

Die Proteinqualität von Knäckebrot und extrudiertem Trockenflachbrot aus Roggenvollkornschrot

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

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

Zusammenfassung: Im Stickstoffbilanzversuch an wachsenden Ratten wurde untersucht, wie sich unterschiedliche Herstellungsverfahren auf die ernährungsphysiologische Eiweißqualität von Trockenflachbrot aus Roggenvollkornschrot auswirken. Es wurden geprüft: unbehandeltes Roggenvollkornschrot, Knäckebrot, extrudiertes Flachbrot ohne und mit 2,5 % und 5 % Gehalt an Saccharose. Die scheinbare Proteinverdaulichkeit (PV) der 5 Proben lag zwischen 69 und 72 % und wurde weder durch das Herstellungsverfahren noch durch den unterschiedlichen Zuckergehalt beeinträchtigt. Gegenüber dem unbehandelten Ausgangsprodukt (NPU = 41 %, BW = 59 %) waren Nettoproteinverwertung und biologische Wertigkeit in konventionell hergestelltem Knäckebrot (NPU = 35 %, BW = 48 %) und in extrudiertem Flachbrot mit 5 % Zucker (NPU = 35 %, BW = 51 %) signifikant verringert ($P < 0,05$). In extrudiertem Flachbrot ohne und mit einem Zusatz von 2,5 % Saccharose blieben NPU und BW des Ausgangsmaterials im wesentlichen erhalten. Die Ergebnisse zeigen, daß im Vergleich zum Backprozeß die Extrusion von Trockenflachbrot ein schonenderes Verfahren ist. Wird jedoch zur Geschmacksverbesserung bei der Herstellung von extrudiertem Flachbrot mehr als 2,5 % Zucker zugesetzt, ist mit einer Proteinschädigung, vermutlich durch die Bildung von Maillard-Reaktionsprodukten, zu rechnen.

Summary: The effect of various processing methods used for the production of dry flatbread from ground whole rye on the nutritional protein quality were investigated by means of the nitrogen balance method in growing rats. The following products were tested: untreated ground whole rye, baked crisp bread, extruded flatbread without and with the addition of 2.5 % and 5.0 % of saccharose. The apparent protein digestibility (PD) of the 5 samples varied between 69 % and 72 % and was neither affected by the method of processing nor by the difference in sugar content. Compared to the untreated raw material (NPU = 41 %; BV = 59 %) net protein utilization and biological value in crisp bread baked by the traditional method (NPU = 35 %; BV = 48 %) and in extruded flat bread with 5 % sugar (NPU = 35 %; BV = 51 %) were significantly reduced ($P < 0.05$). In extruded flatbread without and with 2.5 % sugar, NPU and BV of the raw material were essentially maintained. The results indicate that in comparison with the baking process the extrusion of flatbread is more suitable to protect the protein quality. The addition of more than 2.5 % sugar caused protein damage in extruded flatbread, presumably as a result of Maillard reactions.

Schlüsselwörter: Roggenvollkornschrot, Knäckebrot, extrudiertes Flachbrot, Stickstoffbilanz, Proteinqualität

Einleitung

Der deutsche Verbraucher verzehrt im Durchschnitt 75,5 kg Brot/Jahr. In diesem Gesamtverzehr ist ein Anteil von 1,2 % Knäckebrot enthalten. Dieser Brottyp ist in den 20er Jahren aus Schweden und Finnland zu uns gekommen und seit dieser Zeit ein fester Bestandteil im deutschen Brotsortiment. In den skandinavischen Ländern wird das Knäckebrot heute noch oft als Lochbrot in runder Form hergestellt. Hierbei werden überwiegend Vollkorn-Mahlerzeugnisse (insbesondere Roggen) verwendet, es sind aber auch Knäckebrotarten aus Mehlen oder Mehl-Schrot-Mischungen am Markt.

Knäckebrot entspricht den Empfehlungen der Ernährungswissenschaft, da es reich an Mineralstoffen, Vitaminen und Ballaststoffen ist. Aufgrund des niedrigen Feuchtigkeitsgehaltes (kleiner als 10 %) ist Knäckebrot die energiereichste Brotsorte (ca. 1500 kJ/100 g). Die Mindesthaltbarkeit beträgt mehr als ein Jahr, mit Ausnahme der mit Ölsamen bestreuten Knäckebrote.

Neben Knäckebrot sind seit etwa 10 Jahren extrudierte Trockenflachbrote am Markt, die mit Hilfe des „High-Temperature Short-Time-Extrusion Cooking“ (Hochtemperatur-Kurzzeit-Extrusion) hergestellt werden. Diese neue Verfahrenstechnik weicht deutlich von der klassischen Knäckebrotherstellung ab. Der Marktanteil der extrudierten Trockenflachbrote am gesamten Flachbrot-Markt wird bereits auf über 20 % geschätzt.

Da bekannt ist, daß bei der klassischen Brotherstellung beim Backen in der Kruste Eiweißschädigungen entstehen (1), erschien es sinnvoll, diese beiden Verfahren zur Herstellung von Knäckebrot bzw. Trockenflachbrot hinsichtlich ihres Einflusses auf die Eiweißqualität vergleichend zu untersuchen.

Methodik

Herstellung von Knäckebrot (traditionelles Verfahren)

Das klassische Herstellungsverfahren verwendet überwiegend Roggen- bzw. Weizenvollkorn-Mahlerzeugnisse neben anderen Rezepturbestandteilen. Sehr wichtig ist die Teigbereitung bei der Herstellung der Knäckebrote. Es ist üblich, auf 100 Teile Schrot etwa 125 Teile Wasser und 1,0 bis 2,0 Teile Sauerteig einzusetzen. Nach intensiver längerer Knetung und damit verbundener Quellung der stärkehaltigen Bestandteile hat der Teig am Ende des Knetvorganges eine schaumartige Konsistenz, die um so besser die „eingeschlagene“ Luft bindet und damit zur Teiglockerung beiträgt, je optimaler der Teig während des Knetvorganges durch Eizugabe und/oder Anwendung von Kühlsystemen abgekühlt wurde. Unmittelbar vor der Teigübergabe vom Kneten auf das gemehlte Ofenband beträgt die Teigtemperatur ca. -2°C , deren Einhaltung aus prozeßtechnischen Gründen bis in die Einlaufzone des Backofens auf das endlose Netzband eingehalten werden sollte. Bei einer Backzeit von ca. 10' beträgt die Ofeneingangstemperatur ca. 450°C und fällt gegen den Ofenauslauf auf ca. 120°C ab, die Kerntemperatur des Knäckebrottes erreicht dabei eine Temperatur von $92-102^{\circ}\text{C}$.

Da bei dieser Backzeit die bereits vor dem Backprozeß geteilten Teigstücke einer intensiven Einwirkung der Backhitze unterliegen, müssen die abgebackenen Knäckebrotstücke nach Verlassen des Ofens an den Rändern von verbrannten Randstücken befreit werden. Dieser Vorgang erfolgt durch Sägevorrichtungen und

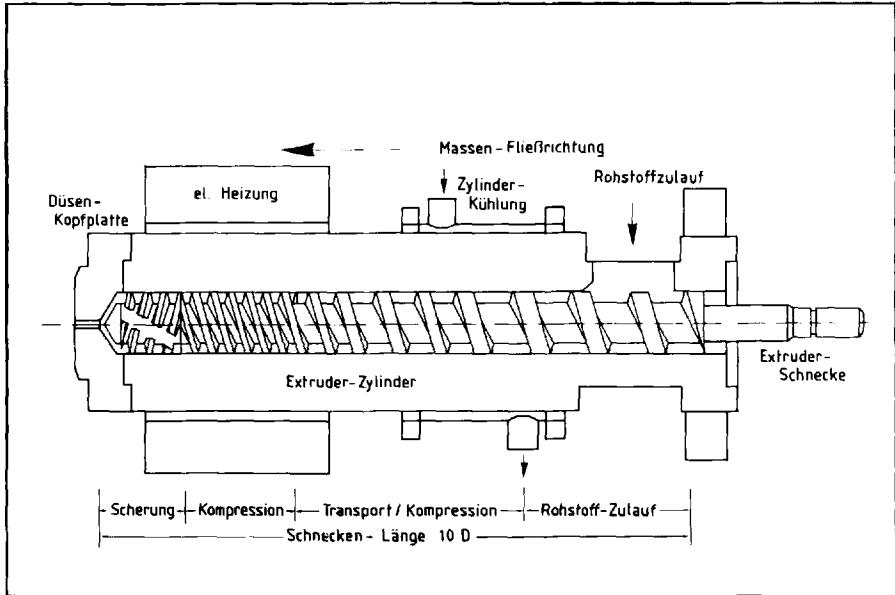


Abb. 1. Schemaskizze eines Doppelschnecken-Extruders im Querschnitt.



Abb. 2. Schneckenanordnung in einem Doppelschnecken-Extruder.

kann zu Sägeabfällen bis zu 10 % der hergestellten Knäckebrotproduktion führen; diese Abfälle finden in der Tierfutterherstellung Verwendung. Nach der Produktabkühlung auf entsprechenden Bandstraßen werden die Knäckebrote mit einer Stapeltemperatur von etwa 30–40 °C verpackt und zum Versand gebracht (2, 3, 4).

Extrusion von Trockenflachbrot

Bei dieser Herstellung verwendet man Doppelschnecken-Extrudermaschinen mit sich gleichsinnig drehenden Doppelschnecken (Abb. 1, 2). Als Rohstoffe finden die gleichen stärkehaltigen Rohstoffe mit entsprechenden Zutaten Verwendung, wie sie bei der Knäckebrotherstellung üblich sind.

Bei Rohstoff-Feuchtigkeitsgehalten von ca. 14–16 % verläuft die Vollkornschrot-Extrusion bei ca. 115–120 °C Massetemperatur, 80 bar Massedruck und einer Verweilzeit von etwa 120–150 s. Normale Produktkapazitäten liegen bei 500 kg/h Trockenflach-Extrudaten, die mit einer Extrudat-Bandgeschwindigkeit von etwa 25 m/s aus dem Düsenkopf des Extruders austreten.

Das Band der Trockenflach-Extrudate wird durch eine Abziehmaschine perforiert und in gleichlange Stücke unterteilt sowie einem infrarotbeheizten Bräunungssofen zugeleitet. Die austretenden Extrudatscheiben werden anschließend in Abkühlungsbändern auf Verpackungstemperaturen von 30–40 °C gekühlt und schließlich durch automatisch arbeitende Verpackungsmaschinen zu versandbereiten Gebinden gepackt. Die Energieeinsparung beträgt 90 % gegenüber der klassischen Knäckebrotherstellung. Die verfahrenstechnischen Unterschiede in der Herstellung von Knäckebrot und Trockenflachbrot sind in Tabelle 1 dargestellt.

Nach den beschriebenen Verfahren wurden Knäckebrot und extrudiertes Flachbrot aus dem gleichen Ausgangsmaterial (Roggenvollkornschrot) hergestellt. Bei der Extrusion von Flachbrot wurden 2,5 % bzw. 5,0 % Saccharose zugesetzt, da bei erhöhten Temperaturen und Drücken während des Extrusionsprozesses in Anwesenheit von Getreideproteinen Maillard-Reaktionen die Aminosäureverfügbarkeit einschränken können (6). Zusätzlich wurde das unbehandelte Roggenvollkornschrot in die Untersuchungen einbezogen. Der Gehalt an verschiedenen Inhaltsstoffen der geprüften Proben ist in Tabelle 2 angegeben.

Tierversuche

Entsprechend ihrem Proteingehalt wurden aus dem Roggenvollkornschrot und aus den daraus hergestellten Produkten durch Zumischung von Vitaminen, Mineralstoffen, Maiskeimöl und Maisstärke Futtermischungen mit einem Proteingehalt von 8 % zusammengestellt (Tab. 3). 40 männliche Sprague-Dawley-Ratten im Absetzalter (40–50 g) wurden in Einzelkäfigen unter Standardbedingungen gehalten (22 °C, 65 % relative Feuchtigkeit, 12 Stunden Licht-Dunkel-Zyklus). Nach einer 3tägigen Adaptationsperiode wurden die Tiere in 5 gewichtsgleiche Gruppen einge-

Tab. 1. Backen von Knäckebrot vs. Extrudieren von Trockenflachbrot, verfahrenstechnische Unterschiede.

	Kneten Zeit (min.)	Temperatur (°C)	Erhitzen Zeit (min.)	Temperatur (°C)
Knäckebrot				
Backofen	10	+2	8–10	92–102
Trockenflachbrot				
Extruder	–	+18	1,5–2,0	115–120

Tab. 2. Zusammensetzung der im Fütterungsversuch verwendeten Muster.

Muster	Feuchtigkeit %	Protein ¹⁾ i. d. T. S. %	Fett i. d. T. S. %	Gesamtballast- stoffe ²⁾ i. d. T. S. %	Asche i. d. T. S. %	Lysin ³⁾ g/16 g N
1 Roggenvollkornschrot	10,4	10,2	1,7	16,5	2,8	2,79
2 Knäckebrot aus Roggenvollkornschrot	7,7	10,6	1,7	15,5	2,9	2,14
3 extrudiertes Flachbrot aus Roggenvollkornschrot	8,7	9,7	1,7	16,2	2,7	2,49
4 extrudiertes Flachbrot aus Roggenvollkornschrot (2,5 % Saccharose)	8,6	9,3	1,7	15,6	2,9	2,75
5 extrudiertes Flachbrot aus Roggenvollkornschrot (5 % Saccharose)	8,2	9,2	1,7	15,2	2,9	2,46

¹⁾ N × 6,25 ²⁾ unlösliche und lösliche Ballaststoffe, bestimmt nach der Methode von Asp., N. G. et al. (5)³⁾ Die Aminosäurenanalyse (Ionenaustauschchromatographie nach Säurehydrolyse) wurde dankenswerterweise von Herrn Prof. Ebersdobler, Kiel, durchgeführt.

Tab. 3. Zusammensetzung und Proteingehalt der Futtermischungen in Prozent.

Roggenvollkornschrot, Knäckebrot oder extrudiertes Flachbrot	86,0
Maisstärke	5,5
Maiskeimöl	2,5
Vitaminmischung ¹⁾	2,0
Mineralstoffmischung ²⁾	4,0
Rohprotein (N × 6,25)	8,0

¹⁾ In 2 g sind enthalten 1500 IE Vit. A, 50 IE Vit. D₃, 15 mg Vit. E, 1 mg Vit. K₃, 2 mg Vit. B₁, 2 mg Vit. B₂, 1,5 mg Vit. B₆, 3 µg Vit. B₁₂, 5 mg Nikotinsäure, 5 mg Pantothersäure, 1 mg Folsäure, 20 µg Biotin, 100 mg Cholin, 10 mg P-Aminobenzoesäure, 10 mg Inosit, 2 mg Vit. C.

²⁾ In 4 g sind enthalten 633 mg Ca, 533 mg P, 33 mg Mg, 233 mg Na, 153 mg K, 320 mg Cl, 11,3 mg Fe, 6,0 mg Mn, 1,3 mg Zn, 333 µg Cu, 26,7 µg J, 16,7 µg Mo, 300 µg F.

teilt und erhielten über 7 Tage täglich 12 g der Versuchsdiäten bei freiem Zugang zu Trinkwasser. Während der letzten 4 Tage wurden die Tiere zur Ermittlung der N-Bilanz in individuelle Stoffwechselkäfige umgesetzt. Urin und Fäzes wurden täglich gesammelt, und der Futterverbrauch wurde nach Korrektur für verstreutes Futter ermittelt. Zu Beginn und nach Abschluß der 4tägigen Bilanzperiode wurde das Gewicht der Tiere registriert. Die Stickstoffbestimmung in Fäzes, Urin und Futter wurde nach der Mikrokjeldahlmethode unter Verwendung des „Kjeltec Auto 1030 Analysators“ durchgeführt. Die folgenden Parameter wurden ohne Korrektur für endogene Stickstoffverluste (scheinbare Werte) errechnet:

<i>Proteinverdaulichkeit (PV):</i>	Der Anteil der Stickstoffzufuhr, der vom Organismus resorbiert wird.
<i>Nettoproteinverwertung (NPU):</i>	Der Anteil der Stickstoffzufuhr, der im Organismus verbleibt.
<i>Biologische Wertigkeit (BW):</i>	Der Anteil des resorbierten Stickstoffes, der im Organismus verbleibt.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe der einfachen Varianzanalyse und des Scheffé-Testes.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Stickstoffbilanz sind in Tabelle 4 enthalten. Die Proteinverdaulichkeit liegt für alle 5 Produkte im Bereich zwischen 69 % und 72 % und wird weder durch das Herstellungsverfahren (Backen bzw. Extrusion) noch durch den unterschiedlichen Zuckergehalt beeinträchtigt. Dagegen sind NPU und biologische Wertigkeit in konventionell hergestelltem Knäckebrot (35 % bzw. 48 %) signifikant geringer ($P < 0,05$) als im Ausgangsmaterial (41 % bzw. 59 %). Bei dem durch Extrusion hergestellten Flachbrot ohne Zuckerzusatz wurde keine wesentliche Verminderung von NPU bzw. BW festgestellt. Der Zusatz von 2,5 % Saccharose bei der Herstellung von extrudiertem Flachbrot verursachte noch

Tab. 4. Ergebnisse der Stickstoffbilanz bei Verfütterung von Knäckebrot und 3 Extrudaten, hergestellt aus dem gleichen Roggenvollkornschrot. Mittelwerte \pm S. D. (n = 8).

Diät	Muster	N-Zufuhr mg/4 T	N-Ausscheidung		PV ¹⁾ %	NPU ²⁾ %	BW ³⁾ %	Gewichts- zunahme g/4 T
			Urin mg/4 T	Fäzes mg/4 T				
1	Roggenvollkorn- schrot	660 ^a \pm 63	186 ^a \pm 23	206 ^a \pm 28	68,9 ^a \pm 2,5	40,7 ^a \pm 3,0	59,1 ^a \pm 2,7	9,8 ^a \pm 1,8
2	Knäckebrot	612 ^{ab} \pm 54	226 ^b \pm 20	173 ^{ab} \pm 20	71,7 ^a \pm 1,3	34,8 ^b \pm 2,4	48,5 ^c \pm 3,1	8,6 ^a \pm 2,1
3	extrudiertes Flachbrot	552 ^b \pm 45	174 ^a \pm 16	164 ^b \pm 23	70,4 ^a \pm 3,0	38,6 ^{ab} \pm 3,2	54,9 ^{ab} \pm 2,6	8,5 ^a \pm 1,5
4	extrudiertes Flachbrot (2,5 % Saccharose)	591 ^{ab} \pm 45	177 ^a \pm 19	170 ^{ab} \pm 24	71,3 ^a \pm 3,6	41,4 ^a \pm 3,8	58,0 ^a \pm 2,8	9,0 ^a \pm 2,2
5	extrudiertes Flachbrot (5 % Saccharose)	572 ^{ab} \pm 54	194 ^{ab} \pm 28	178 ^{ab} \pm 22	69,0 ^a \pm 1,9	35,2 ^b \pm 2,8	51,0 ^{bc} \pm 3,8	8,4 ^a \pm 1,3

Mittelwerte in der gleichen Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben weisen statistisch gesicherte Unterschiede auf, P < 0,05

¹⁾ PV = Proteinverdaulichkeit (scheinbare),

²⁾ NPU = Nettoproteinverwertung (scheinbare),

³⁾ BW = biologische Wertigkeit (scheinbare)

keine deutliche Veränderung, während hingegen die Erhöhung des Zuckergehaltes auf 5,0 % einen signifikanten Abfall der NPU von 41 % auf 35 % und der biologischen Wertigkeit von 59 % auf 51 % verursachte ($P < 0,05$).

Diskussion

Frühere Untersuchungen an Extrudaten aus Weizenvollkorn (7) sowie Sojaschrot und Roggenvollkornschrot (8) hatten gezeigt, daß die Extrusion bei Massetemperaturen bis 165 °C ein schonendes Verfahren ist, bei dem die Proteinqualität des Ausgangsmaterials erhalten bleibt. Dies wird durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt. Wird jedoch zur Geschmacksverbesserung Zucker bei der Herstellung von extrudiertem Flachbrot zugesetzt, so kommt es zu einer mehr oder weniger starken Schädigung der Proteinqualität. Wie man aus anderen Untersuchungen weiß, ist dies auf die Maillard-Reaktion zwischen der endständigen Aminogruppe des Lysins und reduzierenden Zuckern zurückzuführen. Der Lysingehalt im Getreideprotein ist im Vergleich zu anderen Nahrungsproteinen relativ gering und limitiert die ernährungsphysiologische Eiweißqualität von Getreideprodukten. Es ist daher erklärlich, warum eine Schädigung dieser wichtigen Aminosäure zu einer deutlichen Beeinträchtigung der NPU und biologischen Wertigkeit führt.

Die Herstellung von Knäckebrötchen erfolgte ohne Zusatz von Zucker bei einer Kerntemperatur von 92–102 °C (Tab. 1). Unter Umständen kann es während des Backvorganges zur Ausbildung von Peptidbrücken zwischen der endständigen Aminogruppe des Lysins und Amidgruppen anderer Aminosäuren kommen (9). Dies beeinträchtigt die biologische Verfügbarkeit sowohl des Lysins als auch anderer essentieller Aminosäuren. Die vorliegenden Ergebnisse lassen erkennen, daß das Ausmaß dieser Schädigung vergleichbar ist mit der, die in extrudierten Flachbroten mit 5 % Zuckergehalt beobachtet wurde.

Untersuchungen über die Verdaulichkeit von hitzegeschädigten Proteinen haben ergeben, daß Maillard-Produkte mit niedrigem Molekulargewicht in begrenztem Umfang vom tierischen Organismus resorbiert und über die Niere in unveränderter Form ausgeschieden werden (10). Von den unter Hitzeeinwirkung neu gebildeten Peptidbindungen wird angenommen, daß sie durch die Verdauungsenzyme des Magen-Darm-Traktes nicht gespalten werden und dadurch die Proteinverdaulichkeit beeinträchtigen (9). In den vorliegenden Bilanzversuchen wurde keine Veränderung der Proteinverdaulichkeit durch Hitzebehandlung während des Backens bzw. der Extrusion beobachtet, obwohl Unterschiede in der NPU und biologischen Wertigkeit gefunden wurden. Dies läßt darauf schließen, daß die durch thermische Belastung in Gegenwart oder Abwesenheit von Zucker entstandenen Maillard-Produkte bzw. Peptidbindungen zwar resorbiert wurden, aber für die Synthese von körpereigenem Protein nicht oder nur in begrenztem Umfang verfügbar waren. Dies schließt nicht aus, daß bei einer stärkeren Hitzebehandlung auch die Proteinverdaulichkeit absinken kann.

Die Lysinkonzentrationen in den 5 untersuchten Roggenvollkornprodukten (Tab. 2) lassen eine gewisse Abstufung in Übereinstimmung mit

den Werten für NPU und BW erkennen. Vollständige Übereinstimmung ist nicht zu erwarten, da ein Teil der durch die Erhitzung gebildeten Reaktionsprodukte des Lysins durch die der Aminosäureanalyse vorangehende Säurehydrolyse wieder gespalten wird und das Lysin im Chromatogramm erscheint, obwohl es biologisch nicht verfügbar ist (9).

Insgesamt geht aus den Untersuchungsergebnissen hervor, daß die Extrusion von Flachbrot ein schonenderes Verfahren hinsichtlich der Proteinqualität (NPU und BW) ist als die konventionelle Herstellung von Knäckebrot aus dem gleichen Ausgangsmaterial. Wird jedoch zur Geschmacksverbesserung bei der Extrusion von Flachbrot Zucker in Mengen über 2,5 % zugesetzt, kann es zu einer Eiweißschädigung durch die Bildung von Maillard-Produkten kommen.

Danksagung:

Für die gewissenhafte Durchführung der analytischen Arbeiten und die zuverlässige Betreuung der Versuchstiere danken wir Frau P. Crocoll und Frau R. Manderla.

Literatur

1. Menden E (1983) Bewertung von Backwaren aus ernährungsphysiologischer Sicht. – Getreide Mehl u Brot 37, 10:315–317
2. Rotsch A, Schulz A (1958) Taschenbuch für die Bäckerei und Dauerbackwarenherstellung – Stuttgart: Wiss Verlagsges S 168–169
3. Thomas B (1959) Das Knäckebrot in der Ernährung des modernen Menschen – Hippokrates 30:603–607
4. Ulrichs O (1948) Anlagen für Knäckebrot-Herstellung – Getreide Mehl u Brot 2:29–32
5. Asp NG, Johansson CG, Hallmer H, Siljeström M (1983) Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. – J Agric Food Chem 31:476–482
6. Köhler F (1981) Veränderungen der ernährungsphysiologischen und physikalischen Eigenschaften von Getreidemahlerzeugnissen durch Extrusion unter besonderer Berücksichtigung proteinangereicherter Produkte. – Dissertation D 83 Nr 119/FB 13, Berlin
7. Harmuth-Hoene AE, Seiler K (1984) Einfluß verschiedener Extrusionsbedingungen auf die Proteinqualität bei Weizenvollkornextrudaten. – Getreide Mehl u Brot 38, 8:245–249
8. Harmuth-Hoene AE, Seiler K, Seibel W (1985) Der Einfluß verschiedener Extrusionsbedingungen auf die Proteinqualität von Sojaschrot und Roggenvollkornschrot. – Z Ernährungswiss 24:85–95
9. Mauron J (1975) Ernährungsphysiologische Beurteilung verarbeiteter Eiweißstoffe. – Dt Lebensm-Rdschau 71:27–35
10. Finot PA, Magenat E (1981) Metabolic transit of early and advanced maillard products. – Prog Food Nutr Sci 5:193–207

Eingegangen 30. April 1986

Für die Verfasser:

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