

Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
Band: 71 (1980)
Heft: 1

Artikel: Die Bestimmung von Ballaststoffen
Autor: Schweizer, T.F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-983496>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

T. F. Schweizer, Beratungsgesellschaft für Nestlé Produkte AG, La Tour-de-Peilz

Die Bestimmung von Ballaststoffen

Einleitung

Während langer Zeit wurde den unverdaulichen Nahrungsbestandteilen seitens der Ernährungswissenschaften von wenigen Ausnahmen abgesehen (1—4) keine große Aufmerksamkeit geschenkt. Aufgrund langjähriger Beobachtungen in Afrika wurden zu Beginn der siebziger Jahre Zusammenhänge zwischen dem Gehalt an Ballaststoffen oder Nahrungsfasern (dietary fibre) und modernen Zivilisationskrankheiten postuliert (5—7). In unzähligen Arbeiten wurden seither die Bedeutung der Ballaststoffe in der Nahrung und die komplexen Mechanismen ihrer physiologischen Effekte untersucht und diskutiert (8—10).

Im Verlauf dieser Entwicklung zeigte sich sehr bald, daß die Ballaststoffe schlecht definiert waren und daß ihre Analytik, die sich jahrzehntelang auf Rohfaserbestimmungen beschränkt hatte, völlig ungenügend war. Parallel zur oben skizzierten Entwicklung wurden dann in den vergangenen zehn Jahren auch in analytischer Hinsicht Fortschritte gemacht.

Im folgenden werden die Definition der Ballaststoffe und die wichtigsten Bestimmungsmethoden kritisch besprochen.

Definition der Ballaststoffe

Obwohl sich die Nahrungsfasern noch nicht abschließend und wissenschaftlich einwandfrei definieren lassen, hat sich die Umschreibung von *Trowell* et al. (11, 12) als Arbeitsgrundlage am ehesten durchgesetzt und bewährt. Diese Definition bezeichnet als «dietary fibre» Lignin und die Polysaccharide, welche von den menschlichen Verdauungssekreten nicht hydrolysiert werden (11). Der Begriff «dietary fibre complex» erfaßt zusätzlich Komponenten wie zellwand-gebundene Proteine und Mineralstoffe, die ebenfalls unverdaulich sind (12). Die wesentlichen Komponenten der Ballaststoffe, welche in diese Definition passen, sind in Tabelle 1 dargestellt.

Einige Autoren möchten die Definition auf pflanzliche Komponenten (13) und auf den engeren Begriff «dietary fibre» (14) beschränkt wissen.

Tabelle 1. Uebersicht über die Bestandteile der Ballaststoffe

Vorkommen	Nomenklatur		Strukturelemente
Pflanzenzellwand (Gerüstmaterial)	Kohlenhydrate	Cellulose	β -D-glucan-Ketten
		Hemicellulosen	{ Arabino- Glucurono- } xylane { Galakto- Gluco- } mannane Arabino- galaktane
		Pektinstoffe (Protopektine)	{ Galakturonane Galakturonorhamnane
Nicht- Kohlenhydrate	Lignin	Phenylpropane (polym.)	
	Zellwandgebundene Substanzen	{ Silikate Proteine Cutin Wachse	
Pflanzenzelle und Lebensmittel-Additive	Kohlenhydrate	Pektine	Galakturonane
		Pflanzen-Exsudate und Schleimstoffe	{ Carubin Guaran Gummi arab. } { Galaktane Mannane Rhamnane
		Algen- Polysaccharide	{ Alginate Carrageenan Agar } { Glycuronane Galaktan-sulfate Anhydrogalactane
		Modifizierte Cellulosen (z. B. CMC) Modifizierte Stärken	Aether, usw. Ester, Aether

Kriterien für die Wahl einer analytischen Methode

Eine Referenzmethode zur Bestimmung der Ballaststoffe sollte in erster Linie deren *vollständige Erfassung* im Sinne der Definition ermöglichen.

Die Tatsache, daß verschiedenartige Ballaststoffe unterschiedliche physiologische Effekte bewirken, führt dazu, daß eine gute Methode nicht nur einen globalen Ballaststoffgehalt liefern, sondern auch Aufschluß über *Zusammensetzung* und *Struktur* geben sollte.

Schließlich sollte die Methode auf möglichst alle Lebensmittel anwendbar sein.

Kritische Uebersicht über die wichtigsten Methoden

Rohfaserbestimmungen

Sowohl die AOAC-Methode (15) als auch die Bellucci-Methode (16) sind völlig ungeeignet, da sie nur einen kleinen Teil der Ballaststoffe — im wesentlichen die Cellulose — erfassen. Der Celluloseanteil an den Gesamtballaststoffen beträgt aber z. B. in Äpfeln, Kartoffeln und Weizenkleie nur ca. 40, 30 und 20%.

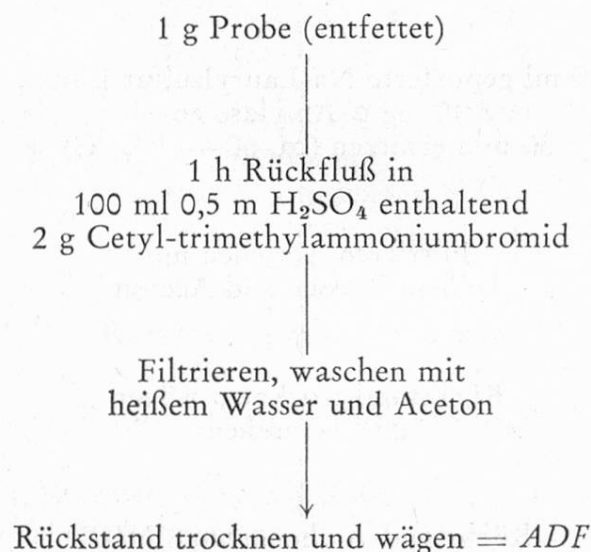
Detergentienmethoden

Diese Methoden wurden von *Van Soest* in den sechziger Jahren für die Futtermittelanalyse entwickelt, werden aber heute auch zur Charakterisierung von Ballaststoffen in Lebensmitteln verwendet.

Die ADF-Methode (acid-detergent fibre) (17, 18) gibt ein gutes Maß für Cellulose und Lignin, ist aber zur Bestimmung der Gesamtballaststoffe ebenfalls ungeeignet (Analysenschema 1).

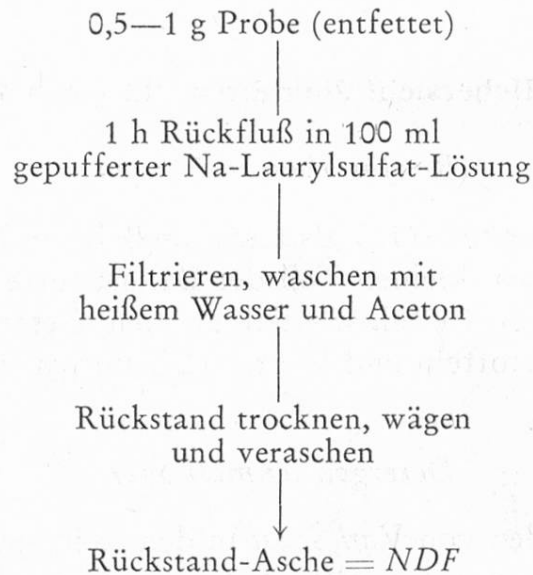
Die NDF-Methode (neutral-detergent fibre) (18, 19) erfaßt zusätzlich zu Cellulose und Lignin die unlöslichen Hemicellulosen (Analysenschema 2). In vielen

Analysenschema 1. ADF-Methode (acid-detergent fibre) (18)

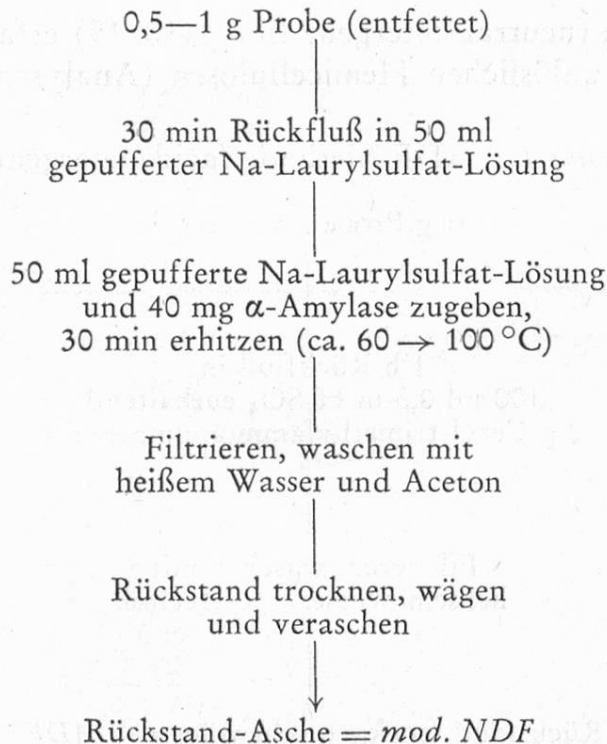


Fällen gelingt jedoch die Entfernung der Stärke nur unvollständig. Die Methode wurde deshalb kürzlich modifiziert (20), liefert nun ein zuverlässiges Maß für die unlöslichen Ballaststoffe und ist sehr einfach durchzuführen (Analysenschema 3). Sie eignet sich demnach gut für Getreideprodukte, unterschätzt aber den Ballaststoffgehalt von Früchten und Gemüsen (21), da lösliche Hemicellulosen und Pektine nicht erfaßt werden.

Analysenschema 2. NDF-Methode (neutral-detergent fibre) (18)



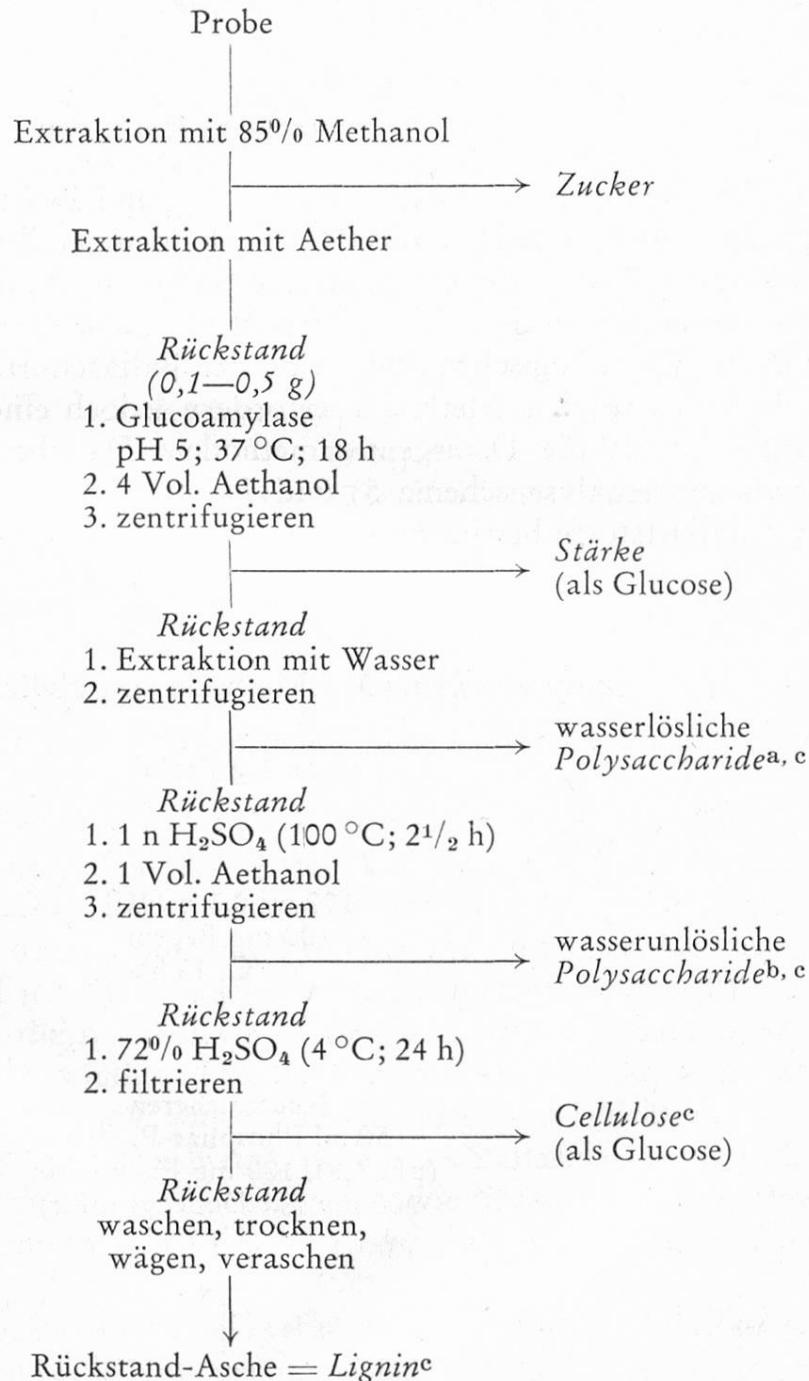
Analysenschema 3. Modifizierte NDF-Methode (20)



Southgate-Methode

Der Methode von *Southgate* (22) kommt der Verdienst zu, als erste auch die löslichen Ballaststoffe erfaßt zu haben (Analysenschema 4). Zudem wurden mit

Analysenschema 4. Southgate-Methode (22)



^a als Summe der Hexosen, Pentosen und Uronsäuren nach Hydrolyse mit 1 n H₂SO₄ (100 °C; 1 1/2 h)

^b als Summe der Hexosen, Pentosen und Uronsäuren

^c «Dietary fibre» = Summe der Komponenten

ihr die Ballaststoffe in einer großen Anzahl von Produkten bestimmt, und diese Werte haben Eingang in ein bedeutendes Tabellenwerk gefunden (23).

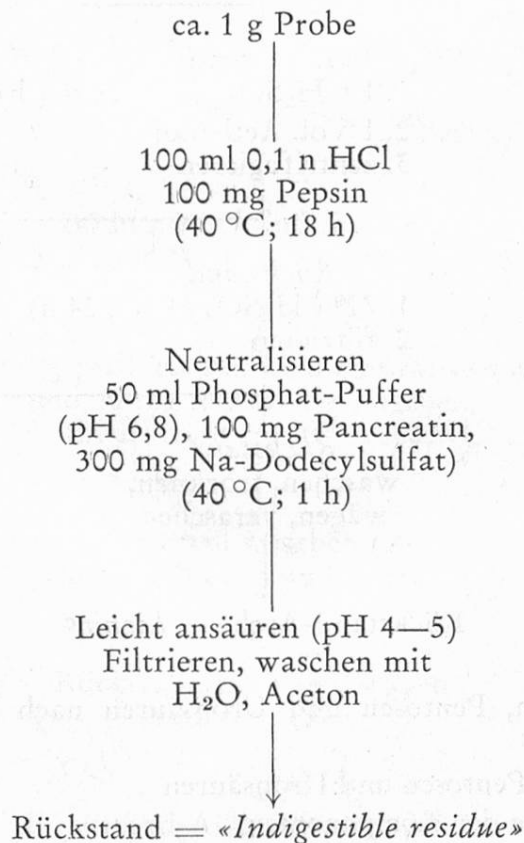
Die Methode hat aber den Nachteil, daß die Proteine nicht abgebaut werden. Somit lassen sich die Ballaststoffgehalte nicht gravimetrisch bestimmen, sondern müssen nach saurer Hydrolyse aus mehreren colorimetrischen Bestimmungen (22) oder neuerdings aus gaschromatographischen Daten (14) errechnet werden, was große Fehlerquellen in sich birgt. Die Methode ist sehr arbeitsintensiv und stellt höchste Anforderungen an die Arbeitstechnik.

Enzymatische Methoden

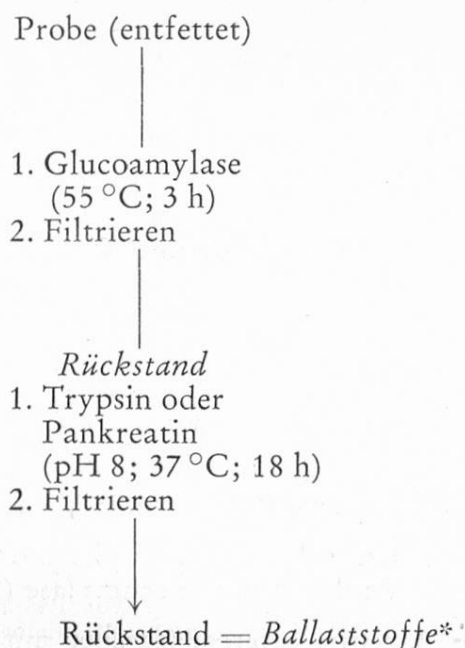
Die Verwendung von Pepsin, Pankreatin und Diastasen zur «Rohfaserbestimmung» ist schon lange bekannt (24, 25). In neuerer Zeit haben *Hellendoorn* (26) und *Thomas* (27—29) die enzymatische Ballaststoffbestimmung wieder aufgegriffen. Im Gegensatz zu den oben besprochenen chemischen Methoden ist sie nämlich eng mit der physiologischen Definition der Ballaststoffe verknüpft.

Alle enzymatischen Methoden erfordern jedoch einen größeren Zeit- und Arbeitsaufwand als die Detergentienmethoden. Da aber nach den Schemata von *Hellendoorn* (Analysenschema 5) und *Thomas* (Analysenschema 6) auch nur unlösliche Ballaststoffe bestimmt werden, vermögen sie nicht zu befriedigen. Zudem

Analysenschema 5. Methode von Hellendoorn (26)



Analysenschema 6. Methode von Thomas (29)



* Durch Behandlung mit 5% H_2SO_4 , gefolgt von 72% H_2SO_4 weiter zerlegbar in Roh-hemicellulose, Rohcellulose, Rohlignin

ist von Asp (30) gezeigt worden, daß die nach Hellendoorn (26) und Weinstock (31) erhaltenen Rückstände noch beträchtliche Mengen Reststärke bzw. Protein enthalten.

Kürzlich haben wir gezeigt, daß sich die Vorteile einer enzymatischen Methode mit denen der Southgate-Fraktionierung kombinieren lassen (21, 32). Gemäß Analysenschema 7 werden dabei unlösliche und lösliche Ballaststoffe nach enzymatischer Verdauung der Stärke und Proteine gravimetrisch bestimmt und können dann im Detail auf ihre Zusammensetzung untersucht werden (21, 32, 33). Als Beispiel gibt Tabelle 2 die nach dieser Methode ermittelte Zusammensetzung verschiedener Getreidekleien wieder. Tabelle 3 zeigt deutlich die Unterschiede zwischen Getreideballaststoffen und denen von Gemüse und Früchten.

Da die Methode die Möglichkeit bietet, definierte Ballaststoffe zu isolieren, können auch physikalisch-chemische Eigenschaften wie Wasserbindungsvermögen (vgl. Tabelle 3) und Adsorption von Mineralsalzen, Gallensäuren und Cholesterin bestimmt werden.

Neuerdings untersuchen wir die Charakterisierung von löslichen Ballaststoffen nach Molekulargewicht und ihre Auftrennung in neutrale und saure Polysaccharide mittels Gel-Chromatographie. Die Abbildung 1 steht als Illustration für die vielen Möglichkeiten, die sich nach Isolierung der löslichen Ballaststoffe zu deren Charakterisierung bieten.

Analysenschema 7. Methode von Schweizer und Würsch (21, 33)

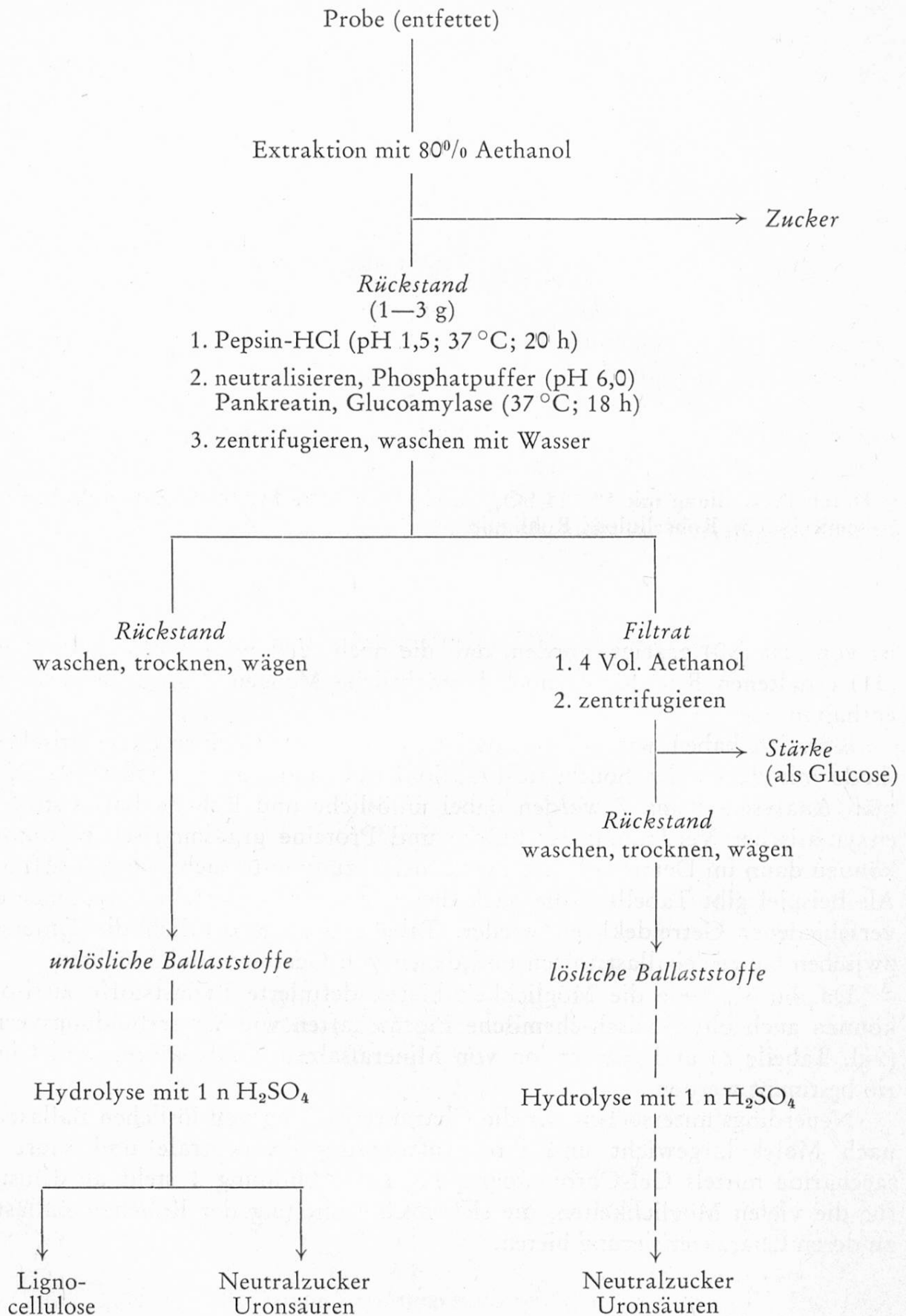


Tabelle 2. Zusammensetzung von Ballaststoffen aus Getreidekleien

		Hafer	Gerste	Roggen	Weizen	Mais
Unlösliche (Hauptkomponenten)	{ Lignocellulose	54 ⁰ / ₀	52 ⁰ / ₀	45 ⁰ / ₀	38 ⁰ / ₀	32 ⁰ / ₀
	{ Xylose	37 ⁰ / ₀	31 ⁰ / ₀	31 ⁰ / ₀	32 ⁰ / ₀	33 ⁰ / ₀
	{ Arabinose	4 ⁰ / ₀	6 ⁰ / ₀	14 ⁰ / ₀	20 ⁰ / ₀	17 ⁰ / ₀
Lösliche (relative Anteile)	{ Xylose	0,9	1,6	4,0	1,8	1,8
	{ Arabinose	0,8	1,5	3,8	2,0	1,9
	{ Galaktose	1	1	1	1	1

Tabelle 3. Merkmale der Ballaststoffe aus Getreiden, Früchten und Gemüsen

Art	Verhältnis unlösliche: lösliche BS	Lignocellulose in unlöslichen BS	% Galakturon- säure in löslichen BS	WHC der unlöslichen BS*
Getreidekleien	>10:1	30—55 ⁰ / ₀	<5 ⁰ / ₀	3—10
Früchte/Gemüse	5:1—1:1	50—80 ⁰ / ₀	30—70 ⁰ / ₀	15—40

* WHC (water-holding capacity) = Wasserbindungsvermögen in g H₂O/g trockenes Material, gemessen nach der Methode von *McConnell* et al. (34)

Ausblick

Die Analytik der Ballaststoffe steht noch in voller Entwicklung. So sind zur Zeit Anstrengungen zur Ausarbeitung einer internationalen Referenzmethode im Gange, wobei auch hier nicht besprochene, zum Teil noch hypothetische Methoden diskutiert werden (35).

Andererseits hat sich aber gezeigt, daß auch sorgfältige chemische Analysen die unterschiedlichen physiologischen Effekte verschiedener Ballaststoffe nur teilweise erklären können (36). Bessere Kenntnis der noch wenig untersuchten physikalischen Eigenschaften der Ballaststoffe und ihrer Fermentation in den unteren Darmabschnitten werden deshalb von großem Nutzen sein.

In diesem Zusammenhang ist auch der Einfluß der Ballaststoffbestimmung auf die Berechnung des Energiewertes von Nahrungsmitteln zu erwähnen. Bei Verwendung der Rohfasermethode werden die «Kohlenhydrate durch Differenz» in einem ballaststoffreichen Produkt mit den üblichen 4 kcal/g zu hoch bewertet. Bewertet man andererseits die enzymatisch oder nach Shouthgate bestimmten Gesamtballaststoffe mit 0 kcal/g, wird der berechnete Energieinhalt desselben Produktes etwas zu klein ausfallen, weil auch die Ballaststoffe einen kleinen Beitrag

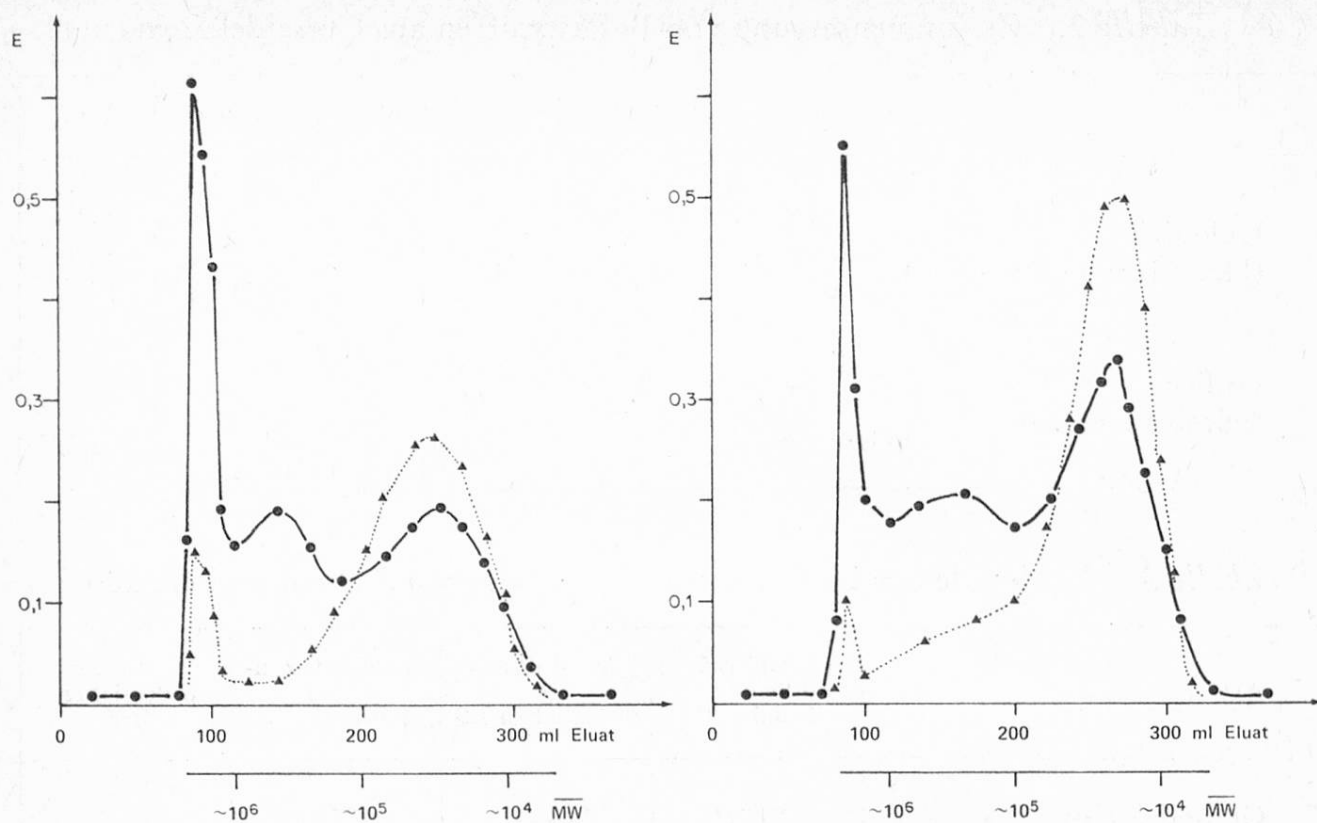


Abb. 1. Fraktionierung löslicher Ballaststoffe aus Kartoffeln (links) und Karotten (rechts) an Sepharose 6B (Säule 2,6 x 60 cm). Extinktionen (E) der Totalzucker bei 485 nm (Phenol-H₂SO₄) ●—● und der Uronsäuren bei 530 nm (Carbazoltest) ▲...▲. Molekulargewichte (MW) geschätzt nach Kalibrierung der Säule mit Eich-Dextranen (Pharmacia).

zur metabolisierbaren Energie liefern (z. B. partielle Absorption der durch Fermentation gebildeten flüchtigen Fettsäuren).

Die völlig unbefriedigende Rohfaserbestimmung sollte unverzüglich ersetzt werden. Im Hinblick auf eine Referenz-Methode bietet sich zur Zeit die enzymatische Bestimmung (Analysenschema 7) an. Dabei kann in Fällen, bei denen nur der globale Ballaststoffgehalt von Interesse ist, auf die Trennung in eine unlösliche und eine lösliche Fraktion verzichtet werden. Als Routine-Methode eignet sich die modifizierte NDF-Methode (Analysenschema 3). Sie erfasst zwar nur unlösliche Ballaststoffe, ist jedoch bei vergleichbarem Arbeitsaufwand wesentlich besser als die Rohfaserbestimmung.

Zusammenfassung

Nach einem Ueberblick über Definition und Inhaltsstoffe der Nahrungsfasern werden die heute gebräuchlichsten Bestimmungsmethoden kritisch besprochen (Rohfaser, Detergentienfasern, Southgate-Fraktionierung und verschiedene enzymatische Methoden).

Die traditionelle Rohfaserbestimmung sollte nicht mehr verwendet werden. Als Routinemethode eignet sich für begrenzte Zwecke eine enzym-modifizierte NDF-Methode. Eine der besprochenen enzymatischen Methoden könnte sich als Referenz-Methode eignen.

Résumé

Après une brève description de la définition et des composants de la fibre alimentaire, une revue critique est présentée, traitant des méthodes analytiques fréquemment utilisées (fibre brute, fibre détergente, méthode de Southgate et différentes méthodes enzymatiques).

La méthode traditionnelle de détermination de la fibre brute ne devrait plus être appliquée, mais remplacée par la détermination des fibres détergentes neutres — modification enzymatique — mieux adaptée aux analyses en séries avec cependant quelques limitations. Une des méthodes enzymatiques décrites est proposée comme méthode de référence.

Summary

After a brief description of the definition and of the components of dietary fibre, the frequently used analytical methods are critically reviewed (crude fibre, detergent fibre, Southgate method and several enzymatic methods).

The traditional crude fibre determination should not be used any longer. The enzyme-modified determination of neutral detergent fibre is considered to be a suitable routine-method for limited purposes, whereas one of the enzymatic determinations discussed could provide a suitable reference method.

Literatur

1. Williams, R. D. and Olmsted, W. H.: The manner in which food controls the bulk of the feces. *Ann. Internal Med.* **10**, 718—727 (1936).
2. Williams, R. D., Olmsted, W. H., Hamann, C. H., Fiorito, J. A. and Duckles, D.: Effect of cellulose, hemicellulose and lignin on the weight of the stool: A contribution to the study of laxation in man. *J. Nutr.* **11**, 433—449 (1936).
3. Borgström, S.: Studies on the nutritional physiological value of wheat bran with special consideration of heating. *Acta Physiol. Scand.* **2** (Suppl. 7), 1—128 (1941).
4. Hoppert, C. A. and Clark, A. J.: Digestibility and effect on laxation of crude fiber and cellulose in certain common foods. *J. Am. Dietet. Assoc.* **21**, 157—160 (1945).
5. Painter, N. S. and Burkitt, D. P.: Diverticular disease of the colon. A deficiency disease of Western Civilization. *Brit. Med. J.* **II**, 450—454 (1971).
6. Trowell, H.: Ischemic heart disease and dietary fiber. *Am. J. Clin. Nutr.* **25**, 926—932 (1972).
7. Burkitt, D. P. and Trowell, H. C.: Refined carbohydrate foods and disease. Some implications of dietary fibre. Academic Press, London 1975.
8. Kelsay, J. L.: A review of research on effects of fiber intake on man. *Am. J. Clin. Nutr.* **31**, 142—159 (1978).
9. Spiller, G. A., Shipley, E. A. and Blake, J. A.: Recent progress in dietary fiber (plantix) in human nutrition. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **10**, 31—90 (1978).
10. Symposium: Role of dietary fiber in health. *Am. J. Clin. Nutr.* **31**, Supplement 1978.
11. Trowell, H., Southgate, D. A. T., Wolever, T. M. S., Leeds, A. R., Gassull, M. A. and Jenkins, D. J. A.: Dietary fibre redefined. *Lancet* **1**, 967 (1976).
12. Trowell, H.: Definition of dietary fiber and hypothesis that it is a protective factor in certain diseases. *Am. J. Clin. Nutr.* **29**, 417—427 (1976).

13. *Spiller, G. A. and Fassett-Cornelius, G.:* A new term of plant fibers in nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.* **29**, 934—935 (1976).
14. *Southgate, D. A. T., Hudson, G. J. and Englyst, H.:* The analysis of dietary fibre — the choices for the analyst. *J. Sci. Food Agr.* **29**, 979—988 (1978).
15. Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis, 12th edition. AOAC, Washington D. C. 1975.
16. Schweizerisches Lebensmittelbuch, 1. Band, 5. Auflage, S. 578—579. Eidg. Druck-sachen- und Materialzentrale, Bern 1964.
17. *Van Soest, P. J.:* Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. Assoc. Offic. Agr. Chemists* **46**, 829—835 (1963).
18. *Goering, H. K. and Van Soest, P. J.:* Forage fiber analysis. Agriculture Handbook No. 379. US Department of Agriculture, Washington 1970.
19. *Van Soest, P. J. and Wine, R. H.:* Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. Assoc. Offic. Analyt. Chemists* **50**, 50—55 (1967).
20. *Robertson, J. B. and Van Soest, P. J.:* Dietary fiber estimation in concentrate feed-stuffs. *J. Anim. Sci.* **45** (Suppl. 1), 254—255 (1977).
21. *Schweizer, T. F. and Würsch, P.:* Analysis of dietary fibre. *J. Sci. Food Agr.* **30**, 613—619 (1979).
22. *Southgate, D. A. T.:* Determination of carbohydrates in foods. II. Unavailable carbohydrates. *J. Sci. Food Agr.* **20**, 331—335 (1969).
Southgate, D. A. T.: Determination of food carbohydrates, p. 137—141. Applied Science, London 1976.
23. *Paul, A. A. and Southgate, D. A. T.:* McCance and Widdowson's the composition of foods, 4th edition. Her Majesty's Stationery Office, London 1978.
24. *Stutzer, A. und Isbert, A.:* Untersuchungen über das Verhalten der in Nahrungs- und Futtermitteln enthaltenen Kohlenhydrate zu den Verdauungsfermenten. *Z. Physiol. Chem.* **12**, 72—130 (1888).
25. *Remy, E.:* Experimentelle Studien zur Biochemie und Biologie der Rohfaser. *Biochem. Z.* **236**, 1—18 (1931).
26. *Hellendoorn, E. W., Noordhoff, M. G. and Slagman, J.:* Enzymatic determination of the indigestible residue (dietary fibre) content of human food. *J. Sci. Food Agr.* **26**, 1461—1468 (1975).
27. *Thomas, B.:* Beiträge zur Nomenklatur und Analytik pflanzlicher Zellwandsubstanzen. *Getreide, Mehl, Brot* **26**, 158—165 und 168—169 (1972).
28. *Thomas, B.:* Enzymatische Rohfaserbestimmung in Getreideprodukten. *Getreide, Mehl, Brot* **29**, 115—117 (1975).
29. *Elchazly, M. und Thomas, B.:* Ueber eine biochemische Methode zum Bestimmen der Ballaststoffe und ihrer Komponenten in pflanzlichen Lebensmitteln. *Z. Lebensm. Untersuch. -Forsch.* **162**, 329—340 (1976).
30. *Asp, N. G.:* Critical evaluation of some methods suggested for assay of dietary fibre. In: *Dietary fibre. Current developments of importance to health* (Heaton, K. W., ed.). John Libbey, London 1978.
31. *Weinstock, A. and Benham, G. H.:* The use of enzyme preparation in the crude fiber determination. *Cereal Chem.* **28**, 490—497 (1951).
32. *Schweizer, T. F.:* Die Bestimmung von Ballaststoffen — Mittel zum Zweck. Vortrag am Int. Symp. «Pflanzenfasern-Ballaststoffe in der menschlichen Ernährung», Berlin 1978.
33. *Schweizer, T. F. und Würsch, P. in Lit.* 35.

34. *McConnell, A. A., Eastwood, M. A. and Mitchell, W. D.*: Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. *J. Sci. Food Agr.* **25**, 1457—1464 (1974).
35. *James, W. P. T. and Theander, O.* (ed.): Analysis of dietary fibre in human foods. Proceedings of EEC Working-Party in Cambridge in 1978. Marcel Dekker Ltd. (1979, in press).
36. *Cummings, J. H., Branch, W., Jenkins, D. J. A., Southgate, D. A. T., Houston, H. and James, W. P. T.*: Colonic response to dietary fibre from carrot, cabbage, apple, bran and guar gum. *Lancet* **1**, 5—9 (1978).

Dr. T. F. Schweizer
Beratungsgesellschaft
für Nestlé Produkte AG
Forschungsabteilung
Postfach 88
CH-1814 La Tour-de-Peilz