

Die Bedeutung der Spurenelemente in der Ernährung

*Professor Dr. Josef Pallauf, Institut für Tierernährung,
Fachbereich Ernährungswissenschaften
der Justus-Liebig-Universität Giessen, Bundesrepublik Deutschland*

Als Spurenelemente werden in der Ernährungsphysiologie alle im Körper von Mensch und Tier anwesenden chemischen Elemente bezeichnet, deren Konzentrationen unter 50 mg/kg Körpermasse, d.h. unter 50 ppm (ppm = parts per million) liegen. Im Stoffwechsel kommen die Spurenelemente in der Regel gebunden an Proteine bzw. Aminosäuren vor, nur in sehr geringen Konzentrationen treten freie Ionen auf. Sind Spurenelemente für den Organismus lebensnotwendig, so müssen sie wie andere Nahrungsfaktoren ständig zugeführt werden und zählen somit zu den *essentiellen* Spurenelementen.

Nach einem kurzen Einblick in die historische Entwicklung der Spurenelementforschung sollen nachfolgend beispielhaft einige wichtige Funktionen von essentiellen Spurenelementen sowie Symptome des Spurenelementmangels behandelt werden. Nach Darstellung neuerer tierexperimenteller Forschungsergebnisse zum Studium des Spurenelementbedarfes und geeigneter Bedarfskriterien sollen schliesslich Versorgungssituation und Empfehlungen zur Spurenelementversorgung des Menschen erläutert werden.

1. Historische Entwicklung der Spurenelementforschung

In der Tabelle 1 sind die nach derzeitigem Stand der wissenschaftlichen Forschung als essentiell erachteten 16 Spurenelemente in der zeitlichen Reihenfolge ihrer Entdeckung aufgeführt (vergleiche Pallauf, 1982). Bereits seit Jahrhunderten bekannt ist die grosse Bedeutung des Eisens. Das zweite Spurenelement, dessen Essentialität schon lange bekannt ist, stellt das Jod dar. So setzte der Schweizer Arzt Coindet bereits 1820 Jodsalze zur Kropftherapie ein. Als Bestandteil der Schilddrüsenhormone Trijodthyronin (T 3) und Thyroxin (T 4) greift Jod besonders in der frühen Entwicklungsphase intracellulär durch Induktion der Transkription sowie durch Stimulierung der RNS-Proteinsynthese ein. Im erwachsenen Organismus führt das Schilddrüsenhormon auf molekularer Ebene über eine Steigerung der Stoffwechselaktivität der Mitochondrien zu einer Erhöhung des Grundumsatzes (siehe Kirchgessner et al., 1980).

Tabelle 1

**Essentielle Spurenelemente in der Reihenfolge
ihrer Entdeckung**

Element	entdeckt	Element	entdeckt
Eisen (Fe)	17. Jahrh.	Chrom (Cr)	1959
Jod (I)	1820	Zinn	1970
Kupfer (Cu)	1928	Vanadium (V)	1971
Mangan (Mn)	1931	Fluor (F)	1972
Zink (Zn)	1934	Silicium (Si)	1972
Kobalt (Co)	1935	Nickel (Ni)	1974
Molybdän (Mo)	1953	Blei (Pb)	1974
Selen (Se)	1957	Arsen (As)	1976

Alle übrigen essentiellen Spurenelemente sind in ihrer Bedeutung für Mensch und Tier erst in diesem Jahrhundert entdeckt worden. Die Notwendigkeit von Kupfer, Mangan und Zink wurde zunächst für das Wachstum von Labortieren nachgewiesen. Mit hochgereinigten halbsynthetischen Diäten und entsprechenden Vitaminergänzungen gelang es seinerzeit, durch das Weglassen eines bestimmten Spurenelementes spezifische Mangelsymptome zu erzielen, die bei Zulage des fehlenden Elementes wieder verschwanden. Aus heutiger Sicht ist der eindeutige Nachweis der Essentialität eines Spurenelementes an folgende drei Bedingungen (vergl. Kirchgessner und Reichlmayr-Lais, 1984) gebunden:

- Eine Verarmung (Depletion) des Organismus an dem getesteten Spurenelement muss wiederholbar zu identischen Störungen im Stoffwechsel führen.
- Die mit den verursachten Störungen verbundenen biochemischen Veränderungen müssen zumindest pauschal messbar sein.
- Das Ergänzen der Mangeldiät mit dem getesteten Element muss die Stoffwechselstörungen verhindern bzw. beseitigen.

Eine streng spezifische biochemische Funktion auf molekularer Ebene hingegen wurde, wenn bislang überhaupt, für die einzelnen Elemente in aller Regel erst später entdeckt. Für Zink wurde die erste biochemische Funktion beispielsweise 1939 durch die Entdeckung, dass die Carboanhydrase der Erythrocyten 1 Grammatom Zn pro Mol enthält, nachgewiesen. Lediglich bei Molybdän wurde 1953 der essentielle Charakter erstmals dadurch festgestellt, dass dieses Spurenelement als Bestandteil des Enzymes Xanthinoxidase nachgewiesen werden konnte. Die Notwendigkeit von Kobalt für Wiederkäuer und andere Herbivoren wiederum wurde 1935 entdeckt (siehe Underwood, 1977).

Kobalt nimmt insofern eine besondere Stellung ein, als es nach bisherigen Kenntnissen ausser unspezifischen Aktivierungsreaktionen bei verschiedenen Enzymen in vivo nur als Zentralatom des Corrinsystems des Vitamin B₁₂ eine lebensnotwendige biochemische Funktion übernimmt. Zur Synthese von Vitamin B₁₂ sind ausschliesslich Mikroorganismen – z.B. im Pansen des Wiederkäuers – befähigt. Der Mensch ist somit auf die Zufuhr des Co-enhaltenden Vitamin B₁₂ und weniger oder möglicherweise gar nicht auf die Versorgung mit Kobalt in anderen chemischen Bindungsformen angewiesen. Im menschlichen Organismus liegt allerdings im Mittel nur weniger als ein Zehntel des Gesamt-Co in Form von Vitamin B₁₂ (Kirchgessner et al., 1980) vor.

Für das Spurenelement Selen wurde die Unentbehrlichkeit erstmals 1957 dadurch bewiesen, dass die Lebernekrose bei Ratten durch Se-Zulagen verhindert werden konnte. Erst wesentlich später wurde entdeckt, dass die Glutathionperoxidase des Blutes ein selenhaltiges Enzym (Rotruck et al., 1973) darstellt. Neben der bei vielen Jungtieren beschriebenen Weissmuskelkrankheit ist aus China (Zhu, 1981) berichtet worden, dass die dort seit etwa 1935 vorwiegend im Nordosten des Landes beobachtete sogenannte «Keshan-Krankheit» – eine Kardiomyopathie bei Kindern unter zehn Jahren sowie bei Frauen im fortpflanzungsfähigen Alter – durch Se-Zulagen verhindert bzw. günstig beeinflusst werden konnte.

Im Jahre 1959 wurde entdeckt, dass dreiwertiges Chrom essentiell für den Kohlenhydratstoffwechsel der Ratte ist. Später konnte gezeigt werden, dass Chrom in organischer Bindung als Glucosetoleranzfaktor auch beim Menschen bedeutsam ist.

Mit Ausnahme des Fluors, dessen Bedeutung für die Kariesprophylaxe beim Menschen schon sehr lange bekannt ist, sind von den weiteren sieben in Tabelle 1 aufgeführten Elementen bislang weder genaue biochemische Funktionen bekannt noch gibt es konkrete Hinweise auf mögliche Mangelsituationen in der Humanernährung. Bisher liessen sich lediglich im Tierversuch anhand hochgereinigter Diäten gewisse positive Effekte von geringen Zulagen an Zinn, Vanadium, Silicium, Nickel, Blei und Arsen nachweisen.

2. *Funktionen und Bedarfskriterien von Spurenelementen – dargestellt am Beispiel des Zinks*

Zinkmangelerscheinungen bei Mensch und Tier wurden lange Zeit für unwahrscheinlich, wenn nicht gar unmöglich gehalten. Die Ursache dafür war, dass in den USA (Hove et al., 1937) aus ersten Bedarfsstudien an der Ratte ein Zn-Bedarf von lediglich rund 40 mg Zn je Tag, entsprechend etwa 4 mg Zn je kg Diät, abgeleitet wurde, der nur einen Bruchteil der normalen natürlichen Gehalte in Nahrungs- und Futtermitteln beträgt. Zwar hielt dieser niedrige Bedarfswert späteren Überprüfungen nicht stand, lebte aber dennoch in der Literatur lange fort. Der Zinkbedarf wachsender Ratten ist nach heutiger Kenntnis bei einer Casein- bzw. Ovalbumindiät mit mindestens 12 ppm Zn in der Trockenmasse (TM) anzusetzen (Pallauf und Kirchgessner, 1971). Bei phytinreichen Rationen ist der Zn-Bedarf noch wesentlich höher.

Die Zinkversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere trat in den Mittelpunkt wissenschaftlichen Interesses, nachdem im Jahre 1955 in den USA entdeckt wurde, dass die bis dahin zu grossen wirtschaftlichen Verlusten führende Parakeratose des Schweines durch Zinkzulagen zu verhindern bzw. zu heilen ist.

Zinkmangel beim Menschen wurde in grösserem Umfange erstmals in den 60er Jahren in Iran und Ägypten beobachtet. Jugendliche zeigten dabei Zwergwuchs mit Unterdrückung der sekundären Geschlechtsmerkmale. Akrodermatitis enteropathica, eine autosomal rezessiv vererbte Krankheit des abgestellten Säuglings, die zu charakteristischen Hautveränderungen führt, erwies sich als eine durch Absorptionsstörungen verursachte Zn-Mangelkrankheit. Sie kann heute durch orale Zn-Therapie innerhalb weniger Wochen behoben werden (siehe Kästner, 1983). Bei Zinkmangel tritt beim Menschen auch eine Schwächung bzw.

sogar ein Verlust des Geruchs- und Geschmacksempfindens ein. Auch nach Schwangerschaft oder bei parenteraler Ernährung sowie Alkoholmissbrauch, Leberzirrhose, Verbrennungen, Entzündungen und chirurgischen Eingriffen und bei Hämodialyse-Patienten kann es zu einem Zink-Mangel kommen.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Vielzahl der heute bekannten Zink-Metalloenzyme und deren Aktivitätsbeeinflussung im Zinkmangel. Insbesondere alkalische Phosphatase, Peptidasen, Carboanhydrase

Tabelle 2

Zink-Metalloenzyme (KIRCHGESSNER et al., 1982)

Enzyme	EC-Nr.	Aktivitäts- änderung*)	Beispiele für Vor- kommen
Alkohol-Dehydrogenase	1.1.1.1	-	Leber, Fettgewebe, Lunge
Glutamat-Dehydrogenase	1.4.1.3	o	Leber, Großhirn, Nieren, Herzmuskel usw.
Malat-Dehydrogenase	1.1.1.37	o	Groß- u. Kleinhirn, Fettgewebe, Leber, Pankreas usw.
Lactat-Dehydrogenase	1.1.1.27	o	Groß- u. Kleinhirn, Fettgewebe, Herzmuskel, Nieren, Leber, Pankreas usw.
Glycerinaldehyd-phosphat-Dehydrogenase	1.2.1.13		Muskel
RNA-Polymerase	2.7.7.6	-	Leber, Nieren
DNA-Polymerase	2.7.7.7	-	Leber, Nieren
Alkalische Phosphatase	3.1.3.1	-	Knochen, Mucosa, Serum, Nieren
Leucin-Aminopeptidase	3.4.1.1		Nieren
Carboxypeptidase A	3.4.2.1	-	Pankreas
Carboxypeptidase B	3.4.2.2	-	Pankreas
Dipeptidase	3.4.3.-	-	Nieren
AMP-Aminohydrolase	3.5.4.6		Muskel
Carboanhydrase	4.2.1.1	-	Erythrozyten
σ -Aminolävulinsäure-Dehydratase	4.2.1.24	-	Erythrozyten

*) o = unverändert bei Zink-Mangel
- = reduziert bei Zink-Mangel

sowie RNA- und DNA-Polymerase zeigen unter Zinkmangel reduzierte Aktivitäten. Andere Zink-Metalloenzyme wiederum reagieren erst sehr spät oder gar nicht messbar auf eine Zn-Depletion des Organismus. Die Fülle der beteiligten Enzymsysteme lässt aber auch erahnen, welche komplexen Symptome im Zinkmangel auftreten können.

Neben den sogenannten Zink-Metalloenzymen gibt es auch eine Reihe von Enzymen, in denen Zink eine aktivierende Funktion ausübt, die jedoch keineswegs immer streng spezifisch ist. In diesen Fällen können auch andere zweiwertige Metalle wie Mn, Cu, Pb, Fe, Cd oder Co diese Funktion ganz oder zumindest teilweise übernehmen.

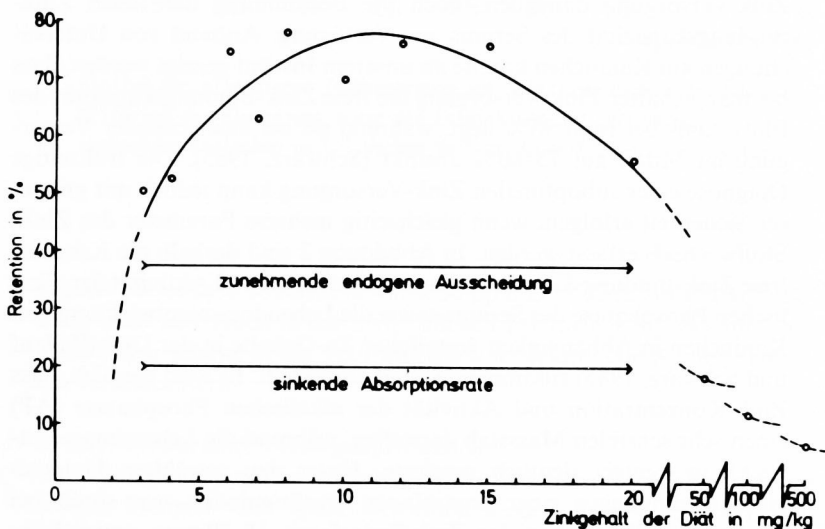
Grundsätzliche Zusammenhänge zwischen Zinkmangel und Bedarfskriterien sollen im folgenden beispielhaft am Tiermodell erläutert werden. Am Ende eines 5wöchigen Versuchs mit Ratten wiesen die Tiere aus der Gruppe, die weniger als 2 mg Zn/kg Diät erhielt, schwerste Wachstumsstörungen sowie Parakeratose, Haarausfall, Abmagerung und allgemeine Entkräftung auf. Die Tiere der Kontrollgruppe waren hingegen völlig normal entwickelt. Beide Gruppen erhielten dieselbe hochgereinigte halbsynthetische Casein-Saccharose-Diät, bei der Kontrollgruppe erfolgte jedoch eine bedarfsgerechte Ergänzung von Zink in Form von ZnSO_4 .

Da Zn-Mangel zumindest beim Monogaster sehr rasch auch die freiwillige Nahrungsaufnahme negativ beeinflusst, wird bei derartigen tierexperimentellen Studien in der Regel eine sogenannte pair fed-Gruppe mitgeführt, die von dem Zn-ergänzten Futter nur jeweils soviel erhält, wie die Mangeltiere von der Mangeldiät aufnehmen. Damit lässt sich der Effekt, der ausschliesslich auf die reduzierte Nahrungsaufnahme zurückzuführen ist, von den Zn-Mangelercheinungen im engeren Sinne abgrenzen. In der durchschnittlichen Lebendmasse liegen dabei die pair fed-Kontrolltiere immer noch signifikant über den Mangeltieren. Daraus lässt sich erkennen, dass neben der reduzierten Futteraufnahme im Zn-Mangel auch direkte Störungen der Nährstoffverwertung auftreten. In Stoffwechselversuchen an Ratten konnte gezeigt werden, dass das Verdauungsvermögen im Zinkmangel stark zurückgeht. Ausserdem ist auch die intermediäre Verwertung der absorbierten Nährstoffe verschlechtert (siehe Pallauf, 1983).

Insgesamt sind jedoch deutliche klinische Mangelsymptome, wie sie im Tierexperiment zum Studium kausaler Zusammenhänge ausgelöst werden, in der humanmedizinischen wie auch in der veterinärmedizinischen Praxis nur noch sehr selten anzutreffen. Heute sind es vielmehr latente Mangelzustände und sogenannte suboptimale Versorgungssituationen, die mit Hilfe vor allem biochemischer Kriterien möglichst frühzeitig erkannt werden sollten. Auch dieses Studium geeigneter Indikatoren des Versorgungsstatus ist ein wichtiges Arbeitsgebiet der ernährungsphysiologischen Spurenelementforschung.

Der Zink-Spiegel verschiedener Körpergewebe und Organe zeigt je nach Stoffwechseldynamik ein unterschiedliches Verhalten bei Änderungen der Zufuhr. So reagiert der Zn-Gehalt des Serums im Mangelbereich sehr rasch auf eine verbesserte Zufuhr, während der Zn-Gehalt des Knochens eine wesentlich geringere Dynamik aufweist.

Abbildung 1

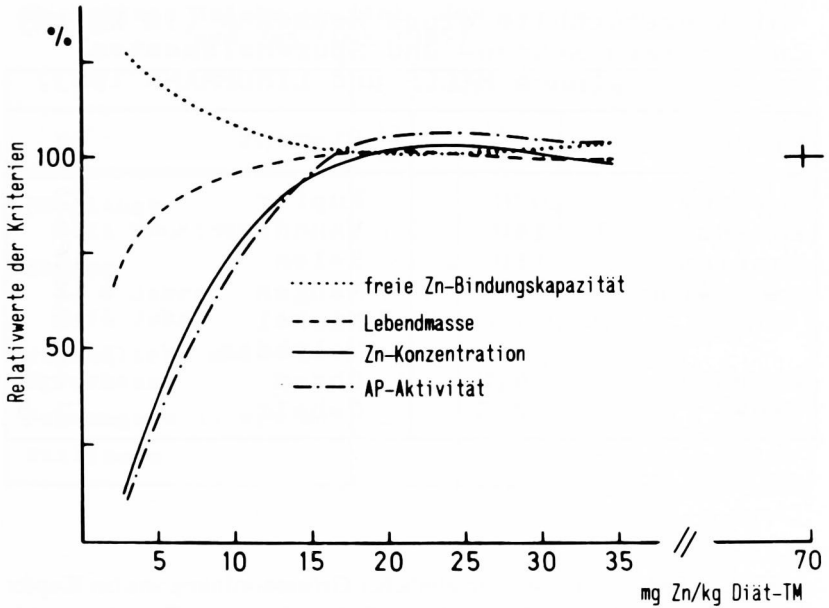


Abhängigkeit der Zinkretention in % vom Zinkgehalt der Diät
wachsender Ratten

Durch homöostatische Anpassung von Absorption und endogener Exkretion werden die Zink-Konzentrationen oberhalb des Bedarfes über einen relativ weiten Bereich konstantgehalten. Erst extrem hohe Zulagen von 500 mg Zink je kg Diät führten bei wachsenden Ratten zu einer deutlichen Akkumulation von Zink im Organismus. In Abbildung 1 sind dazu Ergebnisse aus Retentionsstudien an der Ratte (Pallauf und Kirchgessner, 1972) aufgetragen. Mit steigender alimentärer Zn-Versorgung steigt zunächst die Retentionsrate deutlich an, bis nach Erreichen des Optimalbedarfes durch eine sinkende Absorptionsrate sowie eine zunehmende endogene Exkretion, die bei Zink ganz überwiegend über die Faeces erfolgt, eine deutliche Abnahme der Gesamt-Retentionsrate in Prozent der Dosis zu verzeichnen ist. Bei hohen Dosierungen von 100 ppm Zink und darüber schliesslich sinkt die Retentionsrate auf weit unter 20% ab.

Im Hinblick auf möglichst sensitive Kriterien zur Bedarfsermittlung steht heute neben der Bestimmung der Aktivität der alkalischen Phosphatase und des Serum-Zink-Spiegels, die beide empfindliche Indikatoren der Zink-Versorgung darstellen, noch die Bestimmung der freien Zink-Bindungskapazität des Serums zur Verfügung. Anhand von Untersuchungen am Kaninchen konnte an unserem Institut gezeigt werden, dass bei mangelhafter Zink-Versorgung die freie Zink-Bindungskapazität des Blutserums bei rund 95% liegt, während sie bei ausreichender Versorgung im Mittel auf 75–80% absinkt (Schwarz, 1985). Die frühzeitige Diagnose einer suboptimalen Zink-Versorgung kann jedoch mit grösserer Sicherheit erfolgen, wenn gleichzeitig mehrere Parameter des Zink-Stoffwechsels erfasst werden. In Abbildung 2 sind deshalb die Kriterien freie Zink-Bindungskapazität, Zn-Konzentration und Aktivität der alkalischen Phosphatase des Serums sowie die Lebendmasseentwicklung von Kaninchen in Abhängigkeit gestaffelter Zn-Gehalte in der Diät (Pallauf und Schwarz, 1985) zusammenfassend dargestellt. Es wird deutlich, dass Zink-Konzentration und Aktivität der alkalischen Phosphatase (AP) einen sehr sensiblen Massstab darstellen, während die Lebendmasseentwicklung weniger deutlich reagierte. Unter den gewählten Untersuchungsbedingungen einer phytinfreien Ovalbumindiät war somit bei wachsenden Kaninchen der Zink-Bedarf mit 15–20 ppm optimal gedeckt. Wurde der Kaninchen-Diät jedoch Phytinsäure zugelegt, die in hohem molarem Überschuss die Zn-Verwertung durch Komplexbildung

Abbildung 2



Einfluß der alimentären Zn-Versorgung auf Relativwerte biochemischer Kriterien des Blutserums sowie die Entwicklung der Lebendmasse wachsender Kaninchen nach 6 Wochen Versuchsdauer (70 mg Zn/kg Diät $\cong$ 100)

negativ beeinflusst, so reichten selbst 30 ppm Diät-Zink zur Bedarfsdeckung nicht aus. Auch in der menschlichen Ernährung ist bekannt, dass hohe Phyttingehalte in der Nahrung die Verwertung von Spurenelementen verschlechtern.

3. Bedarf, Verwertung, Versorgungssituation

Tabelle 3 gibt die mittleren Gehalte eines 70 kg schweren Menschen an einigen Mengen- und Spurenelementen wieder. Ausser bei Eisen und Zink liegt der Gesamtbestand des menschlichen Organismus an den einzelnen essentiellen Spurenelementen jeweils deutlich unter 100 mg. Auffallend niedrig liegt der Mangangehalt mit 12 mg, obwohl der ali-

Tabelle 3

Mittlere Gehalte eines Menschen (70 kg LM)
an einigen Mengen- und Spurenelementen
(nach MILLS und LINDEMANN 1983)

Element	g	Element	mg
Calcium	1000	Kupfer	72
Kalium	140	Vanadium	20
Natrium	110	Selen	13
Magnesium	20	Mangan	12
		Nickel	10
		Molybdän	9
Eisen	4,2	Chrom	1,7
Zink	2,3	Cobalt	1,5

mentäre Bedarf mindestens in ähnlicher Grössenordnung wie bei Kupfer liegt. Gleichzeitig hat dies auch zur Folge, dass vom Tier stammende Nahrungsmittel im Durchschnitt wesentlich manganärmer sind als pflanzliche Nahrungsmittel.

Um die Versorgung des Menschen mit essentiellen Spurenelementen sicherzustellen, gibt es Bedarfsschätzungen und daraus abgeleitete Empfehlungen über die Zufuhr. Diese Richtwerte enthalten normalerweise entsprechende Sicherheitszuschläge, so dass der Bedarf auch unter erschwerten Bedingungen noch mit hinreichender Sicherheit gedeckt werden kann. In Tabelle 4 sind die neuen Empfehlungen der *Deutschen Gesellschaft für Ernährung* (DGE) für die empfohlene Zufuhr an Zink, Kupfer, Mangan und Jod wiedergegeben. Es wird hierbei absichtlich weniger von Bedarf bzw. Bruttobedarf als vielmehr von einer empfohlenen Zufuhr im Sinne einer Richtgrösse gesprochen. Für Jugendliche und Erwachsene liegt die Empfehlung bei 15 mg Zink, 2–4 mg Kupfer, 2–5 mg Mangan sowie etwa 0,2 mg Jod. Vor allem Zink- und Jodbedarf sind bei schwangeren und stillenden Frauen deutlich erhöht. Für die

Tabelle 4

**Empfohlene Zufuhr an Zink, Kupfer, Mangan
und Jod (DGE 1985)**

	empfohlene Zufuhr je Tag			
	Zn mg	Cu mg	Mn mg	I µg
Säuglinge 0-11 Monate	3-5	1-2	1-2	50- 80
Kinder 1- 6 Jahre	8-10	1-2	1-2	100-120
7-14 Jahre	12-15	1-2	1-2	140-200
Jugendliche und Erwachsene	15	2-4	2-5	180-200
Schwangere ab 4.Monat	25	4	5	230
Stillende	25	4	5	260

übrigen Spurenelemente wie Selen, Molybdän, Kobalt und Chrom gibt es bislang keine gesicherten Werte über die wünschenswerte Höhe der täglichen alimentären Zufuhr (DGE, 1985).

Eine Reihe von Lebensmitteln mit hervorzuhebenden Gehalten an wichtigen Spurenelementen sind in Tabelle 5 aufgeführt. Hohe Gehalte an Zink, bei gleichzeitig guter Verfügbarkeit weisen Leber, Fleisch, Schalentiere, insbesondere Austern, sowie diverse Fischarten auf. Ebenso sind Milch und Milchprodukte als zinkreich zu bezeichnen, während bei den übrigen Spurenelementen die Milch meist relativ niedrige Gehalte aufweist. Unter den pflanzlichen Nahrungsmitteln sind Vollkornprodukte, Getreidekeime sowie Kleien, aber auch Leguminosen und Nüsse hervorzuheben. In Pflanzensamen liegen jedoch relativ hohe Phyttingehalte vor, die die Zink-Verfügbarkeit negativ beeinflussen können. Da Phytasen im wesentlichen nur von Mikroorganismen gebildet werden, bzw. in unterschiedlicher Menge bereits im Samenkorn enthalten sind, ist eine generelle Aussage über die Verfügbarkeit des Zink-Phytatkomplexes kaum möglich. Erschwert wird dies auch noch dadurch, dass hohe Calcium-

Tabelle 5

**Lebensmittel mit höheren Gehalten an wichtigen
Spurenelementen**

Element	reichliche Gehalte in
Zink	Leber u. Fleisch, Schalentiere, div. Fisch- arten, Getreidevollkornprodukte sowie Ge- treidekeime u. Kleie, Leguminosen, Nüsse (Pflanzensamen aber auch phytinreich), Milch und Milchprodukte
Kupfer	Leber, Fische, Schalentiere, Nüsse, Kakao, div. grüne Gemüse, Kleie
Jod	Meerestiere, Milch und Eier jodreich ge- fütterter Tiere, jodiertes Kochsalz
Mangan	Lebensmittel pflanzlicher Herkunft
Selen	Hülsenfrüchte, Spargel, Fleisch, manche Cerealien, Niere, Thunfisch
Molybdän	Erbsen, Bohnen, Hafer, Leber
Chrom	Fleischprodukte, Vollkornprodukte, Bierhefe

gehalte in der Diät, bei gleichzeitiger Anwesenheit von Phytat, die Zink-Verwertung des Monogasters zusätzlich negativ beeinflussen. Andererseits wird bei der Nahrungszubereitung, wie Hefegärung und Backprozess, offenbar ein Teil des Phytins gespalten und die Spurenelementverfügbarkeit dadurch erhöht.

Gute Quellen für die Kupfer-Versorgung stellen vor allem die Leber, aber auch Fische, Schalentiere und einige pflanzliche Nahrungsmittel dar. Für die Jodversorgung sind bekanntlich Meerestiere besonders wertvoll. Der Jodgehalt von Milch und Eiern hängt sehr stark von der Jodversorgung der diese Nahrungsmittel produzierenden Milchkühe bzw. Legehennen ab, so dass hier über die Tierernährung eine wesentliche Einflussnahme möglich ist. Darüber hinaus spielt in jodarmen Gegenden bekanntlich die Jodierung des Speisesalzes eine wichtige Rolle. In der Bundesrepublik

Deutschland ist für das diätetische Lebensmittel «jodiertes Salz» ein Zusatz von mindestens 15 mg und höchstens 25 mg Jod pro kg Kochsalz vorgesehen.

Wie bereits erwähnt, weisen Lebensmittel pflanzlicher Herkunft im allgemeinen wesentlich höhere Mangangehalte auf als tierische Lebensmittel.

Andererseits ist bekannt, dass Zucker, Auszugsmehle, Nahrungsfette, aber auch Alkoholika generell besonders geringe Spurenelementgehalte aufweisen. Dies gilt sowohl absolut als insbesondere auch für die Nährstoffdichte, d.h. den Spurenelementgehalt je Energieeinheit. Ein übermässiger Verzehr der genannten Lebensmittel ist deshalb auch aus der Sicht der Spurenelementversorgung als problematisch anzusehen.

Eine ausreichende Versorgung mit essentiellen Spurenelementen ist jedoch auch im Hinblick auf einen gewissen Schutz vor Schadstoffen aus der Nahrung, wie z.B. Cadmium, wichtig. So zeigte sich am isolierten Duodenum von Küken eine signifikant höhere Cadmiumaufnahme, wenn die vorausgegangene Zink-Ernährung mangelhaft war (siehe Pallauf, 1982). Aber auch innerhalb der essentiellen Elemente ist auf ein harmonisches Verhältnis der einzelnen Elemente zueinander zu achten. Seit langem bekannt ist z.B. der Antagonismus zwischen Zink und Kupfer. Jüngste Untersuchungen in den Vereinigten Staaten (Festa et al., 1985) haben ergeben, dass eine Zink-Aufnahme bei jungen Männern von lediglich 3,5 mg pro Tag über den empfohlenen RDA-Werten (RDA = Recommended Dietary Allowances) bereits zu einer deutlichen Reduzierung der Kupfer-Retention führte, wenn die Kupfer-Aufnahme 2,6 mg pro Tag betrug. Auch aus dieser Sicht ist die Frage der Supplementierung von Nahrungsmitteln mit einzelnen Elementen nicht leicht zu beantworten und bedarf einer gründlichen Abwägung der eventuellen Risiken. Je nach Element verschieden, sind bei erheblichen Überdosierungen früher oder später auch subtoxische und toxische Reaktionen nicht mehr auszuschliessen.

Abschliessend soll ein weiterer Aspekt der Spurenelementversorgung kurz angesprochen werden. Neben den vielen ungeklärten Fragen bei der Verwertung der Spurenelemente stellen die extremen Schwankungen der nativen Spurenelementgehalte von Probe zu Probe derselben Art eines Nahrungsmittels ein grosses Problem dar. Der in Tabellen angegebene

Mittelwert, so wichtig und unentbehrlich er auch ist, gibt häufig ein etwas trügerisches Bild. Vielfach liegt ein erheblicher Teil der Einzelproben wesentlich niedriger oder teilweise auch erheblich höher. Bei Normalverteilung der Einzelwerte um den Mittelwert kann hier die Berücksichtigung der Standardabweichung der Einzelwerte eine wertvolle Orientierungshilfe darstellen. Dem wird auch in vielen Tabellen bereits Rechnung getragen. Allerdings entsprechen die Einzelanalysen der Spurenelementgehalte von Nahrungsmitteln keineswegs immer einer glockenförmigen Normalverteilung um den statistischen Mittelwert. Für die Praxis einer ausgewogenen Ernährung bedeutet dies letztlich, dass die beste Sicherheit vor zufälligen Extremwerten auch in diesem Falle eine gewisse Vielseitigkeit und Abwechslung in der Nahrungswahl bietet, die in der Humanernährung ja auch aus anderen Gründen durchaus erwünscht ist.

Literaturverzeichnis

1. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (1985): Empfehlungen für die Nährstoffzufuhr. 4. erweiterte Überarbeitung, Umschau, Frankfurt
2. Festa, M.D., H.L. Anderson, R.P. Dowdy, M.R. Ellersieck (1985): Effect of zinc intake on copper excretion and retention in men. *Am. J. Clin. Nutr.* *41*, 285–292
3. Hove, E., C.A. Elvehjem, E.B. Hart (1937): The physiology of Zn in the nutrition of the rat. *Am. J. Physiol.* *119*, 768–775
4. Kästner, H. (1983): Acrodermatitis enteropathica Danbolt-closs. *Akt. Ernähr.* *8*, 122–125
5. Kirchgessner, M., A.M. Reichlmayr-Lais (1984): Spurenelemente – ernährungsphysiologische und metabolische Aspekte. *Ernährung* *8*, 726–733
6. Kirchgessner, M., F.J. Schwarz, E. Weigand, H.-P. Roth (1982): Zum Stoffwechsel des Zinks im menschlichen und tierischen Organismus. In: Staib, I. (Hrsg.): Spurenelemente, Bedeutung für Chirurgie, Anästhesiologie und Intensivmedizin. S. 12–61, Schattauer, Stuttgart, New York
7. Kirchgessner, M., E. Weigand, A. Schnegg, E. Grassmann, F.J. Schwarz, H.-P. Roth (1980): Spurenelemente. In: Cremer, H.D., D. Hötzel, J. Kühnau (Hrsg.): Ernährungslehre und Diätetik, Bd. 1: Biochemie und Physiologie der Ernährung. S. 275–304, Thieme, Stuttgart
8. Mills, B.J., R.D. Lindemann (1983): Zink. In: Zumkley, H. (Hrsg.): Spurenelemente. S. 197–212, Thieme, Stuttgart
9. Pallauf, J. (1982): Zum Einfluss der Ernährung mit Spurenelementen auf die Qualität von Lebensmitteln tierischer Herkunft. Übers. *Tierernähr.* *10*, 163–188
10. Pallauf, J. (1983): Tierexperimentelle Untersuchungen zum Zink-Mangel-Syndrom. *Akt. Ernähr.* *8*, 107–112
11. Pallauf, J., M. Kirchgessner (1971): Zum Zinkbedarf wachsender Ratten. *Int. Z. Vit.-Ern.-Forschung* *41*, 543–553
12. Pallauf, J., M. Kirchgessner (1972): Zinkgehalte in Knochen und Ganzkörper wachsender Ratten bei unterschiedlicher Zinkversorgung. *Z. Tierphysiol. Tierernähr. u. Futtermittelk.* *30*, 193–202
13. Pallauf, J., G. Schwarz (1985): Experimental studies on biochemical criteria of zinc deficiency in the rabbit. In: MILLS, C.F., I. BREMNER, J.K. CHESTERS (eds.): Trace elements in man and animals, Proceedings 5th Internat. Symp. on Trace Elements in Man and Animals p. 587–590, Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough
14. Rotruck, J.T., A.L. Pope, H.E. Ganther, A.B. Swanson, D.G. Hafeman, W.G. Hoekstra (1973): Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science* *179*, 588–590
15. Schwarz, G. (1985): Untersuchungen zum Zinkstoffwechsel des Kaninchens. Diss. agr. FB Ernährungswissenschaften, Universität Giessen
16. Underwood, E.J. (1977): Trace elements in human and animal nutrition. 4th ed. Academic Press, New York
17. Zhu, L. (1981): Keshan disease. In: Howell, J. McC., J.M. Gawthorne, C.L. White (Hrsg.): Trace element metabolism in man and animals. S. 514–517, Vol. 4. Austr. Academy of Science, Canberra

Die Bedeutung der Spurenelemente in der Ernährung

Zusammenfassung

*Professor Dr. Josef Pallauf, Institut für Tierernährung,
Fachbereich Ernährungswissenschaften
der Justus-Liebig-Universität Giessen, Bundesrepublik Deutschland*

Als Spurenelemente werden in der Ernährungswissenschaft alle bei Mensch und Tier vorkommenden chemischen Elemente bezeichnet, deren Konzentration unter 50 mg/kg Körpermasse liegt.

Nach heutigem Stand der Forschung sind für den Menschen mindestens 16 Spurenelemente lebensnotwendig (essentiell). Die wichtigsten davon sind: Eisen, Zink, Kupfer, Mangan, Jod, Kobalt, Fluor, Selen, Molybdän und Chrom. Aus der Vielzahl ihrer Funktionen ist neben der Wirkung als Bestandteil von Hormonen (Jod) und Vitaminen (Kobalt im B₁₂) vor allem die Beteiligung an Metalloenzymen und funktionellen Proteinen sowie deren Aktivierung zu nennen. Eine mangelhafte Spurenelementversorgung führt meist zu sehr komplexen Gesundheitsstörungen. Neben dem absoluten Gehalt der Nahrung an Spurenelementen sind für eine ausreichende Versorgung auch Absorption und intermediäre Verfügbarkeit von entscheidender Bedeutung. So wird Zink beispielsweise aus tierischen Nahrungsmitteln besser verwertet als aus Phytat enthaltenden Pflanzensamen.

Die derzeitigen Empfehlungen für eine optimale Zufuhr belaufen sich für gesunde Erwachsene auf täglich 15 mg Zink, 2–4 mg Kupfer, 2–5 mg Mangan und 0,2 mg Jod. Diese Zahlen enthalten dabei bereits gewisse Sicherheitszuschläge. Als besonders spurenelementarm sind Zucker, Auszugsmehle, Nahrungsfette und Alkoholika zu bezeichnen. Vollkornprodukte, Leber, Fisch, Fleisch und verschiedene Gemüse weisen hingegen vielfach hohe Spurenelementgehalte auf.

Aufgrund antagonistischer Effekte sollten die essentiellen Elemente in der Gesamtdiät stets in einem harmonischen Verhältnis vorliegen. Vielseitigkeit und Abwechslung in der Auswahl von Lebensmitteln sind auch aus der Sicht einer optimalen Versorgung mit Spurenelementen empfehlenswert.

L'importance des oligo-éléments dans l'alimentation

Résumé

Prof. Dr J. Pallauf, Giessen, Allemagne fédérale (RFA)

Sont désignés comme oligo-éléments tous les éléments chimiques présents dans le corps de l'être humain ou de l'animal dont la concentration est inférieure à 50 mg par kg de poids corporel.

Dans l'état actuel de la recherche, 16 oligo-éléments au moins sont vitaux (essentiels) pour l'être humain. Les plus importants sont: le fer, le zinc, le cuivre, le manganèse, l'iode, le cobalt, le fluor, le sélène, le molybdène et le chrome. Parmi les multiples fonctions de ces éléments, citons leur effet en tant que constituants des hormones (iode) et des vitamines (cobalt dans la vitamine B 12) et surtout leur participation aux enzymes métalliques et aux protéines fonctionnelles, ainsi que l'activation de ces derniers. Un apport insuffisant en oligo-éléments aboutit souvent à des troubles de santé très complexes. Non seulement la teneur absolue de l'alimentation en oligo-éléments est d'une importance capitale pour qu'un apport suffisant soit garanti, mais aussi le taux de résorption et la disponibilité intermédiaire de ces éléments. Si le zinc, par exemple, provient de denrées animales, il est mieux assimilé que s'il provient de semences végétales contenant des phytates.

Pour couvrir le besoin optimum d'un adulte en bonne santé, les doses quotidiennes recommandées actuellement sont: 15 mg de zinc, 2 à 5 mg de manganèse et 0.2 mg d'iode. Ces chiffres comportent déjà une certaine marge de sécurité. Parmi les aliments particulièrement pauvres en oligo-éléments, citons le sucre, les farines blanches, les graisses alimentaires et les boissons alcooliques. Les céréales complètes, le foie, le poisson, la viande et certains légumes sont souvent très riches en oligo-éléments.

Dans le but d'empêcher des effets antagonistes, les oligo-éléments essentiels devraient toujours s'équilibrer harmonieusement dans un régime alimentaire. Il est recommandé de diversifier au mieux le choix des aliments pour qu'un apport optimum en oligo-éléments soit assuré.