Basalration mit den weiteren Hauptkomponenten Maistärke, Zellulose und Dextrose (Tab. 2). Die chemische Zusammensetzung der Versuchsrationen kann der Tabelle 3 entnommen werden.

**Tab. 2: Zusammensetzung der Rationen in Verdauungsversuch I (g/kg Frischsubstanz)**

*Composition of the assay diets (g/kg as-fed)*

Rapsextraktionsschrot <sup>1</sup>	565,0
Maisstärke <sup>2</sup>	241,1
Dextrose <sup>2</sup>	100,0
Zellulose <sup>3</sup>	30,0
Öl <sup>4</sup>	45,0
Mineralfutter <sup>5</sup>	10,0
Vitamin E <sup>6</sup>	0,4
Monocalciumphosphat	3,5
Titandioxid	5,0

<sup>1</sup> Rapsextraktionsschrot 1, 4, 6, 7 oder 9.

<sup>2</sup> Roquette GmbH, Frankfurt, Deutschland.

<sup>3</sup> ArboCell®, J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co.KG, Rosenberg, Deutschland.

<sup>4</sup> Mischungsverhältnis 750 g/kg Rapsöl und 250 g/kg Sojaöl.

<sup>5</sup> Vilomin 18950, Deutsche Vilomix Tierernährung GmbH, Neuenkirchen-Vörden, Deutschland. Enthält pro kg: Ca, 9,8 g; P, 2,0 g; Na, 2,2 g; Mg, 400 mg; Fe, 160 mg (FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O); Cu, 20 mg (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O); Mn, 107 mg (MnO); Zn, 134 mg (ZnO); J, 2,7 mg (Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>); Se, 0,5 mg (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>); Co, 0,3 mg (2CoCO<sub>3</sub>·3Co(OH)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O); Vitamin A, 1600 IU; Vitamin D<sub>3</sub>, 240 IU; Vitamin E, 100 mg; Vitamin B<sub>1</sub>, 2 mg; Vitamin B<sub>2</sub>, 6 mg; Vitamin B<sub>6</sub>, 5 mg; Vitamin B<sub>12</sub>, 40 µg; Vitamin K<sub>3</sub>, 4 mg; Niacin, 25 mg; Ca-pantothenat, 15 mg; Folsäure, 1 mg; Cholinchlorid, 300 mg.

<sup>6</sup> Lutravit® E 50%, BASF, Ludwigshafen, Deutschland.

### *Versuchsdurchführung*

Das Tierexperiment wurde als 5 × 5 Lateinisches Quadrat mit 5 Perioden zu je 7 Tagen durchgeführt. Eine zusätzliche 6. Periode diente der Durchführung von Wiederholungen aufgrund von Tieraussfällen während der vorhergehenden Versuchsperioden. Die ersten 5 Tage jeder Versuchsperiode waren für die Adaptation der Schweine an die jeweilige Versuchsration vorgesehen. Anschließend erfolgte über einen Zeitraum von insgesamt 24 Stunden die Sammlung von Dünndarmchymus, und zwar am Tag 6 von 07:00 bis 19:00 Uhr und am Tag 7 von 19:00 bis 07:00 Uhr. Die Spotsammlung mittels der T-Kanüle und die Probenaufbereitung orientierten sich an den Vorgaben der GFE (2002, 2005).

**Tab. 3: Chemische Zusammensetzung der Rationen in Verdauungsversuch I  
(g/kg TS, wenn nicht anders angegeben)**

*Chemical composition of the assay diets (g/kg DM)*

	Versuchsration mit Rapsextraktionsschrot				
	1	4	6	7	9
Trockensubstanz (g/kg Originalsubstanz)	901	893	909	910	911
Rohprotein	210,1	221,2	231,1	220,4	226,1
NDF	256,4	208,3	222,2	249,5	223,9
ADF	173,1	141,1	139,7	153,8	142,7
ADL	89,1	72,3	71,0	66,5	60,7
Essentielle Aminosäuren					
Arginin	11,9	13,2	14,0	13,5	13,9
Histidin	5,7	5,9	6,1	6,1	6,2
Isoleucin	8,1	8,6	9,1	9,1	9,1
Leucin	14,6	15,4	16,2	16,2	16,3
Lysin	11,2	11,8	12,5	12,1	12,4
Methionin	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6
Phenylalanin	8,4	8,9	9,4	9,3	9,4
Threonin	9,6	9,9	10,3	10,4	10,4
Tryptophan	2,8	3,0	3,2	3,0	3,1
Valin	10,7	11,0	11,8	11,9	11,7
Nichtessentielle Aminosäuren					
Alanin	9,1	9,5	10,0	10,0	10,1
Asparaginsäure	15,3	16,8	17,7	17,5	17,6
Cystein	4,9	5,1	5,3	5,1	5,3
Glutaminsäure	34,9	36,8	39,0	37,8	39,6
Glycin	10,9	11,4	11,8	12,0	12,0
Prolin	13,0	13,3	14,1	13,9	14,2
Serin	9,1	9,6	10,0	9,8	10,1

NDF = Neutral-Detergentien-Faser mit hitzestabiler  $\alpha$ -Amylase inklusive mineralischer Bestandteile; ADF = Säure-Detergentien-Faser inklusive mineralischer Bestandteile; ADL = Säure-Detergentien-Lignin; TS = Trockensubstanz.

### *Analytik*

Die Gehalte an TS, XP, Rohfett, Rohasche, Zucker, Neutral-Detergentien-Faser (NDF), Säure-Detergentien-Faser (ADF) und Säure-Detergentien-Lignin (ADL) wurden in den ausgewählten RES und Versuchsrationen nach den Methodenvorschriften des VDLUFA untersucht (VDLUFA, 2006). Der Anteil an NDF-unlöslichem XP (NDF-XP) wurde nach LICITRA et al. (1996) analysiert. Die Bestimmung der AS in den RES, Versuchsrationen sowie im Dünndarmchymus erfolgte nach Vorgaben von LLAMES und FONTAINE (1994), COMMISSION DIRECTIVE (1998) und COMMISSION DIRECTIVE (2000). Für die Ermittlung des reaktiven Lysins wurde die von FONTAINE et al. (2007) beschriebene Homoargininmethode angewandt, während die Bestimmung der GSL in den RES mittels HPLC durchgeführt wurde (EN ISO, 1995). Titandioxid



wurde in den Versuchsrationen und im Chymus nach Kjeldahlaufschluss photometrisch bestimmt (BRANDT UND ALLAM, 1987).

### *Verdaulichkeitsbestimmung und statistische Auswertung*

Die scheinbare praecaecale Verdaulichkeit von XP und AS in den Versuchsrationen wurde mittels der Indikatormethode wie folgt berechnet:

$$AID_D = 100\% - [(I_D \times A_F) / (A_D \times I_F)] \times 100\%$$

wobei  $AID_D$  = scheinbare praecaecale Verdaulichkeit von XP bzw. AS in der Versuchsration (%),  $I_D$  = Markerkonzentration in der Versuchsration (g/kg TS),  $A_F$  = Gehalt an XP bzw. AS im Chymus (g/kg TS),  $A_D$  = Gehalt an XP bzw. AS in der Versuchsration (g/kg TS) und  $I_F$  = Markerkonzentration im Chymus (g/kg TS) ist.

Die pcV für das XP und die AS in den ausgewählten RES wurde nach Korrektur um die basalen endogenen Verluste nach JANSMAN et al. (2002) mittels folgender Gleichung berechnet:

$$SID_D = AID_D + (IAAL_B / XP_D \text{ oder } AS_D) \times 100\%$$

wobei  $SID_D$  = pcV von XP bzw. AS in der Versuchsration (%),  $IAAL_B$  = basale praecaecale endogene Verluste an XP bzw. AS (g/kg TS-Aufnahme) und  $XP_D$  oder  $AS_D$  = Gehalt an XP bzw. AS in der Versuchsration (g/kg TS) ist.

Eventuelle Ausreißer im Datensatz zur pcV konnten mit Hilfe des Cook's D Test identifiziert und von der weiteren statistischen Betrachtung ausgeschlossen werden. Zur Analyse der Daten wurde ein gemischtes Modell des Statistik Programms SAS (2008) verwendet. Als fester Effekt in diesem Modell wurden RES und Tier betrachtet, während der Einfluss von Tier und Periode als zufälliger Effekt berücksichtigt wurde. Die Festlegung des Signifikanzniveaus erfolgte bei  $p < 0,05$ .

### 3.2. Verdauungsversuch II

#### *Herstellung der Rapsextraktionsschrote in einer Pilotanlage*

Für die Herstellung unterschiedlich getoasteter RES wurde die 00-Winterrapssorte „Lorenz“ verwendet, die von der Norddeutschen Pflanzenzucht (Hans-Georg Lembke KG, Hohenlieth, Deutschland) bereitgestellt wurde. Diese Rapssaat hatte Saatgutqualität (Reinheit 100%; Keimfähigkeit 94%; Tausendkorngewicht 4,4 g; Erucasäuregehalt < 0,1%), und ihr Gehalt an GSL betrug 17  $\mu\text{mol/g}$  TS. Es standen 6000 kg Saatgut für die Herstellung der unterschiedlichen RES in der Versuchsanlage CREOL (Pessac, Frankreich) zur Verfügung. In einem ersten Verarbeitungsschritt wurden aus der Rapssaat unter gleichen Produktionsbedingungen 2 Rapskuchen produziert, um daraus in den nachgelagerten Verarbeitungsprozessen RES herzustellen. Hierzu wurde die Rapssaat zunächst flockiert, um ihre Oberfläche zu vergrößern und die Zellen für die Ölgewinnung aufzusprengen. Danach erfolgte die Erhitzung der flockierten Rapssaat in einem horizontalen Konditionierer (La Mécanique Moderne, Arras, Frankreich) bei 94°C und einer mittleren Verweilzeit von 68 min, um die Zellen weiter aufzuschließen und den Wassergehalt auf im Mittel 48 g/kg einzustellen. Anschließend erfolgte die mechanische Auspressung des Öls in einer Schneckenpresse (MBU 75, La Mécanique Moderne, Arras, Frankreich). Die mittlere Temperatur in der Presse während der Herstellung der beiden Rapskuchen betrug 77°C bei einem Durchsatz von 371 kg/h. Während des Pressvorganges wurden zwischen 60 und 68% des Gesamtölgehaltes der Rapssaat auspresst. Der dabei produzierte Rapskuchen wurde unter niedrigem Druck pelletiert (Matrizengröße 90 mm  $\times$  5 mm). In einer Gegenstromextraktionsanlage (Desment Ballestra Group N.V., Zaventem, Belgien) wurde der Restölgehalt im Rapskuchen auf < 30 g/kg reduziert. Für diese Extraktion wurden bei einem Durchsatz von 150 kg Rapskuchen/h und einer durchschnittlichen Temperatur des Hexan/Ölgemisches von 53°C insgesamt 250 L Hexan/h eingesetzt. In einem Desolventizer/Toaster (DT) (Schumacher type, Desment Ballestra Group N.V., Zaventem, Belgien) wurden die RES unter verschiedenen Bedingungen (Tab. 4) erhitzt (getoastet), um neben der Entfernung des verbliebenen Hexans RES mit unterschiedlichen Gehalten an GSL und einer variierenden Proteinqualität zu produzieren (Tab. 5). Aus dem ersten Rapskuchen wurden die RES 45, 65, 85 und 105 hergestellt. Dabei stehen die Zahlenangaben für die Verweilzeit (in Minuten) der RES bei gleichbleibender Temperatur im DT. Die RES wurden einem indirektem Druck von 8,5 bar ausgesetzt und unter Direkteinleitung von Wasserdampf (15 kg/h) im DT erhitzt, was zur Verdampfung des Hexans führte. Der hohe Druck im DT sollte bewirken, dass sich im Temperaturbereich > 100°C kein überhitzter Wasserdampf bil-

den kann, der zur Austrocknung des RES und damit zu einer Hitzeschädigung des Proteins führt. Außerdem wird feuchte Hitze benötigt, um GSL abzubauen und flüchtige Abbauprodukte an den Wasserdampf anzulagern, die anschließend verdampft werden.

Aus dem zweiten Rapskuchen sollte ein RES mit niedrigem Gehalt an GSL hergestellt werden (RES nGSL). Hierfür wurde zunächst ein RES mit einem GSL-Gehalt von 9 µmol/g TS produziert, dessen Herstellung den mittleren Prozessbedingungen bei der Weiterverarbeitung des ersten Rapskuchens entsprach. Nachdem der DT bei einem Druck von 1,5 bar vorgeheizt worden war, erfolgte anschließend manuell die Befüllung des DT. Die weitere Behandlung des RES erfolgte mit gesättigtem Wasserdampf (30 kg/h) unter atmosphärischem Druck über einen Zeitraum von 30 min bis zur Durcherhitzung des RES. Gesättigter Wasserdampf unter atmosphärischem Druck führt im Gegensatz zu überhitztem Wasserdampf nicht zur Austrocknung des RES, so dass eine schonende Erhitzung bei feuchten Bedingungen gewährleistet ist. Anschließend wurde das RES 30 min bei 4,5 bar ohne die Zugabe von Wasserdampf weiter auf Temperaturen bis 107°C erhitzt, um den Gehalt an GSL auf das gewünschte niedrige Niveau abzusenken. Es wird angenommen, dass durch die Zufuhr von gesättigtem Wasserdampf das RES maximal mit Feuchtigkeit gesättigt wird, so dass die Voraussetzungen für einen hohen Abbau der GSL vorliegen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die anschließende Behandlung ohne Wasserdampf bei 107°C (trockene Erhitzung) eine hohe Verdunstung des Wassers aus dem RES bewirkt, was zu einer weiteren Reduzierung der Gehalte an GSL führt.

**Tab. 4: Prozessbedingungen bei der Herstellung der Rapsextraktionsschrote für Verdauungsversuch II**

*Processing conditions for the production of rapeseed meals*

Parameter	Rapsextraktionsschrot				
	45 <sup>1</sup>	65 <sup>1</sup>	85 <sup>1</sup>	105 <sup>1</sup>	nGSL <sup>2</sup>
Verweilzeit im DT, min	48	64	76	93	69 <sup>3</sup>
Dampf, bar	8,5	8,5	8,5	8,5	4,5
Dampfvolumenstrom, kg/h	15	15	15	15	30
Temperatur, °C	120	114	129	134	107

<sup>1</sup> Hergestellt aus der 1. Charge Rapskuchen.

<sup>2</sup> Hergestellt aus der 2. Charge Rapskuchen.

<sup>3</sup> 30 min Dampferhitzung unter atmosphärischem Druck und anschließend Erhitzung ohne Dampf, nur mit Druck in der Außenwand des Desolventizer/Toasters.

DT = Desolventizer/Toaster, nGSL = Niedrig-Glucosinolat-Variante

Nach dem Toasten im DT wurden die RES über ein mit Eiswasser gekühltes Förderband in Förderwagen zum Weitertransport vorbereitet. Durch Einsatz von Luftküh-

lern konnten sie von 45°C bis auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Die RES wurden anschließend an das Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim expeditiert, dort auf 2 mm geschrotet und bis zum Einsatz in den Verdauungsversuchen bei -15°C in Gefriercontainern gelagert.

### *Versuchsrationen*

Im Gegensatz zum Verdauungsversuch I, der als Direktversuch konzipiert worden war, wurde dieser Versuch als Differenzversuch angelegt. Im Direktversuch, d.h. bei Verwendung von RES als alleinige Proteinquelle in der Ration, hatten sich bei einigen Schweinen Akzeptanzprobleme gezeigt. Dies kann bei Anwendung des Differenzversuches vermieden werden, da die geprüften RES einer Basalration, bestehend aus den Hauptkomponenten Maistärke, Zellulose, Dextrose und Kasein als Proteinquelle, im Austausch gegen Maisstärke zugelegt wurden (Tab. 6). In diesem Fall war es aber erforderlich, die Verdauungswerte für RES aus der Differenz zu den entsprechenden Verdauungswerten für Kasein zu berechnen. Die chemische Zusammensetzung der Versuchsrationen kann der Tabelle 7 entnommen werden.

### *Tiermaterial, Haltung und Fütterung*

Als Versuchstiere wurden 6 männliche Kastraten der Rasse Deutsche Landrasse × Piétrain, die von der Versuchsstation Unterer Lindenhof der Universität Hohenheim bezogen wurden, eingesetzt. Das mittlere Gewicht zu Versuchsbeginn betrug  $22,1 \pm 1,10$  kg. Die Haltung und Fütterung der Tiere sowie die Beschreibung der Kanülenimplantation entspricht den Angaben für den Verdauungsversuch I.

### *Versuchsdurchführung*

Das Tierexperiment umfasste 7 Perioden von jeweils 7 Tagen. In den ersten 5 Versuchsperioden wurden die 5 Versuchsrationen mit RES gemäß einer Zeile-Spalten-Anlage mit 6 Versuchstieren und 5 Perioden verabreicht, so dass 6 Beobachtungen pro RES zur Verfügung standen. Anschließend wurden zusätzlich 2 Versuchsperioden eingeplant, um regressionsanalytisch die basalen praecaecalen endogenen Verluste, sowie die pcV des XP und der AS im Kasein zu bestimmen. Auch hier entsprach die Versuchsanordnung einer Zeilen-Spalten-Anlage. Ansonsten stimmte die Versuchsdurchführung mit den für Verdauungsversuch I gemachten Angaben überein.

**Tab. 5: Chemische Zusammensetzung der Rapsextraktionsschrote in Verdauungsversuch II (g/kg TS, wenn nicht anders angegeben)**

*Chemical composition of the rapeseed meals (g/kg DM)*

	Rapsextraktionsschrot				
	45 <sup>1</sup> (48 min) <sup>3</sup>	65 <sup>1</sup> (64 min) <sup>3</sup>	85 <sup>1</sup> (76 min) <sup>3</sup>	105 <sup>1</sup> (93 min) <sup>3</sup>	nGSL <sup>2</sup> (39 min) <sup>3</sup>
Trockensubstanz (g/kg Originalsubstanz)	943	937	941	945	899
Rohprotein	379	376	380	382	381
Rohfett	18	19	19	19	23
NDF	407	417	450	467	476
NDF-XP	108	123	154	166	161
ADF	246	258	280	280	269
ADL	131	149	152	155	155
Rohasche	81	81	81	81	83
Zucker	93	90	86	86	86
GSL (µmol/g TS)	15,1	11,5	8,3	5,6	3,6
Essentielle Aminosäuren					
Arginin	22,1	21,5	20,6	20,6	20,9
Histidin	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0
Isoleucin	15,3	15,3	15,2	15,0	14,6
Leucin	27,0	26,7	26,8	26,8	26,6
Lysin	19,5	18,8	17,7	17,2	17,2
reaktives Lysin	16,0	15,2	13,1	12,5	13,3
Methionin	7,6	7,4	7,6	7,4	7,4
Phenylalanin	15,3	15,0	15,2	15,1	15,1
Threonin	17,6	17,1	17,3	17,5	17,5
Tryptophan	5,1	5,0	5,1	5,1	5,1
Valin	19,7	19,6	19,7	19,1	18,6
Nichtessentielle Aminosäuren					
Alanin	17,1	16,8	17,0	17,0	16,8
Asparaginsäure	28,3	27,7	27,9	27,6	27,4
Cystein	9,1	8,9	8,8	8,7	8,3
Glutaminsäure	60,3	59,5	59,9	59,6	59,3
Glycin	20,1	19,8	20,1	20,0	19,7
Prolin	22,4	23,5	24,0	22,8	22,2
Serin	16,4	16,2	16,0	16,7	16,7

<sup>1</sup> Hergestellt aus der 1. Charge Rapskuchen.

<sup>2</sup> Hergestellt aus der 2. Charge Rapskuchen.

<sup>3</sup> Verweilzeit im Toaster bei Temperaturen > 100°C.

NDF = Neutral-Detergentien-Faser inklusive mineralischer Bestandteile; NDF-XP = Neutral-Detergentien-Faser unlösliches Rohprotein; ADF = Säure-Detergentien-Faser inklusive mineralischer Bestandteile; ADL = Säure-Detergentien-Lignin; TS = Trockensubstanz; GSL = Gesamtglucosinolate.

### *Analytik, Verdaulichkeitsbestimmung und statistische Auswertung*

Die Analytik der Inhaltstoffe in den RES, den Versuchsrationen und im Ileumchymus stimmte mit den Angaben für den Verdauungsversuch I überein. Die Bestimmung der

scheinbaren praecaecalen Verdaulichkeit des XP und der AS erfolgte analog zum Verdauungsversuch I. Für die ergänzte kristalline AS Cystein wurde eine 100%-ige pcV angenommen. Die pcV für das XP und die AS im jeweiligen Testfuttermittel wurde als Differenz zur pcV von Kasein wie folgt berechnet:

$$SID_A = (SID_D - SID_B \times C_B) / C_A$$

wobei  $C_B$  = Anteil an XP bzw. AS aus dem Kasein in der Versuchsration (%) und  $C_A$  = Anteil an XP bzw. AS aus dem Testfuttermittel in der Versuchsration (%) ist.

Die statistische Auswertung entsprach den Vorgaben, die für den Verdauungsversuch I zugrunde gelegt worden waren.

**Tab. 6: Zusammensetzung der Rationen in Verdauungsversuch II (g/kg Frischsubstanz)**  
*Composition of the assay diets (g/kg as-fed)*

	Versuchsrationen mit Rapsextraktionsschrot	Kaseinration Rohproteingehalt (g/kg)		
		75	150	250
Rapsextraktionsschrot <sup>1</sup>	250,0	–	–	–
Kasein <sup>2</sup>	100,0	83,0	166,0	249,0
Maisstärke <sup>3</sup>	448,2	704,7	621,4	538,0
Dextrose <sup>3</sup>	90,0	50,0	50,0	50,0
Zellulose <sup>4</sup>	30,0	40,0	40,0	40,0
Laktose <sup>5</sup>	10,0	50,0	50,0	50,0
Öl <sup>6</sup>	50,0	40,0	40,0	40,0
Mineralfutter <sup>7</sup>	16,0	16,0	16,0	16,0
Vitamin E <sup>8</sup>	0,4	0,4	0,4	0,4
L-Cystein × HCl × H <sub>2</sub> O <sup>9</sup>	–	0,4	0,7	1,1
Monocalciumphosphat	–	2,5	2,5	2,5
Natriumchlorid	–	0,5	0,5	0,5
Kaliumchlorid	0,4	4,5	4,5	4,5
Calciumcarbonat	–	3,0	3,0	3,0
Titandioxid	5,0	5,0	5,0	5,0

<sup>1</sup> Rapsextraktionsschrot 45, 65, 85, 105 oder nGSL laut Tab. 4.

<sup>2</sup> Meggle AG, Wasserburg, Deutschland.

<sup>3</sup> Roquette GmbH, Frankfurt, Deutschland.

<sup>4</sup> Arbocell®, J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co.KG, Rosenberg, Deutschland.

<sup>5</sup> Peter Kölln KGaA, Elmshorn, Deutschland.

<sup>6</sup> Mischungsverhältnis 750 g/kg Rapsöl and 250 g/kg Sojaöl.

<sup>7</sup> Vilomin 18950, Deutsche Vilomix Tierernährung GmbH, Neuenkirchen-Vörden, Deutschland.

Zusammensetzung siehe Versuch 1.

<sup>8</sup> Lutravit® E 50%, BASF, Ludwigshafen, Deutschland.

<sup>9</sup> Wacker Chemie AG, München, Deutschland.



**Tab. 7: Chemische Zusammensetzung der Rationen in Verdauungsversuch II**  
**(g/kg TS, wenn nicht anders angegeben)**  
*Chemical composition of the assay diets (g/kg DM)*

	Versuchsrationen					Kaseinration		
	mit Rapsextraktionsschrot					Rohproteingehalt (g/kg)		
	45	65	85	105	nGSL	75	150	225
Trockensubstanz (g/kg Originalsub- stanz)	908	907	908	910	898	896	900	904
Rohprotein	203	202	206	197	202	80	172	259
NDF	139	146	153	157	158	–	–	–
ADF	76	84	97	87	87	–	–	–
ADL	47	46	52	52	48	–	–	–
Essentielle Aminosäuren								
Arginin	9,4	9,3	9,3	8,9	9,3	2,9	6,3	9,6
Histidin	5,7	5,7	5,7	5,5	5,8	2,5	5,1	7,9
Isoleucin	8,6	8,7	9,5	8,8	9,6	4,1	9,0	13,7
Leucin	16,7	16,9	17,2	16,5	17,2	7,9	16,8	25,2
Lysin	13,3	13,2	13,2	12,4	13,3	6,6	14,2	21,5
Methionin	5,0	4,9	5,0	4,7	5,0	2,3	5,0	7,6
Phenylalanin	9,2	9,4	9,5	9,1	9,6	4,2	9,1	13,8
Threonin	9,1	9,2	9,3	8,9	9,1	3,6	7,7	11,4
Tryptophan	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	1,0	2,2	3,2
Valin	11,1	11,1	12,0	11,2	12,2	5,2	11,4	17,5
Nichtessentielle Aminosäuren								
Alanin	7,6	7,7	7,8	7,5	7,7	2,6	5,4	8,2
Asparaginsäure	14,9	14,9	15,0	14,4	15,0	6,0	12,9	19,2
Cystein	3,1	3,0	2,8	2,8	2,8	0,8	1,3	1,9
Glutaminsäure	38,9	39,2	39,5	37,6	39,4	18,3	39,0	59,5
Glycin	7,0	7,2	7,3	7,0	7,1	1,6	3,3	4,9
Prolin	17,2	17,8	17,7	16,8	17,4	9,0	19,4	28,8
Serin	10,7	10,7	10,5	10,2	10,3	4,8	10,1	15,2

NDF = Neutral-Detergentien-Faser inklusive mineralischer Bestandteile; NDF-XP = Neutral-Detergentien-Faser unlösliches Rohprotein; ADF = Säure-Detergentien-Faser inklusive mineralischer Bestandteile; ADL = Säure-Detergentien-Lignin; TS = Trockensubstanz; GSL = Gesamtglucosinolate.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1. Verdauungsversuch I

Um die pcV von XP und AS aus RES im Direktversuch zu testen, betrug der Anteil von RES in der Ration 570 g/kg (Tab. 2), was im Laufe des Verdauungsversuches bei einigen Tieren zu Akzeptanzproblemen führte. Aufgrund verminderter Futteraufnahme musste jeweils ein Tier in Periode 4 und 5 von der statistischen Auswertung ausgeschlossen werden. Die fehlenden Beobachtungen wurden ersetzt, indem eine zusätzliche 6. Periode mit 2 Schweinen durchgeführt wurde.

Die ermittelten XP- und AS-Gehalte in den RES stimmten mit den Angaben aus unterschiedlichen Futterwerttabellen (AFZ, 2000; NRC, 1998; DLG, 2012) überein, nur RES 1 enthielt deutlich weniger XP und AS (Tab. 1). Niedrigere Gehalte an GSL waren auch mit niedrigeren Gehalte an XP und reaktivem Lysin verbunden, während gleichzeitig für NDF, ADF, ADL und NDF-XP höhere Gehalte ermittelt wurden ( $p < 0,05$ ). Daraus lässt sich für RES mit niedrigerem Gehalt an GSL eine stärkere Hitzeschädigung ableiten. Glucosinolate sind hitzelabil und lassen sich durch Temperaturen von  $> 100^{\circ}\text{C}$  während der Verarbeitung von Rapssaat deutlich reduzieren (JENSEN et al., 1995, NEWKIRK et al., 2003). Eine Überhitzung beeinträchtigt jedoch die Proteinqualität, indem hohe Temperaturen die Bildung von Maillard Produkten fördern, wodurch die Verdaulichkeit und darüber hinaus auch die Verfügbarkeit des XP und der AS eingeschränkt wird (PAHM et al., 2008; GONZÁLEZ-VEGA et al., 2011). Vor allem Lysin reagiert unter Hitzeeinwirkung mit reduzierenden Zuckern. Die daraus resultierenden Verbindungen können zwar teilweise noch absorbiert werden, aber die intermediäre Verwertung ist stark eingeschränkt (HURRELL und CAPENTER, 1981). Maillard Produkte erscheinen ebenfalls als faserassoziierter Stickstoff und sie führen somit zu höheren NDF-XP Gehalten im RES (VAN SOEST und MASON, 1991).

In Tabelle 8 sind die pcV des XP und der AS für die untersuchten 5 RES aus deutscher Produktion zusammenfassend dargestellt. Die pcV des XP reichte von 59% im RES 1 bis zu 64% im RES 6. Die pcV der essentiellen AS war am geringsten für Lysin (59 bis 64%) und am höchsten für Methionin (78 bis 81%). Für die meisten essentiellen AS zeigten sich in der pcV Unterschiede zwischen den RES ( $p < 0,05$ ). Allerdings konnte in der vorliegenden Untersuchung keine signifikante Beziehung ( $p > 0,05$ ) zwischen den Gehalten an GSL, reaktivem Lysin, NDF, ADF, ADL oder NDF-XP und der pcV des XP und der AS nachgewiesen werden.

**Tab. 8: Standardisierte praecaecale Verdaulichkeit (%) des Rohproteins und der Aminosäuren in Rapsextraktionsschrot unterschiedlicher Herkunft**

*Standardized ileal digestibility (%) of crude protein and amino acids in rapeseed meal of different origin*

	Rapsextraktionsschrot					SF	p - Wert
	1	4	6	7	9		
Rohprotein	59 <sup>a</sup>	61 <sup>ab</sup>	64 <sup>b</sup>	63 <sup>b</sup>	62 <sup>ab</sup>	0,84	0,026
Essentielle Aminosäuren							
Arginin	79 <sup>ac</sup>	77 <sup>ab</sup>	80 <sup>bc</sup>	81 <sup>c</sup>	76 <sup>a</sup>	0,94	0,020
Histidin	74	75	76	77	75	0,92	0,188
Isoleucin	66 <sup>a</sup>	67 <sup>ab</sup>	69 <sup>bc</sup>	72 <sup>c</sup>	67 <sup>a</sup>	1,02	0,004
Leucin	69 <sup>a</sup>	70 <sup>ab</sup>	72 <sup>bc</sup>	74 <sup>c</sup>	69 <sup>a</sup>	0,88	0,004
Lysin	59 <sup>a</sup>	63 <sup>b</sup>	64 <sup>b</sup>	64 <sup>b</sup>	63 <sup>b</sup>	0,88	0,003
Methionin	79	79	80	81	78	0,76	0,066
Phenylalanin	70 <sup>a</sup>	71 <sup>ab</sup>	73 <sup>bc</sup>	75 <sup>c</sup>	70 <sup>a</sup>	0,92	0,006
Threonin	59 <sup>a</sup>	61 <sup>ab</sup>	63 <sup>b</sup>	66 <sup>c</sup>	62 <sup>b</sup>	0,88	0,002
Tryptophan	64	67	69	69	67	1,34	0,083
Valin	64 <sup>a</sup>	65 <sup>ab</sup>	67 <sup>bc</sup>	69 <sup>c</sup>	64 <sup>a</sup>	1,04	0,004
Nichtessentielle Aminosäuren							
Alanin	64 <sup>a</sup>	66 <sup>ab</sup>	67 <sup>b</sup>	70 <sup>c</sup>	67 <sup>ab</sup>	1,12	0,009
Asparaginsäure	59 <sup>a</sup>	62 <sup>ab</sup>	64 <sup>bc</sup>	66 <sup>c</sup>	60 <sup>a</sup>	1,14	0,004
Cystein	60	62	62	66	64	1,7	0,196
Glutaminsäure	76	75	77	78	75	1,02	0,306
Glycin	61	62	64	66	63	1,58	0,164
Prolin	65	67	68	69	98	1,08	0,128
Serin	64 <sup>a</sup>	66 <sup>ab</sup>	68 <sup>bc</sup>	70 <sup>c</sup>	66 <sup>b</sup>	0,82	0,002

<sup>a,b,c</sup> Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rapsextraktionsschroten ( $p < 0,05$ ), SF = gemittelter Standardfehler.

Die pcV essentieller AS in den 5 RES lag um 3 bis 16 Prozentpunkte unter den mittleren pcV gängiger Futterwerttabellen (AFZ, 2000; GFE, 2006; AMINODAT<sup>®</sup>4.0, 2010), befand sich aber noch in den für RES angegebenen Spannbreiten (GFE, 2006). Die vergleichsweise niedrige pcV der AS in dieser Studie ist möglicherweise auf die sehr hohen Gehalte an NDF und ADF in allen 5 RES zurückzuführen. Abhängig vom Genotyp enthält der in Europa verwendete Winterraps gegenüber dem kanadischen Sommerraps (Canola) auf Grund einer dickeren Schale und eines höheren Ligninanteils (SLOMINSKI et al., 1994; WITTKOP et al., 2009; ABBADI und LECKBAND 2011) mehr Zellwandsubstanzen (JEROCH et al., 2008). So wies in der vorliegenden Untersuchung z.B. RES 1 die niedrigste pcV von XP und AA bei gleichzeitig höchstem Gehalt an NDF auf, während sich umgekehrt für RES 6 die höchste pcV von XP und AA in Verbindung mit dem niedrigsten Gehalt an NDF in allen untersuchten RES ergab. Die für die 5 RES ermittelte nicht signifikante Beziehung zwischen dem Ge-

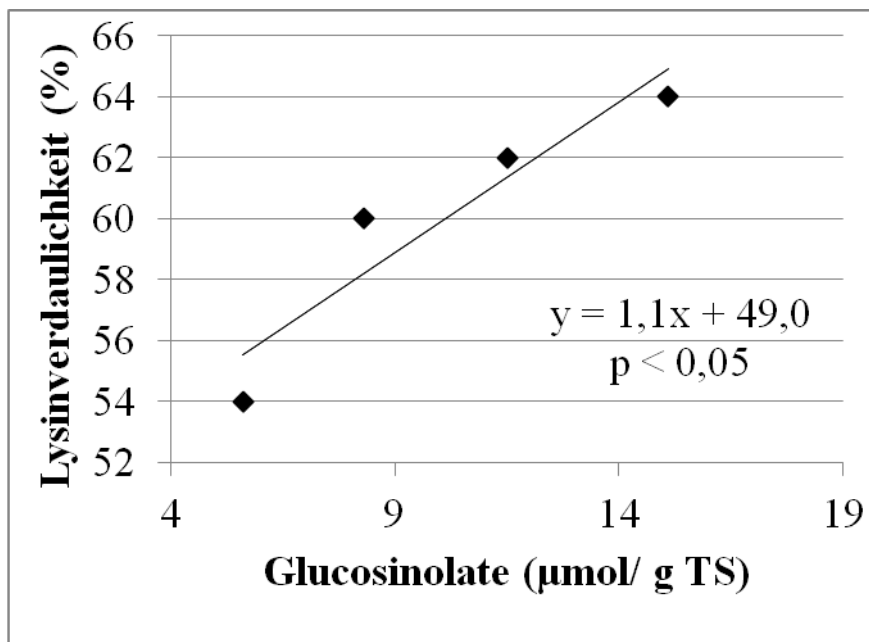
halt an NDF bzw. ADF und der pcV dürfte auf die geringe Variation in der chemischen Zusammensetzung dieser RES zurückzuführen sein.

## 4.2. Verdauungsversuch II

Die analysierten Inhaltsstoffe der produzierten RES stimmen mit den Angaben gängiger Futterwerttabellen (AFZ, 2000; NRC, 1998; DLG, 2012) überein (Tab. 5). Mit Erhöhung der Verweilzeit der RES im DT von 45 über 65 und 85 auf 105 min. nahm der Gehalt an GSL ab, und zwar bei gleichzeitiger Reduktion der Gehalte an XP und an reaktivem Lysin ( $p < 0,05$ ). Nach LIU et al. (1994) und TRIPATHI et al. (2000) hängt der Erfolg einer Verminderung des Gehaltes an GSL mit dem Feuchteeintrag über den Dampf, der Temperatur im DT und der Prozessdauer zusammen. Außerdem zeigten NEWKIRK et al. (2003), dass überhitzter Wasserdampf zu einer Proteinschädigung führen kann. Da in vorliegender Studie bei der Produktion der RES 45, 65, 85 und 105 feuchte Hitze durch kombinierten Druck und Wasserdampf genutzt wurde, konnte eine Austrocknung durch überhitzten Wasserdampf vermieden werden. Eine übermäßige Proteinschädigung ist daher auszuschließen, was sich auch durch die relativ moderate Absenkung des Gehaltes an reaktivem Lysin bei steigender Verweilzeit im DT (RES 105 vs. RES 45) zeigte. Aus den beiden unterschiedlichen Verfahren zur Erhitzung der RES lässt sich ableiten, dass gesättigter Wasserdampf in Kombination mit anschließender trockener Hitzebehandlung den Gehalt an GSL am deutlichsten reduziert, ohne sich nachteilig auf die Proteinqualität (AS-Gehalt, reaktives Lysin, NDF-XP) auszuwirken. Dies ist auf den Eintrag von gesättigtem Wasserdampf im ersten Verfahrensschritt zurückzuführen. BUREL et al. (2000) zeigten, dass im RES mit steigendem Wassergehalt in Kombination mit Hitzeeinwirkung der Abbau der GSL erhöht werden kann. Im weiteren Verlauf bewirkte die trockene Hitzeeinwirkung im zweiten Verfahrensschritt eine maximale Verdunstungsrate der Feuchtigkeit im RES und damit verbunden eine maximale Verdampfung von GSL.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Toastung auf die praecaecalen Verdauungsvorgänge lassen sich der nachfolgenden Tabelle 9 entnehmen. Demzufolge schwankt die pcV der AS in den 5 technologisch unterschiedlich behandelten RES um bis zu 11 Prozentpunkte ( $p < 0,05$ ). Die pcV der essentiellen AS war am geringsten für Lysin (54 bis 64%) und am höchsten für Methionin (79 bis 84%). Mit längerer Verweilzeit im Toaster nahm die pcV der AS ab. Damit einhergehend sanken die Gehalte an GSL und reaktivem Lysin im RES; während der Gehalt an NDF anstieg ( $p < 0,05$ ). Es konnte eine signifikante Beziehung zwischen den Gehalten an GSL in den RES und der pcV des Lysins etabliert werden (Abb. 1). Die Prozessbedingungen während der

Herstellung des RES nGSL hatten nur einen geringen Einfluss auf die Proteinverdaulichkeit; es konnten keine Unterschiede im Vergleich zu RES 85 und RES 105 aufgezeigt werden ( $p > 0,05$ ). Auch in dieser Untersuchung liegt die pcV der AS unter den Mittelwerten gängiger Futterwerttabellen (z.B. AMINODAT<sup>®</sup>4.0, 2010). In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die hier verwendete Rapssaat einen extrem hohen Fettgehalt aufwies. Dies führte nach der Fettextraktion zu einer überproportionalen Anreicherung von NDF und ADF in den entsprechenden RES, was wiederum die geringen Verdaulichkeitswerte erklären könnte.



**Abb. 1: Beziehung zwischen standardisierter praecaecaler Lysinverdaulichkeit und dem Glucosinolatgehalt im Rapsextraktionsschrot**  
*Relationship between standardized ileal digestibility of lysine and glucosinolate content*

Analog zu den Ergebnissen für den Verdauungsversuch I waren auch in diesem Versuch die Gehalte an GSL und reaktivem Lysin eng miteinander korreliert. Für den Verdauungsversuch II ermöglichen die definierten und standardisierten Verarbeitungsbedingungen eine eindeutige Zuordnung der chemischen Kenndaten zur Charakterisierung der Proteinqualität zu den ermittelten *in vivo* Daten der pcV des XP und der AS. Es bleibt festzustellen, dass die aus technologischer Sicht mögliche und erwünschte Reduzierung der Gehalte an GSL bei zu intensiver Hitzebehandlung zwangsläufig zu einer Abnahme der pcV des XP und der AS führt. Dies bedeutet für den Einsatz von RES in Rationen für Schweine, dass die Prozessbedingungen (Temperatur, Verweilzeit und Wasserdampf) dahingehend zu optimieren sind, dass eine hohe Reduzierung der Gehalte an GSL erreicht wird, ohne aber die Parameter der Proteinqualität (pcV der AS, Gehalte an reaktivem Lysin und an NDF-XP) nachhaltig

zu beeinträchtigen. Im Endeffekt ist ein tragfähiger Kompromiss zwischen dem Erhalt der Proteinqualität und der angestrebten Reduktion des Gehaltes an GSL im RES zu definieren.

**Tab. 9: Standardisierte praecaecale Verdaulichkeit (%) des Rohproteins und der Aminosäuren in unterschiedlich hergestellten Rapsextraktionsschroten**

*Standardized ileal digestibility (%) of crude protein and amino acids in differently processed rapeseed meals*

	Rapsextraktionsschrot				nGSL	SF	p- Wert
	45	65	85	105			
Rohprotein	66 <sup>a</sup>	65 <sup>ab</sup>	63 <sup>bc</sup>	60 <sup>c</sup>	62 <sup>c</sup>	1,2	0,002
Essentielle Aminosäuren							
Arginin	82 <sup>a</sup>	81 <sup>ab</sup>	80 <sup>ab</sup>	79 <sup>b</sup>	79 <sup>b</sup>	0,7	0,028
Histidin	75 <sup>a</sup>	73 <sup>ab</sup>	71 <sup>bc</sup>	69 <sup>c</sup>	71 <sup>bc</sup>	1,1	0,007
Isoleucin	71 <sup>a</sup>	71 <sup>ab</sup>	71 <sup>ab</sup>	68 <sup>b</sup>	71 <sup>ab</sup>	1,1	0,218
Leucin	75 <sup>a</sup>	74 <sup>ab</sup>	72 <sup>bc</sup>	71 <sup>c</sup>	72 <sup>ac</sup>	1,2	0,030
Lysin	64 <sup>a</sup>	62 <sup>ab</sup>	60 <sup>b</sup>	54 <sup>c</sup>	55 <sup>c</sup>	1,1	< 0,0001
Methionin	84 <sup>a</sup>	82 <sup>ab</sup>	80 <sup>cd</sup>	79 <sup>d</sup>	81 <sup>bc</sup>	0,7	0,001
Phenylalanin	75 <sup>a</sup>	74 <sup>a</sup>	72 <sup>ab</sup>	70 <sup>b</sup>	72 <sup>ab</sup>	1,4	0,054
Threonin	66 <sup>a</sup>	64 <sup>ab</sup>	61 <sup>bc</sup>	60 <sup>c</sup>	61 <sup>bc</sup>	1,3	0,016
Tryptophan	68 <sup>a</sup>	67 <sup>ab</sup>	64 <sup>bc</sup>	63 <sup>c</sup>	64 <sup>c</sup>	1,5	0,014
Valin	68 <sup>a</sup>	67 <sup>a</sup>	67 <sup>a</sup>	64 <sup>b</sup>	67 <sup>ab</sup>	1,1	0,092
Nichtessentielle Aminosäuren							
Alanin	72 <sup>a</sup>	71 <sup>ab</sup>	69 <sup>ac</sup>	67 <sup>c</sup>	68 <sup>bc</sup>	1,4	0,036
Asparaginsäure	67 <sup>a</sup>	66 <sup>ab</sup>	63 <sup>bc</sup>	61 <sup>c</sup>	62 <sup>c</sup>	1,3	0,003
Cystein	70 <sup>a</sup>	68 <sup>a</sup>	61 <sup>b</sup>	59 <sup>b</sup>	60 <sup>b</sup>	1,4	< 0,0001
Glutaminsäure	79 <sup>a</sup>	78 <sup>a</sup>	75 <sup>bc</sup>	73 <sup>c</sup>	75 <sup>b</sup>	1,0	0,0001
Glycin	65 <sup>a</sup>	63 <sup>ab</sup>	62 <sup>ab</sup>	60 <sup>b</sup>	60 <sup>b</sup>	1,2	0,037
Prolin	62 <sup>ac</sup>	65 <sup>a</sup>	63 <sup>ab</sup>	59 <sup>c</sup>	60 <sup>bc</sup>	1,7	0,010
Serin	67 <sup>a</sup>	66 <sup>a</sup>	61 <sup>b</sup>	62 <sup>b</sup>	62 <sup>b</sup>	1,6	0,004

<sup>a,b,c</sup> Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Rapsextraktionsschroten ( $p < 0,05$ ), SF = gemittelter Standardfehler.

## 5. Schlussfolgerungen

Trotz der Hinweise auf eine Überhitzung von RES während des Produktionsprozesses in einigen deutschen Ölmühlen hat dies nur eine begrenzte Auswirkung auf die Proteinqualität bzw. pcV der AS. Die Gehalte an GSL und reaktivem Lysin sind eng miteinander korreliert, was auf eine Reduzierung der Lysinverfügbarkeit für RES mit geringeren Gehalten an GSL hindeutet. Die relativ niedrigen pcV des XP und der AS im Vergleich zu Tabellenwerten sind möglicherweise auf die hohen Anteile an NDF und ADF in den geprüften RES zurückzuführen.



Unter definierten Herstellungsbedingungen und bei gleichem Ausgangsmaterial konnte eine negative Beziehung zwischen dem Grad der Hitzebehandlung (Verweilzeit) und der pcV des XP und der AS in den produzierten RES nachgewiesen werden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten aber auch, dass bei feuchtem Erhitzen und anschließendem trockenem Erhitzen bei 107°C im DT eine deutliche Reduktion der Gehalte an GSL erreicht werden kann, ohne dass die Gehalte an verfügbarem Lysin und die pcV der AS wesentlich reduziert werden. Damit werden die Ölmühlen in die Lage versetzt, die Prozessbedingungen während der Verarbeitung von Rapssaat zu RES zu optimieren.

## 6. Literatur

- ABBADI, A., G. LECKBAND, 2011: Rapeseed breeding for oil content, quality, and sustainability. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 113, 1198 – 1206
- AFZ, Ajinomoto Eurolysine, Aventis Animal Nutrition, INRA, ITCF, 2000: AmiPig, Ileal standardised digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs.
- AMINODat<sup>®</sup> 4.0, 2010: Amino acid composition of feedstuffs. Evonik Degussa GmbH, Hanau, Germany.
- BRANDT, M., S.M. ALLAM, 1987: Analytik von TiO<sub>2</sub> im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluss. *Arch. Anim. Nutr.* 37, 453 – 454
- BUREL, C., T. BOUJARD, F. TULLI, S.J. KAUSHIK, 2000: Digestibility of extruded peas, extruded lupin, and rapeseed meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 188, 285 – 298
- COMMISSION DIRECTIVE, 98/64/EC, 1998: Establishing community methods of analysis for the determination of amino acids, crude oils and fats, and olaquinox in feedingstuffs and amending. Directive 71/393/EEC annex part A. Determination of Amino Acids. *Official Journal of the European Communities* L257, 14 – 28
- COMMISSION DIRECTIVE, 2000/45/EC, 2000: Establishing community methods of analysis for the determination of vitamin A, vitamin E and tryptophan in feedingstuffs. Annex part C. Determination of Tryptophan. *Official Journal of the European Communities* L174, 32 – 50
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 2012: <http://datenbank.futtermittel.net> Zugriff 23.10.2012
- EN ISO 9167 – 1:1995, 1995: Rapeseed. Determination of glucosinolates content – Part 1: Method using high-performance liquid chromatography (ISO 9167 – 1:1992)

- FONTAINE, J., U. ZIMMER, P.J. MOUGHAN, S.M. RUTHERFURD, 2007: Effect of heat damage in an autoclave on the reactive lysine contents of soy products and corn distillers dried grains with solubles. Use of the results to check on lysine damage in common qualities of these ingredients. *J. Agric. Food Chem.* 55, 10737 – 10743
- GFE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2002: Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen: Bestimmung der praecaecalen Verdaulichkeit von Aminosäuren beim Schwein – Empfehlungen zur standardisierten Versuchsdurchführung. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 11, 233 – 245
- GFE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2005: Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen: Standardisierte praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren in Futtermitteln für Schweine – Methoden und Konzepte. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 14, 185 – 205
- GFE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2006: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. 1. Auflage, DLGVerlag, Frankfurt/Main.
- GONZÁLEZ-VEGA, J.C., B.G. KIM, J.K. HTOO, A. LEMME, H.H. STEIN, 2011: Amino acid digestibility in heated soybean meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 89, 3617 – 3625
- HURRELL, R.F., K.J. CARPENTER, 1981: The estimation of available lysine in foodstuffs after Maillard reactions. *Prog. Food Nutr. Sci.* 5, 159 – 176
- JANSMAN, A.J.M., W. SMINK, P. VAN LEEUWEN, M. RADEMACHER, 2002: Evaluation through literature data of the amount and amino acid composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 98, 49 – 60
- JENSEN, S.K., Y.G. LIU, B.O. EGGUM, 1995: The effect of heat treatment on glucosinolates and nutritional value of rapeseed meal in rats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 53, 17 – 28
- JEROCH, H., F. SCHÖNE, J. JANKOWSKI, 2008: Inhaltsstoffe von Rapsfuttermitteln und Futterwert für das Geflügel. *Arch. Geflügelk.* 72, 8 – 18
- LIU, Y.-G., M.-Q. ZHOU, M.-L. LIU, 1994: A survey of nutrients and toxic factors in commercial rapeseed meal in China and evaluation of detoxification by water extraction. *Anim. Feed Sci. Technol.* 45, 257 – 270
- LICITRA, G., T.M. HERNANDEZ, P.J. VAN SOEST, 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 347 – 358

- LLAMES, C.R., J. FONTAINE, 1994: Determination of amino acids in feeds: collaborative study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 77, 1362 – 1402
- MOSENTHIN, R., D. JEZIERNY, M. EKLUND, 2007: Untersuchungen zur Bestimmung der standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten von Protein und Aminosäuren aus Körnerleguminosen beim Schwein. [http://www.ufop.de/files/5613/3922/7160/Abschlussber\\_Mosenthin.pdf](http://www.ufop.de/files/5613/3922/7160/Abschlussber_Mosenthin.pdf)  
Zugriff 23.10.2012
- NEWKIRK, R.W., H.L. CLASSEN, M.J. EDNEY, 2003: Effects of prepress-solvent extraction on the nutritional value of canola meal for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 104, 111 – 119
- NRC (National Research Council), 1998: Nutrient requirement of swine, 10<sup>th</sup> rev. edition. National Academy Press, Washington D.C., USA.
- PAHM, A.A., C. PEDERSEN, H.H. STEIN, 2008: Application of the reactive lysine procedure to estimate lysine digestibility in distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Agric. Food Chem.* 56, 9441 – 9446
- REZVANI, M.R., H. KLUTH, M. BULANG, M. RODEHUTSCORD, 2009: Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Rapsextraktionsschroten bei der Legehennen. [http://www.ufop.de/files/8513/3922/7358/UFOP\\_Bericht\\_RES\\_Henne.pdf](http://www.ufop.de/files/8513/3922/7358/UFOP_Bericht_RES_Henne.pdf)  
Zugriff 23.10.2012
- SAS, 2008: SAS User's Guide: Statistics, Version 9.2. SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- SCHÖNE, F., W. SCHUMANN, R. SCHUBERT, H. STEINGASS, C. KINAST, 2006: Stärkeres Toasten bei der Rapsextraktionsschrotherstellung inaktiviert Glucosinolate und verändert die Proteinqualität. 118. VDLUFA-Kongress, Freiburg, Kurzfassung der Referate, S. 297 – 300
- SCHUMANN, W., 2005: Untersuchungen zum Glucosinolatgehalt von in Deutschland erzeugten und verarbeiteten Rapssaaten und Rapsfuttermitteln. *UFOP Schriften*, Heft 27. [http://www.ufop.de/publikationen\\_schriften.php](http://www.ufop.de/publikationen_schriften.php).  
Zugriff 23.10.2012
- SLOMINSKI, B.A., L.D. CAMPBELL, W. GUENTER, 1994: Carbohydrates and dietary fiber components of yellow- and brown seeded canola. *J. Agric. Food Chem.* 42, 704 – 707
- STEINGASS, H., G. KNEER, S. LEHNEN, G. WISCHER, M. RODEHUTSCORD, 2011: Ruminaler Abbau des Rohproteins und der Aminosäuren sowie Verdaulichkeit des unabgebauten Futterrohproteins bei Rapsextraktionsschroten. [http://www.ufop.de/files/8413/3922/7363/UFOP\\_Endbericht\\_RES.pdf](http://www.ufop.de/files/8413/3922/7363/UFOP_Endbericht_RES.pdf)  
Zugriff 23.10.2012

- TRIPATHI, M.K., I.S. AGRAWAL, S.D. SHARMA, 2000. . Effect of physio-chemical treatments on glucosinolates content of various rapeseed–mustard meals. Indian J. Anim. Nutr. 17, 211-216
- VAN SOEST, P.J., V.C. MASON, 1991: The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 32, 45 – 53
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 2006: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA Methodenbuch), Bd. III: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Deutschland.
- WITTKOP, B., R.J. SNOWDON, W. FRIEDT, 2009: Status and perspectives of breeding for enhanced yield and quality of oilseed crops for Europe. Euphytica 170, 131 – 140



Herausgeber:

UNION ZUR FÖRDERUNG VON  
OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V. (UFOP)

Claire-Waldoff-Straße 7 · 10117 Berlin

info@ufop.de · www.ufop.de