

Die Proteinverdaulichkeit ^{15}N -markierter Weizenkleie und ihre Passagezeit durch den Verdauungstrakt des Menschen

R. Zander, A. Hennig und K. Gruhn

Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Wissenschaftsbereich Tierernährungsschemie (Leiter: Prof. Dr. sc. agr. A. Hennig)

Zusammenfassung: Sechs gesunde Versuchspersonen erhielten neben einer üblichen Diät ^{15}N -markierte Weizenkleie. Die scheinbare Verdaulichkeit des ^{15}N betrug 84 %. Die gastrointestinale Passagezeit variierte zwischen 25 und 35 Stunden.

Summary: Six healthy human subjects were given ^{15}N -labelled wheat bran in addition to a normal diet. The apparent digestibility of ^{15}N was 84 %. The gastrointestinal transit time varied between 25 and 35 h.

Schlüsselwörter: ^{15}N -Weizenkleie, Verdaulichkeit, gastrointestinale Passagezeit

Key words: N-labelled wheat bran, digestibility, gastrointestinal transit time

Einleitung

Bei niedrigem Gehalt der Futtermittel an Rohprotein sind die Unterschiede zwischen scheinbarer und wahrer Verdaulichkeit sehr hoch. Dies beruht auf dem höheren Darmverlust-N, der besonders bei faserreichen Futtermitteln (14) ansteigt.

Versuche mit ^{15}N -markiertem Stroh (37) an Legehennen ergaben, daß durch die hohen Strohzulagen die scheinbare Verdaulichkeit des Proteins gesenkt wurde, die Verdaulichkeit des ^{15}N aber überraschenderweise 55 % betrug. Es wird also tatsächlich ein nicht unbeträchtlicher Anteil der Strohaminosäuren resorbiert und andererseits endogenes und/oder das Protein anderer Rationspartner mit den weitgehend unverdaulichen N-freien Futterbestandteilen über den Kot exkretiert. Die Aminosäurenzufuhr spiegelt also nicht genau die Garnitur der absorbierten Aminosäuren wider.

In der Humanernährung, insbesondere in modernen Industriestaaten, wird der zu geringe Verzehr an Ballaststoffen als begünstigender Faktor zahlreicher Krankheiten angesehen (6, 17, 33, 35). Die Notwendigkeit der verstärkten Aufnahme an Ballaststoffen gab uns Veranlassung, die Verdaulichkeit der N-markierten Weizenkleie beim Menschen zu prüfen. Mit dieser Prüfung ließen sich die Ermittlung der Passagedauer der N-haltigen Teile der Kleie und die Bestimmung des ^{15}N -Ansatzes verbinden.

Kleie wird in Form von „bran flakes“ in unserem Land verstärkt zur Beseitigung des erheblichen Ballaststoffdefizites genutzt.

Material und Methode

4 männliche (Proband 1–4) und 2 weibliche (Proband 5 und 6) Personen im Alter von 25 bis 60 Jahren stellten sich freiwillig als Versuchspersonen zur Verfügung. Die Körpermasse der männlichen Personen schwankte zwischen 70 und 80 kg, die der weiblichen Personen zwischen 55 und 60 kg.

Die tägliche Nahrungsaufnahme betrug für die Versuchspersonen:

	männlich	weiblich
Mischbrot	150 g	90 g
Dauerwurst	150 g	100 g
Schnittkäse	100 g	100 g
Butter	50 g	30 g
Milch	500 g	500 g
Weizenkleie	75 g	50 g

Die Männer nahmen zusätzlich ein einheitliches Mittagessen in einer Gaststätte ein (Kartoffeln, Fleisch, Gemüse).

Die Kleie wurde zum Frühstück um 9 Uhr verzehrt. Nach einer Gewöhnungszeit von 2 Tagen, an denen unmarkierte Kleie verzehrt wurde, erfolgte am 3. Tag die einmalige Applikation der ^{15}N -markierten Weizenkleie. An den zwei folgenden Tagen wurde wieder unmarkierte Kleie verzehrt. Verfahren der einmaligen Applikation eines Futtermittels zu einer Ration wurden bereits erfolgreich angewendet (11, 20, 24).

Um annähernd die Qualität von Nahrungskleie („bran flakes“) zu erhalten, war eine Vorbehandlung der ^{15}N -markierten Kleie notwendig.

Die Kleie wurde mit Wasser benetzt, so daß sie knetfähig wurde. Anschließend erfolgte die Trocknung in einem auf 140°C vorgeheizten Trockenschrank. Die Toasttemperatur betrug $120\text{--}130^\circ\text{C}$. Der Toastprozeß war nach 45–60 min beendet. Die getoastete Kleie enthielt 92 % Trockensubstanz (TS), 14,7 % Rohprotein mit einem ^{15}N -Excess ($^{15}\text{N}'$) von 8,42 Atom%. Die männlichen Probanden nahmen $149,5\text{ mg }^{15}\text{N}'$, die weiblichen $99,7\text{ mg }^{15}\text{N}'$ je Tag auf.

Der Rohfasergehalt der Kleie betrug 6,1 %. Handelsübliche „bran flakes“ enthalten > 10 % Rohfaser. Die Differenz ist auf den verfahrenstechnisch bedingten unterschiedlichen Ausmahlungsgrad des Weizens zurückzuführen.

Vom Zeitpunkt der ^{15}N -Aufnahme an wurde der Harn quantitativ in einem 6-Stunden-Zyklus über 72 Stunden gesammelt.

In jeder Probe ist neben dem N-Gehalt der ^{15}N -Excess massenspektrometrisch am Isonitromat 5200 gemessen worden. Analog erfolgte die Behandlung der Stuhlproben. Jeder Stuhlabsatz bildete eine separate Probe innerhalb des Meßintervalls von 72 Stunden.

Ergebnisse

^{15}N -Exkretion mit dem Harn

Zwischen der 6. und 18. Stunde nach der ^{15}N -Aufnahme weist der Harn-N das Maximum der $^{15}\text{N}'$ -Konzentration mit 0,23 bis 0,24 Atom-% auf. Anschließend vermindert sich der $^{15}\text{N}'$ des Harnes annähernd linear bis

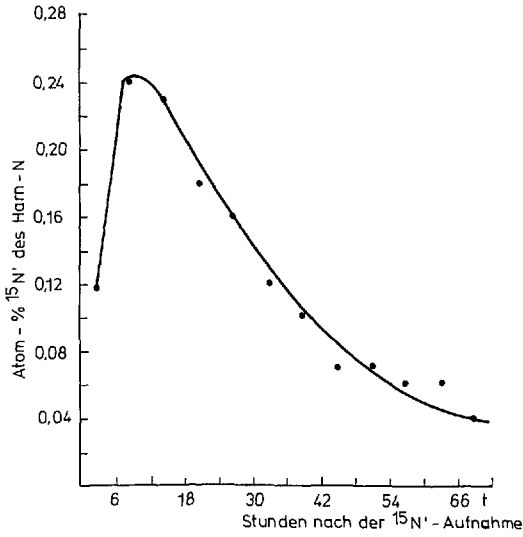


Abb. 1. Markierung des Harn-N.

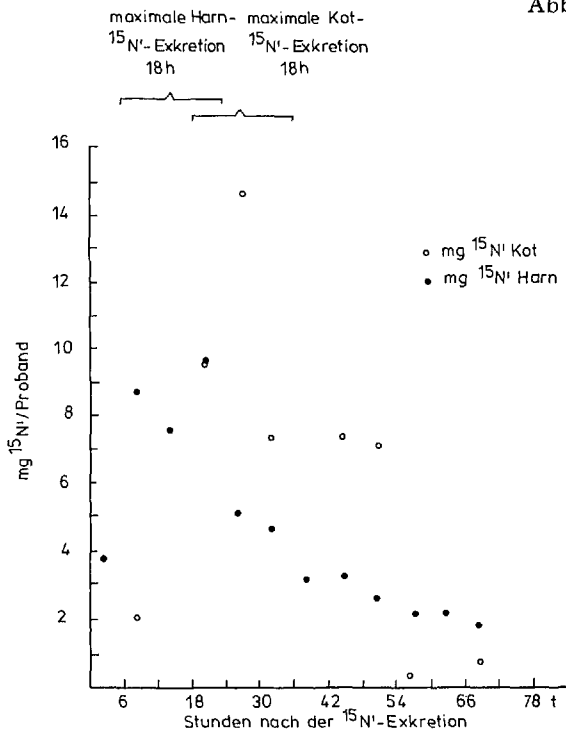


Abb. 2. ^{15}N -Exkretion mit Harn und Kot (Mittelwerte der im Meßintervall angefallenen Proben).

0,10 Atom-% nach etwa 40 Stunden. Der weitere Verlauf der ^{15}N -Häufigkeitskurve bis zum Ende der Meßzeit nach 72 Stunden ist durch einen sehr schwachen Anstieg gekennzeichnet. Die Gerade verläuft fast parallel zur X-Achse (Abb. 1).

Die ^{15}N -Exkretion (mg) erreichte ihr Maximum mit 9,5 mg ^{15}N zwischen der 18. und 24. Stunde nach der ^{15}N -Kleie-Aufnahme infolge der sehr hohen Harnexkretion in diesem Intervall. Von der in der 72stündigen Sammelperiode über den Harn ausgeschiedenen ^{15}N -Masse wurden im Meßzeitraum 6. bis 24. Stunde 52 % des ^{15}N wiedergefunden.

Während des Zeitraumes der letzten 4 Meßpunkte (48.–72. Stunde) schieden die Probanden nur 9,1 mg ^{15}N aus (Abb. 2).

Die Gesamt-N-Exkretion über den Harn variierte bei den männlichen Probanden zwischen 12,5 und 18,1 g N/Tag, während die Frauen 9,1 bzw. 10,4 g N/Tag ausschieden.

^{15}N -Exkretion mit dem Kot

Bereits wenige Stunden nach der ^{15}N -Kleie-Aufnahme ist ein ^{15}N -Excess in den Kotproben nachgewiesen worden. Die zwischen der 20. und 44. Stunde postprandial anfallenden Kotproben wiesen mit 0,78 Atom-% ^{15}N eine deutlich höhere Markierung auf als die restlichen Proben (Tab. 1).

Während in diesem Zeitraum die mit dem Kot ausgeschiedene ^{15}N -Menge zwischen 4,5 und 16,4 mg aufgrund der erheblichen Unterschiede in der Kotmasse variierte, ist die ^{15}N -Ausscheidung je 100 g Kot zwischen den Probanden ausgeglichen und von der ^{15}N -Aufnahme unabhängig.

Tab. 1. N- und ^{15}N -Daten des Kotes.

Probanden-Nr.	Zeit des Kotabsatzes (h nach ^{15}N -Aufnahme)	Kotmasse g	Kot-N mg	^{15}N Atom-%	mg
1	20,40	69,0	609	0,74	4,51
	43,50	281,8	2142	0,68	14,57
	70,30	29,5	365	0,32	1,17
2	22,30	182,0	1591	0,80	12,71
	31,00	83,2	885	0,84	7,44
	46,00	199,9	1451	0,18	2,61
	70,00	221,5	2000	0,04	0,80
3	8,45	43,0	431	0,13	0,56
	26,15	174,8	1682	0,78	13,12
	53,00	63,8	782	0,82	6,25
4	6,30	232,0	2559	0,08	2,05
	26,45	176,5	1908	0,86	16,42
	51,30	190,1	2087	0,38	7,93
	71,45	134,9	1747	0,06	1,05
5	6,20	159,9	1629	0,20	3,26
	24,30	192,5	2060	0,70	14,43
	54,45	10,4	148	0,24	0,35
6	23,30	137,6	1176	0,94	11,07
	44,30	76,7	719	0,69	4,96
	69,00	85,6	765	0,04	0,31

Die Probanden 1 und 3 schieden im Vergleich zu den Probanden 2 und 4 weniger Kot und auch Stickstoff aus. Bei Proband 3 sind es ca. 70 % im Vergleich zu Proband 4. Die sehr unterschiedlichen Kotmassen von Proband 3 erklären auch die sehr hohe Markierung des Kotes zur 53. Stunde nach der ^{15}N -Aufnahme. Von der 46. Stunde an wiesen die Kotproben nur noch eine geringe bis sehr geringe Markierung auf (außer Proband 3), so daß von einer nahezu vollständigen Exkretion des unverdauten ^{15}N der Kleie innerhalb des Versuchszeitraumes ausgegangen werden kann.

Die mittlere scheinbare N-Verdaulichkeit der Weizenkleie beträgt $84,1 \pm 2,2\%$ und war unter unseren Versuchsbedingungen von der Höhe der ^{15}N -Aufnahme unabhängig.

Passagezeit

Die Passagezeit von Nahrungsrückständen durch den Verdauungstrakt wird definiert als die Zeit zwischen der Aufnahme der Nahrung und der Ausscheidung der Hauptmenge der Rückstände (4, 7, 16, 28, 35). Bei einmaliger Applikation nutritiver ^{15}N -Verbindungen kann aus dem ^{15}N des Kotes die mittlere Passagezeit berechnet werden. Da mehr als 80 % des markierten Proteins verdaut werden, wurde die zu den Zeitpunkten t gemessene ^{15}N -Menge des Stuhles kumulativ als Funktion der Zeit dargestellt (Abb. 3). Die Meßwerte der männlichen Probanden (I bis IV, gleiche ^{15}N -Aufnahme) lassen sich durch die quadratische Gleichung (I)

$$y = -0,0078 x^2 + 0,9669 x - 5,8951 \quad (r^2 = 0,86) \quad (\text{I})$$

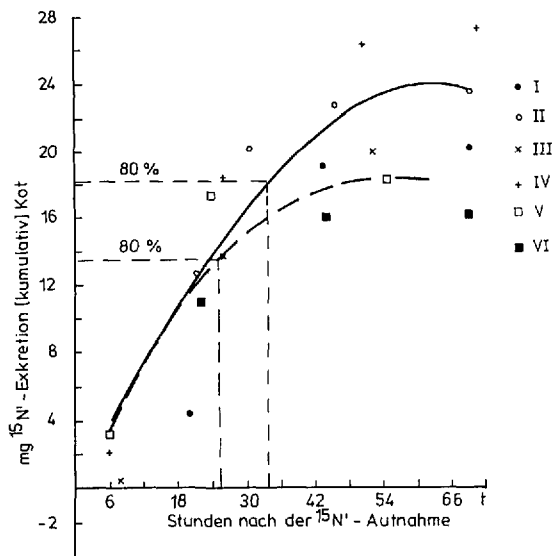


Abb. 3. Kumulative ^{15}N -Exkretion mit dem Kot.

— I-IV männliche Probanden, -- V, VI weibliche Probanden

beschreiben. Für die weiblichen Probanden ergab sich folgende Beziehung (II) (Abb. 3)

$$y = -0,0073 x^2 + 0,7381 x - 0,2882 \quad (r^2 = 0,83) \quad (\text{II})$$

Die erste Gleichung erreicht ihr Maximum bei 62 Stunden. Von diesem Zeitpunkt an ist nur noch eine geringe Markierung des Kotstickstoffes nachzuweisen (Tab. 1), die wahrscheinlich auf eine endogene Sekretion zurückzuführen ist. Die für die beiden weiblichen Probanden errechnete Kurve erreicht bereits nach knapp 51 Stunden ihr Maximum, bedingt durch die extrem kurze Verweildauer der ^{15}N -Kleie bei Proband Nr. V. Bereits nach 24,3 Stunden waren 98 % des insgesamt mit dem Kot ausgeschiedenen ^{15}N nachgewiesen worden. Für die mittlere Passagezeit wird die Zeit zugrunde gelegt, zu der 80 % des Markers im Kot erscheinen. Innerhalb des 72stündigen Sammelintervalls nach der ^{15}N -Kleie-Aufnahme schieden die männlichen Probanden 22,8 mg ^{15}N , die weiblichen $17,2 \pm 0,8$ mg ^{15}N aus. Unter Benutzung der oben angegebenen Gleichungen errechnen sich folgende mittlere Durchgangszeiten:

Proband I bis IV	34,6 Stunden
Proband V und VI	25,4 Stunden

Diskussion

Der Harn weist zwischen der 12. und 18. Stunde nach der ^{15}N -Kleie-Aufnahme die höchste ^{15}N -Konzentration auf. Die markierte Kleie befindet sich während dieses Zeitintervalls im Dünndarm und ist den enzymatischen Verdauungsprozessen ausgesetzt. Teile der Kleie erreichten jedoch den Dünndarm in weniger als 6 Stunden, was durch die Markierung zum ersten Meßzeitpunkt angezeigt wird. Präzisere Aussagen sind aufgrund der aus versuchstechnischen Gründen gewählten Harnsammelperiode von 6 Stunden nicht möglich.

Eine einmalige Gabe ^{15}N -markierten Quarks an Schweine führte zu einer maximalen ^{15}N -Harn-Konzentration zwischen 6. und 11. Stunde postprandial (11). Kasein wird wahrscheinlich etwas schneller abgebaut und absorbiert als das Kleieprotein. Nichtproteingebundenes ^{15}N -Glycin stoffwechselgesunder Patienten, oral appliziert, hat bereits 80 Minuten nach der Aufnahme ein ^{15}N -Maximum im Harn zur Folge (13).

Von der 18. Stunde an erfolgt stetig eine Verdünnung des ^{15}N im Harn durch die Absorption und Exkretion unmarkierten Stickstoffes. Die Absorption im Dünndarm scheint etwa 42 Stunden nach der Nahrungsaufnahme beendet zu sein. Der danach mit dem Harn ausgeschiedene ^{15}N entstammt dem N-Pool des Körpers. Aufgrund des diskontinuierlichen Harnabsatzes und der unterschiedlichen Harnmenge erscheint die maximale ^{15}N -Menge erst im Meßintervall 18. bis 24. Stunde. Bereits 6 Stunden später wird die höchste ^{15}N -Menge in den diesem Meßzyklus zugeordneten Kotproben nachgewiesen, d. h., die ^{15}N -Ausscheidung über den Kot setzt dann verstärkt ein, wenn mehr als 60 % des renal exkretierten ^{15}N bereits im Harn erschienen. Die Zeitspanne, in der der größte Teil (60 %) des ^{15}N mit dem Kot ausgeschieden wird, kann, ähnlich wie beim Harn, mit 18–21 Stunden angesetzt werden. Das würde bedeuten, daß die Kleie

den Dünndarm in etwa 18 Stunden passiert und auch die gleiche Zeit zur Passage des Dickdarmes benötigt. Diese Interpretation der grafischen Darstellung in Abbildung 2 würde mit den in Abbildung 3 berechneten Kurven übereinstimmen.

Die Depression der Verdaulichkeit der Trockensubstanz einer Ration bei Zulage faserreicher Nahrungsmittel ist vom mikrobiellen Abbau der Zellwandfraktion im Dickdarm abhängig (8, 28, 32). Guarmehl wird durch die Darmflora fast vollständig abgebaut, so daß der Zuwachs an exkretierter Trockensubstanz nur gering ist im Verhältnis zu anderen Faserträgern (12, 25). Dies gilt für Mensch und Ratte gleichermaßen (26). Während das Stuhlvolumen negativ mit der Fermentierbarkeit der Faser (30) korreliert ist, besteht für die N-Exkretion eine positive Beziehung. Die Daten der Tabelle 1 demonstrieren eindeutig, daß das Rohprotein aus der Weizenkleie hoch verdaut wird und nicht für die bei faserreicher Ernährung auftretende erhöhte N-Exkretion (18, 19, 26, 27, 29, 34, 36) verantwortlich ist.

Unter darmähnlichen In-vitro-Bedingungen fanden Lathia et al. (21) eine deutliche Verminderung der Proteinverdaulichkeit von mit Kleie angereichertem Roggen- und Weizenbrot. Es bleibt unklar, inwieweit das Kleieprotein selbst durch die von der Kleie ausgehende Hemmung der Proteinverdaulichkeit beeinflußt wird. Das scheinbar verdaute ^{15}N aus Strohprotein wurde bei Legehennen in ähnlicher Weise in den Tierkörper inkorporiert wie das Weizenprotein (38), so daß ein rein mikrobieller Abbau im Dickdarm auszuschließen ist. Andererseits enthalten die Ergebnisse von Lathia et al. (21) Hinweise auf die N-Quelle der Dickdarmflora.

Eine Korrektur der N-Exkretion im Kot durch Subtraktion des bakteriellen N ergibt meist unveränderte Verdauungswerte (1, 2, 24). Der Rohfasergehalt der Kleie von 6,1 % entspricht etwa einer 50%igen Ausmahlung des Weizens. Bei gleichem Rohfasergehalt verdauen Schweine 87 % des Kleieproteins, während bei 16 % Rohfaser nur noch 69 % scheinbar verdaut werden (10). In Tierversuchen mit ^{15}N -markiertem Weizen (15, 37) lagen die Verdaulichkeitswerte für ^{15}N immer höher als die Daten für den Gesamt-N, da die N- und ^{15}N -Pools des Körpers ungleich sind und daher ein wesentlich geringerer Anteil an endogenem ^{15}N im Vergleich zu unmarkiertem N in den Darm fließt. Die scheinbare ^{15}N -Verdaulichkeit wird dadurch nur geringfügig beeinflußt und nähert sich den Werten für die wahre Verdaulichkeit. In Versuchen an Legehennen (37) konnte gezeigt werden, daß die ^{15}N -Verdaulichkeit von Stroh mit zunehmender Strohaufnahme ansteigt, die scheinbare Rohproteinverdaulichkeit der Ration aber signifikant reduziert wird. So dürften auch die differenten Werte bei unterschiedlichem Ausmahlungsgrad der Kleie zu erklären sein.

Im Vergleich zu den Versuchsergebnissen von Harmuth-Hoene (12) schieden die Frauen 30 bis 40 % mehr Harn-N aus. Die Ursache ist eine höhere Proteinaufnahme. Die fäkalen N-Verluste sind in unserem Versuch geringer. Eine erhöhte, faserbedingte Kotrohproteinexkretion kann über die Niere kompensiert werden, so daß die N-Bilanz unverändert bleibt (3, 14).

Kleie beschleunigt, wie der Literatur zu entnehmen ist, die Durchgangszeit der Nahrung durch den Verdauungstrakt, wobei die einzelnen Angaben erheblich variieren und vorwiegend methodisch bedingt sein dürften

(18). Matzkies und Webs (23) konnten mit radioopaken Pellets nach Soja-Kleie-Gaben eine Verkürzung der mittleren Durchgangszeit von 57 h (Kontrolle) auf 44 h messen, die dennoch wesentlich höher liegt als die von uns ermittelten Werte. In der Kontrollgruppe erschienen die ersten Pellets im Stuhl erst nach 35 h. Zu diesem Zeitpunkt waren bereits mehr als 80 % des im Kot nachgewiesenen ^{15}N ausgeschieden. Bei Proband 5 waren bereits nach 19 h 80 % ausgeschieden. Die Recovery-Rate von ^{15}N in von uns durchgeführten Tierversuchen betrug nahezu 100 %. Dies bestätigt die hohe Meßgenauigkeit dieser Methode.

Der sehr zeitige Nachweis von ^{15}N im Kot (Abb. 2) könnte auch intermediär bedingt sein, da im Blut bereits wenige Stunden (6 h) nach der Kleieaufnahme ^{15}N -Verbindungen zirkulieren. Dies beweist der ^{15}N -Excess des Harn-N zum ersten Meßzeitpunkt. Mit unseren Ergebnissen vergleichbare Durchgangszeiten erzielten Kelsay et al. (19), Wrick et al. (36).

Van Dokkum et al. (36) und Spiller et al. (29) ermittelten mit radioopaken Pellets längere Passagezeiten, wobei eine Beziehung zur Fasermenge und deren Partikelgröße bestand. Mathers und Blake (22) verabreichten gesunden Frauen und Männern unterschiedlich geformte radioopake Pellets und fanden mittlere Durchgangszeiten von 39,2 bis 46,4 h. Stephen et al. (31) fanden bei Frauen längere Durchgangszeiten als bei Männern. Nach unseren Ergebnissen besteht hier eher eine umgekehrte Tendenz.

Weizenkleie beeinflusste die Passage durch den Magen und Dünndarm nicht, erhöhte aber die Frequenz des Stuhlabsatzes und den Wassergehalt im Kolon (9). Die Wasserbindungskapazität grober Kleie ist höher als von feingemahlener Kleie (5). Die höhere Frequenz des Stuhlabsatzes könnte durch eine Änderung der myoelektrischen Aktivität des Zäkums (5) mit bedingt sein, während das Wasserbindungsvermögen der Kleie die von den Versuchspersonen beobachtete weichere Konsistenz des Kotes bewirkt.

Literatur

1. Ahrens F, Kaufmann W (1983) The role of hind gut fermentation on protein digestibility. *Kieler Milchwirtsch Forschungsber* 35:285-287
2. Beames RM, Eggum BO (1981) The effect of type and level of protein, fibre and starch on nitrogen excretion patterns in rats. *Br J Nutr* 46:301-313
3. Bergner H, Betzin B, Simon O (1983) Einfluß einer Zulage von teilhydrolysiertem Strohmehl zu einer Fischmehl- oder Ackerbohrendiät auf die N-Bilanz und die Aminosäureausscheidung über den Kot bei Schweinen. *Arch Tierernähr* 33:815-825
4. Björnhag G (1981) Aspekte des Transports von Darminhalt durch den Gastrointestinaltrakt des Geflügels. *Übers Tierernähr* 9:293-306
5. Brodribb J, Condon RE, Cowles V, DeCosse JJ (1980) Influence of dietary fiber on transit time, fecal composition, and myoelectrical activity of the primate right colon. *Dig Dis Sci* 25:260-266
6. Burkitt DP, Walker AR, Painter NS (1974) Dietary fiber and disease. *J Am Med Assoc* 229:1068-1074
7. Cummings JH, Jenkins DJ, Wiggins HS (1976) Measurement of the mean transit time of dietary residue through the human gut. *Gut* 17:210
8. Ehle FR, Robertson JB, van Soest PJ (1982) Influence of dietary fibers on fermentation in the human large intestine. *J Nutr* 112:158-166

9. Florent C, Flourié B (1985) Effet du son et de la pectine sur l'état postprandial. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 20:21–32
10. Futtermitteltabellenwerk (1975) VEB Dtsch Landwirtschaftsverl Berlin
11. Gebhardt G, Köhler R, Zebrowska T (1978) Untersuchungen zur Stickstoff- und Aminosäurenresorption beim Schwein. 2. Mitt. Der Verlauf der ^{15}N -Markierung im Chymus, Harn und Blut. *Arch Tierernähr* 28:11–20
12. Harmuth-Hoene AE (1983) Der Einfluß von Guar auf die Stickstoffbilanz, die Resorption von Mineralstoffen und Spurenelementen und die verdauliche Energie bei 6 weiblichen Versuchspersonen. In: Huth K, Bräunig Ch (Hrsg) *Pflanzenfasern – Neue Wege der Stoffwechseltherapie*, Verlag S Karger, Basel München Paris London New York Tokyo Sydney, S 68–79
13. Hartig W, Matkowitz R, Czarnetzki HD (1983) Untersuchungen zum Proteinumsatz im Postaggressionsstoffwechsel. In: Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Isotopen- und Strahlenforschung, Leipzig, ZFI-Mitteilungen 77:140–147
14. Hennig A (1959) Versuche über den Stickstoff-Grundumsatz und zur biologischen Eiweißwertigkeit bei Schweinen, unter besonderer Berücksichtigung volljähriger weiblicher Tiere. *Arch Tierernähr* 9:29–82
15. Hennig A, Gruhn K (1978) Stoffwechseluntersuchungen mit ^{15}N -markiertem Weizen bei kolostomierten Legehennen. 1. Mitt. Problemstellung, Ausscheidung im Harn und Kot. *Arch Tierernähr* 28:519–530
16. Hinton JM, Lennard-Jones JE, Young ACA (1969) A new method for studying gut transit time using radioopaque markers. *Gut* 10:842–847
17. Kasper H (1980) Die Bedeutung von Ballaststoffen für die Entstehung und Behandlung von Krankheiten. *Therapeutische Umschau/Revue thérapeutique* 37:628–631
18. Kelsay JL (1978) A review of research on effects of fiber intake on man. *Am J Clin Nutr* 31:142–159
19. Kelsay JL, Behall KM, Prather ES (1978) Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects. I. Bowel transit time, number of defecations, fecal weight, urinary excretions of energy and nitrogen and apparent digestibilities of energy, nitrogen, and fat. *Am J Clin Nutr* 31:1149–1153
20. Krawielitzki K, Schadereit R, Evers B, Bock H-D (1983) Methodischer Vergleich verschiedener Tracer und Applikationsformen zur Bestimmung stoffwechselkinetischer Parameter des Gesamtkörperproteins. In: Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Isotopen und Strahlenforschung Leipzig, ZFI-Mitteilungen 77:62–72
21. Lathia D, Trinkner U, Neumann I (1987) In-vitro-Untersuchung der Proteinverdaulichkeit verschiedener ballaststoffreicher und ballaststoffarmer Brotsorten unter darmähnlichen Bedingungen. *Ernährungs-Umschau* 34:191–195
22. Mathers JC, Blake JS (1983) Transit time through the human gut of markers taken at different times of the day. *Proc Nutr Soc* 42:111A
23. Matzkies F, Webs B (1985) Wirkung von Soja-Kleie auf die gastrointestinale Transitzeit und das Stuhlgewicht. *Ernährungs-Umschau* 32:273–274
24. Müller H, Harmuth-Hoene AE (1986) Der Einfluß von Cellulose auf die endogene Stickstoffausscheidung bei Ratten, bestimmt mit Hilfe der ^{15}N -Technik. *Z Ernährungswiss* 25:38–46
25. Nyman M, Asp N-G (1985) Dietary fibre fermentation in the rat intestinal tract: effect of adaptation period, protein and fibre levels, and particle size. *Br J Nutr* 54:635–643
26. Nyman M, Asp N-G, Cummings J, Wiggins H (1986) Fermentation of dietary fibre in the intestinal tract: comparison between man and rat. *Br J Nutr* 55:487–496

27. Sandberg A-S (1982) Dietary fibre-determination and physiological effects. From the Dept Clin Nutr and Dept of Surgery II, Univ of Göteborg
28. Slavin JL, Brauer PM, Marlett JA (1981) Neutral detergent fiber, hemicellulose and cellulose digestibility in human subjects. *J Nutr* 111:287-297
29. Spiller GA, Story JA, Wong LG, Nunes JD, Alton M, Petro MS, Furumoto EJ, Whittam JH, Scala J (1986) Effect of increasing levels of hard wheat fiber on fecal weight, minerals and steroids and gastrointestinal transit time in healthy young women. *J Nutr* 116:778-785
30. Stephen AM, Cummings JH (1980) Mechanism of action of dietary fibre in the human colon. *Nature* 284:283-284
31. Stephen AM, Wiggins HS, Englyst HN, Cole TJ, Wayman BJ, Cummings JH (1986) The effect of age, sex and level of intake of dietary fibre from wheat on large-bowel function in thirty healthy subjects. *Br J Nutr* 56:349-361
32. Stevens JH, Selvendran RR (1981) A comparison of the compositions of dietary fibre from some cereal and vegetable products in relation to observed effects in faecal weight. *Lebensm-wiss-Technol* 14:301-305
33. Trowell HC (1976) Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases. *Am J Clin Nutr* 29:417
34. Van Dokkum W, Pikaar NA, Thissen JTNM (1983) Physiological effects of fibre-rich types of bread. 2. Dietary fibre from bread: digestibility by the intestinal microflora and water-holding capacity in the colon of human subjects. *Br J Nutr* 50:61-74
35. Wisker E, Feldheim W, Pomeranz Y, Meuser F (1983) Dietary fiber in cereals. *Advances cereal Sci and Technol* 7:169-238
36. Wrick KL, Robertson JB, Van Soest PJ, Lewis BA, Rivers JM, Roe DA, Hackler LR (1983) *J Nutr* 113:1464-1479
37. Zander R, Gruhn K (1987) Der Einfluß von Strohmehl auf den Rohprotein- und Aminosäurenstoffwechsel und die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe bei Broilerzuchthennen. 2. Mitt. Verdaulichkeit der Rohnährstoffe der Rationen und des ^{15}N aus Strohmehl und Weizen. *Arch Anim Nutr* 37:309-320
38. Zander R, Gruhn K (1987) Die Verwertung des Rohproteins von ^{15}N -markiertem Stroh durch Broilerzuchthennen. *Arch Anim Nutr* 37:137-149

Eingegangen 10. November 1987

Für die Verfasser:

Dr. agr. R. Zander, Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Wissenschaftsbereich Tierernährungsschemie, Dornburger Straße 24, DDR-6900 Jena