Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 86 (1995)

Heft: 3

Artikel: Untersuchungen von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben. Teil VII, Essentielle Spurenelemente: Iod und Selen = Analysis of daily rations from Swiss canteens and restaurants. Part VII, Essential trace elements: Iodine and selenium

Autor: Zimmerli, Bernhard / Tobler, Leonhard / Bajo, Sixto

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-983634

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

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

Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **86**, 226–265 (1995)
Eingegangen am 4. April 1995. Angenommen am 11. April 1995

Untersuchungen von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben

VII. Essentielle Spurenelemente: Iod und Selen

Analysis of Daily Rations from Swiss Canteens and Restaurants
VII. Essential Trace Elements: Iodine and Selenium

Key words: Dietary intake, Essential trace element, Iodine, Selenium

Bernhard Zimmerli[1], *Leonhard Tobler*[2], *Sixto Bajo*[2], *Armin Wyttenbach*[2], *Max Haldimann*[1] und *Robert Sieber*[3]

Einleitung

Jahrzehntelang standen im Zusammenhang mit der menschlichen Gesundheit ausschliesslich die Spurenelemente Eisen und Iod im Vordergrund des Interesses. In den letzten 20 Jahren haben auch Zink und Selen als für den Menschen essentielle Spurenelemente an Bedeutung gewonnen. Bis in die 50er Jahre galt Selen ausschliesslich als toxisches Element (ähnlich wie heute noch Arsen), dem auch eine krebserzeugende Wirkung zugeschrieben wurde. Glücklicherweise waren damals die analytischen Möglichkeiten vieler Laboratorien der Lebensmittelkontrolle noch nicht so entwickelt und die Bevölkerung weniger von der «Chemophobie» erfasst als heute. Andernfalls wäre vermutlich schon in den 40er Jahren die gesetzliche Reglementierung der Selengehalte der Lebensmittel gefordert worden. Erst Anfang der 60er Jahre wurde Selen als ein für Mensch und Tier lebenswichtiges Spurenelement erkannt.

In der ersten grösseren Studie über den Ernährungs- und Gesundheitszustand der schweizerischen Berg- und Landbevölkerung wurde unter diesen Elementen nur gerade die Eisenaufnahme aus dem Verbrauch an Lebensmitteln berechnet (1). In den nachfolgenden Untersuchungen zur Versorgung ausgewählter Bevölke-

[1] Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG), 3000 Bern 14
[2] Paul-Scherrer-Institut (PSI), vormals Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung (EIR), 5232 Villigen PSI
[3] Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM), 3097 Liebefeld

rungsgruppen wie Betagten und Insassen von Altersheimen (2, 3) und Krankenhäusern (4, 5), Schülern, Studenten und Jugendlichen (2, 6, 7) sowie Rekruten (8) fand wiederum nur das Eisen Beachtung. Dass dieses Element häufig im Vordergrund stand, ist darauf zurückzuführen, dass bei diesen Bevölkerungsgruppen mit Eisenmangelzuständen zu rechnen war. In einer neueren Studie über die Ernährungslage der Einwohner ländlicher Gebiete wurden aussagekräftigere Blutparameter des Eisenversorgungszustandes herbeigezogen (9).

In der vorangehenden Mitteilung wurde über die Zufuhr an den Spurenelementen Eisen, Zink, Mangan und Kupfer in Tagesrationen berichtet (10), nachdem bereits in früheren Arbeiten die Resultate über die Zufuhr an Energie, Energieträgern, Nahrungsfasern, Thiamin und Riboflavin (11), an den bereits in geringen Mengen toxisch wirkenden Elementen (12), an Pestiziden (13) und an Mineralstoffen (14) zusammengefasst wurden. Mit diesen Untersuchungen zu Tagesrationen sollten die oben erwähnten, früheren schweizerischen Untersuchungen, in denen die Gehalte dieser Stoffe in der Nahrung chemisch-analytisch erfasst wurden, ergänzt werden. Zudem wurde im Zweiten Schweizerischen Ernährungsbericht bezüglich der Spurenelementzufuhr zu gezielten Untersuchungen angeregt (15). Im Zweiten und Dritten Schweizerischen Ernährungsbericht wurde der Verbrauch (15) wie auch der angenäherte Verzehr an Mineralstoffen und Spurenelementen (16, 17) vorgestellt und diese zur Beurteilung der Versorgungslage herbeigezogen (18, 19).

In Fortsetzung der bereits aufgeführten Arbeiten und aufgrund der im ersten Teil dieser Studie (20) dargelegten Gründe soll in der vorliegenden Arbeit anhand von verzehrsfertigen Tagesrationen aus vier verschiedenen Verpflegungsbetrieben die Zufuhr der für den Menschen als essentiell erkannten Spurenelemente Iod und Selen* abgeschätzt werden.

Methodik

Probenmaterial

Die Proben, je eine Tagesration, bestehend aus Frühstück, Mittagessen und Abendessen (total 40), wurden im Jahre 1983 (Januar/Februar) an 10 aufeinanderfolgenden Tagen aus vier verschiedenen Verpflegungsbetrieben (Betrieb A: Personalrestaurant der öffentlichen Dienste; Betrieb B: Spitalküche für das Personal und die Patienten der allgemeinen Abteilung; Betrieb C: vegetarisches Restaurant; Betrieb D: Kantine einer Rekrutenschule) eingekauft bzw. direkt in den Küchen abgefüllt. Getränke waren darin nur enthalten, sofern sie als Teil des Menüs abgegeben wurden (vorwiegend Kaffee, Tee und Fruchtsäfte); Zwischenverpflegungen wie z. B. Schokolade blieben unberücksichtigt. Detailangaben über die

* auszugsweise publiziert in (21)

Zusammensetzung der Tagesrationen, die Probenahme und die Probenvorbereitung (Gefriertrocknen) sind im ersten Teil dieser Studie enthalten. Die mittlere Trockenmasse (TM) der Tagesrationen beträgt 460 g und der mittlere Energieinhalt rund 9,5 MJ (20).

Analytik

Neutronenaktivierungsanalyse

Beide Elemente wurden in den homogenisierten, gefriergetrockneten Proben durch Neutronenaktivierungsanalyse bestimmt. Die Bestimmung von Iod erfolgte über das mit epithermischen Neutronen erzeugte ^{128}I, diejenige des Selens über das mit thermischen Neutronen erzeugte ^{75}Se (22, 23). Für nähere Angaben über Blindwerte, Reproduzierbarkeit und Richtigkeit der Bestimmungen wird auf die vorangehenden Arbeiten verwiesen (21, 22). Die bei der Ermittlung der Reproduzierbarkeit resultierenden Variationskoeffizienten (*VK*), die Erfassungsgrenzen, die Konzentrationen der Einzelwerte sowie die daraus berechneten täglichen Zufuhrsmengen sind im Anhang 1 aufgeführt.

Probenvorbereitung und Iodverluste

Die Probenaufbereitung kann zu Verlusten an verschiedenen chemischen Elementen führen. So wurden bei diesen Tagesrationen allfällige Verluste von Quecksilber durch die Probenhomogenisation und Gefriertrocknung abgeklärt (12), solche von Selen erscheinen anhand der Literatur unwahrscheinlich (24–26). Kritisch hingegen erschien uns Iod, das infolge der Homogenisation der Tagesrationen und des Einsatzes von Kaliumiodid in Kochsalz vorwiegend als Iodid in saurer Lösung (pH 4,5 bis 6) vorliegen dürfte. Bei gleichzeitiger Anwesenheit von Oxidationsmitteln (z. B. Luftsauerstoff, Fe^{3+}) kann sich dabei leichtflüchtiges elementares Iod bilden.

Die Ergebnisse eines später durchgeführten orientierenden Versuches, bei dem einer Lebensmittelmischung (pH des Homogenates 4,9) Kaliumiodid zugesetzt wurde, sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Es ergaben sich keine Hinweise auf Iodverluste infolge der Probenhomogenisation und Gefriertrocknung. Allerdings war die Iodkonzentration in diesem Versuch mit rund 20 mg/kg TM etwa 40mal höher als in der Mehrzahl der Tagesrationen. Zudem wurde zur Homogenisation nicht wie ursprünglich ein Polytron-Stabmixer (15 min homogenisieren), sondern ein Büchi-Mixer (Modell B-400) verwendet, bei welchem die Homogenisierungszeit nur 2,5 min betrug (ansonsten Wärmeentwicklung). Trotzdem glauben wir, davon ausgehen zu können, dass die bei der Probenvorbereitung der Tagesrationen möglichen Iodverluste sicher unterhalb von 5% lagen. Offen bleibt zwar die Frage nach Iodverlusten während und nach der Probenahme bis zur Homogenisation (Aufbewahrung der grob zerkleinerten Lebensmittel max. 24 h im Kühlschrank). Wir gehen aber davon aus, dass auch bei dieser Lagerung bis zur Homogenisation keine nennenswerten Verluste aufgetreten sind; denn beim Trocknen von Ratten-

gewebe und Vollblut bei 120 °C ergaben sich Verluste von «endogenem» Iod von max. 10%, jedoch nur max. 1% bei 80 °C während 3 Tagen (26).

Zur Iodbestimmung wurden 1 g Trockenmasse unter Zugabe von ca. 200 mg KOH in Glaskohlenstofftiegeln während 2 h verascht (Heizplatte, 500 °C). Die Asche wurde mit ca. 500 mg KOH verschmolzen und der Rückstand in 30 ml dest. Wasser gelöst (27). Ein Aliquot wurde verdünnt und darin mittels ICP-MS ^{127}I bestimmt (als Bezugslösung KI in KOH). Im Gegensatz zur Messung von Iodid in sauren Lösungen traten bei der hier verwendeten alkalischen ICP-MS-Bestimmung keine Memory-Effekte auf (28).

Tabelle 1. Wiederfindung von zugesetztem Iodid

Probe	Vorbehandlung	Zusatz an Iodid (mg/kg)	Trockenmasse (%)	Erwartungswert (mg/kg)	Messwert[2] (mg/kg)	Wiederfindung (%)
Milchpulver NIST 1549	ohne	–	–	3,38 ± 0,02[3]	3,5 ± 0,2	104
Lebensmittelmischung A[1]	1x Homogenisieren und Gefriertrocknen	–	31,7	–	0,33 ± 0,01	–
Lebensmittelmischung A[1]	2x Homogenisieren und Gefriertrocknen	5,5	27,5	20,4[4]	20,4 ± 0,6	100

[1] 37 g Rindsfilet (roh), 64 g Kartoffeln (geschält, ungekocht), 35 g Champignons, 33 g Tomate, 38 g Apfel, 81 g Joghurt (Zitronenaroma), 54 g Orangensaft, 41 g Käse (Greyerzer), 44 g Brot (weiss), 54 g Milch (pasteurisiert)
[2] ± Standardfehler des Mittelwertes ($n = 3$)
[3] Zertifizierte Iodkonzentration mit 95% Vertrauensintervall
[4] Der Wert setzt sich zusammen aus der Iodidzugabe und dem gemessenen Eigengehalt der Mischung A (unterschiedliche Trockenmassen wurden berücksichtigt)

Resultate und Diskussion

Übersicht

In der bereits publizierten Arbeit (22) wurden insbesondere die Verteilungsfunktionen der Konzentrationswerte der einzelnen Elemente, die Unterschiede der Konzentrationsmittelwerte zwischen den einzelnen Betrieben sowie Korrelationen zwischen einzelnen Elementen untersucht. Die auf die Trockenmasse bezogenen Konzentrationseinzelwerte der verschiedenen in dieser Arbeit behandelten Elemente sind annähernd normal verteilt, abgesehen von insgesamt fünf extremen

Ausreissern (zwei- bis dreimal höher als der Mittelwert; Pearson-Test, 99% Signifikanzniveau) beim Iod. Bei der Berechnung der arithmetischen Mittelwerte der Zufuhrmengen wurden allfällige Ausreisser trotzdem berücksichtigt, um eine bessere Vergleichsbasis mit ausländischen Daten zu erhalten.

In Tabelle 2 sind die arithmetischen Mittelwerte und die Mediane der täglichen Zufuhrmengen aufgeführt. In Anbetracht des mittleren Energiegehaltes der Tagesrationen können die im folgenden diskutierten täglichen Zufuhrmengen der vorliegenden Elemente als eher für Männer als für Frauen zutreffend interpretiert werden. Trotz gewissen Unterschieden zwischen den Betrieben wurden auch Gesamtmittelwerte gebildet und den empfohlenen bzw. den geschätzten minimalen Zufuhrmengen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) (29) und des amerikanischen National Research Council (NRC) (30) sowie den englischen Referenzwerten (COMA) (31) gegenübergestellt. Dies erfolgte im Hinblick auf die Schätzung einer für die Bevölkerung typischen Grundzufuhr über einen längeren Zeitraum sowie zum besseren Vergleich mit ausländischen Erhebungen. Infolge der zum Teil unterschiedlichen Berechnungsarten (z. B. ohne Ausschluss von «Ausreissern») entsprechen die in Tabelle 2 aufgeführten Werte für die durchschnittliche Zufuhr nicht unbedingt den früher publizierten (22).

Iod

Allgemeines

70 bis 80% des im Körper vorhandenen Iods von 10 bis 15 mg liegt in der Schilddrüse in Form des Thyreoglobulins vor. Als Schilddrüsenhormone Thyroxin (3, 5, 3', 5'-Tetraiodthyronin, T_4) und 3, 5, 3'-Triiodthyronin (T_3) wird es im Körper verteilt. Die Schilddrüsenhormone beeinflussen das Wachstum und die Teilung von Zellen und Geweben, indem sie die Transkription und Stimulierung der RNA- und Proteinsynthese induzieren. Ebenso sind sie an der Konstanthaltung der Körpertemperatur und an vielen weiteren physiologischen Prozessen beteiligt. Die weitaus grösste Bedeutung haben sie während der Entwicklung des Fötus sowie bis zur Pubertät. Daneben kann Iod in geringeren Konzentrationen noch in Leber, exokrinen Drüsen, Ovarien und Plazenta angereichert sein (32). Die Iodkonzentrationen im Plasma (vorwiegend in organischer Form) liegt im Bereich von 100 µg/l. Die biologische Halbwertszeit von Thyroxin im Körper beträgt 7,5 bis 12 Tage.

Iod in Form von Iodid wird aus der Nahrung rasch und vollständig im Dünndarm aufgenommen. Organisch gebundenes Iod, wie es natürlicherweise in Lebensmitteln vorkommt, wird weniger gut absorbiert (erst nach enzymatischer Freisetzung von Iodid), und Iodat wird vor der Absorption im sauren Magenmilieu zu Iodid reduziert. Die in den Verdauungskanal via Galle ausgeschiedenen Schilddrüsenhormone werden teilweise reabsorbiert (enterohepatischer Kreislauf). Iod wird zur Hauptsache über den Urin ausgeschieden. Die renale Iodausscheidung dient daher als Indikator für den Iodstatus. Eine tägliche Ausscheidung von weniger als 100 µg Iod durch Erwachsene wird gemäss WHO (33) als Iodmangel eingestuft. In einem stationären Zustand sollen etwa 90% des oral zugeführten Iods

Tabelle 2. Übersicht über die tägliche Zufuhr an Iod und Selen

Element	Parameter[1]	Einheit	Betriebe				Alle Betriebe	Empfehlungen[2]		
			A (Personal-restaurant)	B (Spital)	C (ovo-lacto-vegetarisch)	D (Rekruten-schule)		DGE[3]	NRC[4]	COMA[5]
Iod	$\bar{x}$ / $\tilde{x}$	µg/Tag	288/237	380/278	200/190	292/285	290/239	200 (15–51)	150	140
	s/VK	µg/Tag/%	182/63	211/56	91/46	79/27	159/55	180 (ab 51)		
	B	µg/Tag	145–759	207–704	88–413	191–434	88–759			
	ND	µg/MJ	30/25	43/31	23/22	27/27	31/25			
Selen	$\bar{x}$ / $\tilde{x}$	µg/Tag	82,4/86,5	68,0/67,0	52,9/40,0	79,1/72,5	70,6/68,5	20–100[6]	50 (15–18)	70 (M, 15–18)
	s/VK	µg/Tag/%	31,5/38	20,4/30	28,5/54	32,9/42	30,0/42		70 (M, ab 19)	75 (M, ab 19)
	B	µg/Tag	37–127	39–96	32–125	30–135	30–135		55 (F, ab 19)	60 (F, ab 15)
	ND	µg/MJ	8,6/9,1	7,6/7,5	6,2/4,7	7,4/6,7	7,5/7,2			

1 $\bar{x}$ = arithmetischer Mittelwert; $\tilde{x}$ = Median; *s* = Standardabweichung; *VK* = Variationskoeffizient ($s \cdot 100/\bar{x}$); B = Bereich (Minimum – Maximum); ND = Nährstoffdichte für $\bar{x}$ und $\tilde{x}$, berechnet aus den einzelnen Tagesrationen; die Probezahl pro Betrieb beträgt 10.

2 In Klammern: Jahre; M = Männer; F = Frauen

3 Deutsche Gesellschaft für Ernährung: Empfehlung 1991 für Jugendliche und Erwachsene, ohne Schwangere (29).

4 National Research Council, USA (NRC): Recommended Dietary Allowances (RDA) 1989 für Jugendliche und Erwachsene, ohne Schwangere (30).

5 Committee on Medical Aspects of Food Policy (COMA): Dietary Reference Values 1991 für Jugendliche und Erwachsene (31).

6 Schätzwert für eine angemessene Zufuhr für Jugendliche und Erwachsene.

renal ausgeschieden werden (34). Das scheint in neueren Bilanzmessungen an Kollektiven nicht bestätigt worden zu sein (34–38). Eine mittlere Ausscheidung im Bereich von 60 bis 75% dürfte unserer Ansicht nach zur Bewertung eines grossen Kollektivs eher zutreffend sein[1].

Iodmangel war in der Schweiz bis in dieses Jahrhundert ein grosses gesundheitliches Problem. Wegen der Iodarmut des Bodens[2] und damit der Lebensmittel (inklusive Trinkwasser) traten in verschiedenen Gegenden gehäuft Iodmangelkrankheiten, wie z. B. Kropf und Kretinismus, auf. Mit der verbreiteten Einführung des iodierten Kochsalzes in den Haushaltungen anfangs der 30er Jahre (5 mg Kaliumiodid/kg Salz, ab 1962 10 mg KI/kg und ab 1980 20 mg KI/kg) konnte dieser Entwicklung erfolgreich begegnet werden (40). Dass in Autopsien der Jahre 1984/85 bei 31- bis 60jährigen noch bei einem Drittel erhöhte Schilddrüsenmassen auftraten (41), deutet daraufhin, dass die Iodversorgung bis in die 70er Jahre noch nicht optimal war. In anderen europäischen Ländern ist das Auftreten von eigentlichen Iodmangelkrankheiten auch heute noch ein wichtiges gesundheitliches Problem (42), kaum aber mehr in der Schweiz. Eine «Kropf»häufigkeit (leicht vergrösserte Schilddrüse) von 3% scheint indessen auch in optimal mit Iod versorgten Gesellschaften unvermeidbar zu sein, wie epidemiologische Daten z. B. aus den USA zeigen, und könnte möglicherweise andere Ursachen haben als Iodmangel (43). In diesem Zusammenhang werden auch «thyreostatisch wirkende» Inhaltsstoffe wie Glucosinolate (Goitrin), cyanogene Glykoside (Thiocyanat[3]), Huminstoffe, Nitrat wie auch Bromid diskutiert. Beim Goitrin handelt es sich um einen Stoff, der in die Synthese der Schilddrüsenhormone eingreift, bei Thiocyanat, Nitrat und Bromid um solche, die die Iodaufnahme kompetitiv behindern können. Aber auch ein Mangel an Vitamin A, das für den Transport der Schilddrüsenhormone im Körper eine wichtige Rolle spielt und zudem ein den Schilddrüsenhor-

[1] – *Von Fellenberg* (39) gibt bei geringer Iodversorgung für einen Erwachsenen Werte von 32,8% («endogenes Iod» in Lebertran) bis 64,3% («endogenes Iod» in Sardinen) und für ein 8jähriges Mädchen rund 39% (Kaliumiodid) an.

– Möglicherweise war bei verschiedenen Bilanzstudien noch kein stationärer Zustand erreicht. Wird nämlich modellmässig von einem Gesamtiodbestand des Körpers von 15 mg, einer täglichen Zufuhr von 300 µg und einer Absorption von 90% ausgegangen, wird für die scheinbare biologische Halbwertszeit von Iod im Körper ein Wert von etwa 40 Tagen berechnet. Ein Gleichgewicht (stationärer Zustand) würde sich somit nach einer Zufuhrveränderung erst nach etwa 150 Tagen einstellen.

[2] – Für die Iodarmut des Bodens gibt es verschiedene Gründe: Das Iod wurde nach der Vergletscherung (d. h. relativ junge Böden) und durch das niederschlagsreiche Klima «ausgewaschen». Zudem sind die Einträge von iodhaltigen Niederschlägen und Aerosolen infolge der grossen Entfernung zum Meer nur gering. Es wird heute davon ausgegangen, dass dieses atmospärische Iod weitgehend die Gehalte der Böden bestimmt (vgl. auch Zeitfaktor) und auch direkt durch Pflanzen aufgenommen werden kann.

– Bis in die 60er Jahre dürfte auch der Iodeintrag via Kohle- und Brennholznutzung und früher jener durch die Verwendung von Chilesalpeter als Dünger (enthält ca. 200 mg Iod/kg, grösstenteils als Iodat) nicht unbedeutend gewesen sein (39).

[3] Rauchen erhöht die Thiocyanatbelastung ebenfalls.

monen verwandtes hormonelles Wirkungsspektrum aufweist, kann die Symptome eines Iodmangels verstärken (44, 45)[4].

Eine chronisch *erhöhte Iodzufuhr,* in Mengen von 1 bis 10 mg Iod pro Tag, kann zu iodinduzierter Hyperthyreose (Iod-Basedow) und zu iodinduziertem Kropf mit oder ohne Hypothyreose führen, insbesondere dann, wenn die normale Iodzufuhr unterhalb von etwa 100 µg/Tag liegt (also bei einem Iodmangel). Allerdings entwickelten nur 12 von 2400 Asthmapatienten, denen täglich 4 g Iodid während mehrerer Monate an vier Tagen pro Woche verabreicht wurde (entsprechend einer mittleren täglichen Zufuhr von 2,3 g Iod/Person), eine Hyperthyreose und deren 4 einen iodinduzierten Kropf, entsprechend einer Effektrate von rund 1% (zit. nach 46). Im allgemeinen werden tägliche Zufuhrmengen von bis zu 2 mg von gesunden Erwachsenen (1 mg von Kindern) mit sonst ausreichender Iodzufuhr (d. h. > 100 µg) ohne Anzeichen von physiologischen Unregelmässigkeiten toleriert (30). Von der FAO/WHO wurde eine provisorisch maximal tolerierbare tägliche Zufuhr von 1 mg Iod bzw. 17 µg/kg Körpermasse (KM) aus allen Quellen vorgeschlagen, allerdings mit dem Hinweis, dass diese Menge bei einigen Personen bereits zu unerwünschten Wirkungen (Schilddrüsenstörungen, Iodsensibilisierung) führen kann (47). Fallbeschreibungen und Bevölkerungsstudien bezüglich ungünstiger Wirkungen einer zu hohen Iodzufuhr wurden ausführlich von *Pennington* (48) beschrieben. Zu erwähnen ist auch, dass die Möglichkeit einer Iodsensibilisierung besteht (Pseudoallergien).

Zufuhr

Die einzelnen Zufuhrmengen sind in Abbildung 1 histogrammähnlich zusammengestellt. Vier Tagesrationen zeigen mit > 500 µg Iod/Tag erhöhte Zufuhrmengen. Auffällig ist, dass drei dieser Tagesrationen aus dem Spitalbetrieb stammen (20). Der Bereich der Zufuhrmengen aller 40 Tagesrationen beträgt 88 bis 759 µg Iod/Tag. Wird von den Werten mit erhöhter Zufuhr abgesehen, scheinen sich zwischen den Betrieben keine deutlichen Unterschiede zu ergeben.

Die Mittelwerte und Mediane der Zufuhrmengen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die mittlere tägliche Iodzufuhr über alle 40 Tagesrationen beträgt 290 µg/Tag (31 µg/MJ) bzw. als Median rund 240 µg/Tag. Es kann angenommen werden, dass dieser Medianwert eher für Männer als für Frauen zutrifft (Verzehr 460 g TM). Wird für Frauen von einer mittleren verzehrten Trockenmasse von 360 g/Tag ausgegangen, wird eine mittlere tägliche Iodzufuhr von 190 µg (Median) berechnet. Da die Proben im Januar/Februar erhoben wurden, gelten diese Werte

[4] Vitamin A stellt nämlich auch einen essentiellen hormonartig wirkenden Wachstumsfaktor dar (embryonale Entwicklung, Morphogenese, Gewebedifferenzierung, Wachstum und Fortpflanzung). Gemäss den heutigen Erkenntnissen entfaltet es einen Teil seiner systemischen Wirkung als Hormon am genetischen Apparat. In Übereinstimmung mit der strukturellen Ähnlichkeit zwischen Retinsäure- und Schilddrüsenhormonrezeptor hat sich gezeigt, dass beide Rezeptoren dasselbe hormonsensitive Element erkennen. Das bedeutet, dass Retinsäure und Schilddrüsenhormone über ihre entsprechenden Rezeptoren gemeinsam das sich überlappende Netzwerk hormonabhängiger Gene kontrollieren (45).

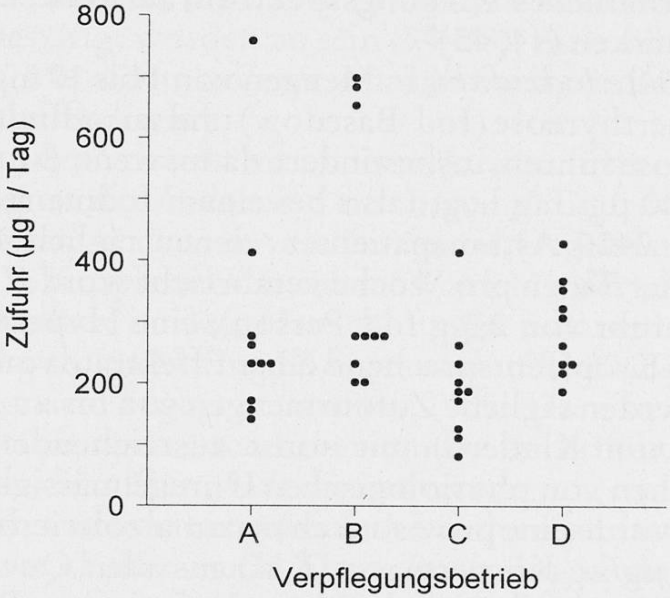

Abb. 1. Gruppierte Einzelwerte der Iodzufuhr, aufgeteilt nach Betrieben

nur für das Winterhalbjahr. Im Sommerhalbjahr, wenn die Iodkonzentrationen in der Milch (und Milchprodukten) geringer sind (46, 49), dürften für Männer noch etwa 200 und für Frauen noch etwa 160 µg/Tag resultieren. Die hier ermittelte Zufuhr über alle Betriebe (Median) entspricht der im Dritten Schweizerischen Ernährungsbericht (1991) aus dem «angenäherten Verzehr» berechneten Menge von 250 µg/Person und Tag (17), ist aber deutlich höher als die im Zweiten Ernährungsbericht (1984) berechnete Zufuhrmenge von 160 µg/Person und Tag (15). Neuerdings wurde die durch Lebensmittel bedingte Jodzufuhr von *Als* et al. (50) auf der Basis von Umfragen und Annahme eines Speisezettels auf nur rund 100 µg/Person und Tag berechnet.

Wie bereits früher gezeigt, korrelieren die von Ausreissern befreiten Konzentrationen der Elemente *Iod, Natrium und Chlor* hochsignifikant (22). Die Abbildungen 2a und b zeigen den Zusammenhang zwischen den Natrium- bzw. Chlorkonzentrationen und jenen von Iod in den Tagesrationen. Die Ergebnisse der linearen Regressionsrechnungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Zur Begründung der funktionellen Zusammenhänge wird angenommen, dass iodiertes Kochsalz den weitaus grössten Beitrag zur Iodkonzentration der Tagesrationen leistet.

Die für die linearen Regressionsrechnungen nichtberücksichtigten fünf Tagesrationen (in Klammern Iodkonzentration in mg pro kg TM): Nr. 4 (1,55), 12 (1,65), 13 (1,68), 17 (1,34) und 24 (1,08) sind statistisch gesehen Ausreisser (22)[5], deren Iodkonzentrationen kaum aus dem Kochsalz stammen können. Die Tagesrationen Nr. 4 und 12 enthalten den als iodreich bekannten Meerfisch (20). Allerdings

[5] – Die erhöhten Iodkonzentrationen dieser Proben sind inzwischen mittels ICP-MS bestätigt worden.
– Die Tagesration Nr. 24 fällt zwar in Abbildung 1, welche die Zufuhrmengen darstellt, nicht besonders auf, gehört aber, bezogen auf die Iodkonzentration in der TM, ebenfalls zu den Ausreissern (22).

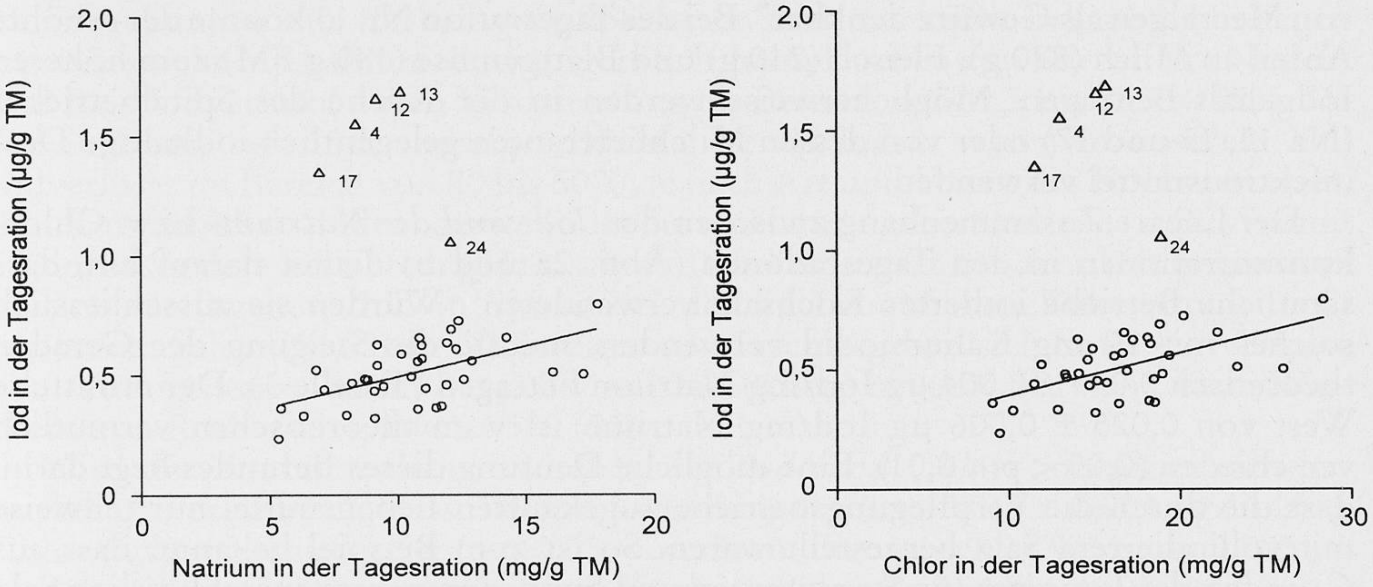

Abb. 2a und b. Zusammenhang zwischen den Iod- und Natrium- bzw. Chlorkonzentrationen in den Tagesrationen. Die mit Δ eingetragenen Punkte sind «Ausreisser», die dabeistehende Zahl bedeutet die Nummer der Tagesration (siehe auch Anhang und Literatur 20).

Tabelle 3. Ergebnisse der linearen Regressionsrechnungen ($y = a + bx$): Iodkonzentration als Funktion der Natrium- bzw. Chlorkonzentration (vgl. Abb. 2a und b)

y–x[1]	n[2]	r[3]	$a \pm s_a$ (µg I/g TM)	$b \pm s_b$ (µg I/mg Na bzw. Cl)	$b \pm s_b$ theoretisch[4] (µg I/mg Na bzw. Cl)	
					(10 mg KI/kg Kochsalz)	(20 mg KI/kg Kochsalz)
I–Na	35	0,578	0,24 ± 0,07	0,025 ± 0,006	0,019 ± 0,002	0,039 ± 0,004
I–Cl	35	0,584	0,22 ± 0,07	0,018 ± 0,004	0,013 ± 0,001	0,025 ± 0,003

1 y = Iodkonzentrationen in den Tagesrationen pro Trockenmasse (µg/g TM).
x = Natrium- bzw. Chlorkonzentrationen in den Tagesrationen pro Trockenmasse (µg/g TM).
2 n = Anzahl Wertepaare
3 r = Korrelationskoeffizienten sind signifikant von Null verschieden ($p < 0{,}001$).
4 Der Variationskoeffizient des fabrikmässigen Kaliumiodidzusatzes beträgt rund 10% (*R. Rutishauser*, Schweizerische Rheinsalinen, persönliche Mitteilung, Februar 1995).

enthalten die Tagesrationen Nr. 10 und 40 ebenfalls Fisch, zählen jedoch nicht zu den «Ausreissern». In der Probe Nr. 17 konnten 1995 durch *A. Etournaud* Spuren (0,1 bis 0,5 mg/kg TM) des lebensmittelrechtlich zugelassenen, roten Farbstoffs Erythrosin (E 127) nachgewiesen werden (geschätzte Erfassungsgrenze: 0,1 mg Erythrosin/kg TM). Dieser relativ wenig stabile (Licht!) Farbstoff enthält 57,7% Iod und wird eher selten verwendet. Bei der Tagesration Nr. 24 fällt ein höherer Anteil an Blattgemüse (380 g Frischmasse [FM]) und Eier (90 g FM) auf. Da diese

Tagesration aus einem vegetarischen Betrieb stammt, wäre auch die Verwendung von Meeralgen als Gewürz denkbar[6]. Bei der Tagesration Nr. 13 könnte der erhöhte Anteil an Milch (820 g), Fleisch (240 g) und Blattgemüse (180 g FM) zum höheren Iodgehalt beitragen. Möglicherweise werden in der Küche des Spitalbetriebes (Nr. 12, 13 und 17) oder von dessen Milchlieferanten gelegentlich iodhaltige Desinfektionsmittel verwendet.

Der lineare Zusammenhang zwischen den *Iod- und der Natrium-* bzw. Chlorkonzentrationen in den Tagesrationen (Abb. 2a und b) deutet darauf hin, dass sämtliche Betriebe iodiertes Kochsalz verwendeten[7]. Würden sie ausschliesslich solches mit 20 mg Kaliumiodid verwenden, müsste die Steigung der Geraden theoretisch 0,039 ± 0,004 µg Iod/mg Natrium betragen (Tabelle 3). Der ermittelte Wert von 0,025 ± 0,006 µg Iod/mg Natrium ist vom theoretischen vermutlich verschieden ($0,05 < p < 0,01$). Eine mögliche Deutung dieses Befundes liegt darin, dass die durch die Verpflegungsbetriebe zugekauften Lebensmittel nur teilweise mit volliodiertem Salz hergestellt waren. So ist zum Beispiel bekannt, dass aus Gründen des Exportes für Streuwürzen und Suppenpräparate ausschliesslich Salz mit 10 mg Kaliumiodid/kg verwendet wird[8]. Anhand der verfügbaren Unterlagen[9] lässt sich für die Jahre 1982/83 eine mittlere KI-Konzentration im Kochsalz (nur loses Salz und 25- bzw. 50-kg-Säcke) von 12,6 mg/kg abschätzen (korrigiert für Export und ohne Paketsalz, das nur in die Haushaltungen geht), entsprechend einem Iod/Natrium-Verhältnis von 0,025 ± 0,002 µg Iod/mg Natrium, das mit unseren Messdaten gut übereinstimmen würde.

Iodverluste, herrührend durch Verdampfung beim Kochen bzw. durch Übergang ins Kochwasser bei der Zubereitung der Speisen mit iodiertem Salz, könnten die Abweichungen des von uns ermittelten Verhältnisses von Iod zu Natrium (0,025 µg Iod/mg Natrium) gegenüber dem bei Verwendung von iodiertem Salz (20 mg KI/kg) zu erwartenden Wert von 0,039 ebenfalls erklären (Tabelle 3). Hierzu müsste beim Zubereiten der Speisen ein im Mittel gegenüber Natrium um rund

[6] Meeralgen sind bekannt für ihre hohen Iod- und Bromgehalte. Einen Hinweis über die Herkunft des Iods könnten somit auch die entsprechenden Bromkonzentrationen liefern. Folgende Bromkonzentrationen wurden gemessen (mg/kg TM): 4,53 (Nr. 4), 6,11 (Nr. 12), 6,76 (Nr. 13), 4,51 (Nr. 17) und 8,19 (Nr. 24). Der Mittelwert aller 40 Proben beträgt (± Standardabweichung) 5,05 ± 1,72 (Bereich 2,76 bis 10,73) mg/kg TM). Das Datenmaterial gibt zwar keinen Hinweis auf «Ausreisser» (22), doch scheint der Bromgehalt der Tagesration Nr. 24 leicht erhöht.

[7] Wie eine etwa zwei Jahre nach der Probenahme durchgeführte Umfrage ergab, waren sich die Betriebe dieser Tatsache allerdings nicht immer bewusst, wohl aber, dass kein fluoridiertes Salz verwendet wurde.

[8] Nach einer Umfrage Ende 1993 bei sämtlichen schweizerischen Käsereien verwendeten etwa 90% der Käsereien iodiertes Kochsalz; bezogen auf die produzierte Käsemenge waren es 85% (51). Nach *Wiechen* und *Hoffmann* (52) wird der überwiegende Anteil des Iods, das bei der Käsefabrikation aus dem iodierten Kochsalz in den Käse übergeht, jedoch in den Randschichten gebunden und somit kaum verzehrt.

[9] *R. Rutishauser,* Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen, Schweizerhalle, perönliche Mitteilung, April 1995.

35% erhöhter Iodverlust angenommen werden. Entsprechende experimentelle Untersuchungen mit KI-haltigem Speisesalz sind uns nicht bekannt. Hingegen ergaben solche mit kaliumiodathaltigem Salz beim Kochen von Kartoffeln, Nudeln und Reis Iodverluste durch Verdampfung im Bereich von 11,5 bis 26,7% (53). Da Iod in Form von Iodat weniger flüchtig ist als Iodid, wären in unserem Fall Iodverluste im Bereich von 20 bis 50%, je nach Art und Dauer des Kochprozesses, durchaus denkbar. Zudem dürfte Iodat durch Nahrungsbestandteile (z. B. Vitamin C), insbesondere bei tiefem pH, rasch zu Iodid reduziert werden. Demgegenüber scheint «endogenes» Iod in Spinat bei der küchenüblichen Zubereitung nicht verlorenzugehen (54). Beim Zubereiten von Fisch ergaben sich hingegen Verluste von «endogenem» Iod im Bereich von 20 (Kochen) bis 60% (Braten), beim Räuchern von Rotbarsch gar von 85% (55).

Wird der Zusammenhang zwischen den *Iod- und Chlor*konzentrationen betrachtet, so ergibt sich, dass die ermittelte Steigung von 0,018 ± 0,004 µg Iod/mg Chlor nicht verschieden ist ($p > 0,05$) von ihrem theoretischen Wert von 0,025 µg Iod/mg Chlor für 20 mg KI-haltiges Kochsalz (Tabelle 3, Abb. 2b). Dies könnte die Hypothese, dass zur Zubereitung der Tagesrationen (inkl. Brot usw.) ausschliesslich Kochsalz mit 20 mg KI/kg verwendet wurde, erhärten. Die bessere Übereinstimmung als im Fall von Natrium könnte dadurch bedingt sein, dass Chlorid bei gewissen Kochprozessen unter Salzzusatz zu einem geringeren Teil ins Kochgut übergeht als Natrium. Beim Garen von Fleisch konnte dies tatsächlich beobachtet werden, nicht jedoch beim Garen von Kartoffeln und Karotten, in denen das Gegenteil festgestellt wurde (56).

Die extrapolierten Achsenabschnitte a_1 und a_2 der beiden Geraden (Abb. 2a und b) unterscheiden sich innerhalb der Fehlergrenze nicht voneinander (Tabelle 3). Aus dem mittleren Achsenabschnitt lässt sich der *kochsalzunabhängige Anteil* der mittleren Iodzufuhr abschätzen. Wird für Männer ein mittlerer täglicher Verzehr von 460 g TM (Frauen 360 g) angenommen, wird aus dem mittleren Achsenabschnitt von 0,23 ± 0,07 µg Iod/g TM für Männer eine mittlere tägliche Iodzufuhr von rund 100 µg (für Frauen 80 µg) berechnet. Vermutlich mit 20 mg KI/kg iodiertes Kochsalz trägt somit in Verpflegungsbetrieben im Mittel etwa 60% zur täglichen Iodversorgung von 240 µg (Median unserer Daten) bei. Der Rest dürfte vorwiegend durch Milch, Milchprodukte und Eier bedingt sein. In Finnland trägt das iodierte Kochsalz (25 mg KI/kg) nur rund 20% zur Iodversorgung von etwa 300 µg/Tag im Sommer (ca. 400 µg/Tag im Winter) bei. Infolge spezieller Fütterung sind in diesem Land die Hauptquellen an Iod Milch und Milchprodukte sowie Eier, die zusammen rund 75% zur täglichen Iodversorgung beitragen (57).

Die Schätzwerte für die nicht durch iodiertes Kochsalz bedingten mittleren Iodzufuhren von 80 (Frauen) bzw. 100 (Männer) µg/Tag sind etwa dreimal höher als die mittlere tägliche Iodzufuhr von rund 30 µg[10], die in den 20er Jahren (ohne iodiertes Kochsalz) für La Chaux-de-Fonds, einem damals praktisch kropffreien Gebiet, geschätzt wurde. Etwa die Hälfte dieser Menge stammte damals aus Milch

[10] Eine analoge Schätzung für Signau, einer damals vom Kropf stark heimgesuchten Gemeinde im Emmental, ergab rund 15 µg Iod/Tag (39).

(ca. 9 µg/kg) und Milchprodukten (39). Anfangs der 80er Jahre enthielt Kuhmilch im Mittel etwa 30 µg/kg im Sommer und 120 µg/kg im Winter (46) und Ende der 80er Jahre 36 µg/kg im Sommer und 73 µg/kg im Winter (49). Infolge der gegenüber früher vermehrten Verwendung von Kraftfutter, iodiertem Viehsalz und Lecksteinen (100 mg KI/kg) sowie des seit bald 20 Jahren dauernden Einsatzes von iodhaltigen Desinfektionsmitteln ist der Iodgehalt der Milch im Vergleich zu den 20er Jahren angestiegen (46). Daneben dürften infolge anderer Fütterungsverhältnisse heute einige weitere Lebensmittel tierischer Herkunft, wie z. B. Fleisch und Eier, ebenfalls höhere Iodgehalte aufweisen als früher.

Einen Hinweis, dass in der Schweiz das Vorkommen von Iodmangelkrankheiten seit den 20er Jahren kontinuierlich zurückgegangen ist (40), können auch verschiedene schweizerische Studien zur *Iodausscheidung im Urin* im Verlaufe der letzten Jahrzehnte geben (Tabelle 4). Im Vergleich dazu deuten Daten über die Iodausscheidung im Urin aus Deutschland auf eine ungenügende Iodversorgung hin, was auch für andere europäische Länder zutrifft (42)[11]. Erstaunlicherweise lässt auch eine neuere Arbeit (50) (Probenahme: Oktober 1991 bis November 1992) auf eine für schweizerische Verhältnisse ungenügende Iodzufuhr schliessen. So wurden im Urin von 54 gesunden Personen nur 87 µg Iod/g Kreatinin gemessen, entsprechend rund 115 µg Iod/Tag, wobei 11% dieses Kollektivs einen (nach der WHO-Klassifizierung) schweren Iodmangel (< 50 µg Iod/g Kreatinin) aufwiesen[12]. Allerdings scheint es sich dabei um ein gebildetes, speziell gesundheitsbewusstes Kollektiv gehandelt zu haben. Demgegenüber ergeben neueste Untersuchungen von *Truong* et al. (70) an Schulkindern und Schwangeren keine Hinweise für eine ungenügende Iodzufuhr in der Schweiz. Die mittlere tägliche Iodausscheidung der Schulkinder

[11] Föten und Kleinkinder sind besonders empfindlich auf Iodmangel (u. a. Gehirnentwicklung). Er kann zum Teil ähnliche Effekte bewirken, wie sie einer erhöhten Exposition von Blei zugeschrieben werden (Entwicklungsstörungen, verminderter IQ, Höreinbussen). Es erstaunt daher, mit welcher Akribie (und Geld) in gewissen industrialisierten Ländern des Westens durch Behörden und Publikum (Medien) einerseits «Jagd» auf sogenannte «Umweltgifte» gemacht wird, andererseits aber einer ausreichenden Iodversorgung der Bevölkerung scheinbar nur wenig Aufmerksamkeit zukommt, insbesondere durch gewisse Medien und «Bestsellerautoren».

[12] Im Hinblick auf eine positive EWR-Abstimmung wurden im September 1992 die Angebotsformen der für die Haushaltungen bestimmten Salzpackungen geändert; so wurden die 1-kg-Packungen nur noch mit nichtiodiertem Kochsalz angeboten, während die $^1/_2$-kg-Packungen iodiertes und iodiert-fluoridiertes Kochsalz enthielten. In der Folge ging der Verbrauch an iodiertem sowie iodiert-fluoridiertem Kochsalz in Paketen von 91 (1991) über 85,5 (1992) auf 68% (1993) zugunsten des nichtiodierten zurück, um dann 1994, nach der Umstellung der Packungen, wieder auf 92% anzusteigen. Dies weist darauf hin, dass die schweizerischen Hausfrauen Kochsalz in 1-kg-Packungen bevorzugen (*R. Rutishauser,* Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen, persönliche Mitteilung, April 1995). Bei einem haushaltmässigen Verbrauch von 1 bis 3 g Kochsalz/Tag könnte dies bei einzelnen Individuen maximal einem täglichen Minderverbrauch von 15 bis 45 µg Iod entsprechen. Diese Episode kann somit den tiefen Mittelwert der Iodausscheidung in der Studie von *Als* et al. (50) nicht erklären.

Tabelle 4. Mittlere Iodausscheidung im Urin

Land	Jahr	Iod im Speisesalz (mg/kg)	mittlere Ausscheidung (µg/Tag)	mittlere Ausscheidung (µg/g Kreatinin)	Bemerkungen	Ref.
Schweiz	1923	0	18 ± 8		23 Einwohner in Kaisten und Hunzenschwil (kropfreiche Dörfer)	(39)
			64 ± 27		7 Einwohner in Effingen (kropffreies Dorf)	(39)
	1974–79	7,5		66 ± 35	77 Spitalpatienten ohne Struma	(58)
				86 ± 49	73 Spitalpatienten mit Struma	(58)
				93 ± 44	770 gesunde Erwachsene, Region Bern	(59)
	1981	15		119 ± 76	26 schilddrüsengesunde Erwachsene	(60)
	1982	15	141 ± 65	127 ± 67	112 ambulante Praxispatienten	(61)
		15	166 ± 64		Männer unter den 112 Patienten	(61)
		15	129 ± 61		Frauen unter den 112 Patienten	(61)
	1988			160 ± 80	245 Schulkinder (7 bis 16 Jahre), Kanton Bern	(62)
	1991–92	15	114	87	54 gesunde Personen (19 bis 75 Jahre), Region Bern	(50)
Deutschland		0	61/39		Männer/Frauen > 12 Jahre	(63)
	1987–88	0		66 ± 8	1893 Erwachsene (Mittelwert)	(35)
				35,8	Median, 828 Männer	(35)
				43,2	Median, 1065 Frauen	(35)
		Verwendung von Iodsalz		37	Referenzkollektiv: 298 Männer	(35)
				42	Referenzkollektiv: 388 Frauen	(35)
	1990			25,3	je 14 Männer und Frauen	(64)
Österreich		7,5	141 ± 185		281 Patienten (17–81 Jahre); Medianwert 92	(65)
				95,1	592 Personen (59,6 ± 9,8 Jahre)	(66)
Frankreich		0	110 ± 8		12 Erwachsene, Paris	(67)
Niederlande	1981	0	129	66 ± 36	376 Männer	(68)
			98	67 ± 37	440 Frauen	(68)
England	1983		73		56 Frauen; Medianwert	(69)

(n = 217) beträgt 118 ± 49 µg Iod/g Kreatinin und jene der Schwangeren (n = 40) 193 ± 113 µg Iod/g Kreatinin und wird von den Autoren als gerade genügend eingestuft (70). Bei den Schulkindern zeigte sich allerdings eine gegenüber 1988 abfallende Tendenz (62).

Wird von der in dieser Arbeit ermittelten durchschnittlichen, täglichen Zufuhr (Median) von 240 µg Iod für Männer und 190 µg für Frauen ausgegangen und angenommen, dass im Gleichgewicht (steady state) im Mittel täglich 70% (bzw. 90%) dieser Menge renal ausgeschieden wird, ergibt sich eine mittlere tägliche Ausscheidung im Urin von rund 168 (bzw. 216) für Männer und 133 (bzw. 171) µg Iod für Frauen. Beide Werte sind in sehr guter Übereinstimmung mit dem um 1982 bei männlichen Probanden im Urin gemessenen Mittelwert (± Standardabweichung) von 166 ± 64 µg/Tag und dem für Frauen von 129 ± 61 µg/Tag (61), falls von einer renalen Ausscheidung von 70% ausgegangen wird.

Aus Messungen über die *Aufnahme von radioaktivem Iod* durch die Schilddrüse (U_{24} = Anteil des innerhalb von 24 Stunden aufgenommenen ^{131}I) lässt sich die mittlere tägliche Zufuhr (Zf) von inaktivem Iod über einen grossen Bereich ebenfalls abschätzen: Zf (in µg/Tag) = $70 \cdot (1 - U_{24}) / U_{24}$ (71). *Eberhard* et al. (60) massen im Jahre 1981 an einem Kollektiv von 27 Erwachsenen (15 Männer und 12 Frauen, mittleres Alter: 36 ± 13 Jahre) innerhalb von 24 Stunden eine mittlere ^{131}I-Aufnahme von 22,5 ± 6,4% (entsprechend einem Anteil von 0,225 ± 0,064). Daraus wird mit der erwähnten Beziehung eine mittlere tägliche Iodzufuhr von 240 ± 90 µg/Erwachsener/Tag berechnet. Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit unseren Daten, die allerdings eher für Männer gelten als für Frauen, welche einen Median von 239 µg/Tag und ohne die fünf Ausreisser einen arithmetischen Mittelwert von 239 ± 77 µg/Tag ergeben[13]. Basierend auf der angegebenen 24-h-Radioiodaufnahme von 34% bzw. der Iodmenge des 24-h-Urins von im Mittel 114 µg lässt sich aus der Arbeit von *Als* et al. (50) eine mittlere tägliche Iodzufuhr von 136 bzw. 163 µg/Erwachsener/Tag berechnen, wenn eine tägliche Ausscheidung von 70% der täglichen Zufuhr angenommen wird.

Das in der Arbeit von *Mordasini* et al. (61) bestimmte *Verhältnis von Iod zu Natrium* im 24-h-Urin beträgt für Männer im Mittel 0,043 ± 0,003 und für Frauen 0,042 ± 0,003 µg Iod/mg Natrium[14]. Für 7- bis 16jährige Schulkinder (n = 245) wurde 1988 im Urin ein Mittelwert von 0,046 µg Iod/mg Natrium bestimmt (62). 1981, ein Jahr nach der Erhöhung der Kochsalziodierung, ergaben Messungen an einem kleinen Kollektiv (n = 27) ein Verhältnis von 0,051 ± 0,007 µg Iod/mg Natrium (60). Aus den einzelnen Zufuhrwerten der Tagesrationen für Natrium (14) und Iod (ausgenommen die Tagesrationen Nr. 4, 12, 13, 17 und 24) wird in akzeptabler Übereinstimmung ein Mittelwert von 0,050 ± 0,002 µg Iod/mg Natrium (n = 35, s = 0,012, Bereich: 0,032 bis 0,077) berechnet.

[13] Wird versuchsweise die in der Arbeit von *Eberhard* et al. (60) ebenfalls bestimmte Iodausscheidung im Urin (119 ± 76 µg Iod/g Kreatinin) mit der Zufuhrmenge von 240 µg verglichen, ergibt sich ein Zufuhr/Urin-Ausscheidungsverhältnis von rund 70%, wenn eine mittlere Kreatininausscheidung von 1,4 g/24 Std. angenommen wird.

[14] Zur Schätzung des Standardfehlers der Mittelwerte wurde angenommen, dass das untersuchte Kollektiv (n = 112) aus je 56 Männern und Frauen bestand.

Ausländische Angaben zur Iodaufnahme zeigten mit Ausnahme zweier Studien, bei denen die Zufuhr unter 100 µg/Tag lagen und damit dem von der WHO festgelegten Iodmangel Grad 1 entsprechen, eine grosse Variationsbreite (Tabelle 5).

Wie erwähnt, wurde im Zusammenhang mit Iodmangelkrankheiten auch der mögliche *Einfluss von Bromid*[15] diskutiert (55). Aus der mittleren Bromidkonzentration der 40 Tagesrationen von 5,05 ± 0,27 mg/kg TM (± Standardfehler des Mittelwertes) und der mittleren Iodkonzentration von 0,51 ± 0,02 mg/kg TM (ohne die fünf Ausreisser) (22) wird ein Brom/Iod-Verhältnis von 9,9 ± 0,7 (Masse/Masse), entsprechend 15,7 ± 1,1 (Mol/Mol) berechnet. Pro Iodatom werden somit durch unsere Tagesrationen im Durchschnitt rund 16 Bromatome zugeführt (1 : 16). Deutsche Untersuchungen an einzelnen Lebensmitteln ergaben entsprechende Verhältnisse von 1 : 7 (Bananen, Äpfel) bis zu 1 : 550 (Miesmuschel) und für sog. Folgenahrung für Kleinkinder typischerweise 1 : 50 (55). Sollte die Br/I-Relation für die Iodnutzung der Schilddrüse eine negative Bedeutung haben, müsste dieses Verhältnis wohl möglichst tief sein.

Der *minimale tägliche Iodbedarf* zur Vermeidung von Kropf wurde für Erwachsene auf 1 µg/kg KM, entsprechend 60 bis 70 µg, geschätzt (31, 47, 64). Die DGE (29) empfiehlt für Jugendliche und Erwachsene eine Iodzufuhr von 200 µg/Tag und der NRC (30) für Personen über 11 Jahren eine solche von 150 µg/Tag. Der englische Referenzwert (31) liegt für Personen über 15 Jahre bei 140 µg/Tag. Die Iodversorgung über die Tagesrationen ist im Vergleich zu diesen Empfehlungen mehr als ausreichend und erreicht fast das Doppelte, liegt jedoch im Vergleich zur WHO-Empfehlung von 150 bis 300 µg/Tag völlig im Rahmen (42). Gemäss *Bürgi* et al. (46) würde eine 300 µg/Tag übersteigende Zufuhr sicher zu keiner Verminderung, sondern eher wieder zu einer leichten Erhöhung der Prävalenz von «euthyreotem Kropf» bzw. geringfügigen Vergrösserungen der Schilddrüse führen.

Selen

Allgemeines

Der menschliche Organismus enthält schätzungsweise 13 bis 20 mg (USA) bzw. 2 bis 10 mg Selen (Neuseeland) (98). Entsprechend zeigen auch die Selenkonzentrationen im Blut, im Urin wie auch in den Organen eine geographische Variation, welche mit dem Selengehalt der Lebensmittel korreliert (99). Der Selengehalt der Lebensmittel ist analog zu Iod durch jene der Böden und dessen Bioverfügbarkeit (in der Regel im neutralen alkalischen Bereich und als Selenat besser) bestimmt. Das Verhalten von Selen zeigt eine gewisse Parallelität zum Iod auch in seiner Bedeutung für den Schilddrüsenstoffwechsel (100). In den Organen findet sich das Selen vor allem in der Niere und der Leber, dann in der Milz, in Pankreas und

[15] Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Bromidkonzentration der Nahrung in den letzten 50 Jahren zugenommen hat: Zusatz von Bromverbindungen zu verbleitem Benzin, Methylbromid als Begasungsmittel und bromhaltige Stoffe als Flammschutzmittel (16).

Tabelle 5. Mittlere Zufuhr von Iod und Selen in verschiedenen Studien

Land	Kollektiv[1]	Art der Studie[2]	Iod (µg/Tag)		I-Dichte (µg/MJ)		Selen (µg/Tag)		Se-Dichte (µg/MJ)		Ref.
			M	F	M	F	M	F	M	F	
CH	40 Proben (Median)	Duplikat	239		25		69		7,2		diese Arbeit
D	28 Proben	Duplikat					59				(72)
	26 F, 25–45 J	Duplikat						55			(73)
	28 M, 28 F 1988	Duplikat	51	58							(74)
	28 M, 28 F 1990	Duplikat	61	46							(64)
	Vegetarier: 151 M, 187 F	Warenkorb	134	107	12,3	13,1					(75)
	Nicht-Veg.: 150 M, 174 F	Warenkorb	164	154	14,9	17,9					(75)
A	20 Personen	Duplikat					36				(76)
I	5 M, 5 F; Gegend A	242-h-Duplikat					17				(77)
	5 M, 5 F; Gegend B						20				
	5 M, 5 F; Gegend C						24				
	5 M, 5 F; Gegend D						31				
B	5 Proben	Duplikat					52				(78)
	12 Vegetarier	Duplikat					13				(79)
	9 Makrobioten						34				
	28 Proben	Duplikat					46				(80)
NL	18 J, 1973–8	Total-Diät	210				78				(81)
	18 J, 1984–6	Total-Diät	402				72		5,5		(82)
	Erwachsene	Duplikat					41		5,3		(83)
DK	100 M, 30–34 J	Duplikat					56				(84)
S	Pensionäre 16 M, 19 F	24-h-Duplikat	318	246			34	28,4			(85)
	6 Veganer 3 M, 3 F	24-h-Duplikat	82	58			6,9	12,3			(86)
	6 Laktovegetarier 3 M, 3 F	24-h-Duplikat	·				68	61	6,3	7,6	(87)
	junge Männer	Warenkorb					44		3,8		(88)
SF	77 M	24-h-Duplikat					59		4,9		(89)
		Warenkorb					30				(90)

Land	Kollektiv[1]	Art der Studie[2]	Iod (µg/Tag)		I-Dichte (µg/MJ)		Selen (µg/Tag)		Se-Dichte (µg/MJ)		Ref.
			M	F	M	F	M	F	M	F	
GB		Total-Diät	323				30				(91)
Türkei	30 Personen, 16–60 J	Duplikat					52				(92)
CND	100 F, 30 ± 6 J	Duplikat						131		17,4	(93)
	90 F, 70 J	Duplikat						78			(94)
USA	14–16 J, 1982–86	Total-Diät	650	390			100	60			(95)
	25–30 J, 1982–86	Total-Diät	470	290			100	70			(95)
	60–65 J, 1982–86	Total-Diät	360	270			90	60			(95)
	14–16 J, 1982–89	Total-Diät	550	340			100	70			(96)
	25–30 J, 1982–89	Total-Diät	410	260			110	70			(96)
	60–65 J, 1982–89	Total-Diät	330	240			90	60			(96)
JAP	25 F, 39 J	Duplikat						79			(97)

[1] M = Männer; F = Frauen; J = Altersjahr
[2] 24-h-Duplikat: echte 24-Stunden-Duplikate
Duplikat: essfertige Tagesrationen (Frühstück, Mittagessen, Abendessen)
Total-Diät: typische Verzehrsmengen eingekauft und essfertig zubereitet
Warenkorb: berechnet aus Verzehrsmengen und Spurenelementkonzentrationen in Lebensmitteln.

Herzmuskel (98, 99, 101). Die weltweiten mittleren Selenkonzentrationen im Vollblut variieren im Bereich von ca. 10 µg/l (Selenmangel, Keshan- und/oder Kaschin-Beck-Krankheiten[16]) über ca. 360 µg/l (in gewissen Gebieten Venezuelas) bis zu 3200 µg/l (toxisch, in gewissen Gebieten Chinas). Ab Konzentrationen von etwa 1000 µg/l zeigen sich Vergiftungserscheinungen (gewisse Regionen Chinas) (102, 103). Schweizerische Messungen aus dem Jahre 1991 (Jahr der Publikation) an 100 Personen im Alter von 20 bis 60 Jahren ergaben Werte im Blutserum im Bereich von 62 bis 117 µg/l, im Mittel von 90 µg/l, bei solchen im Alter von 60 bis 100 Jahren (n = 100) von 48 bis 136 µg/l, im Mittel von 85 µg/l (104). Ältere Daten von 220 gesunden Arbeitern (Alter: 40 bis 49 Jahre) aus Wimmis und Thun ergaben einen Mittelwert im Blutplasma von 102,6 µg/l (105). Neueste gesamtschweizerische Untersuchungen aus den Jahren 1992/93 bestätigen diese Befunde weitgehend. Diese ergaben an 20- bis 40jährigen Erwachsenen für Männer einen Mittelwert von 96,0 ± 13,3 µg/l (n = 387) und für Frauen einen solchen von 87,9 ± 14,4 µg/l (n = 243) (106). In Deutschland wurden bei Nichtvegetariern im Serum Selenkonzentrationen von 74 ± 19 (n = 104), bei Ovolaktovegetariern von 66 ± 16 (n = 42) und bei Veganern von 40 ± 18 (n = 10) µg/l festgestellt (107).

Die Funktionen des Selens im Organismus sind im Vergleich zum Iod noch wenig erforscht. Die Wirkung von Selen entfaltet sich in Form verschiedener Proteine, die es – soweit bekannt – ausschliesslich als Selenocystein enthalten (108). Es sind vier *selenabhängige Glutathionperoxidasen* (GSHPx) bekannt: Die cytoplasmatische GSHPx wurde als erste entdeckt (109) und ist befähigt, H_2O_2 und organische Hydroperoxide abzubauen, aber nur, falls diese oxidativen Verbindungen in grossen Mengen im Cytoplasma anfallen. Die genaue Aufgabe der Plasma-GSHPx, auch als extrazelluläre GSHPx bezeichnet, die in den Nieren synthetisiert wird, scheint unbekannt wie auch jene der sog. gastrointestinalen GSHPx, die nur in der Leber und im Darm vorkommt. Hingegen scheint es wahrscheinlich, dass die Phospholipidhydroperoxid-GSHPx zusammen mit Vitamin E in den Zellmembranen wirkt. Sie kommt auch in den Testes vor und könnte zudem eine Rolle bei der Steuerung des Stoffwechsels spielen (108).

Die Funktion des *Selenoproteins P,* das zu 60 bis 80% zur Selenkonzentration im Blutplasma beiträgt, ist ebenfalls nicht bekannt (Selenspeicherprotein?). Strukturell scheint es theoretisch befähigt zu sein, freie Übergangsmetallionen wie Eisen und Kupfer zu binden; zudem besitzt es antioxidative Eigenschaften. Demgegenüber ist das selenhaltige Enzym Typ I *Iodthyronin 5'-Deiodinase* (IDI) für die 3, 3, 5'-Triiodthyroninproduktion (T_3) aus Thyroxin (T_4) verantwortlich (110, 111). Die IDI-Aktivität in Leber und Niere wird weitgehend durch die via Nahrung zugeführte Selenmenge reguliert. Ein extremes Ungleichgewicht in der Selen- und Iodversorgung könnte somit zu zusätzlichen Komplikationen führen. Die menschliche Schilddrüse verfügt aber auch über eine selenunabhängige IDI-Aktivität, die zu einer gewissen Kompensation eines Selenmangels führt. Dies trifft bei vielen Tierarten, wie z. B. Schwein und Wiederkäuern, nicht zu (108). Vielleicht liegt darin der Grund für die extreme Empfindlichkeit junger Wiederkäuer auf einen Selenmangel.

[16] Ca. 30 µg/l in Gegenden von China ohne diese multifaktoriellen Krankheiten.

Weitere, in Ratten identifizierte *selenhaltige Proteine* mit unbekannten Funktionen sind das Selenoprotein W, das vor allem in Muskeln vorkommt und dem eine antioxidative Wirkung zugeschrieben wird, sowie eines, das in den Spermien enthalten ist und dem vermutlich eine räumlich-strukturelle Funktion zukommt (Spermiumkapselprotein). Ratten unter Selenmangel produzieren weniger Spermien, die zudem abnorme Schwänze haben und wenig beweglich sind (108).

Die *Absorption* von Selen aus der Nahrung ist mit 50 bis 90% grob etwa vergleichbar mit jener von Iod, wobei sie auch von der chemischen Form des Selens abhängt. So führte die Verabreichung von organisch gebundenem Selen (Selenomethionin, selenreiche Hefen, selenreicher Weizen) zu höheren Blutkonzentrationen als anorganisches Selen in Form von Selenit oder Selenat, die in Lebensmitteln natürlicherweise vermutlich kaum in grösseren Mengen enthalten sind (112). Auch zeigte sich bei der Ausarbeitung eines kinetischen Modells für den Stoffwechsel von Selenomethionin, dass sich dessen Stoffwechsel stark von jenem von Selenit unterscheidet (113).

Etwa 50 bis 75% des aufgenommenen Selens werden über den Urin ausgeschieden. Zwischen der Aufnahme von Selen über die Nahrung und dessen Ausscheidung im Urin besteht eine starke Korrelation (114). Messungen der biologischen Halbwertszeit von Selenomethionin bzw. Selenit im Körper zeigten einen dreiphasigen Abfall. Der langsamste entspricht einer Halbwertszeit von 234 bis 252 Tagen für Selenomethionin und von rund 102 Tagen für Selenit (98, 113). Bei einer Änderung der täglichen Selenzufuhr dauert es daher sehr lange, bis wiederum ein stationärer Zustand erreicht ist.

Selenmangel (Zufuhr < 20 µg/Tag) kann beim Menschen das Auftreten der sog. Keshan- (jugendliche Kardiomyopathie) und Kaschin-Beck-Krankheit (Chondrodystrophie bei Kindern) fördern, die vor allem in China und Russland auftraten, wobei deren Entstehung multifaktoriellen Ursprungs ist. Kurative Gaben von Selen sind wirkungslos, hingegen haben präventive Gaben (Selenit) die Inzidenz dieser Krankheiten stark reduziert. Für verschiedene Nutztiere wurden ebenfalls durch Selenmangel bedingte Krankheiten beschrieben[17] (99).

Ein suboptimaler Selenstatus des Menschen wird heute mit einem erhöhten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen sowie Krebs assoziiert (99, 101, 115–117). In Tierversuchen liess sich nämlich durch zusätzliche präventive Selengaben (meist als Selenit) im Bereich einiger mg Se/kg Futter die Häufigkeit gewisser durch Chemikalien oder Viren erzeugten Tumore herabsetzen. In einigen wenigen Studien wurde demgegenüber eine Zunahme der Tumorhäufigkeit beobachtet. Die Ergebnisse epidemiologischer Studien lassen derzeit ausser der Vermutung, dass die Brustkrebshäufigkeit kaum vom Selenstatus beeinflusst wird, noch keine sicheren Schlussfolgerungen zu. Möglicherweise beeinflusst die Selenversorgung vor allem die Häufigkeit des Auftretens von Tumoren des Magens, der Speiseröhre sowie der Lunge (118).

[17] Selenmangel (< 0,05 mg/kg Futter-TM) führt bei Rindern, Schafen und Ziegen zur sog. Weissmuskelkrankheit (Degeneration des Muskelgewebes), bei Schweinen zur «Maulbeerherzkrankheit» und beim Geflügel zur «Exsudativen Diathese» (99).

Verschiedene Angaben über akute *Selenintoxikationen*, insbesondere bei Tieren, sind vorhanden[18]. Nach *Kieffer* (101) beginnt bei 2 bis 3 mg/Tag für den Menschen der chronische Toxizitätsbereich, Einzeldosen von 10 bis 20 mg führen zu akuten Vergiftungen und solche ab ungefähr 200 mg zur Letalität. Über die maximal duldbare tägliche Selenzufuhr herrscht noch eine gewisse Unsicherheit. Die Symptome chronischer Selenvergiftungen sind häufig mild und unklar: pathologische Nägel, Haarausfall. Chronische Vergiftungen wurden in China bei mittleren Zufuhrmengen von rund 5 mg (Bereich 3,2 bis 6,7 mg), entsprechend etwa 0,1 mg/kg KM, beobachtet, nicht jedoch bei solchen von 0,75 mg (Bereich 0,24 bis 1,51 mg), entsprechend 15 µg/kg KM und Tag. Die entsprechenden Selenkonzentrationen im Vollblut lagen bei 3,2 (Bereich 1,3 bis 7,5) bzw. 0,44 (Bereich 0,35 bis 0,58) mg/l (98). Nach *Combs* und *Combs* (99) beträgt die geringste Selenmenge, die nach zwei Jahren zu den frühesten Anzeichen einer Selenvergiftung (pathologische Veränderungen an Haar und Fingernägeln sowie Erbrechen) führt, 1 mg (als Selenit). Nach diesen Autoren kann eine sichere obere Grenze von 0,775 mg/Person und Tag für eine chronische Aufnahme von Selen aus natürlicherweise selenhaltigen Lebensmitteln und/oder organischen Selenverbindungen und von 0,55 mg/Person und Tag für eine chronische Selenaufnahme aus anorganischen Selensalzen angenommen werden, entsprechend etwa 10 µg/kg KM/Tag. Allerdings ist derzeit kein empfindlicher biochemischer Indikator zur frühzeitigen Diagnose einer exzessiven Selenzufuhr bekannt (121).

Zufuhr

Abbildung 3 zeigt die histogrammähnliche Darstellung der Zufuhrdaten der einzelnen Tagesrationen. Die Einzelwerte liegen im Bereich von 30 bis 135 µg/Person. Ausreisser bezüglich der Zufuhrmengen aller Tagesrationen scheinen nicht vorhanden zu sein. Die zu den höchsten täglichen Zufuhren zählende Tagesration Nr. 26 (125 µg) aus dem vegetarischen Betrieb C enthält als einzige Tagesration dieses Betriebes Teigwaren (sogenannte Soja-Spaghetti) in relativ grossen Mengen (ca. 160 g TM). Wird von diesem Wert abgesehen, scheinen sich beim vegetarischen Restaurant deutlich niedrigere tägliche Selenzufuhren zu ergeben als bei den übrigen Betrieben. Im Mittel aller 40 Betriebe ergibt sich eine tägliche Selenzufuhr von 70,6 µg/Person (7,5 µg/MJ) (Tabelle 2). Dies ist etwa die Hälfte der im Zweiten Schweizerischen Ernährungsbericht berechneten Menge von 150 µg (15). Ausgehend von nur einem vegetarischen Tag pro Woche, wird eine mittlere Zufuhr von 73 µg/Tag (bzw. ohne vegetarische Tage von rund 77 µg) berechnet, die nur geringfügig höher liegt als der Gesamtmittelwert von rund 71 µg, der nahezu zwei rein vegetarischen Tagen pro Woche entspricht. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass der Fleischanteil in den untersuchten Tagesrationen nur etwa 55% der

[18] Bei Tieren, die stark selenhaltiges Futter frassen (> 3 mg/kg TM), trat in Abhängigkeit von der Schwere der Vergiftung ein eher akutes Krankheitsbild mit zentralnervösen Störungen auf, das als sog. «blindes Taumeln» («blind staggers») bezeichnet wird (119). Daneben kann es auch zur sog. chronischen «Alkalikrankheit» kommen. Interessanterweise erwiesen sich Arsen und seine Verbindungen als gute Antidote (120).

Pro-Kopf-Verbrauchsmenge umfasst (20). Fleisch scheint neben Getreideprodukten und Eiern eine nicht vernachlässigbare Selenquelle zu sein. Dies bedeutet, dass die hier ermittelte Zufuhr (für Männer) die Wirklichkeit eher unter- als überschätzt (vergleiche auch das Fehlen von Zwischenverpflegungen). Allerdings hat der Fleischkonsum in den letzten zehn Jahren abgenommen. Wird der ermittelte Wert von 70 µg als für Männer zutreffend interpretiert (460 g TM), so ergibt sich für Frauen auf der Basis eines Verzehrs von 360 g TM/Tag eine mittlere Selenzufuhr von 55 µg/Tag.

Werden die Selenkonzentrationen der einzelnen Tagesrationen mit deren Zusammensetzung verglichen, fällt auf, dass jene, die *Teigwaren* (Nudeln, Spaghetti) enthalten, häufig zu den höchsten gehören. Von den 18 Tagesrationen, mit denen pro Tag mehr als 70 µg Selen zugeführt wird, enthalten deren 12 Teigwaren, entsprechend rund 70%. Von den 8 Tagesrationen, die Selenkonzentrationen ≥ 100 µg/TM aufweisen, enthalten deren 7 Teigwaren. Teigwaren scheinen somit erhöhte Selenkonzentrationen zu enthalten (21, 122).

Im Gegensatz zu verschiedenen anderen europäischen Ländern werden in der Schweiz (und Italien) Teigwaren aus Qualitätsgründen (fast) ausschliesslich aus Hartweizen hergestellt. Dieser wird in der Schweiz aus klimatischen Gründen nicht angebaut (wohl aber z. B. in D, F, I). Der grösstenteils aus Nordamerika in die Schweiz importierte Hartweizen ist als sehr selenreich bekannt (21, 122). Abbildung 4 zeigt den Zusammenhang zwischen der geschätzten Menge an trockenen Teigwaren in den Tagesrationen und deren Selenkonzentrationen. Der Korrelationskoeffizient von 0,780 ist signifikant verschieden von Null ($0{,}01 < p < 0{,}001$).

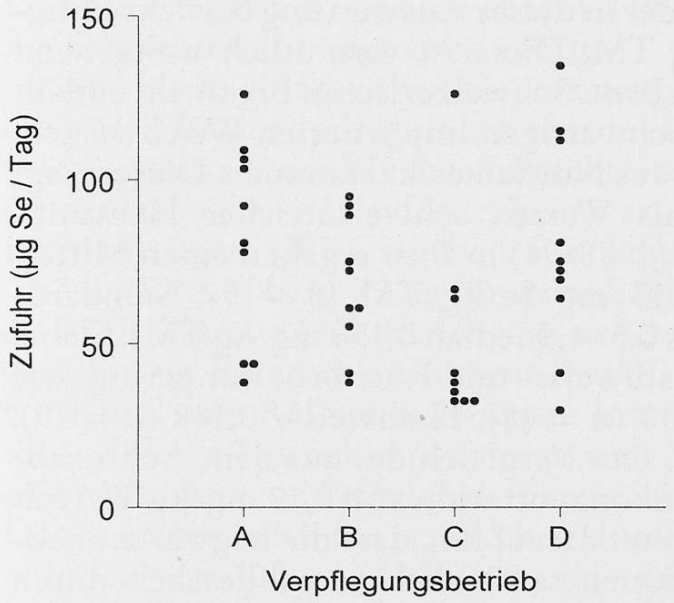

Abb. 3. Gruppierte Einzelwerte der Selenzufuhr, aufgeteilt nach Betrieben

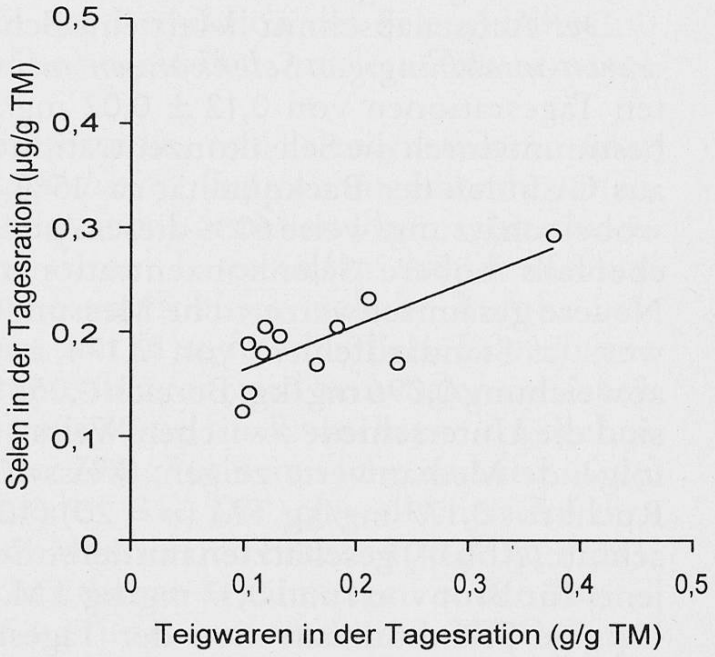

Abb. 4. Zusammenhang zwischen den Selenkonzentrationen in ausgewählten Tagesrationen und der darin enthaltenen Menge an trockenen Teigwaren

Die Nummern der betreffenden Tagesrationen lauten 3, 5, 7, 8, 17, 19, 20, 26, 31, 33 und 36. Tagesrationen, die neben Teigwaren zusätzlich Fisch, Leber oder grössere Mengen an Eiern (d. h. als selenreich bekannte Lebensmittel) enthielten, wurden dabei nicht berücksichtigt (20). Die lineare Regressionsrechnung ergibt folgendes Resultat: $y = (0{,}12 \pm 0{,}02) + (0{,}42 \pm 0{,}11) \cdot x$, wobei y = µg Se/g TM der Tagesration und x = g trockene Teigwaren/g TM der Tagesration (n = 11, ± Standardfehler) bedeuten (Abb. 4).

Aus dem Regressionskoeffizienten ergibt sich ein Schätzwert für den scheinbaren mittleren Selengehalt der in den Tagesrationen enthaltenen Teigwaren von 0,42 ± 0,11 mg/kg TM, der durch den unbekannten Selengehalt des z. T. ebenfalls enthaltenen Fleisches beeinflusst ist (die obenerwähnten 11 Tagesrationen enthalten im Mittel 115 ± 68 g Fleisch). Trotzdem ist dieser Wert in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen inzwischen vorgenommener Messungen an Marktproben, die einen Mittelwert von 0,69 ± 0,06 mg/kg TM ergaben (± Standardfehler des Mittelwertes) (n = 33, Standardabweichung 0,32, Bereich 0,08 bis 1,29, Median 0,69 mg/kg) (122, 123). Es zeigt sich somit, dass die Bedeutung der Teigwaren für den Gesamtselengehalt der Tagesrationen grösser ist als jener von Fleisch. Eine noch bessere Übereinstimmung ergibt sich, wenn ein Selenverlust beim Kochen der Teigwaren durch dessen Übergang ins Kochwasser von rund 20% berücksichtigt wird (124). Bei den Teigwarenproben mit geringen Selengehalten handelt es sich vorwiegend um Importe aus Italien. Ein Unterschied der Selengehalte zwischen Eier- oder Vollkornteigwaren gegenüber den anderen konnte nicht festgestellt werden (122). Sogenannte Soja-Teigwaren scheinen nur wenige Prozent an Soja zu enthalten (vgl. Tagesration Nr. 26).

Der Achsenabschnitt liefert eine Schätzung der mittleren, von der Menge *teigwaren-unabhängigen Selenkonzentration* der in dieser Auswertung berücksichtigten Tagesrationen von 0,12 ± 0,02 mg/kg TM. Diese ist vermutlich weitgehend bestimmt durch die Selenkonzentration im Brot. Schweizerisches Brotmehl enthält aus Gründen der Backqualität ca. 15% hochwertigen importierten Weichweizen, wobei schätzungsweise 60% dieses Anteils aus Nordamerika stammen. Dieser zeigt ebenfalls höhere Selenkonzentrationen als Weizen schweizerischer Herkunft. Neuere gesamtschweizerische Messungen (1988/94) in *Brot* ergaben einen Mittelwert (± Standardfehler) von 0,174 ± 0,013 mg Se/kg TM (n = 57, Standardabweichung 0,096 mg/kg, Bereich 0,057 bis 0,584, Median 0,156 mg/kg TM). Dabei sind die Unterschiede zwischen Weiss-, Halbweiss- und Ruchbrot nur gering, wie folgende Medianwerte zeigen: Weiss- 0,130 (n = 18), Halbweiss- 0,148 (n = 19), Ruchbrot 0,177 mg/kg TM (n = 20) (125). Der Vergleich der aus dem Achsenabschnitt (Abb. 4) geschätzten mittleren Selenkonzentration von 0,12 mg/kg TM mit jener für Brot von rund 0,17 mg/kg TM deutet darauf hin, dass die teigwarenunabhängige Selenkonzentration der Tagesrationen tatsächlich ausschliesslich durch den Brotanteil bestimmt ist. Etwa zu den hier aufgeführten vergleichbare Konzentrationen in Broten wurden kürzlich von *Quinche* (126) publiziert. Einheimische Weizenkörner enthalten demgegenüber im Mittel nur 0,025 bis 0,045 mg Se/kg TM (122, 126). Der mit der Erntemenge gewichtete gesamtschweizerische Mittelwert von Selen in Weizenkörnern wurde auf 0,025 mg/kg geschätzt (124).

Die 40 Tagesrationen enthalten im Mittel 120 g Brot (TM bzw. als Mehl) (20). Wird vom durchschnittlichen Selengehalt von Brot von 0,16 mg/kg TM (Median) ausgegangen, ergibt sich ein Beitrag von rund 20 µg Selen, entsprechend etwa 30% der mittleren geschätzten Zufuhr von 70 µg. Im Mittel aller Tagesrationen sind rund 26 g trockene Teigwaren pro Tag enthalten (20). Der Beitrag dieser Lebensmittelgruppe zur ermittelten Zufuhr wird im Mittel auf ebenfalls etwa 20 µg/Tag berechnet, falls für die Selenkonzentration der Teigwaren der Mittelwert von 0,69 mg/kg eingesetzt wird. Würde die Schweiz auf den Import von selenreichem nordamerikanischem Weizen verzichten, müsste unter sonst unveränderten Bedingungen (z. B. Selenzusätze zu Futtermitteln) die mittlere Selenzufuhr auf 30 bis 40 µg/Tag sinken. Dies entspricht etwa den mittleren Zufuhrmengen in Neuseeland (99) und Österreich (76), während sie in den selenarmen Gegenden Chinas, in denen die Keshan-Krankheit endemisch war, im Mittel zwischen 7 bis 11 µg/Tag lagen (zit. nach 99). Der Einfluss von importiertem, selenreichem nordamerikanischem Getreide auf die Selenversorgung ist auch in anderen Ländern untersucht worden (127, 128).

Ausländische Zufuhrstudien sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Finnland ist das einzige Land, das in grossem Massstab den Selengehalt der Böden durch Zusätze von Selensalzen zu Düngern anreichert (6 mg/kg Dünger ab 1991, früher 6 mg/kg Dünger für Gras und Heu sowie 16 mg/kg für die Getreideproduktion), um damit die Selenversorgung der Bevölkerung anzuheben. Über die Auswirkungen dieser Massnahme auf den Selengehalt der Lebensmittel (129, 130) und des Grundwassers (131) sowie die Selenversorgung der finnischen Bevölkerung liegen bereits verschiedene Ergebnisse vor (132). Von früher rund 25 µg (Mitte der 70er Jahre) ist die mittlere tägliche Zufuhr auf etwa 110 bis 120 µg/Tag in den Jahren 1987–91 angestiegen, während sie 1992 und 1993 wegen der Reduktion des Selengehaltes im Dünger auf etwa 85 µg/Tag absank (129). Die angestrebte mittlere Zufuhrmenge für Erwachsene beträgt etwa 100 µg.

Aus einer chinesischen Supplementierungsstudie, mit Selenomethionin über mehrere Monate durchgeführt, wurde ein *täglicher Bedarf* von ungefähr 40 µg (als Selen) ermittelt, der für die Aufrechterhaltung einer optimalen Plasmaglutathionperoxidase-Aktivität erforderlich war. Die darauf basierenden amerikanischen Empfehlungen (NRC) geben für Selen eine empfohlene tägliche Zufuhr von 0,87 µg/kg KM bzw. 70 µg für männliche und von 55 µg für weibliche Erwachsene als RDA-Wert an (30). In den englischen Empfehlungen wird beim Selen zwischen dem Lower Reference Nutrient Intake, der mit 40 µg für Erwachsene angegeben wird, und dem Reference Nutrient Intake, der 75 µg für männliche und von 60 µg für weibliche Erwachsene beträgt, unterschieden (31). Die schwedischen Zufuhrempfehlungen von 1989 geben für erwachsene Männer und Frauen 40 µg /Tag (133). Damit entsprechen die ermittelten durchschnittlichen Selenmengen in den Tagesrationen von 70 µg für Männer und von 55 µg für Frauen exakt den NRC-Empfehlungen.

Inzwischen konnte vom Arbeitskreis *Behne* (134) an Ratten gezeigt werden, dass der Selenbedarf für eine optimale Funktion der Plasma-GSHPx-Aktivität auch jenen für alle übrigen biologisch wichtigen selenhaltigen Proteine im Körper abdeckt. Denn die Aktivitäten der Plasma-GSHPx und der cytoplasmatischen

GSHPx erreichen nach einem Selenmangel erst zuletzt ihr Optimum. Auch scheint es, dass eine deutlich über dem Bedarf liegende Selenzufuhr eher negative Effekte auf die Enzymaktivitäten haben könnte. Möglicherweise sind die Gewebekonzentrationen der selenhaltigen Enzyme sogar homöostatisch kontrolliert. Auch führt eine den Bedarf übersteigende Selenzufuhr zu einem unspezifischen Seleneinbau in Proteine, z. B. an Stelle von Schwefel (134).

Demgegenüber wurden im Hinblick auf die Krebsprophylaxe sowie zur Verminderung des Risikos für Herzkreislaufkrankheiten von verschiedenen Autoren tägliche Selenzufuhren im Bereich von 200 bis 400 µg, entsprechend etwa 0,5 bis 1 mg/kg Nahrungs-TM, empfohlen. Beweise für die postulierte Wirkung analog jener für Iod oder Eisen liegen aber noch nicht vor (121). Entsprechend den obigen Ausführungen müssten aber solch hohe Zufuhrmengen als nutzlos eingestuft werden.

Allgemeine Überlegungen und Schlussfolgerungen

Iod und Selen

Die in dieser Arbeit vorgestellten Elemente Iod und Selen sind selten gemeinsam bearbeitet und beurteilt worden. Für Iod ist diese Arbeit die erste schweizerische Studie neueren Datums, ebenfalls für Selen, wenn von einer Studie über Kleinkinder abgesehen wird (135). Für beide Elemente trifft zu, dass deren Konzentrationen in den Böden letztlich die tägliche Zufuhr der Bevölkerung über die Nahrung bestimmen, wenn von Importen oder Zusätzen zu Lebensmitteln abgesehen wird, was den lokalen Einfluss des Lebensraumes aufzeigt. An beiden Elementen scheint in den Böden unseres Landes infolge der Eiszeiten, des eher feuchten Klimas und insbesondere der grossen Distanz zum Meer (iod- und vermutlich auch selenhaltige Niederschläge) ein Mangel zu herrschen. Erst vor wenigen Jahren wurde zudem erkannt, dass im Stoffwechsel der Schilddrüse (neben Vitamin A) auch Selen von grosser Bedeutung ist.

Die hier vorgestellten Resultate erlauben eine annähernde Beurteilung über die Zufuhr von Iod und Selen in der Ausserhausverpflegung, aber auch Rückschlüsse auf die Versorgung der Gesamtbevölkerung zur Zeit der Probenahme (1983). Verlässlichere Daten über den effektiven Versorgungszustand der Bevölkerung an diesen Spurenelementen würden eingehende Untersuchungen der Körperflüssigkeiten (Blut, Urin) an ausgewählten Bevölkerungsgruppen ergeben. Dass dies von Nutzen sein kann, zeigt die kürzlich publizierte Untersuchung (Probenahme 1991–92) über den Iodzustand der schweizerischen Bevölkerung (50). Dieses Resultat könnte mit dem sehr gesundheitsbewussten, möglicherweise für schweizerische Verhältnisse nicht repräsentativen Kollektiv und damit auch mit veränderten Ernährungsgewohnheiten zu erklären sein. In einer analogen Untersuchung stellte sich auch heraus, dass z. B. die Bevölkerung von Genf tiefere Selenkonzentrationen

im Plasma aufweist als jene von Bern, dies möglicherweise infolge von im nahen Ausland eingekauften Lebensmitteln mit niedrigeren Selengehalten (106). Dieser Aspekt dürfte auch bei der Beurteilung der Iodversorgung zu beachten sein.

Für beide Elemente ergibt der Vergleich der lebensnotwendigen (oder effektiven) täglichen Zufuhr mit den aus toxikologischen Gründen maximal zulässigen Mengen relativ geringe Sicherheitsabstände von schätzungsweise einem Faktor 10. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich auch für weitere lebensnotwendige Substanzen, wie die Vitamine A und D sowie nicht lebensnotwendige, aber natürlicherweise in Lebensmitteln vorkommende Substanzen, wie z. B. Cadmium oder Solanin (Kartoffeln). Demgegenüber resultieren beispielsweise für Rückstände von Schädlingsbekämpfungsmitteln, d. h. nicht lebensnotwendigen künstlichen Stoffen, in Lebensmitteln Sicherheitsabstände bis zu mehreren Tausend.

Iodversorgung

Unsere Daten zur Iodversorgung von im Mittel 240 µg/Tag für Männer und 190 µg/Tag für Frauen bestätigen jene aus Urinmessungen anfangs der 80er Jahre weitgehend. Schätzungsweise 60% dieser Menge scheinen aus dem iodierten Kochsalz zu stammen, wobei allerdings nicht dessen Verbrauch in den privaten Haushaltungen im Vordergrund steht, der nur höchstens einen Viertel des in der Schweiz verbrauchten iodierten Salzes umfasst, sondern dessen verbreitete Verwendung in Lebensmittelgewerbe und -industrie. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu anderen Ländern, in welchen nur die Haushaltspackungen für Kochsalz iodiert erhältlich sind. Allerdings dürfte die mittlere Zufuhr im Sommerhalbjahr infolge geringerer Iodgehalte der Milch um etwa 40 µg/Tag tiefer sein. Eine mögliche Jahreszeitabhängigkeit der Iodversorgung sollte daher bei künftigen Urinuntersuchungen mitberücksichtigt werden; ebenso sollten die Werte für Männer und Frauen getrennt aufgeführt werden. Des weiteren sollten bei solchen Studien auch Personen berücksichtigt werden, die einen grossen Teil ihrer Lebensmittel im grenznahen Ausland einkaufen. Für Schwangere und Stillende, für die pro Tag zusätzlich 30 bis 60 µg Iod empfohlen wird (29), dürfte die geschätzte mittlere Zufuhr von etwa 150 bis 160 µg für das Sommerhalbjahr nur knapp ausreichend sein. Dies um so mehr, wenn während der Schwangerschaft die Gewichtszunahme kritisch verfolgt und zudem der Kochsalzkonsum eingeschränkt wird.

Diese Schätzungen basieren auf unseren Daten, die aber für das Jahr 1983 gelten. Neuere Messungen nämlich liefern Hinweise auf eine seither verminderte Iodaufnahme (50, 70). Wenn auch das Kollektiv in der Arbeit von *Als* et al. (50) speziell zusammengesetzt war, fand auch *Truong* et al. (70) bei Schulkindern eine gegenüber 1988 tendenziell tiefere Iodausscheidung, und die Iodversorgung von Schülern und Schwangeren wird von diesen Autoren als gerade genügend eingestuft. Auch die mittlere Iodkonzentration von Muttermilch 78 ± 59 µg Iod/l ($n = 30$) liegt unterhalb schwedischer Vergleichswerte, aber noch deutlich über jenen von Kropfendemiegebieten (70). Es kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, dass Bevölkerungsgruppen existieren, die als Folge anderer Ernährungsgewohnheiten eine geringere

bzw. zu geringe Iodversorgung aufweisen als der Durchschnitt der Bevölkerung. Möglicherweise hat sich aber auch die durchschnittliche Iodversorgung der gesamten Bevölkerung gegenüber Anfang der 80er Jahre vermindert. Beispielsweise ist inzwischen der Kochsalzgehalt von Brot gesenkt worden. Trotzdem scheint die Schweiz zu den am besten mit Iod versorgten Ländern Europas zu gehören.

Selenversorgung

Unsere Daten zeigen, dass die tägliche mittlere Selenzufuhr für Männer von 70 µg und für Frauen von 55 µg zwar geringer ist als jene in den USA, Kanada, Finnland, jedoch doppelt so hoch wie jene in Neuseeland, Österreich oder Deutschland bzw. gegen 10mal höher als in den Gebieten Chinas, wo die Keshan-Krankheit vor der Selenitprophylaxe endemisch auftrat. Die ermittelten Zufuhrwerte entsprechen exakt den von der NRC (30) empfohlenen bzw. liegen innerhalb des von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (29) angegebenen sicheren und adäquaten Bereichs von 20 bis 100 µg/Tag. Die in dieser Arbeit für Männer und Frauen geschätzten mittleren Zufuhrmengen korrelieren gut mit gesamtschweizerischen Serumselenmessungen aus den Jahren 1992/93 an 20- bis 40jährigen Erwachsenen (106). Diese deuten darauf hin, dass sich die Selenversorgung in den letzten 10 Jahren nicht vermindert hat, wie ursprünglich als Folge der angestiegenen einheimischen Produktion von Brotgetreide befürchtet worden war (121). Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass Bevölkerungsgruppen existieren, wie z. B. solche, die den grössten Teil der Lebensmittel im grenznahen Ausland einkaufen, Zöliakiepatienten oder über lange Zeit parenteral Ernährte, welche deutlich geringere Selenzufuhren aufweisen können. In solchen Fällen sind entsprechende medizinische Abklärungen und Massnahmen angezeigt. Andererseits ist bekannt, dass sich die antioxidativen Funktionen von Selen und Vitamin E im Körper innerhalb eines beschränkten Bereiches wechselseitig ergänzen können. Da die schweizerische Bevölkerung gemäss den Ernährungsberichten im allgemeinen gut mit Vitamin E versorgt ist, dürfte eine gelegentlich suboptimale Selenversorgung ohne tiefgreifende gesundheitliche Bedeutung sein. Obwohl von einer massvollen täglichen Selenzufuhr im Bereich von 200 bis 300 µg pro Erwachsener nicht mit guten Argumenten abgeraten werden kann, sollten vor der allgemeinen Zulassung selenangereicherter Nahrungsmittel bzw. Futter- und Düngemittel die Erkenntnisse des finnischen Experimentes bezüglich seiner gesundheitlichen Auswirkungen abgewartet werden.

Solange die Schweiz dabeibleibt, dass mindestens 5 bis 10% des Brotgetreides[19] aus Nordamerika bezogen wird, und Teigwaren aus nordamerikanischem Hartweizen hergestellt werden, kann die Selenversorgung der schweizerischen Bevölkerung als im Mittel ausreichend eingestuft werden. Die Bestrebungen, in der Schweiz

[19] In den 50er bis 60er Jahren wurden im Mittel etwa 50% des Brotgetreides importiert! Falls damals, wie anzunehmen ist, der grösste Teil aus Nordamerika stammte, dürfte der damalige Selenstatus der Bevölkerung deutlich höher gewesen sein als heute.

vermehrt sogenanntes «Biogetreide» einheimischer Produktion zu verarbeiten[20], könnte jedoch zu einer verminderten Selenzufuhr führen, jedenfalls bei jenen Individuen, die sich ausschliesslich der «Biowelle» verschrieben haben. Würde ganz auf nordamerikanischen Weizen verzichtet, sänke die Selenzufuhr in der Schweiz im Mittel auf 30 bis 40 µg/Tag, wie sie für Neuseeland und Österreich ermittelt oder wie sie auch für Schottland ohne die Verwendung von nordamerikanischem Getreide berechnet wurde.

Allgemeines

Dass die Schweiz mindestens Mitte der 80er Jahre zu den am besten mit Iod versorgten Ländern Europas gehörte, ist in erster Linie der Einführung und Akzeptanz des iodierten Kochsalzes in der Öffentlichkeit vor mehr als 60 Jahren zu verdanken. Es ist leider zu befürchten, dass eine solche Präventivmassnahme im Lebensmittelsektor heutzutage kaum mehr zu realisieren wäre, wie ein Blick über die Grenze zeigt. Insbesondere die deutschsprachige Bevölkerung Europas hat sich in den letzten 25 Jahren von populistischen Begriffen wie «Chemisierung der Lebensmittel», «Gift in unserer Nahrung», «Iss und stirb» oder «Tschernobyl ist überall» derart verängstigen und verunsichern lassen, was die Qualität unserer Lebensmittel anbetrifft, dass einer heutigen Einführung der Kochsalziodierung in der Schweiz wohl erheblicher Widerstand entgegengebracht würde. Die Mär vom «iodreichen natürlichen Meersalz» aber hat sich dem Zeittrend folgend, seit der Zeit *von Fellenbergs* (30) bis heute, wohl dank geschäftstüchtiger (Bio)-Händler, hartnäckig erhalten. Seine Iodkonzentration ist jedoch mindestens zehnmal kleiner als das in der Schweiz übliche iodierte Kochsalz. Tatsächlich scheint der Konsum von Meersalz in der Schweiz in den letzten Jahren deutlich angestiegen zu sein (136). Die erwähnte Verunsicherung hat sicher zum Aufkommen der sogenannten «Vollwertkost» und zur erhöhten Nachfrage nach «Bio»-Lebensmitteln, insbesondere bei besser gebildeten Leuten, beigetragen (137, 138).

Durch die an und für sich berechtigte Forderung nach Einschränkung des Kochsalzkonsums (14) könnte allerdings die Iodversorgung gefährdet sein, ebenso wie bei Selen bei einer zu grossen Ausdehnung der «Biobrotwelle». Zur Verbesserung der Versorgung mit diesen beiden Elementen könnte z. B. auch eine Erhöhung der Zufuhr via Milch und Milchprodukten durch Verabreichung entsprechender Salze an die Kühe geprüft werden. Ein sinnvoller präventiver Gesundheitsschutz hat gerade bei diesen beiden Spurenelementen vorausschauend zu wirken und unerwünschten Entwicklungen frühzeitig die Spitze zu brechen.

Verschiedene Mikronährstoffe spielen bei der Desaktivierung der beim O_2-Stoffwechsel gebildeten reaktiven Spezies eine wichtige Rolle, so insbesondere die Spurenelemente Selen in der GSHPx, Kupfer, Zink und Mangan in der Superoxiddismutase, die Katalase und die Vitamine C, E und A sowie β-Carotin. Über deren Wechselwirkung bei unterschiedlichem Versorgungsstatus herrscht aber noch

[20] Die Tageszeitung «Der Bund» berichtete in ihrer Ausgabe vom 11. Februar 1995 über den vermehrten Bedarf an Biogetreide zur Brotherstellung.

weitgehend Unklarheit. Auch die Wechselwirkungen zwischen Vitamin-A-, Selen- und Iod-Metabolismus sind im Detail noch kaum abgeklärt (100). Immerhin interessant ist die Hypothese, dass ein Selenmangel einen gewissen Schutzfaktor gegenüber den Auswirkungen des Iodmangels darstellen könnte. Eine allfällige Korrektur des Selendefizits sollte daher nicht vor einer solchen des Ioddefizits vorgenommen werden (139). Falls diese Hypothese zutrifft, dürfte der anfangs des 19. Jahrhunderts in der Schweiz vorherrschende Iodmangel geringere Auswirkungen gehabt haben als anfangs des 20. Jahrhunderts, da zu diesem Zeitpunkt wahrscheinlich bereits preiswerter, selenreicher nordamerikanischer Weizen importiert wurde.

Die Auffassung, dass die als essentiell erkannten Stoffe nicht isoliert betrachtet werden sollten, gewinnt daher an Gewicht (140). Das trifft natürlich auch für die toxikologischen Bewertungen von Fremd- und Inhaltsstoffen zu. Dabei ist beispielsweise längst bekannt, dass die komplex zusammengesetzte Nahrung neben potentiell kanzerogenen auch «antikanzerogene» Stoffe enthält. Auch könnte z. B. die hautkrebserzeugende Potenz von mit dem Trinkwasser aufgenommenem anorganischem Arsen mit der Proteinversorgung (Methionin, Cholin) verknüpft sein; Proteinmangel dürfte die kanzerogene Potenz erhöhen. Andererseits ist seit den 40er Jahren bekannt, dass bei Labortieren, denen kanzerogen wirkende Stoffe verabreicht werden, ein nichtlimitiertes Nahrungsangebot zu deutlich höheren Tumorinzidenzen führt als ein beschränktes, aber ausgewogenes. Das Zusammenwirken der verschiedenen Nahrungsbestandteile, d. h. essentielle und nichtessentielle Stoffe, mit den physiologischen Funktionen des Körpers, wobei zusätzlich auch der Einfluss der Darmflora zu berücksichtigen wäre, ist bei weitem noch nicht aufgeklärt. Nährwerttabellen (auf ausländischen Daten beruhend), Diätempfehlungen («Vollwertkost») und weiteren «Spezialdiäten» sowie den vielfach angepriesenen Nahrungsergänzungen (Vitamine, Selen usw.) sollte daher mit Vorsicht begegnet werden. Da in nächster Zeit kaum damit gerechnet werden kann, dass die äusserst komplexen Wechselwirkungen völlig aufgeklärt werden können, gilt nach wie vor folgendes: *«Eine ausgewogene und abwechslungsreiche Ernährung ist weitaus die beste Massnahme des Konsumenten, sich vor einem Mangel an «essentiellen» Stoffen sowie vor der Zufuhr gesundheitsgefährdender Mengen «potentiell toxischer» Stoffe zu schützen.»*

Dank

Den vier beteiligten Verpflegungsbetrieben danken wir für ihr Interesse und die Bereitschaft zur Teilnahme an dieser Studie. Dem Personal des Forschungsreaktors SAPHIR sind wir für die Zurverfügungstellung der Bestrahlungspositionen zu Dank verpflichtet. Den Direktionen der beteiligten Stellen (BAG, PSI, FAM) verdanken wir die Unterstützung und Förderung der vorliegenden Arbeit. Herrn *Dr. A. Etournaud* (Kantonales Laboratorium Waadt, Epalinges) danken wir für die Bestimmung des Erythrosins in fünf Tagesrationen, Herrn Prof. *Dr. med. H. Bürgi* (Bürgerspital, Solothurn), Herrn *R. Rutishauser* (Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen AG, Schweizerhalle), Herrn *Dr. R. Dick* (BAG) für die kritische Durchsicht des Manuskripts und für entsprechende Anregungen sowie Frau *Dr. med. C. Als*

(Pathologisches Institut, Inselspital, Bern) für die Einsicht in das sich im Druck befindende Manuskript.

Zusammenfassung

In 40 verzehrsfertigen Tagesrationen, bestehend aus Frühstück, Mittag- und Abendessen, aus vier Verpflegungsbetrieben (Personalrestaurant, Spital, vegetarisches Restaurant und Rekrutenschule) wurden für das Jahr 1983 folgende tägliche Zufuhrmengen für Männer (460 g Trockenmasse, 9,5 MJ) bestimmt (Median, Bereich): Iod 240 (88–759) µg, Selen 69 (30–135) µg. Die Daten sind in guter Übereinstimmung mit Urin- bzw. Serummessungen. Für Iod ist die Zufuhr mehr als ausreichend, mindestens für Männer während der Wintersaison. Iodiertes Kochsalz trägt vermutlich 60% zur Zufuhr bei. Die Selenzufuhr entspricht genau den amerikanischen Empfehlungen (RDA) für Männer und Frauen. Schätzungsweise 50% des Selens stammt aus importiertem nordamerikanischem Weizen. Der Selenstatus scheint sich in den letzten 10 Jahren nicht vermindert zu haben. Es wird eine Übersicht über die biochemisch-physiologischen Eigenschaften von Iod und Selen gegeben und die ermittelten Zufuhrmengen mit in- und ausländischen Untersuchungen (Nahrung, Blut, Urin) verglichen.

Résumé

L' étude porte sur 40 rations journalières prêtes à la consommation, se composant du petit déjeuner, du déjeuner et du dîner provenant de 4 cuisines collectives différentes: cantine, hôpital, restaurant végétarien et école de recrues. Les apports journaliers moyens suivants ont été déterminé chez l'homme (460 g matière sèche, 9,5 MJ) (valeur médiane, étendue): iode 240 (88–759) et sélénium 69 (30–135) µg. Les données correspondent aux résultats des examens d'urine et de sérum. L'apport en iode est suffisant, du moins en ce qui concerne les hommes pendant la saison d'hiver. Il semble que le sel iodé contribue à environ 60% de l'apport. L'apport en sélénium correspond exactement aux recommandations américaines. 50% environ du sélénium provient de blés importés de l'Amérique du Nord. Il semble que le statut du sélénium n'a pas diminué ces 10 dernières années. L'article passe en revue les propriétés biochimiques et physiologiques de l'iode et du sélénium et compare les quantités mesurées avec celles des études menées à l'étranger.

Summary

40 daily rations consisting of breakfast, lunch and dinner were obtained ready for consumption from a canteen, a hospital, a vegetarian restaurant and a military canteen. Based on the total diet samples mean daily intakes for men (460 g dry matter, 9.5 MJ) have been estimated (median, range) for the year 1983: iodine 240 (88–759) and selenium 69 (30–135) µg/person and day. The data are consistent with measurements of these elements in urine and serum, respectively. The intake of iodine comfortably covers its requirement at least for men during winter season. About 60% of the iodine intake is presumable provided by iodized salt. The intake of selenium meets the American Recommended Daily Allowances (RDA) for men and women. Approximately 50% of the selenium originates from North American wheat. There are no evidences that in the past 10 years the selenium status has declined. A review of the biochemical and physiological properties of iodine and selenium is given and the estimated daily intakes are compared with the results of foreign studies.

Nr.	TM[2] (g)	I Konz. (µg/kg)	I Menge[3] (µg)	Se Konz. (µg/kg)	Se Menge[3] (µg)
Betrieb A (Personalrestaurant)					
1	419	361	151	106	44
2	356	506	180	104	37
3	473	485	229	233	110
4	491	1546	759	160	79
5	530	484	257	197	104
6	448	323	145	98	44
7	465	514	239	171	80
8	545	572	412	170	93
9	416	562	234	255	106
10	428	637	273	297	127
Betrieb B (Spital)					
11	434	525	228	90	39
12	398	1651	657	240	96
13	419	1681	704	129	54
14	458	591	271	133	61
15	447	627	280	196	88
16	425	487	207	174	74
17	511	1344	687	181	93
18	377	728	275	109	41
19	429	658	282	143	61
20	386	544	209	190	73
Betrieb C (vegetarisch)					
21	406	630	256	139	56
22	426	560	239	97	41
23	439	443	195	78	34
24	393	1051	413	170	67
25	536	333	179	64	34
26	425	470	200	294	125
27	350	364	127	186	65
28	503	366	184	71	36
29	369	238	88	105	39
30	358	336	120	90	32
Betrieb D (Rekrutenschule)					
31	505	448	226	125	63
32	526	611	321	77	41
33	544	797	434	206	112
34	512	373	191	159	81

Nr.	TM[2] (g)	I Konz. (µg/kg)	I Menge[3] (µg)	Se Konz. (µg/kg)	Se Menge[3] (µg)
35	533	693	369	139	74
36	654	463	303	206	135
37	500	456	228	59	30
38	538	497	267	131	71
39	544	658	358	210	114
40	509	437	222	138	70
Blindproben[4]					
43 (pH = 6,0)	412	k. A.		≤ 1	
44 (pH = 4,5)	412	k. A.		≤ 2	
Variationskoeffizient[5]		10%[6]		15%[6]	

[1] Konzentrationen bezogen auf Trockenmasse
[2] Trockenmasse (gefriergetrocknet)
[3] entspricht der täglichen Zufuhr (µg/Tag)
[4] Saccharose (400 g)
[5] Reproduzierbarkeit der Konzentrationsbestimmung (22)
[6] ausschliesslich durch die Zählstatistik bedingt (22)
k. A. = keine Angaben

Literatur

1. *Verzar, F.* und *Gsell, D.:* Ernährung und Gesundheitszustand der Bergbevölkerung der Schweiz. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), Bern 1962.
2. *Stransky, M.* und *Schär, M.:* Gemeinschaftsverpflegung von Betagten und Jugendlichen in Zürich. In: Brubacher, G. und Ritzel, G. (Hrsg.). Zur Ernährungssituation der schweizerischen Bevölkerung, S. 129–147. H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien 1975.
3. *Schlettwein-Gsell, D.* und *Seiler, H.:* Analysen und Berechnungen des Gehaltes der Nahrung an Kalium, Natrium, Calcium, Eisen, Magnesium, Kupfer, Zink, Nickel, Cobalt, Chrom, Mangan und Vanadium in Altersheimen und Familien. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **63,** 188–206 (1972).
4. *Stransky, M., Scheffeldt, P., Schönhauser, R.* und *Blumenthal, A.:* Ernährungserhebungen in Krankenhäusern des Kantons Zürich. Untersuchungen von Tagesrationen der normalen Vollkost. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **78,** 44–82 (1987).
5. *Stransky, M., Scheffeldt, P., Schönhauser, R.* und *Blumenthal, A.:* Ernährungserhebungen in Krankenhäusern des Kantons Zürich. Ernährungs-Umschau **34,** 406–409 (1987).
6. *Stransky, M., Scheffeldt, P.* und *Blumenthal, A.:* Zur Mittagsverpflegung der Mittelschüler. Sozial-Präventivmed. **26,** 308–309 (1981).
7. *Stransky, M., Schär, M., Kopp, P.M.* und *Somogyi, J.C.:* Untersuchungen über den Nähr- und Wirkstoffgehalt der Mahlzeiten der Mensen der Universität und der ETH Zürich. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **66,** 400–412 (1975).
8. *Stransky, M., Kopp, P.M.* und *Blumenthal, A.:* Ernährungserhebungen in schweizerischen Rekrutenschulen. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **71,** 163–181 (1980).

9. *Müller, E., Brubacher, G., Dirren, H., Helminger, A., Schär, M.* und *Stähelin, H.B.:* Ernährung der Einwohner ländlicher Gebiete. Eine Erhebung in der Schweiz. H. Huber, Bern, Stuttgart, Toronto 1987.
10. *Zimmerli, B., Sieber, R., Tobler, L., Bajo, S.* und *Wyttenbach, A.:* Untersuchung von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben. V. Essentielle Spurenelemente: Eisen, Zink, Mangan und Kupfer. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **84,** 245–286 (1994).
11. *Stransky, M., Scheffeldt, P.* und *Blumenthal, A.:* Untersuchung von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben. II. Energieträger, Nahrungsfasern, Thiamin und Riboflavin. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **76,** 197–205 (1985).
12. *Knutti, R.* und *Zimmerli, B.:* Untersuchung von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben. III. Blei, Cadmium, Quecksilber, Nickel und Aluminium. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **76,** 206–232 (1985).
13. *Corvi, C., Majeux, C.* et *Vogel, J.:* Analyses de repas journaliers provenant de cantines et restaurants suisses. IV. Résidus d'antiparasitaires et polychlorobiphényles. Trav. chim. aliment. hyg. **77,** 583–597 (1986).
14. *Zimmerli, B., Sieber, R., Tobler, L., Bajo, S., Scheffeldt, P., Stransky, M.* und *Wyttenbach, A.:* Untersuchung von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben. V. Mineralstoffe: Natrium, Chlorid, Kalium, Calcium, Phosphor und Magnesium. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **83,** 677–710 (1992).
15. *Kieffer, F.:* Verbrauch an Mineralstoffen und Spurenelementen. In: Aebi, H., Blumenthal, A., Bohren-Hoerni, M., Brubacher, G., Frey, U., Müller, H.R., Ritzel, G. und Stransky, M. (Hrsg.), Zweiter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 81–88. H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien 1984.
16. *Zimmerli, B., Bosshard, E.* und *Knutti, R.:* Nichtessentielle «toxische» Spurenelemente. In: Stähelin, H.B., Lüthy, J., Casabianca, A., Monnier, N., Müller, H.-R., Schutz, Y. und Sieber, R. (Hrsg.), Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 149–162. EDMZ, Bern 1991.
17. *Kieffer, F.* und *Sieber, R.:* Angenäherter Verzehr an Mineralstoffen und Spurenelementen. In: Stähelin, H.B., Lüthy, J., Casabianca, A., Monnier, N., Müller, H.-R., Schutz, Y. und Sieber, R. (Hrsg.), Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 70–78. EDMZ, Bern 1991.
18. *Stransky, M., Zimmerli, B.* und *Sieber, R.:* Nährstoffversorgung in der Gemeinschaftsverpflegung. In: Stähelin, H.B., Lüthy, J., Casabianca, A., Monnier, N., Müller, H.-R., Schutz, Y. und Sieber, R. (Hrsg.), Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 85–90. EDMZ, Bern 1991.
19. *Sieber, R., Stransky, M.* und *Zimmerli, B.:* Beurteilung der Nährstoffversorgung der schweizerischen Bevölkerung. In: Stähelin, H.B., Lüthy, J., Casabianca, A., Monnier, N., Müller, H.-R., Schutz, Y. und Sieber, R. (Hrsg.), Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 91–95. EDMZ, Bern 1991.
20. *Zimmerli, B.* und *Knutti, R.:* Untersuchung von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben. I. Allgemeine Aspekte von Zufuhrabschätzungen und Beschreibung der Studie. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **76,** 168–196 (1985).
21. *Zimmerli, B.* and *Wyttenbach, A.:* Selenium intake of the Swiss population. Preliminary results. In: Nève, J., Favier, A. (eds.), Selenium in medicine and biology. Proc. 2nd int. congress on trace elements in medicine and biology, p. 11–14. W. de Gruyter, Berlin, New York 1989.
22. *Wyttenbach, A., Bajo, S., Tobler, L.* and *Zimmerli, B.:* The concentration of 19 trace elements in the Swiss diet. In: Brätter, P. and Schramel, P. (eds.), Trace element – analytical

chemistry in medicine and biology 4, p. 169–178. W. de Gruyter & Co., Berlin, New York 1987.
23. *Tobler, L., Furrer, V.* and *Wyttenbach, A.:* Activation analysis of human diet samples with epithermal neutrons. Biol. Trace Elem. Res. **26/27,** 623–627 (1990).
24. *Maher, W.A.:* An investigation of trace element losses during loyophilization of marine biological samples. Sci. Total Environ. **26,** 173–181 (1983).
25. *Uchino, E., Jin, K., Tsuzuki, T.* and *Inoue, K.:* Evaluation of the stability of some elements during lyophilization of rat liver using atomic absorption spectrometry. Analyst **112,** 291–293 (1987).
26. *Iyengar, G.V., Kasperek, K.* and *Feinendegen, L.:* Retention of the metabolized trace elements in biological tissues following different drying procedures. I. Antimony, cobalt, iodine, mercury, selenium and zinc in rat tissues. Sci. Total Environ. **10,** 1–16 (1978).
27. *Haldimann, M.* and *Zimmerli, B.:* Evaluation of ashing procedures for the gas chromatographic determination of fluoride in biological material. Anal. Chim. Acta **282,** 589–601 (1993).
28. *Vanhoe, H., Allemeersch, F. van, Versieck, J.* and *Dams, R.:* Effect of solvent type on the determination of total iodine in milk powder and human serum by inductively coupled plasma mass spectrometry. Analyst **118,** 1015–1019 (1993).
29. *Deutsche Gesellschaft für Ernährung:* Empfehlungen für die Nährstoffzufuhr. 1. korrigierter Nachdruck 1992. Umschau Verlag, Frankfurt 1991.
30. *National Research Council:* Recommended Dietary Allowances. 10th edition. National Academy of Science, Washington DC 1989.
31. *Department of Health:* Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients for the United Kingdom. HMSO, London 1991.
32. *Elmadfa, I.* und *Leitzmann, C.:* Ernährung des Menschen. Verlag E.Ulmer, Stuttgart 1988.
33. *Dunn, J.T.:* J. endocrin. Invest. **15,** 5 (Suppl. 5) (1992).
34. *Grossklaus, R.:* Jodierung von Lebensmitteln. Ernährungs-Umschau **41,** 55–59 (1994).
35. *Erdinger, U.* und *Stelte, W.:* Spurenelement- und Magnesiumversorgung Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. Ernährungs-Umschau **39,** 203–210 (1992).
36. *Wahl, R., Pilz Mittenburg, W.* und *Kallee, E.:* Resorption von Jod aus der Nahrung. Z. Ernährungswiss. **34,** 63–64 (1995).
37. *Yamada, Y., Miyoshi, T., Imaki, M.* and *Yoshimura, T.:* Study on iodine intake in Japanes. Digestibility of iodine from seaweed *Undaria pinnatifda.* Jpn. J. Hyg. **41,** 817–821 (1985).
38. *Anke, M., Groppel, B., Scholz, E.* und *Bauch, K.-H.:* Iodaufnahme, Iodausscheidung und Iodbilanz Erwachsener der neuen Bundesländer Deutschlands. In: Anke, M., Groppel, B., Gürtler, H., Grün, M., Lombeck, I. und Schneider, H.-J. (Hrsg.), Mengen- und Spurenelemente. 12. Arbeitstagung, S. 450–461a. Friedrich-Schiller-Universität, Jena 1992.
39. *Fellenberg, T. von:* Das Vorkommen, der Kreislauf und der Stoffwechsel des Jods. In: Asher, L. und Spiro, K. (Hrsg.), Ergebnisse der Physiologie **25,** S. 176–363. J. F. Bergmann, München 1926.
40. *Bürgi, H., Supersaxo, Z.* and *Selz, B.:* Iodine deficiency diseases in Switzerland one hundred years after Theodor Kocher's survey: A historical review with some new goiter prevalence data. Acta Endocrinol. **123,** 577–590 (1990).
41. *Bohnhoff, Z.:* Schilddrüsengewichte und Jodsalzprophylaxe. Schweiz. med. Wschr. **118,** 244–248 (1988).
42. *Report of the Subcommittee for the Study of Endemic Goitre and Iodine Deficiency of the European Thyroid Association:* Goitre and iodine deficiency in Europe. Lancet **I,** 1289–1293 (1985).

43. *Schlemmer, U.:* Die Jodversorgung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland. In: Tauscher, B. (Hrsg.), Aktuelle Fragen zur Ernährung, S. 58–62. Berichte der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, BFE-R-90-01, Karlsruhe 1990.
44. *Morley, J.E., Damassa, D.A., Gordon, J., Eugene Pekary, A.* and *Hershman, J.M.:* Thyroid function and vitamin A deficiency. Life Sci. **22,** 1901–1906 (1978).
45. *Hanck, A.B., Kuenzle, C.C.* und *Rehm, W.F.:* Vitamine in Einzeldarstellungen. Vitamin A. Band 1, S. 34–38. P. Parey, Berlin und Hamburg 1991.
46. *Bürgi, H., Baumgartner, H.* und *Steiger, G.:* Gibt es eine obere Verträglichkeitsgrenze der alimentären Jodzufuhr? Schweiz. med. Wschr. **112,** 2–7 (1982).
47. *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives:* Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants (33rd Meeting, Geneva, 1989, WHO Food Add. Ser. No. 24), p. 267–294. Cambridge University Press, Cambridge 1989.
48. *Pennington, J.A. T.:* A review of iodine toxicity reports. J. Am. Diet. Ass. **90,** 1571–1581 (1990).
49. *Schällibaum, M.:* Saisonale und regionale Schwankungen der Jodkonzentrationen in Lieferantenmilchproben. Schweiz. Vereinigung Zuchthyg. Buiatrik **103,** 5 (1991).
50. *Als, C., Lauber, K., Brander, L., Lüscher, D.* and *Rösler, H.:* The instability of dietary iodine supply over time in an affluent society. Exprientia, in press (1995).
51. *Sieber, R.* und *Schär, H.:* Jodiertes Kochsalz in der Käsefabrikation. Schweiz. Milchztg. **120,** 5 (1) (1994).
52. *Wiechen, A.* und *Hoffmann, W.:* Untersuchungen zur Jodierung von Käse beim Herstellungsprozess. Milchwissenschaft **49,** 74–78 (1994).
53. *Ballauf, A., Rost-Reichert, I., Kersting, M., Weber, P.* und *Manz, F.:* Erhöhung der Jodzufuhr durch die Zubereitung von Kartoffeln, Nudeln und Reis mit jodiertem Speisesalz. Ernährungs-Umschau **35,** 16–18 (1988).
54. *Miermeister, A.:* Über den Verlust des Spinats an Jod und anderen Mineralstoffen bei der üblichen küchenmässigen Zubereitung. Z. Unters. Lebensm. **57,** 235–239 (1929).
55. *Montag, A.* und *Grote, B.:* Untersuchungen zur Jod-Brom-Relation in Lebensmitteln. Z. Lebensm.-Unters.-Forsch. **172,** 123–128 (1981).
56. *Grewey, E., Stelte, W.* und *Kübler, W.:* Sensorische und chemisch-analytische Untersuchungen zum salzarmen Garen. Ernährungs-Umschau **33,** 309–312 (1986).
57. *Lamberg, B.A.:* Endemic goitre in Finland and changes during 30 years of iodine prophylaxis. Endocrinol. Experim. **20,** 35–47 (1986).
58. *Geiser, J., Bürgi, H., Grob, P.J.* und *Studer, H.:* Bedeutung der Schilddrüsenkrankheiten in einer allgemein-internistischen Klinik. Schweiz. med. Wschr. **108,** 1152–1156 (1978).
59. *Schmid, M., Schulthess, C., Bürgi, H.* und *Studer, H.:* Jodmangel ist in der Schweiz immer noch endemisch. Schweiz. med. Wschr. **110,** 1290–1294 (1980).
60. *Eberhard, H., Eigenmann, F., Schärer, K.* und *Bürgi, H.:* Auswirkungen der verbesserten Kropfprophylaxe mit jodiertem Kochsalz auf den Jodstoffwechsel in der Schweiz. Schweiz. med. Wschr. **113,** 24–27 (1983).
61. *Mordasini, C., Abetel, G., Lauterburg, H., Ludi, P., Perrenoud, J.P., Schmid, H.* und *Studer, H.:* Untersuchungen zum Kochsalzkonsum und zur Jodversorgung der schweizerischen Bevölkerung. Schweiz. med. Wschr. **114,** 1924–1929 (1984).
62. *Supersaxo, Z., Selz, B., Hasler, P., Wespi, H.J., Abelin, T.* und *Bürgi, H.:* Ist die Kochsalzjodierung noch nötig? Schweiz. med. Wschr. **121,** 317–323 (1991).
63. *Weber, P., Manz, F., Kersting, M.* und *Schöch, G.:* Untersuchungen zur Wirksamkeit der Jodmangelprophylaxe mit jodiertem Speisesalz in der Bundesrepublik Deutschland. Ernährungs-Umschau **34,** 196–200 (1987).

64. *Groppel, B., Anke, M., Müller, M.* und *Scholz, E.:* Die Iodaufnahme und Iodbilanz Erwachsener in den neuen Bundesländern. In: Anke, M., Groppel, B., Gürtler, H., Grün, M., Lombeck, I. und Schneider, H.-J. (Hrsg.), Mengenelemente und Spurenelemente. 11. Arbeitstagung, S. 495–504. Friedrich-Schiller-Universität, Jena 1991.
65. *Grubeck-Loebenstein, B.* und *Waldhäusl, W.:* Aktuelle Daten zur Jodidexkretion im Wiener Raum. Wiener klin. Wschr. **97,** 687–689 (1985).
66. *Buchberger, W.* und *Klieber, M.:* Untersuchungen über die Harnjodausscheidung in Österreich und den Einfluss einer Jodbalneotherapie. Wiener klin. Wschr. **99,** 189–192 (1987).
67. *Nath, S.K., Moinier, B., Thuillier, F., Rongier, M.* and *Desjeux, J.-F.:* Urinary excretion of iodide and fluoride from supplemented food grade salt. Int. J. Vit. Nutr. Res. **62,** 66–72 (1992).
68. *Brug, J., Löwik, M.R.H., Binsbergen, J.J. van, Odink, J., Egger, R.J.* and *Wedel, M.:* Indicators of iodine status among adults. Dutch Nutrition Surveillance System. Ann. Nutr. Metab. **36,** 129–134 (1992).
69. *Nelson, M., Quayle, A.* and *Phillips, D.I.W.:* Iodine intake and excretion in two British towns: aspects of questionnaire validation. Hum. Nutr. Appl. Nutr. **41A,** 187–192 (1987).
70. *Truong, T.H., Gerber, H., Haenel, A.* und *Bürgi, H.:* Jodversorgung in verschiedenen Lebensphasen und sonographische Schilddrüsenvolumina bei Schulkindern im Raume Solothurn. Jahresversammlung der Schweiz. Gesellschaft für Endokrinologie, 18.–20. Mai 1995, Montreux; Zusammenfassung in Schweiz. Med. Wschr. **125,** Suppl. 69, 69 (1995).
71. *Zvonova, I.A.:* Dietary intake of stable I and some aspects of radioiodine dosimetry. Health Phys. **57,** 471–475 (1989).
72. *Schelenz, R.:* Dietary intake of 25 elements by man estimated by neutron activation analysis. J. Radioanal. Chem. **37,** 539–548 (1977).
73. *Schelenz, R.:* Essentielle und toxische Inhaltsstoffe in der täglichen Gesamtnahrung. Bericht BFF-R-83-02. Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe 1983.
74. *Anke, M., Groppel, B., Krause, U., Arnhold, W.* and *Langer, M.:* Trace element intake (zinc, manganese, copper, molybdenum, iodine and nickel) of humans in Thuringia and Brandenburg of the Fed. Rep. of Germany. J. Trace Elem. Electrol. Health Dis. **5,** 69–74 (1991).
75. *Rottka, H., Hermann-Kunz, E., Hahn, B.* und *Lang, H.-P.:* Berliner Vegetarier Studie – Erste Mitteilung: Lebensmittelverzehr, Nährstoff- und Energieaufnahme im Vergleich zu Nichtvegetariern. Akt. Ernähr. **13,** 161–170 (1988).
76. *Pfannhauser, W.:* Der Versorgungsstatus mit dem essentiellen Spurenelement Selen in Österreich. Lebensmittelchemie **48,** 123–124 (1994).
77. *Clemente, G.F., Rossi, L.C.* and *Santaroni, G.P.:* Trace element intake and excretion in the Italian population. J. Radioanal. Chem. **37,** 549–558 (1977).
78. *Robberecht, H.J.* and *Deelstra, H.A.:* Actual daily dietary intake of selenium in Belgium, using duplicate portion sampling. Z. Lebensm.-Unters.-Forsch. **178,** 266–272 (1984).
79. *Roekens, E.J., Robberecht, H.J.* and *Deelstra, H.A.:* Dietary selenium intake in Belgium for different population groups at risk for deficiency. Z. Lebensm.-Unters.-Forsch. **182,** 8–13 (1986).
80. *Robberecht, H.J., Hendrix, P., Cauwenbergh, R. van* and *Deelstra, H.A.:* Actual daily dietary intake of selenium in Belgium, using duplicate portion sampling. Z. Lebensm.-Unters.-Forsch. **199,** 251–254 (1994).
81. *Dokkum, W. van, Vos, R.H. de, Cloughley, F.A., Hulshof, K.F.A.M., Dukel, F.* and *Wijsman, J.A.:* Food additives and food components in total diets in The Netherlands. Br. J. Nutr. **48,** 223–231 (1982).

82. *Dokkum, W. van, Vos, R.H. de, Muys, T.* and *Wesstra, J.A.:* Minerals and trace elements in total diets in The Netherlands. Br. J. Nutr. **61,** 7–15 (1989).
83. *Ellen, G.:* Dietary studies in The Netherlands: duplicate portion approach. In: Dokkum, W. van and Vos, R.H. de (eds.), Total diet studies in Europe. Euronut Report **10,** 22–36 (1987).
84. *Bro, S., Sandström, B.* and *Hegdorn, K.:* Intake of essential and toxic trace elements in a random sample of Danish men as determined by the duplicate portion sampling technique. J. Trace Elem. Electrol. Health Dis. **4,** 147–155 (1990).
85. *Borgström, B., Nordén, A., Akesson, B., Abdulla, M.* and *Jägerstad, M.* (eds.): Nutrition and old age. Chemical analyses of what old people eat and their state of health during 6 years of follow-up. Scand. J. Gastroent. **14** (Suppl. 52), 313–316 (1979).
86. *Abdulla, M., Andersson, I., Asp, N.-G., Berthelsen, K., Birkhed, D., Dencker, I., Johansson, C.-G., Jägerstad, M., Kolar, K., Nair, B.M., Nilsson-Ehle, P., Nordén, A., Rassner, S., Akesson, B.* and *Öckerman, P.-A.:* Nutrient intake and health status of vegans. Chemical analyses of diets using the duplicate portion sampling technique. Am. J. Clin. Nutr. **34,** 2464–2477 (1981).
87. *Abdulla, M., Aly, K.-O., Andersson, I., Asp, N.-G., Birkhed, D., Denker, I., Johansson, C.-G., Jägerstad, M., Kolar, K., Nair, B.M., Nisson-Ehle, P., Nordén, A., Rassner, S., Svensson, S., Akesson, B.* and *Öckerman, P.-A.:* Nutrient intake and health status of lactovegetarians: chemical analyses of diets using the duplicate portion sampling technique. Am. J. Clin. Nutr. **40,** 325–338 (1984).
88. *Becker, W.* and *Kumpulainen, J.:* Content of essential and toxic mineral elements in Swedish market-basket diets in 1987. Br. J. Nutr. **66,** 151–160 (1991).
89. *Kumpulainen, J., Mutanen, M., Paakki, M.* and *Lehto, J.:* Validity of calculation method in estimating element mineral content. Var Föda Suppl. 1/87, 75–82 (1987).
90. *Koivistoinen, P.:* Mineral element composition of Finnish foods: N, K, Ca, Mg, P, S, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, Co, Ni, Cr, F, Se, Si, Rb, Al, B, Br, Hg, As, Cd, Pb and ash. Acta Agric. Scand. Suppl. **22,** 1–170 (1980).
91. *Wenlock, R.W., Buss, D.H., Moxon, R.E.* and *Bunton, N.G.:* Trace nutrients. 4. Iodine in British food. Br. J. Nutr. **47,** 381–390 (1982).
92. *Tlumcu, T., Gökmen, I., Gökmen, A., Parr, R.M.* and *Aras, N.K.:* Determination of minor and trace elements in Turkish diet by duplicate portion technique. J. Radioanal. Nucl. Chem. **124,** 289–299 (1988).
93. *Gibson, D.R.* and *Scythes, C.A.:* Trace element intakes of women. Br. J. Nutr. **48,** 241–248 (1982).
94. *Gibson, R.S., Martinez, O.B.* and *MacDonald, A.C.:* The zinc, copper, and selenium status of a selected sample of Canadian elderly women. J. Gerontol. **40,** 296–302 (1985).
95. *Pennington, J.A.T., Young, B.E.* and *Wilson, D.B.:* Nutritional element in U.S. diet: results from the total diet study, 1982 to 1986. J. Am. Diet. Assoc. **89,** 659–664 (1989).
96. *Pennington, J.A.T.* and *Young, E.B.:* Total diet study nutritional elements, 1982–1989. J. Am. Diet. Assoc. **91,** 179–183 (1991).
97. *Ikebe, K.:* Daily intake of metals by females in Osaka, Japan. Bull. Environ. Contam. Toxicol. **49,** 509–513 (1992).
98. *WHO:* Selenium. Environmental Health Criteria 58. World Health Organization, Geneva 1987.
99. *Combs, G.F.* and *Combs, S.C.:* The role of selenium in nutrition. Academic Press, Orlando 1986.

100. *Arthur, J.R. (ed.):* Interrelationships between selenium deficiency, iodine deficiency, and thyroid hormones. Am. J. Clin. Nutr. **57,** 2S–318S (1993).
101. *Kieffer, F.:* Selen, ein medizinisch bedeutungsvolles Spurenelement. Ars Medici 60–74 (2) (1987).
102. *Versiek, J.* and *Cornelis, R.:* Trace elements in human plasma or serum. CRC Press, Boca Raton (USA) 1989.
103. *Diplock, A.T.:* Indexes of selenium status in human population. Am. J. Clin. Nutr. **57,** 256S–258S (1993).
104. *Forrer, R., Gautschi, K.* and *Lutz, H.:* Comparative determination of selenium in the serum of various animal species and humans by means of electrothermal atomic absorption spectrometry. J. Trace Elem. Electrol. Health Dis. **5,** 101–113 (1991).
105. *Gey, K.F.:* On the antioxidant hypothesis with regard to arteriosclerosis. Bibl. Nutr. Diet. **37,** 53–91 (1986).
106. *Haldimann, M., Venner, T.* and *Zimmerli, B.:* Determination of selenium in the serum of healthy Swiss adults and its association to the dietary intake. In preparation.
107. *Oster, O., Schlinke, B.* und *Marks, M.:* Der Selenstatus von Vegetariern und Nichtvegetariern in der Bundesrepublik Deutschland. Z. Ernährungswiss. **34,** 62 (1995).
108. *Arthur, J.R.* and *Beckett, G.J.:* New metabolic roles for selenium. Proc. Nutr. Soc. **53,** 615–624 (1994).
109. *Rotruck, J.T., Pope, A.L., Ganther, H.E., Swanson, A.B., Hafeman, D.* and *Hoekstra, W.G.:* Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. Science **179,** 588–590 (1973).
110. *Beckett, G.J., Beddows, S.E., Morrice, P.C., Nicol, F.* and *Arthur, J.R.:* Inhibition of hepatic deiodination of thyroxine is caused by selenium deficiency in rats. Biochem. J. **248,** 443–447 (1987).
111. *Behne, D., Kyriakopoulos, A., Meinhold, H.* and *Köhrle, J.:* Identification of type I iodothyronine 5'-deiodinase as a selenoenzyme. Biochem. Biophys. Res. Commun. **173,** 1143–1149 (1990).
112. *Levander, O.A., Alfthan, G., Arvilommi H., Gref, C.G., Huttunen, J.K., Kataja, M., Koivistoinen, P.* and *Pikkarainen, J.:* Bioavailability of selenium to Finnish men as assessed by platelet glutathione peroxidase activity and other blood parameters. Am. J. Clin. Nutr. **37,** 887–897 (1983).
113. *Swanson, C.A., Patterson, B.H., Levander, O.A., Veillon, C., Taylor, P.R., Helzlsouer, K., McAdam, P.A.* and *Zech, L.A.:* Human [^{74}Se]selenomethionine metabolism: a kinetic model. Am. J. Clin. Nutr. **54,** 917–926 (1991).
114. *Alaejos, M.S.* and *Romero, C.D.:* Urinary selenium concentrations. Clin. Chem. **39,** 2040–2052 (1993).
115. *Salonen, J.T., Salonen, R., Lappetalainen, R., Maenpao, P., Alfthan, G.* and *Puska, P.:* Risk of cancer in relation to serum concentrations of selenium and vitamins A and E: matched case control analysis of prospective data. Br. J. Med. **290,** 417–420 (1985).
116. *Salonen, J.T., Alfthan, G., Huttunen, J.K., Pikkarainen, J.* and *Puska, P.:* Association between cardiovascular death and myocardial infarction and serum selenium in a matched-pair longitudinal study. Lancet **2,** 175–179 (1982).
117. *Suadicani, P., Hein, H.O.* and *Gyntelberg, F.:* Serum selenium concentration and risk of ischaemic heart disease in a prospective cohort study of 3000 males. Atherosclerosis **96,** 33–42 (1992).

118. *Willett, W.C., Stampfer, M.J., Hunter, D.* and *Colditz, G.A.:* The epidemiology of selenium and human cancer. In: Aito, A., Aro, A., Jävisalo, J. and Vainio, H. (eds.), Trace elements in health and disease, p. 141–155. Royal Society of Chemistry, Cambridge 1991.
119. *Olson, O.E.:* Selenium in plants as a cause of livestock poisoning. In: Keeler, R.F., Kampen, K.R. van and James, L.F. (eds.), Effects of poisonous plants on livestock, p. 121–133. Academic Press, New York 1978.
120. *Rosenfeld, I.* and *Beath, O.A.:* Selenium geobotany, biochemistry, toxicity and nutrition. Academic Press, New York 1984.
121. *Anonym:* Zur Selenversorgung der Bevölkerung. Bulletin Bundesamt Gesundheitswesen, Bern 160–163 (11) (1991).
122. *Erard, M., Haldimann, M.* und *Zimmerli, B.:* Selenbestimmung in Getreide und Getreideprodukten mittels Graphitrohrofen-Technik und Zeeman-Effekt-Untergrundkorrektur. In: Welz, B. (Hrsg.), 5. Colloquium Atomspektrometrische Spurenanalytik, S. 789–798. Bodenseewerk Perkin-Elmer, Überlingen 1989.
123. *Zimmerli, B., Erard, M.* und *Haldimann, M.:* Zur Selenversorgung der Schweizer Bevölkerung. Lebensmittelchemie **44,** 105–106 (1990).
124. *Erard, M., Haldimann, M.* und *Zimmerli, B.:* Selen in Getreide und Getreideprodukten. Poster, Jahresversammlung der Schweizerischen Gesellschaft für angewandte und analytische Chemie, Bad Ragaz, 8. und 9. September 1989.
125. *Haldimann, M., Erard, M.* und *Zimmerli, B.:* BAG, unveröffentlichte Resultate, 1989–1994.
126. *Quinche, J.P.:* Le selenium dans des blés cultivés en Suisse romande et au Tessin. Rev. Suisse agric. **26,** 109–113 (1994).
127. *Barclay, M.N.I.* and *Macpherson, A.:* Selenium content of wheat for bread making in Scotland and relationship between glutathione peroxidase (EC 1.11.1.9) levels in whole blood and bread consumption. Br. J. Nutr. **68,** 261–270 (1992).
128. *Mutanen, M.* and *Koivistoinen, P.:* The role of imported grain on the selenium intake of Finnish population in 1941–1981. Int. J. Vit. Nutr. Res. **53,** 102–108 (1983).
129. *Aro, P., Alfthan, G.* and *Varo, P.:* Effects of supplementation of fertilizers on human selenium status in Finland. Analyst **120,** 841–843 (1995).
130. *Syrjälä-Qvist, L.* and *Aspila, P.:* Selenium fertilization in Finland: effect on milk and beef production. Norwegian J. Agric. Sci., Suppl. **11,** 159–167 (1993).
131. *Alfthan, G., Wang, D.C., Aro, A.* and *Soveri, J.:* The geochemistry of selenium in groundwaters in Finland. Sci. Total Environ. **162,** 93–103 (1995).
132. *Mäkelä, A.L., Näntö, V., Mäkelä, P.* and *Wang, W.:* The effect of nationwide selenium enrichment of fertilizers on selenium status of healthy Finnish medical students living in South Western Finland. Biol. Trace Elem. Res. **36,** 151–157 (1993).
133. *Becker, W.:* [Food habits and nutrient intake in Sweden, 1989]. Var Föda **44,** 349–362 (1992).
134. *Behne, D., Weiss-Nowak, C., Kalcklösch, M., Westphal, C., Gessner, H.* and *Kyriakopoulos, A.:* Studies on the distribution and characteristics of new mammalian selenium-containing proteins. Analyst **120,** 823–825 (1995).
135. *Erard, M., Miserez, A.* et *Zimmerli, B.:* Exposition des nourrissons au plomb, cadmium, zinc et sélénium de provenance alimentaire. Trav. chim. aliment. hyg. **73,** 394–411 (1982).
136. *Blum, D.:* Eine Prise «Meer» auf dem Teller. Basler Zeitung vom 29. April 1995, S. 49.
137. *Aalderink, J., Hoffmann, I., Groeneveld, M.* und *Leitzmann, C.:* Ergebnisse der Giessener Vollwert-Ernährungs-Studie. Lebensmittelverzehr und Nährstoffaufnahme von Vollwertköstlerinnen und Mischköstlerinnen. Ernährungs-Umschau **41,** 328–335 (1994).

138. *Ehnle-Lossos, M.* und *Hess, U.:* Alternative Kostformen in privaten Haushalten. Forschungsreport Ernährung, Landwirtschaft, Forsten. Informationen aus den Bundesforschungsanstalten 13–14 (8) (1993).
139. *Corvilain, B., Contempré, B., Longombé, A.O., Goyens, P., Gervy-Decoster, C., Lamy, F., Vanderpas, J.B.* and *Dumont, J.E.:* Selenium and the thyroid: how the relationship was established. Am. J. Clin. Nutr. **57,** 244S–248S (1993).
140. *Mertz, W.:* Essential trace metals – new definitions based on new paradigms. Nutr. Rev. **51,** 287–295 (1993).

Dr. Bernhard Zimmerli
Bundesamt für Gesundheitswesen
Abteilung Lebensmittelwissenschaft
Postfach
CH-3000 Bern 14