

Verbesserung der biologischen Verfügbarkeit von Zink in Schrot- und Knäkebrot

A. E. Harmuth-Hoene und F. Meuser

Institut für Ernährungsphysiologie, Bundesanstalt für Ernährung,
Karlsruhe
Institut für Lebensmitteltechnologie – Getreidetechnologie,
Technische Universität, Berlin

Zusammenfassung: Es wurde geprüft, ob die Verringerung des molaren Phytinsäure/Zink-Quotienten in Vollkorn- oder Knäkebrot mit einem hohen Phytinsäuregehalt durch Anreicherung mit Zink die gleiche günstige Wirkung auf die Zinkverfügbarkeit hat wie die Reduzierung der Phytinsäure in Vollkornprodukten. In einem dreiwöchigen Versuch wurden 5 Diäten (3 Schrotbrot- und 2 Knäkebrotproben) an wachsende Ratten verfüttert. Die Proben, in denen der Phytinsäure/Zink-Quotient durch Anreicherung mit Zink oder durch Reduzierung der Phytinsäure (enzymatische Hydrolyse durch Einstellung des pH-Wertes des Teiges mit Milchsäure) verringert war, bewirkten eine signifikante Erhöhung der Zinkeinlagerung im Femur und der Aktivität der alkalischen Phosphatase im Serum der Tiere im Vergleich zu unbehandelten Brotproben. Das Wachstum der Tiere zeigte nur geringe Unterschiede zwischen den 5 Gruppen. Die Ergebnisse lassen erkennen, daß eine Verbesserung der Zinkverfügbarkeit in Getreidevollkornprodukten mit hohem Phytatgehalt durch Anreicherung mit Zink erzielt werden kann.

Summary: A study was undertaken to determine whether the reduction of the molar phytic acid/zinc ratio by enrichment of wholemeal and crispbread with zinc improves zinc availability to the same extent as does the reduction of phytic acid in whole meal cereal products. For three weeks, five diets (three samples of wholemeal bread and two samples of crispbread) were fed to growing rats. Significant increases in bone-zinc deposition and activity of serum alkaline phosphatase were induced by those bread samples in which the phytic acid/zinc ratio had been lowered either by enrichment with zinc or by reduction of phytic acid (enzymatic hydrolysis by adjusting the pH-value of the dough with lactic acid) when compared with untreated bread samples. Weight gain of the animals differed little between the groups. The results suggest that it is possible to improve zinc availability in wholemeal cereal products high in phytate by enrichment with zinc.

Schlüsselwörter: Phytinsäure/Zink-Quotient, Vollkornbrot, Knäkebrot, Zink, alkalische Phosphatase

Key words: phytic acid/zinc ratio, wholemeal bread, crispbread, zinc, alkaline phosphatase

Einleitung

Die biologische Verfügbarkeit von Zink in Getreideprodukten wird weitgehend durch den Gehalt an Phytinsäure, das Hexakis-Dihydrogen-

phosphat des Myoinositols, beeinträchtigt. Im schwach sauren bis neutralen Milieu des oberen Gastrointestinaltraktes von Monogastren können sich unlösliche, schwer resorbierbare Zink-Calcium-Phytatkomplexe bilden. Das gebundene Zink ist für den Organismus nicht verfügbar und wird vermehrt mit den Fäzes ausgeschieden. Kennzeichnend für die Zinkverfügbarkeit ist der molare Phytinsäure/Zink-Quotient (1, 2, 3, 4). Übersteigt dieser Quotient in der Diät den Wert von 20, wird die Zinkverfügbarkeit, gemessen am Wachstum, Serumzinkspiegel, Zinkeinlagerung in den Knochen sowie der Aktivität der alkalischen Phosphatase im Serum, beeinträchtigt. Dagegen wird bei Werten des Quotienten unter 12 kein Einfluß auf die Zinkverfügbarkeit im Tierversuch beobachtet.

Der Phytinsäure/Zink-Quotient in Weizen- und Roggenvollkornprodukten liegt im Bereich von 25–40. Gelegentlich treten auch Werte zwischen 40 und 60 auf (3). Zur besseren Ausnutzung des in diesen Nahrungsmitteln enthaltenen Zinks ist es deshalb sinnvoll, eine Reduktion des Phytinsäure/Zink-Quotienten anzustreben. In einer früheren Arbeit (5) wurde die Phytinsäure in Roggen- und Weizenvollkornprodukten durch die Aktivierung der in den Produkten enthaltenen Phytase teilweise hydrolysiert, was zu einer signifikanten Verbesserung der Zinkverfügbarkeit führte. Der Abbau der Phytinsäure wurde durch ein relativ aufwendiges Verfahren während der Teigführung und Backphase erzielt. In der vorliegenden Arbeit wurde geprüft, ob die Verringerung des Phytinsäure/Zink-Quotienten durch Anreicherung mit ZnSO_4 eine ähnlich günstige Wirkung auf die Zinkverfügbarkeit in Schrotbrot und Knäckebrot mit hohem Phytatgehalt hat.

Material und Methoden

Brotproben

Zur Herstellung der Futtermischungen wurden drei verschiedene Brote verwendet, von denen zwei selbst gebacken wurden und eines aus dem Handel stammte. Das Handelsprodukt war ein mit Ballaststoffen angereichertes Knäckebrot eines bekannten Herstellers. Die beiden anderen Brote wurden aus 70 % Roggen- und 30 % Weizenvollkorn-Mahlprodukten hergestellt. Dazu wurde Weizen und Roggen auf einer Schlagkreuzmühle zu Feinschrot vermahlen.

Für das eine Brot wurden 1000 g Feinschrot mit 1 % Trockenhefe und 650 ml Leitungswasser ohne Salzzugabe zu einem Teig verarbeitet, der nach einer sehr kurzen Gärzeit von 15 min auf einem Blech flach ausgebreitet wurde. Der Teig wurde zu einem fladenähnlichen Brot ausgebacken. Es entstand ein Gebäck mit unelastischer Krume, das nach Trocknen an der Luft zu einem Brotmehl vermahlen wurde. Dieses Brotmehl ist in den Tabellen als Produkt Nr. 2, Schrotbrot ohne Säure gebacken, aufgeführt.

Die beschriebene Backtechnik wurde gewählt, um den Phytatgehalt der Rohstoffe soweit wie technisch möglich zu erhalten, gleichzeitig aber ein durch Backen aufgeschlossenes Versuchsmaterial zu gewinnen. Damit sollten die Bedingungen für die Verdauung des dieses Brotmehl enthaltenden Futters und die Resorption der Nähr- und Wirkstoffe aus ihm vergleichbar zu denen mit dem Futter gehalten werden, welches das Produkt Nr. 3 enthielt.

Das Produkt Nr. 3 entsprach dem zweiten selbstgebackenen Brot. Es wurde in der Weise hergestellt, daß 1000 g Feinschrot ohne Salzzugabe mit 650 ml Wasser durch Kneten wie üblich angeteigt wurden. Die Temperatur des verwendeten

Wassers wurde dabei so gewählt, daß der Teig 50 °C ($\pm$ 323 K) warm wurde. Der Teig wurde unter weiterem Kneten mit Milchsäure auf einen pH-Wert von 5,5 eingestellt. Er wurde danach bei diesem pH-Wert und der angegebenen Temperatur 30 min stehengelassen, um die Phytinsäure durch die getreideeigene Phytase abzubauen. Nach dieser Zeit wurde dem Teig unter Kneten, bezogen auf die eingesetzte Feinschrotmenge, 12 % Trockenhefe zugesetzt. Nach einer Gärzeit von 1 h wurde der Teig zu Brot ausgebacken. Das Brot wurde an der Luft getrocknet und zu einem Brotmehl vermahlen. Dieses Brotmehl ist in den Tabellen als Produkt Nr. 3, Schrotbrot mit Säure gebacken, aufgeführt.

Futtermischungen

Zu einem Teil des ohne Säurezusatz gebackenen Schrotbrots und des Knäckebrots wurde ZnSO_4 in einer Menge zugesetzt, die den molaren Phytinsäure/Zink-Quotienten von 17,9 bzw. 29,8 auf 9,4 reduzierte. Dieser Wert entsprach dem Phytinsäure/Zink-Quotienten von Schrotbrot, das mit Säurezusatz gebacken worden war (Tab. 1).

Tab. 1. Gehalte an Zink und Phytinsäure in Schrot- und Knäckebrotproben.

Produkt	Nr.	Zink mg/kg ¹⁾	Zink- zusatz mg/kg ¹⁾	Gesamt- zink mg/kg ¹⁾	Phytin- säure mg/g ¹⁾	Phytins./ Zink molar
Schrotbrot ohne Säure gebacken	2	28,0	—	28,0	5,06	17,9
Schrotbrot mit Säure gebacken	3	30,7	—	30,7	2,91	9,4
Schrotbrot ohne Säure gebacken	4	28,0	25,4	53,4	5,06	9,4
Knäckebrot	5	48,6	—	48,6	14,06	29,8
Knäckebrot	6	48,6	105,5	154,1	14,06	9,4

¹⁾ Angaben beziehen sich auf lufttrockenes Probenmaterial (ca. 6–12 % Wassergehalt)

Tab. 2. Zusammensetzung der Versuchsdiäten in %.

Diätkomponente	Diät-Nr.					
	1 (Kontrolle)	2	3	4	5	6
Brotprobe	—	24,1	22,0	12,6	13,9	4,4
Eialbumin	←			18,5		→
Maiskeimöl	←			3,0		→
Vitamine ¹⁾	←			2,0		→
Mineralstoffe ²⁾	←			6,0		→
Zellulose	4,0	—	—	—	—	—
Saccharose	66,5	46,4	48,5	57,9	56,6	66,1

¹⁾ Vitaminmischung für Kontrolldiät Altromin C 1000

²⁾ Mineralstoffmischung für zinkarme Diät Altromin C 1040

Aus den beiden mit Zink angereicherten Brotproben (Nr. 4 und 6), aus den unbehandelten Proben (Nr. 2 und 5) sowie aus dem unter Säurezusatz gebackenen Brot (Nr. 3) wurden durch Zusatz von Eialbumin, Maiskeimöl, Vitaminen, einer zinkfreien Mineralstoffmischung und Saccharose 5 Futtermischungen hergestellt (Tab. 2).

Eine Kontrolldiät wurde ohne Brot mit einem entsprechend höheren Anteil an Saccharose sowie 4% Zellulose hergestellt. Durch Zugabe von ZnSO_4 wurde der Zinkgehalt der Kontrolldiät dem Zinkgehalt der Versuchsdiäten (ca. $9 \mu\text{g/g}$) angeglichen. Entsprechend dem Zinkgehalt in den Brotproben wurden unterschiedliche Anteile in die Diäten eingearbeitet, um einen vergleichbaren Zinkgehalt in allen Futtermischungen zu erzielen. Der Gehalt an Zink, Calcium, Ballaststoffen und Protein in den 6 Diäten waren vergleichbar (Tab. 3), während der Phytinsäuregehalt und dadurch bedingt die molaren Quotienten Phytinsäure/Zink und $[\text{Phytinsäure}] \times [\text{Calcium}] / [\text{Zink}]$ unterschiedlich waren (Tab. 3).

Tierversuche

Männliche Sprague-Dawley-Ratten im Alter von 21 Tagen wurden in 6 gewichtsgleiche Gruppen von je 8 Tieren eingeteilt und in individuellen Makrolonkäfigen mit Laufgittern aus Edelstahl unter Standardbedingungen gehalten (22°C , 55% rel. Feuchtigkeit, 12 Stunden Hell-Dunkel-Zyklus). Nach zweitägiger Adaptation wurden die Tiere 3 Wochen mit den 6 Diäten gefüttert. Durch restriktive Fütterung, bei der die täglich eingewogene Futtermenge der mittleren täglichen Futteraufnahme in der Gruppe mit dem geringsten Verzehr entsprach, wurde eine einheitliche Zinkaufnahme in allen 6 Gruppen erreicht. Die Ratten hatten freien Zugang zu entmineralisiertem Wasser. Das Wachstum der Tiere wurde wöchentlich registriert. Nach Abschluß des Versuches wurden die Tiere in Äthernarkose entblutet. Anschließend wurden beide Femora entnommen und von anhaftendem Gewebe gereinigt.

Analytik

Die Bestimmung der Aktivität der alkalischen Phosphatase (EC 3.31) erfolgte in mit physiologischer Kochsalzlösung verdünntem Blutserum mit p-Nitrophenylphosphat als Substrat durch Messung der Extinktion des gebildeten p-Nitrophenols bei 405 nm (Testkombination, Boehringer, Mannheim GmbH).

Der Zinkgehalt in den Femora der Tiere sowie der Zink- und Calciumgehalt in den Brotsorten und Futtermischungen wurde nach Trockenveraschung bei 500°C mit Hilfe der AAS (Perkin Elmer 2380) bestimmt.

Tab. 3. Gehalt an Protein, Ballaststoffen, Zink, Calcium, Phytinsäure und Trockensubstanz in den Versuchsdiäten.

Inhaltsstoff	Diät-Nr.					
	1	2	3	4	5	6
Protein ($\text{N} \times 6,25$) %	16,2	16,7	15,5	16,5	17,1	16,0
Ballaststoffe, gesamt, %	4,42	4,46	4,91	5,34	4,37	0,98
Zink, $\mu\text{g/g}$	8,56	9,91	9,71	9,34	9,37	9,53
Calcium, mg/g	8,11	7,88	7,94	7,88	7,88	7,65
Phytinsäure, mg/g	—	1,22	0,64	0,64	2,03	0,64
Trockensubstanz %	97,1	95,7	95,7	5,9	96,8	97,2
Phytins./Zink molar	—	12,2	6,5	6,8	21,4	6,6
Phytins. $\times$ Calcium Zink molar	—	2,4	1,3	1,3	4,2	1,3

Der Gehalt an Gesamtballaststoffen im Futter wurde nach der enzymatisch gravimetrischen Methode von Asp und Mitarb. (6) ermittelt.

Phytinsäure in den Brot- und Futterproben wurde nach Abtrennung des Phytatphosphors von anorganischem Phosphor über ein Ionenaustauscherharz und anschließendem Säureaufschluß als Phosphormolybdatkomplex bestimmt (7).

Statistische Analyse

Die Versuchsergebnisse wurden unter Anwendung der einfachen Varianzanalyse und von Duncan's multiple range test (8) ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Nach dreiwöchiger Verfütterung der 6 Diäten traten geringfügige Unterschiede im Wachstum der Tiere und signifikante Unterschiede im Femur-Zinkgehalt und in der Aktivität der alkalischen Phosphatase im Serum zwischen den 6 Tiergruppen auf (Tab. 4). Die Werte in den Gruppen 3, 4 und 6 mit einem molaren Phytinsäure/Zink-Quotienten zwischen 6,5 und 6,8 lagen fast ausnahmslos im gleichen Bereich wie die Werte der Kontrolltiere (Gruppe 1). In den Gruppen 2 und 5 mit einem Phytinsäure/Zink-Quotienten von 12,2 bzw. 21,4 waren der Zinkgehalt im Femur und die Aktivität der alkalischen Phosphatase im Serum gegenüber der Kontrolle und den 3 anderen Versuchsgruppen signifikant verringert. Die Unterschiede in der Gewichtszunahme zwischen den Versuchsgruppen waren weniger deutlich ausgeprägt. Abbildung 1 veranschaulicht die Verände-

Tab. 4. Wachstum, Femur-Zink und alkalische Phosphataseaktivität im Serum von wachsenden Ratten nach Verfütterung von Getreideprodukten mit unterschiedlichem molaren Phytinsäure/Zink-Quotienten.

Diät- gruppe	Phytins./ Zink molar	Gewichts- zunahme g/21 Tage	FemurZink µg/g TS	FemurZink g/2 Fem.	Alk. Phosph. im Serum U/l	Zink- zufuhr mg/21 Tage
1	—	77,4 ^{a(1,2)} ±5,4	98,2 ^{bc} ±5,3	36,4 ^a ±1,8	351 ^a ±41	1,73 ^a ±0,01
2	12,2	65,9 ^b ±3,3	92,6 ^c ±6,4	31,3 ^b ±1,4	244 ^c ±36	1,72 ^a ±0,01
3	6,5	60,0 ^c ±3,3	106,3 ^{ab} ±8,3	39,0 ^a ±2,9	282 ^b ±31	1,73 ^a ±0,01
4	6,8	65,6 ^b ±3,6	103,7 ^{ab} ±9,0	38,9 ^a ±3,0	299 ^b ±22	1,73 ^a ±0,01
5	21,4	66,5 ^b ±4,9	77,4 ^d ±5,5	26,8 ^c ±1,8	247 ^c ±30	1,74 ^a ±0,02
6	6,6	65,0 ^b ±4,8	110,3 ^a ±11,4	38,1 ^a ±5,2	298 ^b ±34	1,73 ^a ±0,01

¹⁾ Mittelwerte ± SD; n = 8

²⁾ Mittelwerte in der gleichen Spalte mit unterschiedlichen Indizes wichen signifikant voneinander ab (P < 0,05), Varianzanalyse, Duncan's multiple range test.

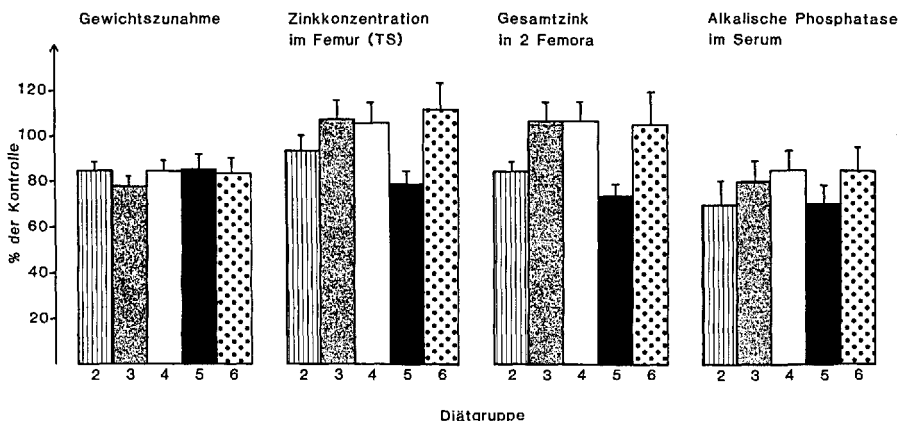


Abb. 1. Gewichtszunahme, Zinkkonzentration und Gesamtzink in beiden Femora, Aktivität der alkalischen Phosphatase in den Versuchsgruppen in Prozent der Kontrollwerte = relative Zinkverfügbarkeit, Mittelwerte, $n = 8$.

rungen dieser 4 Parameter in den 5 Versuchsgruppen in % der Kontrollwerte. Dies entspricht der relativen Zinkverfügbarkeit.

Von besonderem Interesse sind die Vergleiche zwischen den Gruppen 2 und 4 sowie zwischen den Gruppen 5 und 6. Hier wurde jeweils im gleichen Ausgangsmaterial (Schrotbrot ohne Säure gebacken bzw. Knäkebrot) durch Anreicherung mit Zink der Phytinsäure/Zink-Quotient auf 56 % bzw. 31 % des ursprünglichen Wertes herabgesetzt, was eine signifikante Verbesserung der relativen Zinkverfügbarkeit, gemessen am Femur-Zink und der alkalischen Phosphataseaktivität, bewirkte (Abb. 1).

In der Diät Nr. 3 wurde der Phytinsäure/Zink-Quotient durch Abbau der Phytinsäure beim Backen, in der Diät Nr. 4 durch Zinkzugabe auf einen Wert von 6–7 reduziert. Beide Diäten hatten einen vergleichbar günstigen Effekt auf die Zinkeinlagerung in den Knochen. Eine entsprechende vergleichbare Wirkung wurde auch hinsichtlich der alkalischen Phosphatase in diesen beiden Gruppen beobachtet (Tab. 4, Abb. 1).

Die unter gleichen Versuchsbedingungen in einer früheren Untersuchung beobachteten Werte für die Zinkverfügbarkeit in Ratten bei Verfütterung von Weizen- und Roggenvollkornprodukten, in denen der Phytinsäure/Zink-Quotient durch verschiedene Verfahren reduziert worden war (5), liegen im gleichen Bereich wie die Werte der vorliegenden Untersuchung (Tab. 5).

Bei beiden Untersuchungen wird deutlich, daß Knochenzink und alkalische Phosphatase im Serum eine deutlich bessere Korrelation zu dem Phytinsäure/Zink-Quotienten aufweisen als das Wachstum der Tiere. Dies ist im wesentlichen auf die restriktive Fütterung in diesen Versuchen zurückzuführen. Bei einer Ad-libitum-Fütterung, die häufig bei Untersuchungen zur Zinkverfügbarkeit angewendet wird, verursacht eine Erhöhung der Zinkverfügbarkeit eine deutliche Steigerung der Futteraufnahme und damit nicht nur der Zufuhr von Zink, sondern auch der aller übrigen Nährstoffe, die das Wachstum fördern. Aus Zinkmangelversu-

Tab. 5. Vergleich der Ergebnisse aus der vorliegenden Untersuchung (I) mit interpolierten Werten (II) für Getreidevollkornprodukte mit unterschiedlichem Phytin-gehalt (5), Mittelwerte, n = 8.

Phytins./ Zink molar	Gewichts- zunahme g/21 Tage		Femur-Zink µg/g TS		Alkal. Phosphatase U/Liter	
	I	II	I	II	I	II
0	64,2	77,4	109,2	98,2	281	351
6,5	61,5	60,0	104,0	106,3	261	282
6,6	61,5	65,0	104,0	110,3	261	298
6,8	61,4	65,6	103,8	103,7	260	299
12,2	59,2	65,9	99,5	92,6	243	244
21,4	55,3	66,5	92,1	77,4	214	247

chen an wachsenden Ratten (9, 10) ist bekannt, daß Zink aus den Knochen mobilisiert wird, um den Zinkbedarf von Muskeln und einigen anderen weichen Geweben abzudecken.

Neben der Phytinsäure können andere Nahrungsmittelinhaltsstoffe die Zinkverfügbarkeit in gewissem Grade beeinflussen. So kann eine erhöhte Calciumzufuhr die Bildung unlöslicher Zn-Ca-Phytatkomplexe im Gastrointestinaltrakt begünstigen und dadurch die Resorption von Zink aus Nahrungsmitteln mit einem hohen Phytatgehalt behindern (2, 4, 11). Aus dieser Erkenntnis wird in neueren Untersuchungen der molare Quotient $[\text{Phytinsäure}] \times [\text{Calcium}] / [\text{Zink}]$ zur Beurteilung der Zinkverfügbarkeit in Nahrungsmitteln bzw. in der Gesamtnahrung verwendet (12, 13, 14). Andererseits wirkt sich die Erhöhung des Proteingehaltes in der Nahrung positiv auf die Zinkresorption bei Ratten (15) und beim Menschen (16) aus. Der Gehalt an Calcium und Protein in den Futtermischungen wurde in der vorliegenden Untersuchung konstant gehalten, um den Einfluß dieser Faktoren auf die Zinkverfügbarkeit auszuschließen.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die Zinkverfügbarkeit in Getreidevollkornprodukten durch eine Verringerung des molaren Phytinsäure/Zink-Quotienten verbessert werden kann. Hierbei ist es unwesentlich, ob die Veränderung des Quotienten durch den Abbau der Phytinsäure oder durch Zinkzugabe zum Ausgangsmaterial vorgenommen wird.

Danksagung

Für die zuverlässige Durchführung der analytischen Arbeiten und die gewissenhafte Betreuung der Versuchstiere danken die Autoren Frau Petra Crocoll und Frau Sieglinde Felleisen.

Literatur

1. Oberleas D (1974) Factors influencing availability of minerals. Proceedings of Western Hemisphere Nutrition Congress – IV. In: White PL, Selvey N (eds) Publishing Sciences Group Inc., Acton, MA, pp 156–161

2. Morris ER, Ellis R (1980) Effect of dietary phytate/zinc molar ratio on growth and bone zinc response of rats fed semipurified diets. *J Nutr* 110:1037–1045
3. Oberleas D, Harland BF (1981) Phytate content of foods: Effect on dietary zinc bioavailability. *JADA* 79:433–436
4. Davies NT, Olpin SE (1979) Studies on the phytate: zinc molar contents in diets as determinant of zinc availability to young rats. *Br J Nutr* 41:591–603
5. Harmuth-Hoene AE, Meuser F (1987) Biologische Verfügbarkeit von Zink in Getreidevollkornprodukten mit unterschiedlichem Phytatgehalt. *Z Ernährungswiss* 26:250–267
6. 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
7. Morris ER, Ellis R (1983) Improved ion-exchange phytate method. *Cereal Chem* 60:121–124
8. SAS Institute Inc SAS (1985) User Guide: Statistic Version 5th Edition, Cary, NC
9. Huber AM, Gershoff SN (1970) Effects of dietary zinc and calcium on the retention and distribution of zinc in rats fed purified diets. *J Nutr* 100:949–954
10. Gugliano R, Millward DJ (1984) Growth and zinc homeostasis in the severely zinc deficient rat. *Br J Nutr* 52:545–560
11. Likuski HJ, Forbes RM (1965) Mineral utilization in the rat, IV effects of calcium and phytic acid on the utilization of dietary zinc. *J Nutr* 85:230–234
12. Fordyce E, Forbes RM, Robbins KR, Erdmann jr JW (1987) Phytate $\times$ calcium/zinc molar ratios: Are they predictive of zinc bioavailability. *J Food Sci* 52:440–444
13. Bindra GS, Gibson RS, Thompson LU (1986) [Phytate]/[calcium]/[zinc] ratios in Asian immigrant lacto-ovovegetarian diets and their relationship to zinc nutrition. *Nutr Res* 6:475–483
14. Ellis R, Kelsay JL, Reynolds RD, Morris ER, Moser PB, Frazier CW (1987) Phytate: zinc and phytate $\times$ calcium/zinc millimolar ratios in self-selected diets of Americans, Asians, Indians, and Nepalese. *JADA* 87:1043–1047
15. Davies NT (1982) Effects of phytic acid on mineral availability. In: Vahouny GV, Kritschewsky D (eds) *Dietary Fiber in Health and Disease*. Plenum Press, New York London, pp 105–116
16. Sandström B, Arvidsson B, Cederblad A, Björn-Rasmussen E (1980) Zinc absorption from composite meals I. The significance of wheat extraction rate, zinc, calcium, and protein content in meals based on bread. *Am J Clin Nutr* 33:739–745

Eingegangen 20. Juli 1988

Für die Verfasser:

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