

Der Einfluß verschiedener Extrusionsbedingungen auf die Proteinqualität von Sojaschrot und Roggenvollkornschrot

A. E. Harmuth-Hoene, K. Seiler und W. Seibel

Bundforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe, und
Bundforschungsanstalt für Getreide- und Kartoffelverarbeitung,
Detmold

Zusammenfassung

Unter Verwendung eines Creusot-Loire Doppelschnecken-Extruders (Typ BC 45) wurden Sojaschrot und Roggenvollkornschrot bei unterschiedlichen Prozeßparametern (12 % und 18 % Wassergehalt im Rohmaterial, 129 °C und 165 °C Massetemperatur bei Sojaschrot, 12 % und 18 % Wassergehalt im Rohmaterial und 165 °C Massetemperatur bei Roggenvollkornschrot, Schneckenumdrehungsgeschwindigkeit für alle Proben 150 U/min) zu Extrudaten verarbeitet. Die ernährungsphysiologische Proteinqualität (scheinbare Proteinverdaulichkeit PV, Nettoproteinverwertung NPU und Biologische Wertigkeit BW) der Extrudate wurde im Stickstoffbilanzversuch an wachsenden Ratten geprüft. Im Vergleich zum unbehandelten Ausgangsprodukt wurde keine Verminderung der PV und der NPU in Soja- bzw. Roggenvollkornschrotextrudaten beobachtet. Die Extrusion von Sojaschrot bei 165 °C und 18 % Wassergehalt bewirkte eine geringe, aber signifikante Herabsetzung der BW von 68 % auf 64 %. Ein geringerer Wassergehalt in der Rohware (12 %) bewirkte eine leichte Erhöhung der PV in Sojaextrudaten und der NPU und BW in Roggenvollkornschrotextrudaten.

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß die Extrusion von Sojaschrot und Roggenvollkornschrot bei niedrigem Wassergehalt und Temperaturen bis 165 °C ein schonendes Verfahren darstellt, bei dem die Proteinqualität des Ausgangsmaterials in vollem Umfang erhalten bleibt.

Summary

Using a Creusot-Loire twin-screw extruder (Type BC 45), ground soy bean and whole rye meal were extruded under various processing conditions (12 % and 18 % water content in the raw material, 129 °C and 165 °C product temperature in the case of soy bean, 12 % and 18 % water content, 165 °C product temperature in the case of rye, screw speed of 150 R/min, for all samples). The nutritional protein quality (apparent protein digestibility PV, net protein utilization NPU, and biological value BW) of the extrudates was determined by the nitrogen balance technique in growing rats. Compared to the untreated raw material no decrease in PV or NPU was noted for extrudates made from soy bean or rye. Extrusion of ground soy bean at 165 °C and 18 % water content caused a significant decrease of BW from 68 % to 64 %. The lower water content (12 %) induced a slight improvement of PV in soy extrudates and of NPU and BW in rye extrudates.

The results indicate that the extrusion at low water content and moderate temperature can safely be used to process ground soy bean and whole rye meal without any damage to the nutritional protein quality.

Schlüsselwörter: Kochextrusion, Sojaschrot, Roggenvollkornschrot, Stickstoffbilanz, Ratten

Einleitung

Die Extrusion stärkehaltiger Rohmaterialien bei erhöhter Temperatur (High-Temperature-Short-Time-Extrusion-Cooking) wird heute in zunehmendem Maße in der Lebensmittelproduktion verwendet. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, daß bei relativ geringem Zeit- und Energieaufwand aus den genannten Rohstoffgemischen gut haltbare Lebensmittel herzustellen sind, deren Nährstoffzusammensetzung je nach Bedarf in weiten Grenzen variiert werden kann. Die Extrusion wird vorwiegend für die Verarbeitung von Getreideprodukten und anderen pflanzlichen Rohstoffen zu Knabberartikeln, Frühstückszerealien, Knäckebrot, Kinder- und Säuglingsnahrung, „textured plant protein“ (TPP) und instantisierten Produkten angewendet. Das Extrusionsverfahren bietet die Möglichkeit, Pflanzenprodukte mit biologisch hochwertigem tierischem Eiweiß aus Trockenmilch und Fischmehl oder mit Ballaststoffen, Vitaminen und essentiellen Mineralstoffen und Spurenelementen anzureichern. Ein weiterer Vorteil der Extrusion ist die Zerstörung hitzelabiler toxischer bzw. ernährungshemmender Faktoren wie Trypsin-Inhibitoren, Hämagglutinine und Lipoxidase in Sojabohnen und Gossypol in Baumwollsaatmehl. Die vielfachen Anwendungen der Kochextrusion auf dem Lebensmittel-sektor wurden von Harper (7) und Linko (13) zusammengefaßt.

Die Extrusion erfolgt unter Anwendung von Druck, erhöhten Temperaturen sowie Scherkräften und kann zu tiefgreifenden physikalisch-chemischen Veränderungen der Lebensmittelinhaltsstoffe führen (14). Thermische Prozesse verursachen Umlagerungen im Proteinmolekül (Denaturierung), und es kommt zu Reaktionen zwischen freien Aminogruppen des Proteins mit reduzierenden Zuckern (Maillardreaktion) und mit Degradationsprodukten oxidiertes Lipide (1, 9). Hierdurch kann die biologische Verfügbarkeit essentieller Aminosäuren, vor allem des Lysins, beeinträchtigt werden. Obwohl die Verweilzeit des Ausgangsmaterials im Extruder maximal nur 90 Sekunden beträgt, ist nicht auszuschließen, daß die ernährungsphysiologische Qualität des Proteins durch die Extrusion herabgesetzt wird.

In einer früheren Arbeit haben wir unter Einhaltung verschiedener Extrusionsparameter (Massetemperatur, Schneckenumdrehungszahl und Feuchtigkeitsgehalt des Ausgangsmaterials) die Proteinqualität von Weizenvollkornextrudaten im Tierversuch (NPU und scheinbare Proteinverdaulichkeit) geprüft und keine wesentlichen Veränderungen gegenüber unbehandeltem Weizenvollkornschrot festgestellt (4). In der vorliegenden Arbeit wurde die Proteinqualität in Extrudaten aus Soja- und Roggenvollkornschrot bei unterschiedlichen Extrusionsbedingungen im Tierversuch geprüft. Neben anderen Getreidearten sind Roggenschrote und extrahierte Sojaschrote wichtige Rohstoffe für die Extrusion in der Lebensmittel-Industrie.

Material und Methoden

Die Zusammensetzung der beiden verwendeten Schrote ist in Tabelle 1 dargestellt. Bei den Untersuchungen wurde der Rohfasergehalt nach der Weender-Methode bestimmt und der Rohfettgehalt nach vorangegangener Petroläther-Extraktion mit anschließendem Säureaufschluß ermittelt; der Proteingehaltsbe-

Tab. 1. Rohstoffanalyse von Roggenvollkornschrot Ernte 1982 und von extrahiertem Sojaschrot.

		Roggenvollkornschrot	extrah. Sojaschrot
Feuchtigkeitsgehalt	%	12,8	12,5
Aschegehalt	% TS	1,6	6,5
Rohfasergehalt (Weender)	% TS	1,8	7,2
Rohfettgehalt (PE-Extr., Säureaufschl.)	% TS	1,3	2,4
Rohproteingehalt (N × 6,25)	% TS	10,4	47,0
Ges. Kohlenhydrate (als Diff. berechn.)	% TS	84,9	36,9
Brennwert			
	kJ/100 g	1455	1327
	kcal/100 g	342	312

stimmung lagen die Ergebnisse der Kjeldahl-Methode mit dem Umrechnungsfaktor 6,25 zugrunde.

Vor der Extrusion wurde der Roggen auf einer Hammermühle mit eingelegtem Rundlochsieb (4 mm Rundloch bei 3000 Umdrehungen des Mahlkreuzes) vermahlen. Die Rohstoffmuster wurden daraufhin 24 h vor der Extrusion auf den geforderten Feuchtigkeitsgehalt aufgesetzt.

Das entfettete Sojaschrot wurde beim Hersteller nach der Fettextraktion ebenfalls mittels Hammermühlen vermahlen, hierbei wurden jedoch Rundloch-Einlegesiebe mit 3-mm-Bohrungen verwendet. Das Mahlerzeugnis war daher insgesamt etwas feiner als das Roggenmahlprodukt, was jedoch keinen Einfluß auf das sich anschließende Extrusionsverfahren hatte.

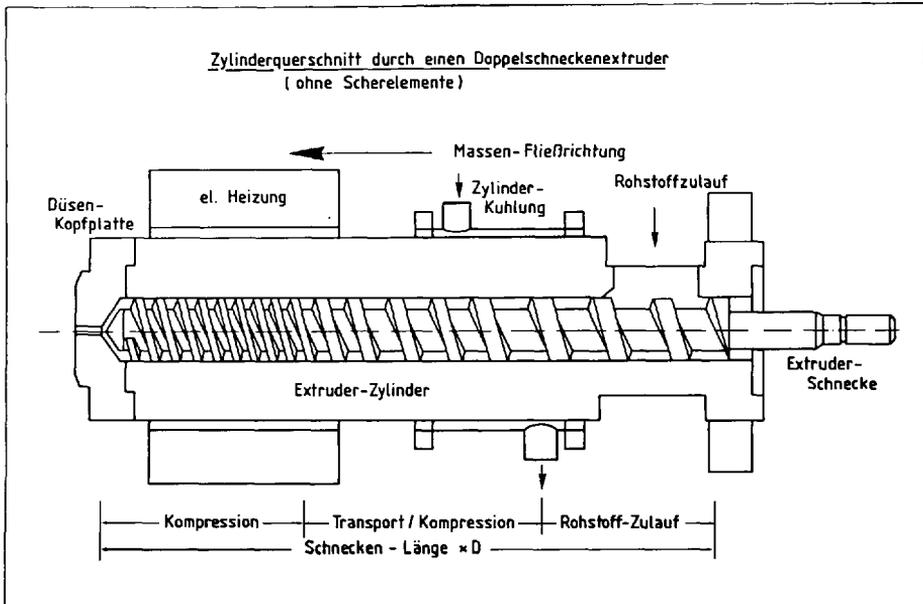


Abb. 1. Zylinderquerschnitt durch einen Doppelschneckenextruder (ohne Scherelemente).

Tab. 2. Extrusionsbedingungen für Roggenvollkornschrot bei Verwendung eines Doppelschneckenextruders ohne Scherelemente an der Schnecken spitze, Rohstoffeinspeisung 18 kg/h.

Muster Nr.	Wasser- gehalt %	Schnecken- Umdrehung Upm	Masse- Temperatur °C	Massedruck bar
R1	12,8	Muster nicht extrud.		
R2	12,3	150	165	295
R3	18,3	150	165	185

Die Feuchtigkeitskonditionierung des Sojaschrotes erfolgte ebenso wie bei dem verarbeiteten Roggen einen Tag vor der Extrusion, um eine möglichst gleichmäßige und homogene Benetzung des Mahlerzeugnisses und eine direkt damit zusammenhängende, gleichförmige Extrusion des Produktes zu erzielen.

Für die Extrusion der beiden genannten Rohstoffe wurde ein gleichsinnig drehender Doppelschnecken-Extruder (Creusot-Loire) mit 45-mm-Schneckendurchmesser verwendet. Zur schonenderen Behandlung der Mahlprodukte wurden die üblicherweise an der Schnecken spitze vorhandenen, gegenläufigen Schneckenelemente gegen einfache Transportelemente ausgetauscht (Abb. 1). Der Anteil der Scherkräfte auf die Desintegration der im Bereich der Extruder kopfplatte plastifizierten Rohstoffmasse konnte damit so klein wie möglich gehalten werden.

Die Extrusionsbedingungen sind in den Tabellen 2 und 3 dargestellt.

Für Roggen wurden zwei Rohstoff-Feuchtigkeitsgehalte gewählt, die bei gleichen Massetemperaturen extrudiert wurden. Trotz der eingesetzten zwei 5-mm-Rundstrangdüsen sind die Massendrücke besonders bei dem Muster R 2 außergewöhnlich hoch. Einer Zunahme von 6 % im Wassergehalt des Roggenvollkornschrotes steht eine Drucksenkung von ca. 100 bar gegenüber und stellt für die Extrusion von Roggen auf einer Creusot-Loire-Maschine bereits schon bei früheren Extrusionsversuchen beobachtete Druckverhältnisse dar. Die Rohstoff-Einspeisung von 18 kg/h ist für diesen Maschinentyp normal.

Die Extrusion des extrahierten Sojaschrotes wurde bei zwei Massetemperaturbereichen von 125 °C und 165 °C sowie zwei unterschiedlichen Schrotfeuchtigkeitsgehalten durchgeführt. Aus der Tabelle 3 ist zu entnehmen, daß trotz der Doppelschnecke ohne Scherelemente bei einem Wassergehalt von 12,3 % die angestrebte Massetemperatur von 125 °C nicht einzuhalten war. Bei Betrachtung der Massedrücke, deren Messung im Inneren des Plastifizierungsraumes durch die Kopf-

Tab. 3. Extrusionsbedingungen für extrahiertes und vermahlenes Sojaschrot bei Verwendung eines Doppelschneckenextruders ohne Scherelemente an der Schnecken spitze, Rohstoffeinspeisung 18 kg/h.

Muster Nr.	Wasser- gehalt %	Schnecken- Umdrehung Upm	Masse- Temperatur °C	Massedruck bar
S1	12,5	Muster nicht extrud.		
S2	12,3	150	129	287
S3	12,3	150	165	178
S4	17,8	150	125	182
S5	17,8	150	165	100

platte des Extruders erfolgt, wird die bemerkenswerte Druckabnahme mit ansteigendem Feuchtigkeitsgehalt bei gleichbleibender Mengeneinspeisung deutlich. Eine Veränderung im Expansionsverhalten trotz des erhöhten Rohfettgehaltes gegenüber Roggen wurde nicht beobachtet.

Nach Beendigung der Extrusionsversuche erfolgte eine Trocknung der Produkte auf 8 % Wassergehalt und eine Vermahlung auf eine Partikelgröße von 500 µm mit einer Spezialmühle der Bauart Bizerba (Zahnscheibenmühle).

Tierversuche

Entsprechend ihrem Proteingehalt wurden aus den unbehandelten Schrotten und Extrudaten Futtermischungen mit einem Proteinanteil von 10,2 % (Soja) und 8,8 % (Roggen) hergestellt (Tab. 4). Aufgrund des hohen Proteingehaltes in Sojaschrot wurde den Sojadiäten (I–V) außer Fett, Vitaminen und Mineralstoffen noch Maisstärke und Saccharose zugesetzt. Der Proteingehalt des Roggenschrotes war zu niedrig, um einen Proteinanteil von 10 % in den Versuchsdiäten VI–VIII zu erreichen, der für N-Bilanzversuche erforderlich ist. Aus diesem Grunde wurden weitere drei Versuchsdiäten auf Roggenbasis unter Zusatz von 2 % Casein hergestellt (IX–XI).

Als Versuchstiere wurden 88 männliche Sprague-Dawley-Ratten im Absetzalter verwendet. Die Tierhaltung erfolgte unter Standardbedingungen (22 °C, 65 % relative Luftfeuchtigkeit, 12 Stunden Licht-Dunkel-Zyklus). Nach einer dreitägigen Adaptationsperiode wurden die Ratten in 11 gewichtsgleiche Gruppen eingeteilt und in individuelle Stoffwechsellkäfige gesetzt. Die 11 Versuchsdiäten wurden über einen Zeitraum von 10 Tagen in steigenden Mengen von 11 bis 13 g/Tier und Tag gefüttert. Die Tiere hatten freien Zugang zu Wasser. Während der 10tägigen Bilanzperiode wurden täglich Fäzes und Urin gesammelt und der Futterverbrauch nach Korrektur für verstreutes Futter registriert. Zu Beginn und nach Abschluß der N-Bilanzperiode wurde das Gewicht der Ratten registriert.

Fäzes wurden über 48 Stunden bei 70 °C getrocknet. Der Urin wurde in 3 ml 2N H₂SO₄ aufgefangen und bis zur Analyse bei –18 °C aufbewahrt. Die Stickstoffbestimmung in Fäzes, Urin und Futter wurde mit Hilfe der Mikro-Kjeldahl-Analyse durchgeführt.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe der einfachen Varianzanalyse und des Scheffe-Tests. Der Einfluß von Extrusionstemperatur und Wassergehalt im Ausgangsmaterial auf die Proteinqualität der Sojaextrudate wurde unter Verwendung der zweifachen Varianzanalyse ermittelt.

Tab. 4. Zusammensetzung der Futtermischungen.

	Sojadiäten I–V	Roggendiäten VI–VIII	Roggendiäten + Casein IX–XI
Schrot %	24	89	87
Maisstärke %	49	–	–
Saccharose %	16	–	–
Maiskeimöl %	3	3	3
Vitamine ¹⁾ %	2	2	2
Mineralstoffe ²⁾	6	6	6
Casein %	–	–	2
Protein %	11,2	8,8	10,2

¹⁾ Vitaminvormischung C 1004, Altromin.

²⁾ Mineralstoff- und Spurenelementvormischung C 1000, Altromin.

Tab. 5. Ergebnisse der Stickstoffbilanz mit Sojaschrot vor und nach Extrusion, Mittelwerte \pm s.d. (n = 8).

Sojaschrot	Gewichts- zunahme g/10 T	N-Zufuhr g/10 T	N-Ausscheidung		Proteinver- daulichkeit (scheinbar) %	NPU %	biologische Wertigkeit %
			Fäzes mg/10 T	Urin mg/10 T			
I unbehandelt	32,5 ^a \pm 2,9	2,104 ^a \pm 0,027	400 ^a \pm 18	545 ^a \pm 28	81,0 ^a \pm 1,0	55,1 ^{ab} \pm 1,4	68,0 ^a \pm 1,5
II extrudiert 12,3 ¹⁾ ; 129 ²⁾	32,2 ^a \pm 3,5	2,194 ^b \pm 0,036	352 ^b \pm 17	584 ^{ab} \pm 53	84,0 ^b \pm 0,7	57,4 ^a \pm 2,2	68,3 ^a \pm 2,6
III extrudiert 12,3; 165	33,5 ^a \pm 2,4	2,185 ^b \pm 0,031	363 ^b \pm 31	587 ^{ab} \pm 50	83,4 ^{bc} \pm 1,4	56,6 ^a \pm 2,2	67,8 ^a \pm 2,4
IV extrudiert 17,8; 125	32,3 ^a \pm 2,0	2,096 ^a \pm 0,038	384 ^{ab} \pm 22	597 ^{ab} \pm 35	81,7 ^{ac} \pm 1,0	53,2 ^b \pm 2,0	65,1 ^{ab} \pm 1,9
V extrudiert 17,8; 165	33,0 ^a \pm 2,5	2,084 ^a \pm 0,032	384 ^{ab} \pm 24	614 ^b \pm 37	81,6 ^{ac} \pm 1,2	52,1 ^b \pm 1,4	63,9 ^b \pm 1,8

Mittelwerte in der gleichen Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben weisen statistisch signifikante Unterschiede auf ($P < 0,05$).
¹⁾ H₂O-Gehalt der Rohware (%), ²⁾ Masstemperatur (°C).

Ergebnisse

Sojaschrot und Extrudate aus Sojaschrot

Die Ergebnisse der N-Bilanz (Tab. 5) zeigen, daß die Proben, die mit einem geringeren Wassergehalt (12,3 %) extrudiert wurden (Diäten II und III) eine leicht, aber signifikant verbesserte scheinbare Proteinverdaulichkeit (84,0 bzw. 83,4 %) gegenüber dem unbehandelten Sojaschrot (81,0 %) und der Diätgruppe V (81,6 %) haben. Die NPU – der Anteil des Futterproteins, der zur Synthese von körpereigenem Protein verwendet wurde – ergab ebenfalls in den Diätgruppen II und III etwas höhere Werte (57,4 bzw. 56,6 %) als Sojaschrot, das mit höherem Wassergehalt (17,8 %) extrudiert wurde (53,2 % Diät III, 52,1 % Diät IV). Die in den Diätgruppen IV und V erzielten Werte für Proteinverdaulichkeit und NPU waren vergleichbar mit den entsprechenden Werten für die Kontrolldiät I. Die biologische Wertigkeit – der Anteil des resorbierten Stickstoffs, der zur Synthese von körpereigenem Protein verwendet wurde – war nach Verfütterung der Diäten IV und V leicht gegenüber den Diäten II und III erniedrigt. Der Einfluß von Wassergehalt und Masstemperatur während der Extrusion auf die N-Bilanz wurde mit Hilfe der zweifachen Varianzanalyse ausgewertet und zeigte einen signifikanten Einfluß des Wassergehaltes ($P < 0,001$), während die Masstemperatur ohne Auswirkung blieb. Eine Wechselwirkung wurde nicht festgestellt (Tab. 6). Die Gewichtszunahme war in allen Gruppen einheitlich zwischen 32 und 33 g/10 Tage.

Roggenvollkornschrot und Extrudate aus Roggenvollkornschrot

Im Vergleich zu unbehandeltem Roggenvollkornschrot (67,5 % Diät VI) war die scheinbare Proteinverdaulichkeit der Extrudate in den Diäten VII und VIII (ohne Caseinzusatz) deutlich verbessert (71,3 bzw. 70,9 %, Tabelle 7). In den Diäten IX bis XI, denen 2 % Casein zugesetzt wurde, wurde dieser Unterschied nicht mehr beobachtet. Ähnlich wie bei der Verfütterung von Sojaschrotextrudaten bewirkte ein niedriger Wassergehalt (12,3 %) während der Extrusion eine leichte Verbesserung der NPU und der biologischen Wertigkeit sowohl in den Diäten ohne wie mit Caseinzusatz. Die Extrusion bei höherem Wassergehalt (Diäten VIII und XI) zeigte keine Veränderung beider Werte gegenüber den entsprechenden unbehandelten Kontrollschroten (Diäten VI und IX). Erwartungsgemäß wurden durch den Zusatz von 2 % hochwertigem Protein in Form von Casein

Tab. 6. Ergebnis der zweifachen Varianzanalyse.

Parameter	FG ¹⁾	PV		NPU		BW	
		F	P ²⁾	F	P	F	P
H ₂ O-Gehalt i. d. Rohware	1	26,83	<0,001	37,05	<0,001	20,69	<0,001
Masstemperatur	1	0,69	>0,05	1,84	>0,05	1,28	>0,05
Wechselwirkung	1	0,32	>0,05	0,05	>0,05	0,25	>0,05

¹⁾ Freiheitsgrad.

²⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit für das Verwerfen der Nullhypothese.

Tab. 7. Ergebnisse der Stickstoffbilanz mit Roggenvollkornschrot vor und nach Extrusion, Mittelwerte \pm s.d. (n = 8).

Roggenvollkornschrot	Gewichts- zunahme	N-Zufuhr	N-Ausscheidung		Proteinver- daulichkeit	NPU	biologische Wertigkeit
			Fäzes	Urin			
	g/10 T	g/10 T	mg/10 T	mg/10 T	%	%	%
VI unbehandelt	19,0 ^a \pm 3,0	1,613 ^a \pm 0,103	526 ^a \pm 64	523 ^a \pm 57	67,5 ^a \pm 2,1	35,0 ^a \pm 3,2	51,9 ^a \pm 3,8
VII extrudiert 12,3 ¹⁾ ; 165 ²⁾	18,9 ^a \pm 2,1	1,552 ^a \pm 0,069	439 ^b \pm 40	474 ^b \pm 35	71,3 ^b \pm 1,8	40,1 ^b \pm 2,3	56,3 ^b \pm 3,0
VIII extrudiert 18,3; 165	16,7 ^a \pm 2,4	1,575 ^a \pm 0,063	458 ^{ab} \pm 49	521 ^a \pm 31	70,9 ^b \pm 2,8	37,9 ^{ab} \pm 2,3	53,4 ^{ab} \pm 1,7
IX unbehandelt + 2 % Casein	26,4 ^a \pm 2,3	1,935 ^a \pm 0,030	560 ^a \pm 33	537 ^a \pm 20	71,1 ^a \pm 1,4	43,3 ^a \pm 1,5	60,9 ^a \pm 1,6
X extrudiert 12,3; 165 + 2 % Casein	22,8 ^a \pm 3,2	1,883 ^b \pm 0,053	517 ^a \pm 31	490 ^b \pm 38	72,5 ^a \pm 1,4	46,5 ^b \pm 2,6	64,1 ^b \pm 2,9
XI extrudiert 18,3; 165 + 2 % Casein	24,0 ^a \pm 4,5	1,896 ^{ab} \pm 0,020	559 ^a \pm 42	513 ^{ab} \pm 31	70,5 ^a \pm 2,2	43,0 ^a \pm 1,3	61,0 ^a \pm 2,1

Mittelwerte in der gleichen Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben weisen statistisch signifikante Abweichungen auf (P < 0,05).
¹⁾ H₂O-Gehalt der Rohware (%), ²⁾ Masstemperatur (°C).

die Nettoproteinverwertung (NPU) und die biologische Wertigkeit deutlich erhöht. Unter gleichen Versuchsbedingungen (10) ergab die Verfütterung einer Semisynthetischen Diät mit einem 10%igen Proteingehalt in Form von Casein folgende Werte (5):

$$PV = 90,5\%; \quad NPU = 76,6\%; \quad BW = 88,8\%.$$

Diskussion

Bei den Werten der Proteinverdaulichkeit, Nettoproteinverwertung und biologische Wertigkeit handelt es sich um die scheinbaren (apparenten) Werte. Auf eine Korrektur für den Anteil des endogenen Stickstoffes in Fäzes und Urin wurde verzichtet, weil eine exakte Erfassung des endogenen Kotstickstoffes, basierend auf der N-Ausscheidung von Ratten bei Verfütterung einer proteinarmen Diät, im Falle von ballaststoffreichen Futtermischungen nicht möglich ist.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß durch die Extrusion von Sojасhrot und Roggenvollkornschrot unter den angegebenen Bedingungen weder die Proteinverdaulichkeit noch die Nettoproteinverwertung beeinträchtigt werden. Mit Ausnahme der Diät V trifft dies auch für die biologische Wertigkeit zu. Offensichtlich ist die thermische Belastung während der Extrusion zu kurzzeitig, um Reaktionen auszulösen, die sich nachhaltig auf die Proteinqualität auswirken. Allerdings enthielten die verwendeten Schrote keine nennenswerten Mengen an reduzierenden Zuckern, so daß die Bildung von Maillardprodukten vernachlässigbar ist. Auffallend ist die günstige Beeinflussung der Proteinverdaulichkeit durch die Extrusion von Soja- und Roggenvollkornschrot bei niedrigem Wassergehalt, die wir auch in früheren Versuchen mit Extrudaten aus Weizenvollkornschrot beobachtet haben (4). Eine befriedigende Erklärung für diesen Effekt läßt sich zur Zeit nicht finden. Möglicherweise verursacht der niedrige Wassergehalt in Verbindung mit dem hohen Massendruck einen besseren Aufschluß des Proteinmoleküls. Dies könnte zur Folge haben, daß das Protein für die proteinspaltenden Enzyme des Magen-Darm-Traktes besser zugänglich ist.

Durch thermische Behandlung wird der in Soja enthaltene Trypsininhibitor (TI) inaktiviert. Nach Untersuchungen von Mustakas und Mitarb. (16) steigt die Inaktivierung proportional mit dem Produkt aus Verweilzeit und Wassergehalt an, wobei höhere Temperaturen eine stärkere Wirkung zeigen. Demzufolge ist es unwahrscheinlich, daß die erhöhte Proteinverdaulichkeit bei niedrigem Wassergehalt in den von uns untersuchten Sojaextrudaten durch eine effektivere TI-Inaktivierung verursacht wurde. Ein Einfluß der vor dem Austritt durch die Düsen gemessenen Massetemperatur auf die Proteinverdaulichkeit und Nettoproteinverwertung wurde bei den Sojaschrotextrudaten nicht beobachtet.

In Modellversuchen mit Weizenmehlprotein beobachteten Hansen und Mitarb. (3) ebenfalls eine Verbesserung der Proteinverdaulichkeit bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 13 % gegenüber 24 % und 33 % bei Temperaturen von 108 °C und 150 °C, die jedoch bei höheren Temperaturen (174 °C) nicht mehr auftrat. Unsere Ergebnisse mit Sojaextrudaten bestätigen die anderer Autoren, daß die Extrusion bei Temperaturen bis ca.

165 °C keine ins Gewicht fallende Proteinschädigung verursacht. In Untersuchungen von Mustakas und Mitarb. an Sojamehl ergab sich eine deutliche Korrelation zwischen TI-Inaktivierung und PER-Werten. Ein maximaler PER-Wert von 2,15 (Casein = 2,50) wurde bei 135 °C, einer Verweilzeit im Extruder von 2 Minuten und – im Gegensatz zu unseren Ergebnissen – bei 20 % Wassergehalt beobachtet. Jeunink und Cheftel (11) fanden außer einer geringfügigen Verringerung des verfügbaren Lysins keine Veränderungen in der Aminosäurezusammensetzung und keine nennenswerte Bildung von Lysinoalanin bzw. Lanthionin in Sojaproteinextrudaten (145 °C, 32 % Wasser, 32 s Verweilzeit). Gemische aus Soja und Mais bzw. aus Soja und Sorghum, die bei 171 °C und niedrigem Wassergehalt extrudiert wurden, ergaben PER-Werte, die denen des Caseins vergleichbar waren (10). In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Mustakas und Mitarb. (16) fanden Molina und Mitarb. (15) eine deutliche Abhängigkeit der Werte für PER und NPR (Net Protein Ratio) von der Inaktivierung des TI in Extrudaten aus Gemischen von Mais und Sojabohnen sowie aus Reis und Sojabohnen. Maximale Werte wurden bei Produkttemperaturen von 153 °C bzw. 161 °C erreicht. Diese Werte lagen nur geringfügig niedriger als diejenigen, die für eine Casein-Standard-Diät erzielt wurden.

Ein strikter Vergleich der Ergebnisse verschiedener Autoren hinsichtlich der ernährungsphysiologischen Proteinqualität von Extrudaten ist häufig nicht möglich. Die während der Extrusion auftretenden chemisch-physikalischen Veränderungen werden durch eine Reihe von Prozeßparametern wie Wassergehalt im Ausgangsmaterial, Gehäusetemperatur, Schneckendrehzahl, Schneckenkonfiguration, Massestrom und Düsendurchmesser hervorgerufen, die in unterschiedlichem Maße Verweilzeit, Schwerwirkung, Druck und Temperaturprofil im Produkt beeinflussen. Hinzu kommt, daß vorwiegend kein einheitliches Rohmaterial, sondern Gemische unterschiedlicher Zusammensetzung und Herkunft extrudiert werden und vielfach keine Angaben über die Proteinqualität des unbehandelten Ausgangsmaterials vorhanden sind.

Proteinverdaulichkeit und NPU lagen in dem von uns untersuchten unbehandelten Sojaschrot deutlich niedriger als die entsprechenden Werte, die *in vivo* (2, 8) und *in vitro* (12) von anderen Autoren in Sojaproteinkonzentrat bzw. Sojamehl beobachtet wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, daß durch den relativ hohen Ballaststoffgehalt in Sojaschrot (26 %) die scheinbare Proteinverdaulichkeit und die NPU deutlich herabgesetzt werden (6).

Vergleichbare Untersuchungen über die Proteinqualität von Extrudaten aus Roggenvollkornschrot sind uns nicht bekannt. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen eigene Beobachtungen (4) an Weizenvollkornextrudaten, daß durch die Extrusion – bei Vermeidung extremer Temperaturen – eine leichte Erhöhung der scheinbaren Proteinverdaulichkeit und der NPU bewirkt wird, insbesondere bei niedrigem Wassergehalt im Ausgangsprodukt.

Insgesamt haben unsere Untersuchungen gezeigt, daß die Extrusion von Sojaschrot und Roggenvollkornschrot bei Einhaltung der angegebenen Prozeßbedingungen keine Schädigung der ernährungsphysiologischen Eigenschaften der Proteinkomponente verursacht.

Danksagung

Für die zuverlässige Betreuung der Versuchstiere und gewissenhafte Durchführung der analytischen Arbeiten danken wir Frau R. Manderla und Frau P. Crocoll. Für die exakte Durchführung der Extrusionsversuche danken wir Herrn F. Sielemann.

Literatur

1. Dworschak E (1980) Nonenzyme browning and its effect on protein nutrition. *Crit Rev Food Sci* 13:1–40
2. Eggum BO, Jacobsen I (1976) Amino acid digestibility of protein concentrates given separately or together with cereal grains. *J Sci Food Agric* 27:1190–1196
3. Hansen LP, Johnston PH, Ferrel RE (1975) The assessment of thermal processing on wheat flour proteins by physical, chemical, and enzymatic methods. In: Friedman M (ed) *Protein Nutritional Quality of Foods and Feeds, Part 2. Quality Factors – Plant Breeding, Composition, Processing and Antinutrients*. Marcel Dekker Inc New York, p 393–415
4. Harmuth-Hoene AE, Seiler K (1984) Einfluß verschiedener Extrusionsbedingungen auf die Proteinqualität bei Weizenvollkorn-Extrudaten. *Getreide Mehl u Brot* 8:245–249
5. Harmuth-Hoene AE: Unveröffentlichte Ergebnisse
6. Harmuth-Hoene AE, Müller H (1984) Der Einfluß von Guarmehl auf die endogene Stickstoffausscheidung bei Ratten, bestimmt mit Hilfe der ¹⁵N-Tracer-Technik. *Z Ernährungsw* 23:31–40
7. Harper JM (1979) Food extrusion. *Crit Rev Food Sci Nutr* 11:155–215
8. Holm H, Fossum K, Eide WB (1973) Chemical and biological evaluation of protein quality of locally produced and processed full-fat soya bean flour from three Tanzanian villages. *J Sci Food Agric* 24:333–341
9. Hurrell RF, Carpenter KJ (1977) Maillard reactions in foods. In: Hoyem T, Kvale O (eds) *Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*. Applied Science Publishers, London
10. Jansen GR, Harper JM, O'Deen L (1978) Nutritional evaluation of blended foods made with a low-cost extruder cooker. *J Food Sci* 43:912–915
11. Jeunink J, Cheftel JC (1979) Chemical and physiochemical changes in field bean and soy bean proteins texturized by extrusion. *J Food Sci* 44:1322–1325 + 1328
12. Köhler F (1981) Veränderungen der ernährungsphysiologischen und physikalischen Eigenschaften von Getreidemahlerzeugnissen durch Extrusion unter besonderer Berücksichtigung proteinangereicherter Produkte. Dissertation, Berlin, D83 Nr. 119/FB 13
13. Linko P (1983) Recent progress in the art of extrusion cooking. *Progress in Food engin., Proc. Symp. of Food Working Party of E.F.C.E., Küssnacht, Schweiz, Forster Verlag*, 593–609
14. Linko P, Colonna P, Mercier C (1981) High-temperature, short-time extrusion cooking. *Adv. Cereal Sci Technol* IV:145–235
15. Molina MR, Braham JE, Bressani R (1983) Some characteristics of whole corn: whole soy bean (70:30) and rice: whole soy bean (70:30) mixtures processed by simple extrusion cooking. *J Food Sci* 48:434–437
16. Mustakas GC, Albrecht WJ, Bookwalter GN, McGhee JE, Kwolek WF, Griffin WL, Jr (1970) Extruder processing to improve nutritional quality, flavour, and keeping quality of full-fat soy flour. *Food Technology* 24:1290–1295

Eingegangen 31. Januar 1985

Für die Verfasser:

Frau Dr. A. E. Harmuth-Hoene, Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Engesserstraße 20, D-7500 Karlsruhe