

Zeitschrift: Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchungen und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit
Band: 90 (1999)
Heft: 3

Artikel: Vorkommen von Selen in Lebensmitteln tierischer Herkunft des Schweizer Marktes
Autor: Haldimann, Max / Dufossé, Karin / Mompart, Annabelle
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-981784>

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: 15.01.2026

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

Vorkommen von Selen in Lebensmitteln tierischer Herkunft des Schweizer Marktes^{1, 2}

Max Haldimann, Karin Dufossé, Annabelle Mompert und Bernhard Zimmerli,
Bundesamt für Gesundheit, Sektion Lebensmittelchemie und -analytik, Bern

Eingegangen 31. März 1999, angenommen 29. April 1999

Einleitung

Selen ist für alle Organismen, nicht jedoch für Pflanzen, ein essentielles Spurenelement. Bei Vögeln und Säugetieren scheint seine Wirkung eng mit jener von Vitamin E verknüpft zu sein. In seinen chemischen Eigenschaften ist Selen dem Schwefel ähnlich. Soweit bekannt, ist Selen in den biologisch aktiven Proteinen nur in Form von Selenocystein enthalten. Im Säugetierorganismus (Ratten) liessen sich mehr als 25 verschiedene selenhaltige Proteine nachweisen. Zu diesen gehören die seit längerer Zeit bekannten selenabhängigen Glutathionperoxidasen (GSH-P_x) als Bestandteile des antioxidativen Systems des Organismus sowie die erst vor einigen Jahren entdeckten Deiodasen, die im Schilddrüsenhormonsystem eine Rolle spielen. Die Frage der detaillierten biologischen Funktionen der meisten selenhaltigen Proteine ist aber noch nicht geklärt. Immerhin konnte gezeigt werden, dass die Regulation des Selenstoffwechsels abgesehen von der Niere auch auf molekularer Ebene geschieht, was die Bedeutung des Selens für den Organismus noch unterstreicht. Die molekulare Regulation sorgt dafür, dass die meisten der neu entdeckten Selenoproteine im Vergleich zu den GSH-P_x vorrangig mit Selen versorgt werden (1–7).

Der tägliche Selenbedarf für den Menschen wird, bei ansonsten ausgeglichener Ernährung, auf etwa 1 µg/kg Körpermasse geschätzt. Im Hinblick auf seine chronische Toxizität wird von einer täglich duldbaren Dosis von etwa 5 µg/kg Körpermasse ausgegangen. Direkte pathogene Effekte eines Selenmangels wurden beim Men-

¹ Für diese Arbeit wurde Herrn Max Haldimann am 28. Mai 1999 der «Nestlé Nutritio Ernährungspreis 1999 in der angewandten wissenschaftlichen Forschung» verliehen.

² Einige der in dieser Arbeit ermittelten Daten wurden bereits in früheren Veröffentlichungen verwendet (2–4).

schen bisher nur bei langandauernder parenteraler Ernährung beobachtet, z. B. selenabhängige Myopathie der quergestreiften Muskulatur. Der typische Zusammenhang zwischen einer ungenügenden Selenversorgung und pathologischen Veränderungen besteht darin, dass der Selenmangel zwar latente Störungen im Organismus verursacht, die aber erst beim Vorhandensein weiterer pathogener Faktoren zu effektiven Erkrankungen führen. Eine knappe Selenversorgung wird seit einiger Zeit auch mit dem Auftreten von verschiedenen chronisch-degenerativen Erkrankungen, wie Herz-Kreislauf und Krebs, assoziiert (1–5, 8).

Da die Selenversorgung auch für die Gesundheit der Nutztiere von Bedeutung ist und die natürlichen Umweltbedingungen der Schweiz mehrheitlich nur zu einer geringen Selenkonzentration in den geernteten Futtermitteln führt (9, 10), wurde in den letzten 15 Jahren dem Futter vermehrt Selen in Form von Selenit oder Selenat zugesetzt (10), wobei gemäss der schweizerischen Futtermittelverordnung seine Konzentration 0,5 µg/g Trockenmasse (TM) nicht überschreiten darf (11). Neben Futterzusätzen wurden zur Sicherstellung der Selenversorgung von Nutztieren auch Mineralsalze, Injektionen (bei Jungtieren) oder Pasten zur Applikation im Maul («Selen-Drench») empfohlen und angewendet (12).

Im Hinblick auf den Aufbau einer schweizerischen Nährwertdatenbank und deren Verwendung zur Prävention ernährungsabhängiger Erkrankungen (Ernährungsberatung) werden verlässliche Daten zum Vorkommen von Selen in verschiedenen Lebensmitteln benötigt (13). Ebenso für Zufuhrabschätzungen und darauf basierende Beurteilungen der Selenversorgung einzelner Bevölkerungsgruppen. Da die Selenkonzentration der Lebensmittel durch die geologischen Gegebenheiten der Böden sowie die Gepflogenheiten der Nutztierfütterung bestimmt ist, kann nicht, wie bei einigen anderen essentiellen Spurenelementen, auf ausländische Daten zurückgegriffen werden. In Fortsetzung früherer Arbeiten zum Vorkommen von Selen wurden in der vorliegenden Arbeit erstmals Lebensmittel tierischer Herkunft des Schweizer Marktes untersucht (14–16). Damit eine Diskussion unserer Messergebnisse auch im Zusammenhang mit der Tierernährung möglich ist, insbesondere in Abhängigkeit der chemischen Formen des Selens im Futter, ist im Anhang zu dieser Arbeit ein Abschnitt mit entsprechenden Literaturangaben enthalten.

Methodik

Proben

Herkunft

Die Proben wurden in der Regel im Raum Bern-Fribourg-Neuchâtel bei Grossverteilern, in Metzgereien, in Spezialgeschäften oder direkt bei Produzenten eingekauft, jeweils in der Zeit von Dezember bis April in den Jahren 1996, 1997 und 1998, mit Ausnahme von spezifischen «Sommerproben» für Rindfleisch, die im August 1998 beschafft wurden. Süsswasserfische wurden zudem aus Fischereibetrieben am

Vierwaldstättersee erhalten, wobei von einigen Proben das Fanggebiet bekannt war. Aus diesen wurden auch zwei von der EAWAG (Kastanienbaum) erhobene Planktonproben untersucht. Bei den Fleisch- und Fischproben handelte es sich um frische Lebensmittel. Vereinzelt wurden auch tiefgekühlte Proben eingekauft, die aber nicht als solche gekennzeichnet wurden. Importierte Proben wurden hinsichtlich der Herkunft gemäss der Deklaration bezeichnet. Einige wenige Proben wurden in Frankreich eingekauft. Kalbsleber- und Kalbsnierenproben entstammen einem Monitoringprogramm, das vom Bundesamt für Veterinärwesen 1996 durchgeführt wurde (17). Die entsprechenden Proben wurden gesamtschweizerisch in Schlachthäusern erhoben. Die Milchproben aus fünf Grossmolkereien in verschiedenen Regionen der Schweiz wurden von der Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft im Sommer (Juni) 1997 und im Winter (November) 1997 erhoben (18).

Als «biologisch» wurden nachfolgend überwiegend Proben mit den Labels «Bio Suisse» und «Naturaplan» eingestuft. Produkte mit IP-Label (integrierte Produktion) wurden hingegen arbiträr den konventionellen Produkten zugeordnet.

Vorbereitung

Jeweils 100 g Probenmaterial wurde im Labormixer B-400 (Büchi, Uster) unter Einsatz von Titanmessern homogenisiert. Fleisch- und Fischproben wurden vorher möglichst verzehrgerecht vorbereitet; Knochen, Haut und grosse Fettanteile wurden mittels Keramikmesser entfernt. Grössere Stücke wurden vor dem Mixen ebenfalls mit einem Keramikmesser zerkleinert. Milch- oder Joghurtproben wurden als homogen betrachtet und nicht im Mixer verarbeitet. Eier (jeweils 3 Stück) wurden ohne Schale homogenisiert.

Jeweils 5–6 g der wässrigen pastenartigen Homogenate wurden in Polystyrol-Petrischalen (Semadeni, Bern) im Gefrierschrank bei -21°C eingefroren und anschliessend in Trocknungskammern FD 3071 (Kleiner, Wohlen) mit Stapeleinsätzen während 24 h lyophilisiert. Der Anfangsdruck im Kondensator des Gefriertrockners Lyolab BII (LSL Secfroid, Lausanne) betrug je nach Belegung etwa 0,1 mbar und sank auf 0,03 mbar (Temperatur von $-50 \pm 2^{\circ}\text{C}$) am Ende der Lyophilisation. Die Restwassergehalte im Bereich von 2–4 g/100 g wurden jeweils bei einer Auswahl von typischen Proben (exklusive Milch) mit dem Infrarottrockner LP 16 (Mettler, Greifensee) bestimmt.

Analytische Methode

Aufschluss

200–300 mg des lyophilisierten Probenmaterials wurden im Paar-Hochdruckverascher (IG, Zürich) mit 2 ml Salpetersäure 65 % bei 260°C während 90 min mineralisiert und die Aufschlusslösungen in graduierten Polypropylenröhrchen (Semadeni, Bern) mit entionisiertem Wasser auf 5,0 ml verdünnt (Probenlösung).

Die Aufschlussqualität wurde visuell beurteilt: Eine starke Blaufärbung der Aufschlusslösung, bewirkt durch unter Druck gelöste Stickoxide, gibt einen Hinweis darauf, ob die Gefässe gut abgedichtet und der Aufschluss vollständig war. Fehlte die Blaufärbung, was in etwa 2–5 % aller Fälle auftrat, wurde der Aufschluss wiederholt. In der Regel wurde aber eine bestimmte Probe nur einmal aufgeschlossen. Auf eine Vorreduktion wurde verzichtet, da unter diesen Aufschlussbedingungen Selen bereits in der zur Hydridbildung erforderlichen Oxidationsstufe (+ IV) vorliegt, was bereits früher gezeigt werden konnte (15).

Messungen

Die Messung von Selen *als Hydrid mit induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie (Hydrid-ICP-MS)* (Mod. Elan 5000, Perkin-Elmer/Sciex) und Kalibrierung mittels Isotopenverdünnung sowie die Messbedingungen wurden bereits früher detailliert beschrieben (15). Obwohl es sich bei der Hydrid-ICP-MS um eine bewährte Methode handelt, die in verschiedenen Studien mit Erfolg eingesetzt wurde (16, 19, 20), haben wir die Messungen aus organisatorischen und technischen Gründen teilweise mit der *Atomfluoreszenzspektrometrie (AFS)* (Mod. Escalibur, PSA-Analytical, UK) durchgeführt.

Die AFS ist zwar eine bekannte Technik, aber erst seit wenigen Jahren sind entsprechende Geräte kommerziell erhältlich; daher wird nachfolgend das Prinzip erläutert. In der AFS werden aus Selenwasserstoff (H_2Se) in einer Wasserstoff-Diffusionsflamme freie Selenatome erzeugt, diese mittels intensiven Linienstrahlern (Selen-Hohlkathodenlampe) angeregt und die emittierte Fluoreszenzstrahlung ($\lambda = 196,09 \text{ nm}$) detektiert. Die AFS mit Linienstrahlern ist praktisch frei von spektralen Störungen. Im Gegensatz zu den verschiedenen optischen Emissionsverfahren werden keine Monochromatoren benötigt, weil nur die fluoreszierende Spezies spezifisch angeregt wird. Der Selenwasserstoff wird dabei analog zur Hydrid-ICP-MS ebenfalls durch Reaktion der salzsauren Probelösung mit Natriumborhydrid erzeugt (15). Im Gegensatz zur Hydrid-ICP-MS-Methode wird bei der AFS ein stationärer Zustand des Messsignals erreicht, wobei kein transientes Signal, sondern die Höhe des Signalplateaus ausgewertet wird. Das detaillierte AFS-Verfahren und die Messbedingungen für Selen sind an anderer Stelle bereits beschrieben worden (21).

Die Messresultate sind in der Regel bezogen auf die *Trockenmasse (TM)* angegeben.

Analytische Qualitätssicherung

Vergleich Hydrid-ICP-MS mit AFS

Zur Überprüfung der Resultate der AFS-Methode wurden bei einer Reihe von Fleisch-, Fisch-, Milch- und Eiprobe die Probelösungen sowohl mit Hydrid-ICP-MS als auch mit AFS über einen relativ grossen Konzentrationsbereich gemessen.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt. Die entsprechenden Regressionsparameter und die Ergebnisse der Signifikanztests (*t*-Test) sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Hohe Werte haben in der Regressionsrechnung ein starkes Gewicht (Hebelpunkte), daher ist es sinnvoll, die Auswertung für die beiden Konzentrationsbereiche über und unter 1000 ng/g TM getrennt durchzuführen. Über die Einschränkungen, die bei den verschiedenen Regressionsmethoden für den Methodenvergleich gelten, wurde bereits anhand eines anderen Beispiels berichtet (22, 23). Die Testergebnisse in Tabelle 1 ergeben keinerlei Hinweise darauf, dass die Messresultate beider Methoden voneinander abweichen.

Richtigkeit (zertifizierte Referenzmaterialien)

Für die analytische Qualitätssicherung wurden auch entsprechende Referenzmaterialien (*NIST, IAEA*) mit zertifizierter Selenkonzentration verwendet. Da in erster Linie Abweichungen bei der Messmethodik und nicht beim Aufschluss erkannt werden sollten, wurden die Aufschlusslösungen eines bestimmten Referenzmaterials vereinigt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Übereinstimmung der Messwerte mit den entsprechenden zertifizierten Gehalten ist im allgemeinen sehr gut. Die Unterschiede, je nach Methode, Hydrid-ICP-MS oder AFS hinsichtlich Standardabweichung und Mittelwert bei der Probe «Oyster Tissue», können im Fall der AFS möglicherweise durch die sehr hohe «Matrixkonzentration» an anderen chemischen Elementen im Austerngewebe erklärt werden. Denn besonders Übergangsmetalle (z. B. Kupfer³) können kinetische Störungen der

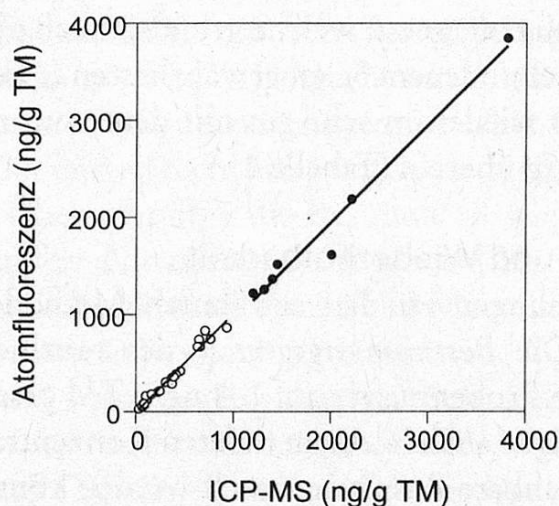


Abbildung 1 Methodenvergleich Atomfluoreszenzspektrometrie (AFS) mit der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (Hydrid-ICP-MS). Die Regressionsgeraden wurden unabhängig für zwei Konzentrationsbereiche, 0–<1000 und 1000–4000 ng/g, berechnet (vgl. Tabelle 1).

³ Austern enthalten Kupfer- und Zinkkonzentrationen im Bereich von je etwa 1000 µg/g TM.

Tabelle 1

Methodenvergleich: AFS mit Hydrid-ICP-MS

Regressionsmethoden ¹	n	Achsenabschnitt $a \pm s_a$ (ng/g)	p^2	Steigung $b \pm s_b$ (ng/g)	p^3
<i>Kleinste Quadrate (klassisch):</i>					
Bereich 40–1000 ng/g	24	11,2 ± 16,1	0,50	1,020 ± 0,038	0,60
Bereich 1000–4000 ng/g	7	67,1 ± 158	0,69	1,006 ± 0,075	0,94
<i>Orthogonal:</i>					
Bereich 40–1000 ng/g	24	7,6 ± 8,0	0,35	1,035 ± 0,023	0,14
Bereich 1000–4000 ng/g	7	19,8 ± 42,6	0,66	1,020 ± 0,022	0,40

¹ $y_{AFS} = (a \pm s_a) + (b \pm s_b) \cdot x_{ICP-MS}$ (vgl. Abbildung 1).

² Ergebnis des t-Testes ($t_a = |a/s_a|$), kleinste Irrtumswahrscheinlichkeit bei Verwerfung der Hypothese $a = 0$.

³ Ergebnis des t-Testes ($t_b = |b/s_b|$), kleinste Irrtumswahrscheinlichkeit bei Verwerfung der Hypothese $b = 1$.

Hydridbildungsreaktion (Signalhöhe) verursachen, die nur im Fall der Hydrid-ICP-MS kompensiert werden, weil dabei mit Isotopenverdünnung kalibriert wird.

Die zertifizierte Konzentration des *Fischhomogenates* von $1,7 \pm 0,3 \mu\text{g/g}$ (Tabelle 2) ist möglicherweise zu hoch. Zweifel an der zertifizierten Konzentration wurden auch von anderen Autoren geäußert, die mit Neutronenaktivierungsanalyse ebenfalls wesentlich tiefere Werte von $1,10 \pm 0,1 \mu\text{g/g}$ (instrumentell, NAA) und $1,12 \pm 0,06 \mu\text{g/g}$ (radiochemische Trennung, RNAA) erhalten haben (24). Zudem wurde von der gleichen Arbeitsgruppe mit Hydrid-AAS nach verschiedenen Aufschlussmethoden ein Gesamtmittelwert von $1,17 \pm 0,08 \mu\text{g/g}$ erhalten. Dabei wurden Aufschlusstechniken eingesetzt, welche grundsätzlich die quantitative Mineralisation von organisch gebundenem Selen gewährleisten (24). Die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe stimmen wiederum sehr gut mit dem von uns gefundenen Mittelwert von $1,08 \pm 0,03 \mu\text{g/g}$ überein (Tabelle 2).

Bestimmungsgrenze und Wiederholbarkeit

Spezielle Untersuchungen zu den erwähnten Methodenparametern wurden nicht vorgenommen. Die *Bestimmungsgrenze* des routinemässig angewendeten Verfahrens kann je nach Probenmatrix auf 1–4 ng/g TM geschätzt werden, obwohl für spezielle Anwendungen auch in einem tieferen Konzentrationsbereich von etwa 0,2 ng/g TM noch brauchbare Resultate erzielt werden können.

Aus den in Tabelle 2 aufgeführten Daten ergibt sich für den *Messvorgang* als solchen ein Variationskoeffizient (VK) über verschiedene Tage (ohne Austern) im Bereich von rund 2 % (Milchpulver) bis 10 % (Muskelfleischpulver). Anhand der Resultate der in dieser Arbeit verschiedentlich innerhalb eines Tages durchgeführten Doppelbestimmungen muss mit einem VK *pro Einzelmessung* über verschiedene Tage im Bereich von 5–20 % gerechnet werden, je nach Probenmatrix und Selenkonzentration. Diese Schätzung entspricht auch den Erfahrungen anderer Spuren-

Tabelle 2
Ergebnisse der Qualitätskontrollproben

Kontrollproben, internationale Bezeichnung	Methode	n	Gemessen ¹ (ng/g)	Zertifiziert ² (ng/g)
Bovine Muscle, NIST 8414	Hydrid-ICP-MS	64	79 ± 8	76 ± 10
	AFS	9	74 ± 6	–
Whole Milk, NIST 8435	Hydrid-ICP-MS	11	122 ± 8	131 ± 14
	AFS	3	124 ± 3	–
Fish Homogenate, IAEA MA-A-2	Hydrid-ICP-MS	9	1083 ± 32	1700 ± 300
Oyster Tissue, NIST 1566	Hydrid-ICP-MS	15	2238 ± 81	2100 ± 500
	AFS	5	1820 ± 229	–
Whole Egg, NIST 8415	Hydrid-ICP-MS	12	1406 ± 68	1390 ± 170

¹ ± Standardabweichung über alle Messungen, entsprechend dem angegebenen n.

² 95 % Vertrauensbereich des Mittelwertes.

elementbestimmungen: Beim Miteinbezug der Variabilität der Aufschlüsse verdoppelt sich der VK des reinen Messvorgangs.

Resultate und Diskussion

Übersicht

Der Selenbedarf der Nutztiere ist je nach Gattung unterschiedlich. Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Tiere, deren Fleisch bzw. Produkte in dieser Studie untersucht wurden, stets bedarfsgerecht mit Selen versorgt waren (10), widerspiegeln unsere Messwerte an Lebensmitteln tierischer Herkunft nur die jeweilige Fütterungspraxis und dürfen nicht artspezifisch aufgefasst werden.

Die nachstehende Übersicht über die Resultate ist wie folgt gegliedert: Fleisch (Rind, Schwein und andere Nutztiere), Geflügel und Eier, Organe und Fleischerzeugnisse, Milch und Milchprodukte, Fische und Meeresfrüchte sowie als Fleischersatz angebotene Produkte auf vegetabler Basis.

In den Tabellen 3 und 4 sind die Resultate der Selenkonzentration von Muskelfleisch warmblütiger Nutztiere zusammengestellt. Die höchste mittlere Konzentration zeigt Hühnerfleisch (Tabelle 4), so dass sich im *Muskelfleisch schweizerischer Herkunft* die folgende Reihe abnehmender mittlerer Konzentrationen (pro Trockenmasse) ergibt: Huhn (579 ± 196 ng/g, $n = 23$) > Hauskaninchen (494 ± 97 ng/g, $n = 2$) > Schwein (399 ± 97 ng/g, $n = 22$) > Pferd (337 ± 115 ng/g, $n = 9$) ≈ Ziege (341 ± 226 ng/g, $n = 3$) > Kalb, konventionell und biologisch (258 ± 113 ng/g, $n = 21$) ≈ Rind, konventionell (256 ± 89 ng/g, $n = 24$) ≈ Schaf (219 ± 117 ng/g, $n = 8$) > Rind, biologisch (151 ± 71 ng/g, $n = 20$). Der Medianwert der Kalb- und Rindfleischproben insgesamt (ohne Rind, biologisch) beträgt 251 ng/g ($n = 45$) und jener für biolo-

Tabelle 3
Selenkonzentration in Fleisch

Fleischproben		Selenkonzentration in der Trockenmasse ¹		
Art und Herkunft	n	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
<i>Rind (Bos taurus)</i>				
Schweiz, Winter (96/97)	17	270 ± 90	260	129–457
Schweiz, biologisch, Winter (97)	8	147 ± 73	146	52–289
Schweiz, Sommer (98)	7	219 ± 83	204	100–357
Schweiz, biologisch, Sommer (98)	12	154 ± 73	139	65–266
Nordamerika	4	436 ± 56	452	355–485
Frankreich	1	51	–	–
Frankreich, Industrieprodukt M ²	1	234	–	–
Alle, Schweiz, konventionell	24	256 ± 89	248	100–457
Alle, Schweiz, biologisch	20	151 ± 71	144	52–289
<i>Kalb (Bos taurus)</i>				
Schweiz	12	282 ± 125	248	125–528
Schweiz, biologisch	9	226 ± 91	218	75–346
Frankreich	1	167	–	167
Frankreich, Industrieprodukt M ²	1	245	–	–
Alle, Schweiz	21	258 ± 113	248	75–528
<i>Schwein (Sus scrofa domesticus)</i>				
Schweiz	14	424 ± 99	403	279–647
Schweiz, biologisch	8	356 ± 84	361	170–426
Alle, Schweiz	22	399 ± 97	395	170–647
<i>Schaf (Ovis aries)</i>				
Schweiz	3	215 ± 131	228	78–339
Schweiz, biologisch	5	221 ± 123	267	90–372
Neuseeland	3	291 ± 165	382	101–390
Australien	2	484 ± 10	484	483–484
Alle, Schweiz	8	219 ± 117	247	78–372
<i>Ziege (Capra aegagrus hircus)</i>				
Schweiz	3	341 ± 226	321	126–577
<i>Pferd (Equus caballus)</i>				
Schweiz	9	337 ± 115	304	169–556
Nordamerika	3	876 ± 601	837	295–1496
<i>Hauskaninchen (Lepus cuniculus)</i>				
Schweiz	2	494 ± 97	494	426–463
Frankreich	1	379	–	–
Ungarn	1	506	–	–

Fleischproben

Selenkonzentration in der Trockenmasse¹

Art und Herkunft	n	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
Wild (<i>Capreolus capreolus</i>)				
Schweiz, biologisch	3	72 ± 12	74	59–82
Italien	2	101 ± 86	101	40–161
Ungarn	1	296	–	–
Neuseeland	2	173 ± 129	173	82–264
Neuseeland, «Hirschpfeffer» ³	1	474	–	–

¹ Bezogen auf die gefriergetrockneten Proben; TM: alle Fleischarten 28–29 g/100 g, mit Ausnahme von Schweinefleisch 30–31 g/100 g. Der Restwassergehalt beträgt je 2–3 g/100 g.

² M = Industrielles Fleischpulver zur Herstellung von Lebensmitteln (Mischprobe).

³ Mariniert.

gisch erzeugtes Rindfleisch 144 ng/g ($n = 24$). Die kleinste Selenkonzentration zeigt eine Wildprobe mit 40 ng/g aus Italien und die höchste mit 1,5 µg/g eine Pferdefleischprobe aus Nordamerika.

Rind, Kalb und Schwein

Die Selenkonzentration der verschiedenen Proben von Rind-, Kalb- und Schweinefleisch konventioneller (schweizerischer) Produktion ist jeweils angenähert normal verteilt⁴. Die gesonderte Betrachtung des biologisch produzierten Fleisches bringt dieselbe Erkenntnis.

Wird als Massstab für die *Variation der Selenkonzentration* der Einzelproben schweizerischer Herkunft der Variationskoeffizient (VK) verwendet, ergibt sich Folgendes: Die geringste Variabilität zeigen mit VK-Werten von bis zu rund 25 % Schweinefleisch, biologisches Hühnerfleisch und nordamerikanisches Rindfleisch. Deutlich höhere VK-Werte im Bereich von 40–60 % finden sich bei Kalb-, biologischem Rind- sowie konventionellem Schaf-, Ziegen- und Pferdefleisch. Da die Selenkonzentration von den Fütterungsbedingungen abhängig ist, kann aus der beobachteten Variabilität geschlossen werden, dass diese bezüglich Selen in der Schweine- und Hühnermast einheitlicher sind als beispielsweise in der Kälbermast.

Eine signifikante *Saisonabhängigkeit* Sommer/Winter der Selenkonzentration von *Rindfleisch* konnte weder für biologisch ($p = 0,835$) noch konventionell ($p = 0,210$) produziertes festgestellt werden (Tabelle 3). Dies im Unterschied zur Selenkonzentration von Kuhmilch, die im Winter höher ist als im Sommer (siehe Abschnitt Milch). Hierbei kann die unterschiedliche Fütterung der Mastrinder und Milchkühe im Sommer eine Rolle spielen. Während Rinder auch im Sommer vorwiegend im Stall gehalten werden und ausschliesslich sogenanntes Ergänzungsfut-

⁴ Zur qualitativen Beurteilung des Vorliegens einer Normalverteilung wurden die theoretischen Quantile der Normalverteilung gegen die tatsächlich gemessene Selenkonzentration aufgetragen. Liegen die Punkte auf annähernd einer Geraden, so sind die Daten etwa normalverteilt.

Tabelle 4
Selenkonzentration in Geflügel und Eiern

Geflügelproben		Selenkonzentration in der Trockenmasse ¹		
Art und Herkunft	n	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
<i>Huhn (Gallus domesticus)</i>				
Schweiz	16	566 ± 219	560	277–1184
Schweiz, biologisch	7	608 ± 142	641	327–768
Frankreich	3	428 ± 77	428	351–504
Dänemark	1	247	–	–
Ungarn	1	352	–	–
Brasilien	1	737	–	–
China	2	446 ± 42	446	416–476
Alle, Schweiz	23	579 ± 196	577	277–1184
<i>Ente (Anas domestica)</i>				
Frankreich	3	1184 ± 67	1158	1133–1260
Thailand	1	1452	–	–
<i>Truthahn (Meleagris domesticus)</i>				
Schweiz	7	526 ± 116	519	371–708
Frankreich	1	546	–	–
Italien	1	437	–	–
<i>Strauss (Struthio camelus)</i>				
Südafrika	1	544	–	–
<i>Hühnereier²</i>				
Freiland, Schweiz ³	7	943 ± 134	932	746–1200
Biologisch, Schweiz ³	10	1048 ± 189	1022	807–1476
Bodenhaltung, Käfig, Schweiz ³	9	865 ± 116	880	723–1025
Alle, Schweiz	26	957 ± 167	932	723–1476
<i>Industrielle Produkte, M⁴</i>				
Hühnerfleischpulver, Frankreich	1	452	–	–
Volleipulver, Schweiz	3	953 ± 116	895	877–1086
Volleipulver, USA	1	1004	–	–
Eigelbpulver, Schweiz	2	988 ± 4	988	985–990
Eigelbpulver, USA	1	1326	–	–
Kristalleiweiss, Schweiz	1	838	–	–
Kristalleiweiss, Holland	2	761 ± 88	761	699–824
Kristalleiweiss, USA	1	875	–	–

¹ Bezogen auf die gefriergetrockneten Proben; TM: alle Geflügelarten 26–29 g/100 g und Hühnereier 25–27 g/100 g. Der Restwassergehalt beträgt je 2–3 g/100 g.

² Homogenate aus jeweils 3 Eiern (ohne Schalen).

³ Proben aus Frankreich (750 ng/g Boden, Käfig; 746 ng/g Freiland), Deutschland (882 ng/g Boden, Käfig), Holland (841 ng/g Boden, Käfig) und der Schweiz ergaben keine länderspezifischen Unterschiede und wurden daher gemäss ihrer Produktionsart zusammengefasst.

⁴ M = Industrielle Ausgangsprodukte zur Lebensmittelherstellung (Mischproben).

ter (mit Selenzusätzen) erhalten, nehmen Milchkühe auf der Weide vermehrt natürliches, selenarmes Futter auf. Möglicherweise wird aber auch der Mineralstoffversorgung der Milchkuh im Sommer weniger Beachtung geschenkt als im Winter, da ja die Vitaminversorgung während der Grasfütterungsperiode ausreichend ist (25). Da auch die Selenkonzentration in biologisch produziertem Rindfleisch keinem Saisoneinfluss unterliegt, könnten sowohl bei biologischer wie konventioneller Haltung, Sommer und Winter, die gleichen kommerziell erhältlichen Mineralsalzmischungen Verwendung finden.

Die Eigenschaft des Fleisches wird von verschiedenen Parametern beeinflusst, wobei Fütterung und Haltung eine entscheidende Rolle spielen. Daher wurden mit «Bio» oder «Natura» bezeichnete Produkte aus *biologischer* (*ökologischer*) Viehwirtschaft ebenfalls untersucht. Für die Bio-Fleischerzeugung gelten Richtlinien hinsichtlich Tierhaltung, Fütterung und Verarbeitung. Grundsätzlich muss betriebseigenes Futter verwendet werden (26, 27).

Wird die mittlere Selenkonzentration der als «biologisch» bezeichneten Proben mit jener aus konventioneller Produktion verglichen, so liegt diese für «biologisches» Rindfleisch im Winter im Mittel rund 1,8-mal, im Sommer rund 1,4-mal sowie für Kalb- und Schweinefleisch rund 1,2-mal tiefer (Tabelle 3). Ein statistisch signifikanter Unterschied (*t*-Test) der Mittelwerte ergibt sich jedoch nur für Rindfleisch ($p = 0,003$). Demgegenüber tendiert die mittlere Selenkonzentration von biologischem, gegenüber konventionellem Hühnerfleisch eher zu höheren Werten (Tabelle 4).

Die Selenkonzentration verschiedener Muskelfleischarten ist auch vom *Herkunftsland* abhängig. Im Mittel zeigen Rind- und Pferdefleischproben aus Nordamerika verglichen mit solchen aus der Schweiz eine rund doppelt so hohe Selenkonzentration. Auch Schafffleisch aus Australien scheint eine höhere Selenkonzentration aufzuweisen als solches aus der Schweiz oder Neuseeland (Tabelle 3). Dies ist nicht erstaunlich, denn Neuseeland gilt, wie auch die Schweiz (1–4), als Selenmangelgebiet (28). Die erwähnten Unterschiede können einerseits durch die teilweise hohe native Selenkonzentration nordamerikanischer Futtermittel und andererseits durch eine gegenüber der Schweiz verschiedene Supplementierungspraxis bei der Aufzucht erklärt werden (29, 30). Weitere Unterschiede infolge der Herkunftsländer (z. B. Frankreich) dürften in Anbetracht des teilweise geringen Probenumfangs nicht relevant sein. Der aus Neuseeland importierte Hirschpfeffer mit rund 475 ng Se/g TM stammt allerdings kaum von einem wildlebenden Tier.

Geflügel und Eier

Die Selenkonzentration im *Hühnerfleisch* schweizerischer Produktion ist annähernd normal verteilt, sofern nur der Konzentrationsbereich bis zu 1 µg/g berücksichtigt wird (Tabelle 4). Die Mittelwerte für konventionell (566 ± 219 ng/g, $n = 16$) und biologisch produziertes Hühnerfleisch (608 ± 142 ng/g, $n = 7$) unterscheiden sich nicht signifikant (*t*-Test, $p = 0,58$).

Tabelle 5
Selenkonzentration in Fleischerzeugnissen und Organteilen

Produkt		Selenkonzentration in der Trockenmasse ¹		
Art und Herkunft (soweit bekannt)	n	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
<i>Fleischerzeugnisse</i>				
<i>Rind</i>				
Hamburger	3	380 ± 159	413	207–519
<i>Kalb</i>				
Bratwurst	2	148 ± 4	148	145–150
<i>Schwein</i>				
Schinken	3	408 ± 74	441	323–459
Schinkenspulver, Frankreich M ²	1	467	–	–
Bratwurst	2	229 ± 9	229	222–235
<i>Schaf</i>				
Lammburger, Schweiz, Bio	1	129	–	–
<i>Rind und Schwein, gemischt</i>				
Salami, Italien, Schweiz	4	191 ± 42	176	157–249
Lyonerwurst, Cervelas, Wienerli	6	172 ± 10	171	153–180
<i>Leberpastete</i>				
Schwein	1	574	–	–
<i>Truthahn</i>				
Aufschnitt	2	614 ± 25	614	596–632
<i>Blutwurst</i>				
Schwein	1	813	–	–
<i>Huhn</i>				
Aufschnitt, China	1	343	–	–
<i>Leberwurst</i>				
Rind und Schwein ³	7	318 ± 148	257	127–518
<i>Huhn und Truthahn, gemischt</i>				
Geflügelbratwurst, -wienerli	3	255 ± 67	273	181–312
<i>Organe</i>				
<i>Leber</i>				
Kalb, Schweiz	17	1120 ± 360	1120	468–1728
Rind, Schweiz	3	1320 ± 641	1320	657–1937
Rind, biologisch	1	432	–	–
Schwein, Schweiz	1	1940	–	–
Schaf, Schweiz	1	696	–	–

Produkt		Selenkonzentration in der Trockenmasse ¹		
Art und Herkunft (soweit bekannt)	n	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
<i>Niere</i>				
Kalb, Schweiz	17	4330 ± 433	4480	3786–5048
Schwein, Schweiz	1	581	–	–
<i>Kutteln</i>				
Rind	1	362	–	–
<i>Herz</i>				
Rind	1	458	–	–

¹ Bezogen auf die gefriergetrockneten Proben; TM: Salami 61–70 g/100 g, Wurstwaren 53–60 g/100 g, Leber 25–28 g/100 g und Niere 20–22 g/100 g.

² M = Industrielle Ausgangsprodukte zur Lebensmittelherstellung (Mischprobe).

³ Enthalten auch Schweins- und Rindskopf.

Im Vergleich mit Huhn und Truthahn aus Schweizer Produktionen, die eine vergleichbare Selenkonzentration im Muskelfleisch zeigen, weisen die *Entenfleischproben* etwa die doppelte Konzentration auf. Dabei spielt möglicherweise das erweiterte Futterangebot, das die Ente als Wasservogel erhält, eine Rolle.

Für die Selenkonzentration der *Hühnereier* sind die Daten im Bereich bis zu 1,2 µg/g angenähert normal verteilt. Die mittlere Selenkonzentration der Eier entspricht schätzungsweise dem Doppelten jener des Muskelfleisches (je pro Trockenmasse).

Werden die Konzentrationsmittelwerte entsprechend der Gruppierung nach den *Produktionsarten*, Biologisch (1048 ± 189 ng/g, $n = 10$), Freiland (943 ± 134 ng/g, $n = 7$) oder Käfig/Bodenhaltung (865 ± 116 ng/g, $n = 9$) verglichen, ergibt sich eine in dieser Reihenfolge zwar fallende Tendenz der mittleren Selenkonzentration, die aber nicht statistisch gesichert ist (Ein-Weg-Varianzanalyse, $p = 0,11$). Das heisst, dass unabhängig von der Haltungsart alle Legehennen bezüglich der Selenkonzentration etwa das gleiche Futter erhalten. Dies widerspiegelt sich auch im relativ geringen VK der Selenkonzentration der Eier, der im Bereich von 12–18 % liegt. Wird die Selenkonzentration des Hühnerfleisches, der Eier und industriellen Eipulver der verschiedenen Herkunftsorte verglichen, so wird deutlich, evtl. unter Ausklammerung von Dänemark und Ungarn, dass Hühnern und Legehennen auch weltweit etwa vergleichbare Selenmengen verfüttert werden.

In Tabelle 4 sind auch die Messergebnisse für *industrielle Eipulver* zusammengestellt. Diese dienen als Rohstoff zur Lebensmittelherstellung. Die Messwerte für Volleipulver schweizerischer Herkunft stimmen gut mit den untersuchten Einzelproben überein. Dabei ist die Selenkonzentration im Eigelb jeweils höher als im Eiweiss. Für solches aus den USA ergibt sich ein Konzentrationsverhältnis von Dotter zu Eiklar (pro TM) von 1,5 und für solches aus der Schweiz von 1,2. Das höhere

Verhältnis der USA-Produkte deutet auf Selenitzusätze zum Futter hin, da solche die Selenkonzentration (je auf die TM bezogen) des Eidotters stärker erhöhen als jene des Eiklars (Tabelle II, Anhang).

Organe und Fleischerzeugnisse

Der Vergleich der in *Fleischerzeugnissen* bestimmten Selenkonzentration mit jener für Muskelfleisch von Hühnern (im Mittel rund 580 ng/g TM), Schweinen (im Mittel 420 ng/g TM) und Kalb/Rind (im Mittel rund 280 ng/g TM) zeigt nur für das Erzeugnis Schinken (323–467 ng/g TM) eine gute Übereinstimmung. Mit im Mittel rund 380 ng/g ergibt sich für Hamburger eine deutlich höhere Selenkonzentration als für Schweizer Rindfleisch, Salami andererseits als Mischung von Rind- und Schweinefleisch mit einer mittleren Konzentration von rund 200 ng/g einen tieferen Wert. In diesen Produkten wird möglicherweise ausländisches Fleisch mit einer höheren bzw. tieferen Selenkonzentration mitverarbeitet. Die deutlich tiefere Selenkonzentration von Leberwürsten gegenüber Frischleber lässt sich mit dem in der Regel geringen Leberanteil (~15 %) dieser Produkte erklären. Wird berücksichtigt, dass Würste (Bratwurst, Wienerli, Lyoner, Cervelas) einen Muskelfleischanteil von rund 40 % aufweisen, stimmen deren Konzentrationswerte mit jenen für das Ausgangsmaterial gut überein.

Milch

Die Selenkonzentration der 62 untersuchten Mischmilchproben (d. h. keine Proben ab Hof) liegt im Bereich von 37–133 ng/g TM (Tabelle 6). Da das Selen der Milch vorwiegend mit Proteinen assoziiert ist (31), ergibt sich, bezogen auf die Trockenmasse, für entfettete Milch (Magermilch) tendenziell eine höhere Selenkonzentration als für Vollmilch. Biologisch produzierte Milch weist mit rund 40 ng/g TM im Mittel eine rund 1,5-mal tiefere Selenkonzentration auf als konventionell gewonnene.

Für einen *Saisonvergleich* der im Sommer (Juni) und Winter (November) 1997 aus jeweils den gleichen fünf Grossmolkereien erhobenen Proben wurde die mittlere Selenkonzentration der fünf untersuchten Milchtypen (Past-, UHT-, Mager- und Vollmilch) auf eine einheitliche Trockenmasse von 13 g/100 g (Vollmilch) bezogen. Unter der Annahme, dass zwischen den Faktoren Milchtyp und Saison keine Wechselwirkungen bestehen, ergab die Zwei-Weg-Varianzanalyse, dass nur der Faktor Saison einen signifikanten Einfluss auf die mittlere Selenkonzentration hat ($p < 0,0001$), nicht aber der Faktor Milchtyp ($p = 0,70$). Dies deutet auch darauf hin, dass die für Milch in der Schweiz angewendeten Behandlungsverfahren (z. B. UHT, Pasteurisation) die Selenkonzentration kaum oder nur geringfügig beeinflussen. Entsprechende früher geäußerte Vermutungen dürften somit nicht zutreffen (32, 33); siehe auch Abschnitt «Lebensmitteltechnologische Einflüsse».

Aus den oben erwähnten Daten für die Monate Juni und November sowie unter Einbezug der Messungen im Januar 1997 ergibt sich, dass die mittlere Selenkonzentration

Tabelle 6
Selenkonzentration in Milch und Milchprodukten

Produkt		Selenkonzentration in der Trockenmasse ¹		
Art und Herkunft	n	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
<i>Milch</i>				
<i>Molkereiprobe, Schweiz</i>				
<i>Juni 1997</i>				
Vollmilch, pasteurisiert	5	54 ± 5	53	48–60
Vollmilch UHT	5	57 ± 5	56	51–64
Trinkmilch, pasteurisiert	5	59 ± 11	57	45–73
Trinkmilch, UHT	5	71 ± 6	73	65–80
Magermilch	5	85 ± 14	84	67–107
<i>November 1997</i>				
Vollmilch, pasteurisiert	5	88 ± 12	85	74–103
Vollmilch UHT	5	77 ± 12	77	65–90
Trinkmilch, pasteurisiert	5	87 ± 15	85	69–110
Trinkmilch, UHT	5	74 ± 6	76	65–80
Magermilch	5	108 ± 27	99	85–151
<i>Mai 1998</i>				
Vollmilch, biologisch ²	1	37	–	–
<i>Marktprobe, Schweiz</i>				
<i>Januar 1997</i>				
Vollmilch, pasteurisiert	5	112 ± 21	118	76–130
Vollmilch UHT	3	76 ± 15	80	60–89
Magermilch UHT	3	113 ± 24	120	87–133
<i>Milchprodukte</i>				
Butter (82 % Fett)				
Schweiz	2	< 1	–	–
Vollrahm, schlagbar (35 % Fett)				
Schweiz	2	67 ± 1	67	66–67
Käse				
Schweiz, Emmentaler	3	82 ± 5	84	77–86
Schweiz, übrige ³	4	116 ± 50	132	44–157
Schweiz, Camembert	1	84	–	–
Frankreich, Hartkäse ⁴	2	47 ± 13	47	37–56
Joghurt, «nature»				
Schweiz	10	91 ± 20	85	69–119
Glace				
Milchglace (Vanille), Schweiz	3	37 ± 11	38	26–48

Produkt		Selenkonzentration in der Trockenmasse ¹		
Art und Herkunft	n	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
<i>Industrielle Produkte M⁵</i>				
Milchproteinpulver (50 % Protein)	1	137 (25) ⁶	—	—
Milchproteinpulver (64 % Protein)	1	176 (72)	—	—
Milchproteinpulver (75 % Protein)	1	220 (10)	—	—

¹ Bezogen auf die gefriergetrockneten Proben; TM: Emmentaler 63 g/100 g, Camembert 50 g/100 g, Hartkäse 70 g/100 g, Joghurt 20–30 g/100 g, Vollmilch 13 g/100 g, Trinkmilch 11 g/100 g und Magermilch 9 g/100 g.

² Mischprobe biologisch produzierter Milch von 20 Biobauern aus der Innerschweiz.

³ Greyerzer-, Tilsiter-, Vacherin- und Raclettekäse.

⁴ Morbier- und Comtékäse.

⁵ M = Industrielles Ausgangsprodukt zur Lebensmittelherstellung (wie Glace, Dessert, Brot, Backwaren). Milchproteinpulver sind native lösliche Milchproteine aus tierischer Magermilch gewonnen, hergestellt mittels Ultrafiltration und anschliessend schonend sprühgetrocknet.

⁶ Differenz von Doppelbestimmungen.

tration der Milch im Winter höher ist als im Sommer; das entsprechende Verhältnis beträgt im Mittel $1,4 \pm 0,1$. In einer früheren Studie, mit einem Minimum im Juli und einem Maximum im März/April, wurde für Milch aus der gleichen Molkerei (1965) ein Verhältnis von rund 1,8 gefunden (3). Die scheinbare Diskrepanz lässt sich mit den unterschiedlichen Probenahmemonaten erklären⁵. Denn werden nur die Resultate für Vollmilch der Monate Januar/Juni 1997 (Tabelle 6) berücksichtigt, ergibt sich in guter Übereinstimmung ein Verhältnis von $(99 \pm 6)/(56 \pm 2) = 1,77 \pm 0,04$ (\pm Fehler des Mittelwerts). Eine höhere Selenkonzentration in Winter- als in Sommermilch wurde auch in Holland festgestellt. Aus den publizierten Daten lässt sich in guter Übereinstimmung mit unseren Messungen ein Verhältnis der Selenkonzentration von Winter- zu Sommermilch von $1,60 \pm 0,05$ ($n = 7$) ableiten (34). Mit einem Mittelwert von $1,28 \pm 0,04$ ($n = 11$) resultiert demgegenüber für finnische Milch und Milchprodukte eine deutlich tiefere Verhältniszahl (35). Dies scheint die Folge der Einführung der Selendüngung in diesem Land zu sein.

Aus den vorliegenden und den früheren Messergebnissen (3) lässt sich für schweizerische *Vollmilch* eine entsprechend der Saison gewichtete *mittlere Selenkonzentration* von derzeit 70 ng/g TM oder 9,5 ng/g Frischmasse abschätzen (*Jahresmittel*). Wird von einer Proteinkonzentration in Vollmilchpulver von 26,4 g/100 g ausgegangen, ergibt sich für die Selenkonzentration von *Milchproteinen* ein Jahresmittelwert von 265 ng/g Protein. Dies stimmt gut überein mit der mittleren Selenkonzentration von industriellen Milchproteinen von 281 ± 6 ng Selen/g Protein (Tabelle 6).

⁵ Wird davon ausgegangen, dass die Stallfütterung zu einer höheren Selenkonzentration der Milch führt, wird das Maximum der Konzentration, infolge der biologischen Halbwertszeit des nativen Selens im Kuhblut von etwa 70 Tagen, erst in den Monaten März/April erreicht (3, 82).

Milchprodukte

Die Selenkonzentration der einzelnen Milchprodukte (total 27 Proben) erstreckt sich über den Bereich < 1 ng/g TM (Butter) bis rund 160 ng/g TM (Käse). Schweizer Käse enthält im Mittel rund 100 ng/g TM Selen ($n = 8$), was etwa der Selenkonzentration von Wintermilch entspricht. Die Selenkonzentration von Joghurt entspricht ebenfalls etwa jener der Wintermilch oder dem 1,7-fachen der konventionellen Sommermilch. Dies erklärt sich dadurch, dass die Proben vorwiegend aus der Wintersaison stammten.

Erstaunlich hoch erscheint mit rund 70 ng/g TM im Vergleich zu Vollmilch die Selenkonzentration von Vollrahm (Tabelle 6). Wird für dieses Produkt von einer Proteinkonzentration von 5–7 g/100 g TM ausgegangen, resultiert eine Selenkonzentration der Proteine von 1000–1400 ng/g. Dies ist rund 4-mal höher als der oben für Vollmilch berechnete Wert von rund 270 ng/g. Möglicherweise enthalten die vorwiegend mit den Lipiden assoziierten Proteine mehr Selen als jene im Durchschnitt der Vollmilch.

Fütterungseinflüsse

Wiederkäuer

Wird davon ausgegangen, dass auf schweizerischen Böden gewachsene Futtermittel im Mittel eine native Selenkonzentration von etwa 50 ng/g TM aufweisen (9, 10, 36), müsste im *Muskelfleisch von Rindern* im Mittel eine Selenkonzentration von 100–150 ng/g TM resultieren (Tabelle I, Anhang). Für biologisch erzeugtes Rindfleisch ergaben sich tatsächlich Messwerte im Bereich von rund 50 bis 300 ng/g TM, im Mittel rund 150 ng/g TM (Tabelle 3). Die Selenkonzentration im Muskelfleisch konventionell gehaltener Rinder von im Mittel rund 260 ng/g TM lässt sich dann erklären, wenn das Gesamtfutter zusätzlich 0,1–0,2 µg/g TM Selen als Selenit oder etwa 50 ng/g TM als natives Pflanzenselen enthält (Tabelle I, Anhang), entsprechend einer Totalselenkonzentration von 0,10–0,25 µg/g. Kommerziellen Ergänzungsfuttermitteln (Mischfutter, «Kraftfutter») soll 0,3 µg/g Selen in Form von Selenit zugesetzt werden (37, 38), und die für Mastrinder (und Kälber) empfohlene Selenkonzentration im Gesamtfutter beträgt 0,15 µg/88 % TM (39). In «Kraftfuttermitteln» aus verschiedenen Betrieben ist im Mittel tatsächlich eine Selenkonzentration von 0,25–0,46 µg/g TM gemessen worden (9, 10, 36).

Der Vergleich der mittleren Selenkonzentration von *Kalbsnieren* mit *Kalbfleisch* ergibt ein Verhältnis von etwa 16 (Tabellen 3 und 4). Dies deutet darauf hin, dass in der Kälbermast vorwiegend Selenit verabreicht wird (Tabelle I, Anhang). Für nur wenige Tage alte Kälber, die mit selenitsupplementiertem Milchersatz aufgezogen werden, scheint hingegen der im Anhang erwähnte Zusammenhang nicht zu existieren (40).

Schweine

Die Fütterungstechnik der Schweine ist im Vergleich zu Wiederkäuern weniger komplex (25). Schweine erhalten, falls kein betriebseigenes Futter (Küchen- und Molkereiabfälle) verwendet wird, kommerzielle Alleinfuttermittel. Für die Mast enthalten diese 0,2–0,3 µg/g Selen als Selenit (37, 38), wobei die schweizerische Empfehlung bei 0,2 µg/g liegt (41). Die mittlere Selenkonzentration von rund 400 ng/g TM in Schweinefleisch lässt sich aber nur dann deuten, wenn angenommen wird, dass das Gesamtfutter zusätzlich zu 0,2 µg/g Selen als Selenit noch etwa 0,1 µg/g natives Selen enthält (Tabelle I, Anhang).

Hühner und Eier

Hühnerfleisch zeigt im Mittel eine Selenkonzentration von rund 580 ng/g. Kommerziellem Alleinfutter für Mast- und Legehennen soll 0,2 µg/g Selen als Selenit zugesetzt werden (37, 38). Die schweizerische Empfehlung lautet 0,1–0,2 µg/g im Gesamtfutter (42). Gemäss den Schätzungen in den Tabellen I und II des Anhangs sind diese Selenitmengen keinesfalls ausreichend, um die Selenkonzentration von Hühnerfleisch und Eiern zu erklären. Denn Futter mit nur rund 0,2 µg/g Selen als Selenit würde schätzungsweise zu einer mittleren Selenkonzentration im Fleisch von etwa 100 ng/g und in Eiern von etwa 200 ng/g führen. In Eiern wurde aber eine solche von rund 1000 ng/g und in Fleisch von rund 600 ng/g gemessen (Tabelle 4).

Zudem wäre bei reiner Selenitfütterung zu erwarten, dass das *Verhältnis* der Selenkonzentration im *Eidotter* zu jener im *Eiklar* (TM/TM) im Bereich von 2–3 liegt. Der Vergleich mit den Daten in Tabelle 4 für schweizerisches Eipulver ergibt jedoch ein Verhältnis von nur rund 1,2, was vorwiegend auf natives Selen im Futter hinweist. In einem Fütterungsversuch mit Pflanzenselen und Selenhefe erhielten wir ein Verhältnis von $1,19 \pm 0,01$ (Anhang). Ähnliche Verhältnisse mit $1,0 \pm 0,1$ ($n = 41$) wurden in Chile an Eiern von Hühnern gemessen, die keinen Zugang zu kommerziellem (vermutlich selenithaltigem) Futter hatten (43). In Belgien ergab sich für Eier ab Bauernhof bzw. solche aus dem Handel ein Verhältnis von $1,2 \pm 0,2$ bzw. $1,4 \pm 0,1$ ($n = je\ 3$) (44), was gut mit unseren Ergebnissen übereinstimmt.

Wir gehen deshalb davon aus, dass das Alleinfutter neben dem zugesetzten Selenit auch erhebliche Mengen *natives Pflanzenselen* von etwa 100 ng/g oder Fischmehlselen (und vermutlich Fleischmehlselen) von etwa 200 ng/g enthält (Tabelle II, Anhang). Ein Konzentrationsverhältnis von Selen als Selenit zu nativem Pflanzenselen bzw. Fisch- (Fleischmehlselen) im Bereich von etwa 1 bzw. 0,7 (Totalselen im Futter 0,4–0,5 µg/g) kann neben der gemessenen Selenkonzentration in Eiern und Hühnerfleisch auch das beobachtete Konzentrationsverhältnis von schweizerischem Vollei zu Hühnerfleisch (TM/TM) von im Mittel $1,7 \pm 0,1$ erklären, ebenso das Verhältnis der Selenkonzentration von Eidotter zu Eiklar von 1,2 (Tabelle II, Anhang). Im Hühnerfutter eines Betriebes wurde 1986 im Kanton Zürich tatsächlich eine Selenkonzentration von 0,3–0,6 µg/g gemessen (45).

Kuhmilch

Wird von der Selenkonzentration von Kuhmilch im *Sommerhalbjahr* von 55 ng/g TM und jener für biologische Milch von 37 ng/g TM ausgegangen und ein Verhältnis der Milchselenkonzentration zu jener im Futter (TM/TM) von etwa eins angenommen (Tabelle II, Anhang), ergibt sich für die native Selenkonzentration des Futters 37–55 ng/g TM, was gut mit schweizerischen Messungen für einheimisches Futter übereinstimmt (9, 10, 36).

Konventionell produzierte Milch aus dem *Winterhalbjahr* zeigt mit im Mittel etwa 100 ng/g TM eine rund 1,8-mal höhere Selenkonzentration als im Sommer. Unter der Annahme, dass im Winter den Kühen etwa 15 % des täglichen Totalfutters als Ergänzungsfutter mit 0,3 µg/g TM Selen als Selenit (37, 38) verabreicht wird, erklärt sich im Vergleich zur Sommermilch nur ein Anstieg der Selenkonzentration von rund 15 ng/g TM (Tabelle II, Anhang), d. h. eine Differenz von etwa 30 ng/g TM bleibt unerklärt. Wir gehen daher davon aus, dass Ergänzungsfutter für Milchkühe im Mittel auch eine erhöhte Konzentration an nativem Pflanzenselen aufweist, beispielsweise eine solche im Bereich von 0,1–0,2 µg/g TM, wobei eine mittlere Totalselenkonzentration von 0,4–0,5 µg/g TM resultieren würde. Schweizerische Messungen an «Kraftfuttermitteln» ergeben dazu in guter Übereinstimmung eine mittlere Selenkonzentration von 0,3–0,5 µg/g TM (9, 10, 36).

Fisch und Meeresfrüchte

Übersicht

Die in Tabelle 7 aufgeführten Messdaten an 18 Proben von *Meerfischen* erstrecken sich über einen grossen Konzentrationsbereich von rund 700 bis fast 4000 ng/g TM. Die Selenkonzentration der Proben ist in guter Näherung lognormal verteilt. Entsprechende, ebenfalls schiefe Verteilungen wurden auch innerhalb bestimmter Seefischarten beobachtet (46). Demgegenüber sind die *Süsswasserfische* (Tabelle 8) aufgrund der vorliegenden Daten nur im Bereich von 1000–2000 ng/g lognormal verteilt. Die entsprechenden Gesamtmittelwerte sind mit rund 1,4 µg/g TM (Süsswasser) und 1,5 µg/g TM (Meerwasser) erstaunlicherweise miteinander vergleichbar. Der Medianwert sämtlicher untersuchter Fische (inkl. Meeresfrüchte) beträgt 1,31 µg/g ($n = 42$).

Süsswasserfische

Werden die Süsswasserfische arbiträr in zwei Gruppen nach *Wild- und Zuchtfisch* eingeteilt⁶, unterscheiden sich die so erhaltenen Mittelwerte von $1,39 \pm 0,43$ µg/g ($n = 10$) und $1,31 \pm 0,61$ ng/g ($n = 7$) nicht voneinander (t-Test, $p = 0,77$), woraus geschlossen werden könnte, dass entweder Zucht- und Wildfische gleiche Selen-

⁶ Die sicher als Wildfisch zu bezeichnenden stammen erwiesenermassen aus dem Vierwaldstätter- und Bielersee, bei den übrigen wird angenommen, dass es sich um Fische aus Zuchtbeständen handelt.

mengen aufnehmen oder dass sich unter unseren Proben keine Zuchtfische befanden.

Die Selenkonzentration unterscheidet sich von *Fischart* zu *Fischart* verhältnismässig wenig. Bei den Süsswasserfischen scheinen einzig Egli und Zander als «Raubfische» etwas höhere Werte aufzuweisen, nicht jedoch Hecht (Tabelle 8).

Meerfische und Meeresfrüchte

Bei den untersuchten Meerfischen sind vermutlich auch *Zuchtfische* dabei. So enthält beispielsweise Lachs aus Norwegen (bekannt für Zucht) mit rund 3,8 µg/g etwa viermal soviel Selen wie der Rauchlachs aus Schottland, falls angenommen wird, dass beim Räuchern kein Selenverlust entsteht. Zudem enthalten die «Magerfische», wie z. B. Wittling oder Dorsch, weniger Selen als die «Fettfische», wie z. B. Scharbe oder Flunder (Tabelle 7), was mit den Resultaten einer ausführlicheren Studie übereinstimmt (46).

Auch im verzehrbaren Anteil der *Meeresfrüchte* (Krustentiere, Muscheln) ist die Selenkonzentration relativ hoch (Tabelle 7) und mit Mittel 1,5 µg/g TM mit jener von Meer- und Süsswasserfischen vergleichbar (Tabellen 7 und 8).

Selenaufnahme der Fische

Angesichts der tiefen Selenkonzentration von Meer- und Süsswasser von weniger als 1 ng/ml mögen die hohen Konzentrationen im Fischgewebe zunächst erstauen (46). Fische nehmen Selen ebenfalls über ihre Nahrung auf, wie z. B. Plankton, Kleintiere oder wiederum Fische. Eine Einteilung in Raubfisch, Kleintier- oder Planktonfresser ist dennoch problematisch, da keine scharfe Trennungslinie gezogen werden kann. Die wechselnde Ernährungsweise ist aus dem jeweils vorhandenen Nahrungsangebot zu erklären, so dass reine Planktonfresser selten sind (47). Selenreiche Sedimente, die besonders in Flüssen aufgewirbelt werden, können für die Selenkonzentration von Süsswasserfischen ebenfalls eine Rolle spielen (48).

Bekannt ist die sehr hohe Akkumulationsfähigkeit für Selen von aquatischen Mikroorganismen, die am Anfang der Nahrungskette stehen. Für *Zooplankton* werden in der Literatur Anreicherungsfaktoren gegenüber dem Wassermedium von rund 1000 für Selenit und 30000 für Selenomethionin angegeben, für *Phytoplankton* sind die entsprechenden Faktoren mit 800 und 17000 etwas tiefer (49). Eigene Messungen der Selenkonzentration in je einer Zoo- und Phytoplanktonprobe aus dem Vierwaldstättersee ergaben 1,1 µg/g und 0,6 µg/g TM (Tabelle 9). Wird eine Selenkonzentration im Wasser von 0,5 ng/ml angenommen, entspricht dies Anreicherungsfaktoren von etwa 1200 für Phytoplankton und 2200 für Zooplankton. Diese Werte deuten im Vergleich zu den Literaturdaten auf das Vorliegen von Selenit (oder Selenat) im Wasser hin.

Fische, die im Gebiet der Planktonprobenahme gefangen wurden, zeigten im Mittel eine Selenkonzentration von rund 1,4 µg/g TM (Tabelle 9), woraus sich ein *Anreicherungsfaktor* von 1,1–2,3 für den Übergang aus dem Plankton in das Muskel-

Tabelle 7

Selenkonzentration in Meerfischen und Meeresfrüchten

Fischproben		Selenkonzentration in der Trockenmasse ¹		
Art und Herkunft	n	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
<i>Meerfische</i>				
Lachsforelle (<i>Salmo salar hybride</i>) Italien	1	671	—	—
Lachs (<i>Salmo salar</i>) Schottland / Atlantik ²	3	810 ± 69	843	731–856
Norwegen ³	1	3812	—	—
Aesche (<i>Thymallus thymallus/arcticus</i>) Dänemark	1	967	—	—
Makrele (<i>Scomber scombrus</i>) Thailand ³	1	1018	—	—
Wittling (<i>Merlangius merlangus</i>) Schottland	1	1049	—	—
Seelachs (<i>Pollachius virens</i>) Dänemark ³	1	1322	—	—
Dorsch (<i>Gadus morhua</i> /G. <i>callarias</i>) Skandinavien ³	3	1279 ± 157	1249	1139–1448
Flunder (<i>Platichthys flesus</i>) Holland ³	2	1902 ± 146	1902	1799–2006
Scharbe (<i>Limanda limanda</i>) Holland und England	2	2212 ± 144	2212	2110–2313
Drachenkopf (<i>Scorpaena spp.</i>) Holland	1	2759	—	—
Capri (—) Brasilien	1	1506	—	—
Alle	18	1533 ± 818	1286	671–3812
<i>Meeresfrüchte</i>				
Crevetten (<i>Palaemon (Leander) spp.</i>) ²	4	1303 ± 356	1320	852–1721
Auster (<i>Ostrea edulis</i> /Crassostrea <i>edulis</i> /C. <i>angulata</i>)	1	1791	—	—
Miesmuschel (<i>Mytilus spp.</i>)	1	2205	—	—
Tintenfisch (<i>Loliginidae/Ommastrephidae</i>)	1	1434	—	—
Alle	7	1520 ± 432	1434	852–2205

¹ Bezogen auf die gefriergetrockneten Proben; TM: Fische 22 g/100 g, Meeresfrüchte 18 g/100 g; Restwassergehalt: 2–3 g/100 g.

² Geräuchert und vakuumverpackt.

³ Tiefgekühlt und filtriert.

Tabelle 8

Selenkonzentration in frischen Süsswasserfischen

Proben Art und Herkunft	Selenkonzentration in der Trockenmasse ¹			
	<i>n</i>	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
Egli (<i>Perca fluviatilis</i>)				
Schweiz ²	3	1790 ± 663	1624	1226–2520
Holland	3	1586 ± 639	1291	1147–2319
Forelle (<i>Salmo trutta, forma lacustris</i>)				
Schweiz	3	1115 ± 504	1388	533–1424
Dänemark	1	722	–	–
Felche (<i>Coregonus spp.</i>)				
Schweiz	4	1155 ± 56	1152	1190–1227
Hecht (<i>Esox lucius</i>)				
Schweiz ²	1	1128	–	–
Hasel (<i>Leuciscus leuciscus</i>)				
Schweiz	1	1336	–	–
Zander (<i>Stizostedion canadense</i>)				
Holland	1	1760	–	–
Alle	17	1355 ± 493	1227	533–2520

¹ Bezogen auf die gefriergetrockneten Proben; TM: 22 g/100 g; Restwassergehalt: 2–3 g/100 g.

² Wildfische.

fleisch der Fische schätzen lässt. Dies ist in guter Übereinstimmung mit entsprechenden Literaturangaben von 2 bis 6 für ganze Fische, d. h. inkl. Haut, innere Organe und Knochen (50).

Fleischersatzprodukte

28 proteinreiche Produkte vegetabler Herkunft, die wegen ihrer fleischähnlichen Konsistenz und Zubereitungsform als Fleischersatz konsumiert werden, wurden ebenfalls untersucht, um abschätzen zu können, ob der Verzicht auf Fleisch zugunsten solcher Lebensmittel hinsichtlich der Selenzufuhr markante Veränderungen mit sich bringen würde. Dabei wurden Sojaprodukte, wie zum Beispiel Tofu (Sojaquark), Quorn⁷, Seitan⁸ oder Produkte auf der Grundlage von Cerealien oder Gemüse, untersucht (Tabelle 10). Die gemessene Selenkonzentration ergibt ein uneinheitliches Bild, da die Bereiche innerhalb einer Produktgruppe (Soja, Cerealien, Quorn) um jeweils einen Faktor 10 differieren.

⁷ Quorn ist ein neuartiges Nahrungsmittel und besteht zur Hauptsache aus Eiweiss. Es wird aus einem Schimmelpilz (*Fusarium graminearum*) gewonnen. Die Pilzmasse wird in der Regel zusammen mit Eiweisspulver (aus Hühnereiern) weiterverarbeitet.

⁸ Seitan besteht vorwiegend aus den Weizenproteinen Gliadin und Glutenin.

Tabelle 9

Selenkonzentration in schweizerischen Wildfischen¹

<i>Fisch</i>	<i>Vierwaldstättersee</i>	<i>Selenkonzentration in der Trockenmasse (µg/g)</i>
Albeli	Brunnen	1,15
Egli	Brunnen	1,62
Felchen	Brunnen	1,15
Albeli-Felchen	Meggen	1,09
Balchen-Felchen	Meggen	1,23
Egli	Meggen	2,52
Hasel	Meggen	1,34
Hecht	Meggen	1,13
Alle		1,40 ± 0,48
Diverse ² (n = 9)	Schweiz	1,20 ± 0,57
Zooplankton	Meggen	1,10
Phytoplankton	Meggen	0,57

¹ Proben aus Fischereibetrieben; diese Daten sind zusammengefasst auch in Tabelle 8 enthalten.

² Marktproben zum Vergleich, möglicherweise zum Teil aus Zuchtbeständen.

Die mit im Mittel 150 ng/g tiefsten Werte zeigen, nicht unerwartet, die Produkte auf der Grundlage von Gemüse, wobei sich der höchste und tiefste Wert (nur) um einen Faktor 3 unterscheiden. Zum Teil enthalten die Fleischersatzerzeugnisse Zutaten wie Eiweiss, Samen, Kerne oder Weizenmehl bzw. dessen Proteine, die, je nach Ursprungsland, unterschiedlich selenreich sein können. Eine Unterteilung entsprechend dem Hauptbestandteil dieser Produkte ist daher wenig sinnvoll. Die teilweise hohe Selenkonzentration im µg/g-Bereich lässt sich durch die Verwendung nord-amerikanischer Roh- und/oder Zwischenprodukte erklären.

Im Mittel aller Produkte ergibt sich eine Konzentration von 330 ng/g TM, die im Konzentrationsbereich von Rind- und Kalbfleisch liegt, wobei die Spannweite der Selenkonzentration dieser Produkte mit rund 70–2000 ng/g etwa mit jener für Muskelfleisch der von uns untersuchten Tiere vergleichbar ist, die sich von rund 40 ng/g TM (Wild) bis 4000 ng/g (Fisch) erstreckt.

Lebensmitteltechnologische Einflüsse**Milcherhitzung und Milchpulverherstellung**

Anhand der Beobachtung, dass Säuglingsnahrung auf Milchpulverbasis eine geringere Selenkonzentration zeigt als Kuhmilch des Handels, wurde vermutet, dass bei der Milchverarbeitung Selen verloren geht (32, 33). Obwohl bereits die Daten zur Selenkonzentration von UHT- und Pastmilch (Tabelle 6) keine Hinweise auf wesentliche Selenverluste geben, wurden entsprechende Untersuchungen unter

Tabelle 10
Selenkonzentration in Fleischersatzprodukten

Produkte		Selenkonzentration in der Trockenmasse ¹		
Auf der Grundlage von ²	n	$\bar{x} \pm s$ (ng/g)	\tilde{x} (ng/g)	Bereich (ng/g)
Soja	14	236 ± 182	176	67–735
Cerealien	6	328 ± 402	155	118–1140
Gemüse	3	153 ± 77	163	72–226
Quorn	3	251 ± 301	88	67–598
Seitan	2	1386 ± 878	1386	765–2006
Alle	28	330 ± 416	169	67–2006

¹ Die Trockenmassen der Fleischersatzprodukte betragen im Mittel: Soja 45 g/100 g, Cerealien 47 g/100 g, Gemüse 49 g/100 g, Quorn 33 g/100 g und Seitan 40 g/100 g.

² Die Herkunft der Rohmaterialien wie z. B. Soja oder Weizen ist unbekannt.

kontrollierten Bedingungen in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (UHT-Erhitzung, Versuchsanlagen) sowie der Industrie (Milchpulverherstellung) vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Es ist ersichtlich, dass bei der UHT-Erhitzung von Vollmilch kein Selen verloren geht. Das gleiche gilt für die Vollmilchpulverherstellung nach dem Walzenverfahren. Hingegen scheint beim Sprühturmverfahren ein Verlust von gegen 20 % aufzutreten, obwohl bei diesem Verfahren die Milch thermisch weniger belastet wird als beim Walzenverfahren, wo sogar eine gewisse Caramelisierung auftritt. Dazu ist anzumerken, dass es sich bei der Milchpulverstudie um Einzelversuche im Industriemassstab handelt, wobei Inhomogenitäten bei der Probenahme nicht vollständig ausgeschlossen werden können. Da das Selen in den Milchproteinen eingebaut ist, scheint uns ein allfälliger Verlust via Gasphase eher unwahrscheinlich zu sein.

Käseherstellung

Zur Beurteilung der Veränderungen der Selenkonzentration bei der *Weichkäseherstellung* (Camembert) wurden verschiedene Produktionsmuster, wie die Ausgangsmilch, das Milchretentat vor und nach der Kulturzugabe, der Käse vor und nach der Salzbadbehandlung sowie der verpackungsfertige Käse nach dem Reifen analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zusammengestellt. Der fertige Käse weist bezogen auf die Trockenmasse gegenüber der Ausgangsmilch eine um etwa einen Faktor 1,5 erhöhte Selenkonzentration auf. Wird eine Massenbilanz erstellt, so ist ersichtlich, dass etwa 75 % des Selens aus der Milch im Weichkäse verbleiben (Tabelle 12). Etwa 13 % des Selenverlustes können der Molke zugeordnet werden. Der Rest erklärt sich demnach aus der Rahmabtrennung, der Abtrennung des Permeats

Tabelle 11

Beeinflussung der Selenkonzentration durch Erhitzen und Trocknen von Milch

Verfahren	Selenkonzentration (ng/g TM) ¹		Einfluss (ng/g TM)
	Edukt	Produkt	
<i>Erhitzen von Vollmilch (UHT):</i>			
– Indirekt (Wärmeaustauscher) ²	78 (6) ³	76 (9)	– 2 ± 5
– Direkt (Dampfinjektion) ⁴	78 (4)	74 (0)	– 4 ± 2
<i>Herstellung von Vollmilchpulver:</i>			
– Walze	60 (5)	70 (5)	+10 ± 4
– Sprühturm	156 (2)	126 (8)	– 30 ± 4

¹ Resultate von Doppelbestimmungen.² Milchttemperatur während 7 s 140 °C.³ In Klammer gesetzt ist die Differenz der analytischen Doppelbestimmung.⁴ Wasserdampf von 150 °C während 2,5 s, dann Kühlung durch Expansion in Vakuum.

durch Ultrafiltration vor dem Pasteurisieren oder Verlusten während des Herstellungsprozesses. Der Hauptanteil des anfänglich in der Milch vorhandenen Selens liegt somit in proteingebundener Form vor (31).

Zusätzlich wurden auch zwei *Hartkäseproben* (Emmentaler) untersucht, für die jeweils die entsprechende Ausgangsmilch zur Verfügung stand (Tabelle 12). Dabei sind die Anreicherungsfaktoren von etwa 1,5, die sich aus der Selenkonzentration in der Trockenmasse der Milch und dem fertigen Käse ergeben, etwa identisch mit denjenigen für die Weichkäseherstellung. Aufgrund der niedrigeren Ausbeute bei der Emmentalerherstellung befinden sich aber nur noch etwa 57 % des Selens aus der Milch im fertigen Käse. Die Verluste via Schotte sind demnach wesentlich höher als bei der Weichkäseherstellung, was aus der höheren Selenkonzentration und Gesamtmenge ersichtlich wird (Tabelle 12). Im Mittel der insgesamt vier Versuche zur Käseherstellung ergibt sich für das Verhältnis der Selenkonzentration Käse zu jener in Milch (je pro TM) $1,44 \pm 0,04$, und die Selenverluste via Molke betragen etwa 15 % (Weichkäse) bis 30 % (Hartkäse).

Unsere Ergebnisse sind qualitativ vergleichbar mit Untersuchungen der Selenverteilung in den verschiedenen Proteinfractionen von Kuhmilch (31). Dabei wurde festgestellt, dass der Hauptanteil des Milchselen von 55–75 % in den Kaseinfraktionen, 17–38 % in den Molkenproteinen und etwa 7 % im Fett zu finden sind. Die quantitative Verteilung ist abhängig von den Trennungstechniken. Bemerkenswert ist auch, dass aus Magermilch etwa 10 % des Selens durch Dialyse entfernt werden können (31). Dieser Vorgang ist vergleichbar mit der Ultrafiltration (Membranfiltration) bei der Weichkäseherstellung und könnte daher die Verluste durch das Permeat (proteinfrei) erklären. Obwohl dies nicht explizit nachgewiesen wurde, kann vermutlich davon ausgegangen werden, dass sich das Selen im Permeat vor-

Tabelle 12

Selenkonzentrationen in den Trockenmassen bei verschiedenen Schritten im Produktionsablauf der Käseherstellung

Produktionsablauf	Se ¹ (ng/g)	TM (g/100 g)	Ausbeute ² (kg TM)	Se-Bilanz (%)
<i>Weichkäse (Camembert)³</i>				
Milch aus Vorlagetank ⁴	56 (2) ⁵	13	≡ 1	100
Milch nach Thermisation (68 °C)	61 (2)	–	–	–
Retentat von CaCl ₂ - und Kulturzugabe	71 (3)	–	–	–
Retentat nach Vorreifung ⁶	73 (3)	–	–	–
Käse vor Salzbad	82 (0)	–	–	–
Käse nach Salzbad	87 (2)	–	–	–
Käse beim Verpacken	84 (4)	50	0,5	75
<i>Verluste:</i>				
Molke (Schotte)	34	8	0,2	13
<i>Hartkäse (Emmentaler)⁷</i>				
Milch	59, 57 ⁸	13	≡ 1	100
Käse	86, 77	63	0,4	57
<i>Verluste:</i>				
Schotte	39, 42	6	0,4	28

¹ Einzel- oder Doppelbestimmungen (ng/g TM).

² Geschätzte Erfahrungswerte.

³ Firma Baer, Küssnacht am Rigi, Juni 1997.

⁴ 3,2 % Proteingehalt und 3,9 % Fettgehalt.

⁵ In Klammer gesetzt ist die Differenz der analytischen Doppelbestimmung.

⁶ 7,9 % Proteingehalt und 6,6 % Fettgehalt.

⁷ Versuchskäserei der Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM), Uettiligen.

⁸ Einzelmessungen zweier verschiedener Produktionen, Juli 1997.

wiegend in Form niedermolekularer Proteine, kaum aber in anorganischer Form findet.

Kochen von Lebensmitteln

Wie im vorangegangenen Abschnitt gezeigt wurde, treten bei der Käseherstellung gegenüber der Milch relativ geringe Selenverluste im Bereich von 10–30 % auf, die sich aber via Molke wieder verwerten lassen. Für Hühnerfleisch (Brust, Bein) konnte gezeigt werden, dass bei den verschiedenen Zubereitungsarten wie Kochen im Normal- oder Mikrowellenofen sowie beim Braten oder Fritieren entweder keine oder verhältnismässig geringe Verluste bis 10 % auftreten (51). Im ungünstigsten Fall, beim Fritieren, wurden 18 % gemessen. In einer anderen Arbeit wurden beim Backen im Ofen für Huhn und Fisch beziehungsweise Braten von Lammfleisch keine Verluste registriert. Demgegenüber sollen beim Braten von Rinds- oder Schweinefleisch Verluste von 14 %, beziehungsweise 9 % aufgetreten sein (52).

Tabelle 13

Selenzufuhr durch Lebensmittel tierischer Herkunft

Lebensmittel tierischer Herkunft	Pro-Kopf-Verbrauch ¹ (kg/Person/Jahr)		Konzentration ² (ng/g)	Selenzufuhr (µg/Person/ Tag)
	1996, GSF ³	1996, BV ⁴		
Rind	10,6 (11,9)	10,4	80	2,3
Kalb	3,5 (3,5)	3,5	80	0,8
Schwein	23,0 (23,5)	24,0	130	8,2 – 8,5 ⁵
Schaf und Lamm	1,3 (1,3)	1,4	80 ⁶	0,3
Ziege	0,1 (0,1)	0,1	100	< 0,1
Pferd	0,5 (0,5)	0,7	90	0,1 – 0,2 ⁵
Kaninchen und Hasen	0,3 (0,3)	0,7	140	< 0,1
Geflügel	5,9 (5,9)	11,2	140 ⁶	2,3 – 4,3 ⁵
Wildbret	0,4 (0,4)	0,8	30	< 0,1
Innereien	–	2,1	300 ⁷	1,7
Fisch und Schalentiere, inkl. Konserven	3,3 (3,3)	7,3	360	3,3 – 7,2 ⁵
Total für Fleisch und Fisch	48,9	62,2	–	19,0 – 25,3
Eier	–	10,6	240	7,1
Konsummilch, inkl. Joghurt	–	111,1	10 ⁸	3,0
Fettkäse	–	13,1	60	2,2
Total Lebensmittel tierischer Herkunft				31,3 – 37,6

¹ Ohne Knochen, Fett und Sehnen, Frischmasse.² Pro Frischmasse, auf 10er Einheiten gerundet.³ Gemäss Schweizerischer Genossenschaft für Schlachtvieh- und Fleischversorgung, in Klammern sind die Verbrauchszahlen für 1997 (53).⁴ Agrarstatistik gemäss Schweizerischem Bauernverband (55).⁵ Bereichsangaben aufgrund der verschiedenen Verbrauchs-Schätzungen von GSF und BV.⁶ Gewichtet entsprechend den verschiedenen Konzentrationen und Importanteilen (Tabellen 3 und 4).⁷ Kalbs- und Rindsleber.⁸ Geschätzt unter Berücksichtigung der saisonalen Schwankungen (Jahresmittel).**Zufuhrabschätzung**

Die in der Schweiz verfügbare Menge Fleisch wird aus der Produktion und der Einfuhr bzw. Ausfuhr von Fleisch und Fleischprodukten errechnet. Nach Abzug der Lagerbestände wird die verbrauchte Menge Fleisch erhalten. Für den Verzehr ist nur der essbare Anteil zu berücksichtigen, d. h. die Massen der Knochen, Sehnen und Fett sind abzuziehen. Dieser Anteil ist je nach Tierart unterschiedlich, beim Rind sind es etwa 35 %, beim Schwein weniger als 30 % (53). Für die Berechnungsart bestehen jedoch besonders bei Geflügel, Kaninchen und Wild unterschiedliche Auffassungen. Während die Schweizerische Genossenschaft für Schlachtvieh und Fleischversorgung (GSF) für diese Tierarten eine Fleischausbeute von 50 % veran-

schlägt, rechnet der Schweizerische Bauernverband (SBV) mit einer solchen von 90 % (54, 55).

Die Importanteile 1997 sind, besonders für Schafffleisch und Geflügel, mit 54 % beziehungsweise 52 % von Bedeutung (3, 53). Das eingeführte Schafffleisch stammte vorwiegend aus Neuseeland (47 %) und Australien (31 %). Beim Geflügel waren Frankreich (30 %), China (22 %) und Ungarn (16 %) die bedeutendsten Lieferländer. Zur Abschätzung der Zufuhr via Fleisch wurde daher die entsprechend diesen Importen gewichtete Selenkonzentration aus den Daten in Tabelle 3 und 4 ermittelt. Für Rind-, Kalb- und Schweinefleisch waren die Importe bezogen auf die Inlandproduktion mit 7 %, 1,4 % beziehungsweise 10 % weniger bedeutend, daher wurde deren Beitrag für die Schätzung der Selenzufuhr vernachlässigt. Der Anteil an biologisch produziertem Fleisch, der infolge der tieferen Selenkonzentration beim Rindfleisch einen Einfluss auf die Zufuhr haben könnte, wurde ebenfalls vernachlässigt, da die Zahl der Betriebe, die nach biologischen Richtlinien produzieren, mit rund 7,1 % (1997) aller Betriebe noch verhältnismässig gering ist (56).

Die in Tabelle 13 aufgeführte mittlere Selenkonzentration der Lebensmittel tierischer Herkunft bezieht sich auf die Frischmasse. Sie wurde anhand der Resultate in den Tabellen 3–8 sowie wie oben beschrieben ermittelt. Der Beitrag von Lebensmitteln tierischer Herkunft zur täglichen Selenversorgung der Bevölkerung, angegeben als Pro-Kopf-Total, beträgt 30–38 µg, je nach verwendeter Statistik im Mittel rund 35 µg. Dies stimmt gut mit einer früheren, auf noch unvollständigen Daten basierenden Schätzung von rund 43 µg überein (3).

Aus der analytischen Untersuchung zubereiteter Tagesrationen, die 1983 erhoben wurden, ergab sich für omnivore Männer eine mittlere tägliche Selenzufuhr von rund 85 µg und 65 µg für Frauen, wenn die Daten auf eine mittlere tägliche Energiezufuhr von 10,5 MJ bzw. 8,0 MJ bezogen wurden (3). Die Pro-Kopf-Zufuhr durch Lebensmittel pflanzlicher Herkunft wurde anhand der Verbrauchszahlen für 1995/96 des SBV auf 45,1 µg geschätzt (3), was zusammen mit den vorliegenden Daten für Lebensmittel tierischer Herkunft ein Total von rund 80 µg/Person/Tag ergibt, bei einer mittleren Pro-Kopf-Energiezufuhr von total rund 13,1 MJ. Lebensmittel tierischer Herkunft tragen somit mit schätzungsweise 40 % fast die Hälfte zur mittleren täglichen Zufuhr bei. Werden total 10 % für Zubereitungsverluste aller Art abgezogen und die Pro-Kopf-Zufuhr auf die erwähnten Energiezufuhren für Männer und Frauen umgerechnet, wird im Mittel rund 65 µg/Tag für Männer und 50 µg/Tag für Frauen erhalten, was zwar knapp den in den USA empfohlenen täglichen Zufuhrmengen von 70 bzw. 55 µg entspricht (1), aber auf maximal etwa 20% tiefere Werte als 1983 hindeutet. Dadurch wird eine frühere Aussage, dass sich der Selenstatus der schweizerischen Bevölkerung in den letzten 15–20 Jahren nicht wesentlich veränderte, etwas relativiert (3). Allerdings sind Messungen der Serumselenkonzentration für entsprechende Beurteilungen besser geeignet als die vorliegenden abstrakten Berechnungen (1–3).

Schlussfolgerungen

Anhand der Ergebnisse von rund 460 untersuchten Proben von Lebensmitteln tierischer Herkunft (inkl. vegetabler Produkte als Fleischersatz) ergibt sich bezüglich der *Selenkonzentration* die folgende Reihe abnehmender Konzentration (Mediane, $\mu\text{g/g TM}$): Kalbsnieren (4,50) > Fische, inkl. Meeresfrüchte (1,31) \approx Kalbsleber (1,12) > Hühnereier, ohne Schalen (0,93) > Hühnerfleisch (0,58) > Schweinefleisch (0,40) > Schafffleisch (0,25) \approx Kalb- und Rindfleisch (0,25) > vegetabile Fleischersatzprodukte (0,17) \approx biologisches Rindfleisch (0,14) \approx Käse (0,10) > Milch (0,07) (Tabellen 3–10). Falls die Selenkonzentration nicht auf die TM, sondern auf den *Proteingehalt* (als wertgebender Bestandteil eines Lebensmittels) bezogen wird, ergibt sich für häufig konsumierte Lebensmittel tierischer Herkunft folgende Reihe ($\mu\text{g/g Protein}$): Kalbsnieren (6,74) > Kalbsleber (1,71) \approx Hühnereier, ohne Schalen (1,89) > Fische, inkl. Meeresfrüchte (1,37) > Hühnerfleisch (0,77) \approx Schweinefleisch (0,62) > Kalb- und Rindfleisch, konventionell (0,42) > Rindfleisch, biologisch (0,24) \approx Milch- und Milchprodukte (0,25). Abgesehen von Innereien sind somit Eier zusammen mit Fischen die wertvollsten Lebensmittel tierischer Herkunft, falls die Selenkonzentration pro Protein als Kriterium verwendet wird. Korrekterweise müsste in eine solche Beurteilung auch die jeweilige biologische Verfügbarkeit des Selen sowie die biologische Wertigkeit der Proteine miteinbezogen werden.

Die Selenkonzentration von Hühnereiern, Hühner- und Schweinefleisch von konventionell und biologisch gehaltenen Tieren lässt sich durch die zum Futter zugesetzte Selenitkonzentration nicht erklären, ebenso wenig wie jene von Kuhmilch im Winter sowie jene von konventionell erzeugtem Rind- und Kalbfleisch. Es muss daher angenommen werden, dass die entsprechenden Futtermittel gegenüber solchen einheimischen Ursprungs eine erhöhte Konzentration an nativem Selen aufweisen.

Im Hinblick auf die *Pro-Kopf-Selenzufuhr*, berechnet anhand des Verbrauchs von Lebensmitteln tierischer Herkunft, ergeben sich folgende Beiträge zur geschätzten minimalen Zufuhr (GSF-Statistik) von rund 31 $\mu\text{g/Kopf/Tag}$ (in Klammern Beiträge in %): Schweinefleisch (26,2) > Hühnereier (22,7) > Milch und Milchprodukte (16,6) > Fische, Meeresfrüchte (10,5) > Hühnerfleisch (7,3) \approx Rindfleisch (7,3) \approx Innereien (5,4) > Kalbfleisch (2,6) \approx Schafe, Pferde, Ziegen, Kaninchen, Wildbret (ca. 1,4). Etwa die Hälfte des Selen aus Lebensmitteln tierischer Herkunft stammt aus Hühnereiern und Schweinefleisch. Der Beitrag von Milch und Milchprodukten ist infolge der unterschiedlichen Verbrauchsmengen rund 2-mal grösser als jener von Hühnerfleisch (Tabelle 13).

Die Berechnung der täglichen Selenzufuhr durch Lebensmittel tierischer Herkunft anhand des Lebensmittelverbrauchs ergibt bei gleicher Berechnungsart mit 37,6 $\mu\text{g/Kopf}$, gegenüber 42,5 $\mu\text{g/Kopf}$ in einer früheren Berechnung (3) einen rund 10 % tieferen Wert. Bezogen auf die im Mittel pro Tag konsumierte Energie ergibt sich im Mittel eine Selenzufuhr von rund 65 μg für Männer und 50 μg für Frauen. Dazu tragen Lebensmittel tierischer Herkunft etwa 40 % bei.

Um 1982/83 lieferte Brotgetreidemehl mit etwa 20 % selenreichem nordamerikanischem Weizen im Mittel noch einen Beitrag zur Pro-Kopf-Selenzufuhr von rund 35 µg/Tag, um 1995/96 noch einen solchen von rund 12 µg/Tag (3). Wie bereits früher gezeigt wurde, hat sich die Selenversorgung in den letzten 20 Jahren von Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft zu solcher tierischer Herkunft, deren Selenkonzentration in dieser Zeitperiode angestiegen ist, verlagert (3). Im Vergleich zu früher treten daher strenge Vegetarier bezüglich der Selenversorgung als eigentliche Risikogruppe der Bevölkerung stärker in den Vordergrund. Gleiches wurde auch in Grossbritannien sowie in Deutschland festgestellt (2, 3, 57).

Sollte der Import von selenreichem nordamerikanischem Weizen als Zusatz zum Brotgetreide weiter abnehmen (3), wäre zu prüfen, ob dem *Nutztierfutter* statt Selenit vermehrt Selen in Form der entsprechenden Aminosäuren, z. B. Selenomethionin (Selenhefe), das die Selenkonzentration der Lebensmittel tierischer Herkunft im allgemeinen stärker erhöht als Selenit, zugesetzt werden sollte. Eine erhöhte Selenkonzentration von Hühnereiern sowie von Milch und Milchprodukten würde zwar die Selenversorgung strenger Vegetarier (Veganer) nicht verbessern, wohl aber jene der Ovolaktovegetarier.

Da sich die Selenversorgung der schweizerischen Bevölkerung jederzeit ändern kann, sei es durch veränderte Importe von Lebens- oder Futtermitteln (z. B. «Globalisierung») oder durch andere Fütterungsgepflogenheiten der Nutztiere (z. B. «biologische» und/oder naturgerechte Haltung), muss gefordert werden, dass der Selenstatus der Bevölkerung periodisch überprüft wird, vorzugsweise durch Untersuchungen des Blutplasmas oder -serums. Diese Forderung gilt auch für weitere Mikronährstoffe mit labiler Versorgungslage, wie z. B. Iod. Entsprechendes wurde auch im Vierten Schweizerischen Ernährungsbericht angeregt, wobei dem Bundesamt für Gesundheit eine Führungsrolle zugesprochen wurde (83). Denn für den Zusatz von essentiellen Stoffen zu Lebensmitteln waren früher die Sanitätsdirektionen der Kantone zuständig, nach dem neuen Lebensmittelgesetz ist dies nun eine Angelegenheit des Bundes.

Dank

Unseren verbindlichen Dank für Ihr Interesse und Ihre Bereitschaft, an dieser Arbeit mitzuwirken, möchten wir folgenden Herren und Betrieben aussprechen:

Herrn Dr. J. Kessler, Eidg. Forschungsanstalt für Nutztiere, Posieux, für Angaben zur Tierfütterung und die kritische Durchsicht des Manuskriptes. Herrn H. Feller, Baer AG, Küsnacht am Rigi, und Herrn M. Anderegg von der Versuchskäserei der Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM), Uetligen, für die Bereitstellung von Proben aus der Käseherstellung. Die UHT-erhitzten Milchproben verdanken wir den Herren Drs. P. Eberhard und P. Gallmann, FAM, Liebefeld, die uns auch die Milchpulverproben aus Industriebetrieben beschafften. Frau Ch. Zuberbühler und Herrn Prof. Dr. C. Wenk, Institut für Nutztierwissenschaften, ETH Zürich, für die Eierproben aus einem Fütterungsversuch. Herrn C. Heymoz, Lü-

chinger und Schmid AG, Kloten, für importierte und einheimische Eipulverproben. Herrn R. Marti, Vereinigung Schweizerischer Futtermittelfabrikanten, Herrn M. Pitschen, Amrein Futtermühle AG, sowie Herrn R. Hadorn, Schweizerische Geflügelzuchtschule, Zollikofen, für die Angabe von Daten über Futtermittel und Empfehlungen. Herrn Dr. P. Bossard, EAWAG, Kastanienbaum, für die Bereitstellung von Planktonproben. Herrn Dr. P. Heimann, BAG, für die Benennung der Fische mit den wissenschaftlichen Bezeichnungen und Herrn S. Hofer, Fischerei Seerose, Meggen, für die Bereitstellung von Wildfischproben. Frau M.-A. Fasnacht für die perfekte und speditive Reinschrift des Manuskripts. Herrn Dr. H. Schwab, Abteilungsleiter BAG, danken wir für die strategische und operative Planung der wissenschaftlichen Arbeiten in Form von Wirkungsplänen und die stetige Förderung der Sektion Lebensmittelchemie und -analytik.

Zusammenfassung

Insgesamt wurden rund 460 Proben von Lebensmitteln tierischer Herkunft des Schweizer Marktes (1996/98) auf Selen (Se) hin untersucht (Hochdruck-Verascher [HNO_3 , 260 °C, 90 min], Atomfluoreszenzspektrometrie). Die Mediane der Se-Konzentration ($\mu\text{g/g}$; Trockenmasse) zeigen folgende abnehmende Reihe: Kalbsnieren (4,50) > Fische inkl. Meeresfrüchte (1,31) \approx Kalbsleber (1,12) \approx Hühnereier (0,93) > Hühnerfleisch (0,58) > Schwein (0,40) > Kalb- und Rindfleisch (0,25) \approx Schaf (0,25) > vegetabile Fleischersatzprodukte (0,17) \approx «biologisches» Rindfleisch (0,14) > Kuhmilch (0,07). Die tägliche Pro-Kopf-Zufuhr durch diese Lebensmittel wurde anhand des Lebensmittelverbrauchs auf im Mittel rund 35 μg geschätzt. Die Se-Konzentration im Muskelfleisch «biologisch ernährter» Kälber und Rinder sowie jene der Kuhmilch im Sommer kann mit der nativen Se-Konzentration einheimischer Futtermittel erklärt werden. Mit Zusätzen von Selenit zu Futtermitteln kann hingegen die Se-Konzentration im Muskelfleisch von konventionell und biologisch gehaltenen Schweinen und Hühnern, jene der Eier sowie der Kuhmilch im Winter nicht gedeutet werden. Lebensmitteltechnologische Prozesse wie die Milcherhitzung (UHT, Past) sowie die Milchpulverherstellung führen zu nur geringen Se-Verlusten. Bei der Hart- und Weichkäseherstellung findet, bezogen auf die Ausgangsmilch, eine Anreicherung des Se im Käse um etwa einen Faktor 1,4 statt.

Résumé

Un total d'environ 460 échantillons de nourriture d'origine animale provenant du marché Suisse (1996/98) ont été analysés pour leur concentration en sélénium (Se) (calcinateur à haute pression [HNO_3 , 260 °C, 90 min], spectrométrie atomique de fluorescence). Les médianes de la concentration du sélénium ($\mu\text{g/g}$; matière sèche) dans les produits d'origine suisse montrent l'ordre décroissant suivant: rein de veau (4,50) > poissons, y compris les mollusques et crustacés (1,31) \approx foie de veau (1,12) \approx œufs de poule (0,93) > poulet (0,58) > porc (0,40) > veau et bœuf (0,25) \approx mouton (0,25) > substituts végétaux de la viande (0,17) \approx bœuf de production biolo-

gique (0,14) > lait de vache (0,07). La ration quotidienne et personnelle de sélénium est estimée en moyenne, par rapport à la nourriture analysée, à 35 µg. La concentration du bétail «nourri biologiquement», aussi bien le lait de vache obtenu pendant l'été, peut être expliquée par la teneur en sélénium dans les fourrages récoltés en Suisse. Cependant, les concentrations obtenues dans les tissus musculaires des porcs et poulets (œufs inclus) et du lait de vache alimentés de manière conventionnelle et biologique pendant la saison d'hiver ne peuvent pas simplement s'expliquer en termes d'adjonction de sélénite dans l'alimentation. Les procédés technologiques tels que la cuisson du lait (UHT, pasteurisation) et la préparation du lait en poudre ne provoquent pas de pertes substantielles de sélénium. Pendant la production de fromage, la concentration de sélénium dans la matière sèche augmente d'un facteur de environ 1,4 en comparaison avec le lait de départ.

Summary «Occurrence of Selenium in Food of Animal Origin on the Swiss Market»

The selenium (Se) concentration of about 460 food samples of animal origin from the Swiss market (1996/98) was analyzed (high-pressure-asher [HNO₃, 260 °C, 90 min], atomic fluorescence spectrometry). The medians of the Se concentration (µg/g; dry matter) of products of Swiss origin show the following decreasing order: calf-kidney (4.50) > fish, including shellfish (1.31) ≈ calf-liver (1.12) ≈ hen's egg (0.93) > chicken (0.58) > pork (0.40) > veal, beef (0.25) ≈ sheep (0.25) > vegetable meat substitutes (0.17) ≈ biologically produced beef (0.14) > cow's milk (0.07). The per capita mean daily intake estimate of Se by the analyzed food was 35 µg. The Se concentration of «biologically fed» cattle as well as cow's milk obtained during summer can be explained by the Se content of feed grown in Switzerland. However, the concentrations in the muscle tissues of conventionally and of «biologically fed» pigs and chickens (incl. eggs) as well as cow's milk obtained during the winter season cannot be explained in terms of selenite addition to feeds alone. Technological processes such as milk heating (UHT, pasteurization) and the preparation of milk powder do not provoke substantial losses of Se. During the production of cheese the Se concentration in dry matter increases by a factor of 1.4 in comparison to the starting milk.

Key words

Selenium, Meat, Chicken, Egg, Fish, Switzerland

Anhang

Selenkonzentration von Lebensmitteln tierischer Herkunft, chemische Form des Selen im Nutztierfutter und entsprechende Übergangsverhältnisse

Allgemeines

Die in diesem Abschnitt anhand der Literatur zusammengestellten Daten stellen keine fundierte Übersicht zur angeschnittenen Problematik dar. Sie sollen lediglich erlauben, die Resultate unserer Messungen bezüglich der Fütterungspraxis zu diskutieren. Da die Selenkonzentration der Lebensmittel tierischer Herkunft neben jener des Futters und dessen chemischer Form auch von der Futterzusammensetzung, der Tierart und Rasse, dem Schlachtzeitpunkt sowie den Lebensbedingungen der Nutztiere abhängt, dürfen die nachstehenden Daten nur als eine Näherung betrachtet werden.

Vorkommen in Futtermitteln

In den üblichen Futterpflanzen liegt das aus dem Boden vorwiegend als Selenat aufgenommene Selen hauptsächlich in Form von *Selenomethionin* und *Selenocystein* sowie weiteren Selenanalogen von schwefelhaltigen Aminosäuren vor. Bei auf gleichen Böden gewachsenen Pflanzen steigt deren Gesamtselenkonzentration mit steigendem Proteingehalt an, z. B. Soja > Mais. Die selenhaltigen Aminosäuren sind in nicht dialysierbaren Proteinen eingebunden (50, 52, 58): *natives Pflanzenselen*. Nur in selenakkumulierenden Pflanzen (Astragalusarten) liegt das Selen vorwiegend in Form der freien Aminosäuren sowie als Selenat vor. *Selenhefe* enthält als Hauptbestandteil selenomethioninhaltige Proteine (> 60 %), neben etwa 10 % als Selenit und 15 % als unbekannte Selenverbindungen (1, 59). In Futtermitteln tierischer Herkunft wie Fisch- und Fleischmehl dürfte das Selen vorwiegend in Form *selenocysteinhaltiger Proteine* vorliegen. Zur Selensupplementierung von Nutztieren wird demgegenüber heute vorwiegend anorganisches Selen eingesetzt, z. B. das preisgünstige *Natriumselenit* (37).

Metabolismus, Wirkung, Speicherung

Die *Bioverfügbarkeit* des Selen in verschiedenen chemischen Formen aus dem Magen-Darm-Trakt liegt bei monogastrischen Tieren (und beim Menschen) im Bereich von etwa 40 % bis 95 %. Bei Wiederkäuern kann im Pansen anorganisches zu elementarem Selen reduziert werden, das praktisch nicht mehr bioverfügbar ist (52).

Vom Organismus wird aufgenommenes Selenit zu Selenid reduziert, das spezifisch in Aminosäuren, wie Selenocystein, eingebaut wird. Der Metabolismus von Selenocystein gleicht jenem von Selenit. Selenomethionin hingegen wird ähnlich dem Methionin metabolisiert. Bei einer Überversorgung mit Selenomethionin wird das überschüssige Selen unspezifisch anstelle von Schwefel in Aminosäuren und Proteine eingebaut (1, 50, 52, 60).

Zur Bedarfsdeckung der Nutztiere mit Selen eignen sich praktisch alle üblicherweise verfügbaren chemischen Formen von Selen. Allerdings können sie sich in ihrer *Wirksamkeit*, die durch deren Absorption und Metabolismus bestimmt ist, unterscheiden. Für die Induktion der Aktivität der Plasma- und Erythrozyten-GSH-P_x in selendepletierten Hühnern ergab sich beispielsweise folgende abnehmende Reihe der relativen Wirksamkeiten: Selenit (100 %) > Weizen, Gerste (ca. 80 %) ≈ Selenomethionin > Hafer (ca. 50 %) ≈ Fischmehl > Fleischmehl (ca. 25 %). Andererseits erwies sich bei jungen selendefizienten Rindern bezüglich der Aktivität der Erythrozyten-GSH-P_x Selenomethionin als doppelt so wirksam wie Selenit (60), was durch die Reduktion des Selenits im Pansen erklärt werden könnte (52).

Bei oraler Selenzufuhr ergibt sich bezüglich des Ausmasses der *Selenspeicherung* im Organismus (bei gleicher Selenkonzentration im Futter) etwa die nachstehende Reihenfolge: Selenomethionin > Selenocystein ≈ Selenit. So erhöht natives Pflanzenselen (etwa 50 % Selenomethionin) im Futter von Rindern die Selenkonzentration des Muskelfleisches und der Leber, nicht jedoch jene der Niere, deutlich stärker als Selenit (60, 61).

Für die Selenkonzentration (pro TM) der *Organe von Rindern* ergibt sich folgende Reihe abnehmender Konzentration (Futter: 0,25 µg natives Pflanzenselen/g TM): Nieren > Hoden > Milz ≈ Pankreas ≈ Leber ≈ Herzmuskel > *Hirn* ≈ Muskeln oder falls eine vergleichbare Menge Selen in Form von Selenit verfüttert wird: Nieren > Hoden > Milz ≈ Pankreas ≈ Leber ≈ Herzmuskel > *Hirn* > Muskeln. Diese Reihenfolge gilt weitgehend auch für monogastrische Tiere (52, 62).

Konzentrationsverhältnisse

Für die Schätzung der Konzentrationsverhältnisse wurden nur Daten verwendet, die einer bedarfsgerechten Selenkonzentration im Futter entsprachen, d. h. < 1–2 µg/g. Anhand der Ergebnisse der Kontrollgruppen wurden in Form von Konzentrationsdifferenzen entsprechende Korrekturen angebracht. Zur Umrechnung der Selenkonzentration des Futters auf die TM wurde in der Regel von einem Wassergehalt von 12–15 g/100 g ausgegangen.

In den Tabellen I und II sind die anhand der Literatur geschätzten Konzentrationsverhältnisse, alle bezogen auf Trockenmasse, zusammengestellt. Die Daten stammen vorwiegend aus kontrollierten Fütterungsversuchen (40, 62–72), wobei aber auch die Ergebnisse von Erhebungen (43, 73–75) mitberücksichtigt wurden. Das heisst, die geschätzten Konzentrationsverhältnisse dürften nur für Kollektive und nicht für Einzeltiere Gültigkeit haben. Zudem muss zwischen Zufuhr und Ausscheidung ein stationärer Zustand bestehen.

Beispielsweise ergibt sich für das Ausmass des Übergangs von Selen aus dem Futter in das Vollei (ohne Schale) etwa die abnehmende Reihe: Natives Pflanzenselen ≈ Weizen > Selenomethionin ≈ Selenit ≈ Selenocystin ≈ Astragalusarten > Fischmehl (52, 67, 71).

Tabelle I

Schätzungen zum Übergang verschiedener Selenformen aus dem Futter in Muskelfleisch und Organe von Nutztieren¹

Nutztier	Pflanzenselen			Selenit			Literatur
	Muskel/ Futter	Leber/ Muskel	Niere/ Muskel	Muskel/ Futter	Leber/ Muskel	Niere/ Muskel	
	(TM/TM)	(TM/TM)	(TM/TM)	(TM/TM)	(TM/TM)	(TM/TM)	
Rinder	2 – 3	2 – 4	<10	0,5 – 1	3 – 5	>10	52, 61, 62, 69, 76
Schwein	2 – 4 ²	2 – 4	<10	0,5 – 1	5 – 10	>10	52, 63–65, 68, 74
Hühner	2 – 3	– ³	–	0,5 – 1	–	–	52, 63, 67, 71
Truthahn	4 ⁴	–	–	0,7	–	–	52

¹ Bei bedarfsgerechter Selenkonzentration im Futter.

² Für Selen als Selenhefe ca. 1,5 (68).

³ Nicht evaluiert, da Bedeutung für Selen in Lebensmitteln unerheblich.

⁴ Für Selenomethionin ca. 5 (52).

Tabelle II

Schätzungen zum Übergang verschiedener Selenformen aus dem Futter in Hühnereier und Kuhmilch

Lebensmittel	Selenkonzentrationsverhältnis (TM/TM)		Literatur
	Pflanzenselen	Selenit	
Kuhmilch/Futter	1 – 2 ¹	0,3 – (1) ²	52, 61, 62, 69, 76
Vollei (ohne Schale)/Futter	2 – 4 ³	1 – 2 ⁴	52, 67, 71
Eiklar/Futter	3 ⁵	1 ⁶	52, 67, 71
Eidotter/Futter	2 ⁷	2 ⁸	52, 67, 71
Eidotter/Eiklar	1 ⁹	2 – 3 ¹⁰	43, 52, 67, 71

¹ Gilt auch für Selenhefe und Selenomethionin sowie für Ziegenmilch (70, 72).

² Gilt auch für Ziegenmilch (72).

³ Gilt auch für Weizenselen, Selenomethionin, Astragalusselen und Selenocystein.

⁴ Gilt auch für Fischmehlselen.

⁵ Gilt auch für Weizenselen und Selenomethionin.

⁶ Gilt auch für Astragalusselen, Fischmehlselen, Selenocystein und vermutlich auch für Fleischmehlselen.

⁷ Gilt auch für Weizenselen, Astragalusselen und Selenocystin, nicht aber für Fischmehlselen und Selenomethionin: ca. 1.

⁸ Gilt auch für Astragalusselen und Selenocystein.

⁹ Gilt auch für Weizenselen und Fischmehlselen, nicht aber für Selenomethionin: ca. 0,3 (67).

¹⁰ Gilt auch für Selenocystin (67).

Allgemeines

Für das Verhältnis der Selenkonzentration Kuhmilch zu Blutplasma oder Serum liess sich aus 13 Untersuchungen (69, 76, 80) bei Fütterung mit nativem *Pflanzenselen* ein Mittelwert (Frischmasse; ng/ml pro ng/ml) von $0,36 \pm 0,02$ (Bereich 0,30–0,49) ermitteln. In fünf anderen Studien, in denen den Kühen das Selen in Form von *Selenit* verabreicht wurde (80, 69), ergab sich ein Mittelwert von $0,22 \pm 0,05$ (Bereich 0,15–0,43). Interessanterweise entspricht dieses Verhältnis exakt dem bei mit Selenit supplementierten Ratten gemessen von $0,20 \pm 0,01$ (77). Für natives Pflanzenselen ist das entsprechende Verhältnis somit rund 2-mal grösser als für Selenit, was gemäss den Angaben in Tabelle II für die jeweiligen Verhältnisse der Selenkonzentration Milch zu Futter (TM) miteinander verträglich ist.

Für das Verhältnis der Selenkonzentration (pro Frischmasse) von teilentfetteter Kuhmilch zu Vollblut wurde bei der Verabreichung von Selenhefe im Mittel $0,13 \pm 0,03$ und bei Selen in Form von Selenat im Mittel $0,06 \pm 0,01$ erhalten. Das Futter der Kontrollgruppe enthielt 35 ng/g TM natives Pflanzenselen, und das zusätzliche Selen wurde in Form von «Drenchs» während 19 Wochen verabreicht. Bezogen auf die mittlere tägliche Futterration von 16 kg TM/Tier ergibt sich für die beiden Zusätze Selenhefe und Selenat theoretisch eine mittlere Totalselenkonzentration von je rund $0,16 \mu\text{g/g TM}$ (ca. 2,5 mg/Tier/Tag) und $0,28 \mu\text{g/g TM}$ (ca. 4,5 mg/Tier/Tag). Bezüglich des Übergangs von Selen in die Milch ist organisches Selen wiederum etwa 2-mal (exakt $2,2 \pm 0,6$) wirksamer als anorganisches. Zudem bewirkten die kleineren Dosierungen, in Abweichung von der Proportionalität, eine um 20–30 % höhere Selenkonzentration in der Milch als die hohen Dosierungen (82).

Fütterungsversuch an einer Milchkuh

Eigene Analysen von Morgen- und Abendmilch sowie von zwei Blutserumproben einer ausgewählten Kuh ergaben anhand von drei Bestimmungen für die mittlere Selenkonzentration in Vollmilch $11,3 \pm 0,4 \text{ ng/ml}$ ($87 \pm 3 \text{ ng/g TM}$) und im Serum $39,0 \pm 1,2 \text{ ng/ml}$. Die entsprechenden Proben entstammten einer in einem anderen Zusammenhang mit der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Nutztiere, Posieux, gemeinsam durchgeführten Studie (78). Für das Verhältnis der Selenkonzentration in der Milch zu jener im Blutserum ergibt sich somit $0,29 \pm 0,01$. Der Wert deutet darauf hin, dass dieses Tier das Selen zu je etwa 50 % als Selenit und natives Pflanzenselen zugeführt erhielt. Gemäss den Fütterungsprotokollen lag die Selenkonzentration des Gesamtfutters in Form von Selenit bei rund $0,16 \mu\text{g/g TM}$ (79). Entsprechend müsste die Totalselenkonzentration (inkl. Pflanzenselen) bei rund $0,3 \mu\text{g/g TM}$ gelegen haben.

Wird andererseits von der gemessenen Milchkonzentration von rund 90 ng/g TM ausgegangen, lässt sich mit 160 ng/g TM Selen als Selenit im Gesamtfutter rund

50 % der Milchkonzentration erklären. Die restlichen 50 % lassen sich dann deuten, wenn von einer Konzentration an nativem Pflanzenselen im Gesamtfutter von rund 30 ng/g TM ausgegangen wird, was für ein Futter vorwiegend schweizerischer Herkunft zutreffen würde. Für die Totalselenkonzentration im Gesamtfutter resultiert somit ein Wert von rund 0,2 µg/g TM und für das Verhältnis Selenit-Selen zu Pflanzenselen ein solcher von etwa 5 und nicht, wie der obige Vergleich anhand der Konzentrationsverhältnisse Milchselen zu Serumselen ergab, etwa 1. Als Gründe für diese Diskrepanz kommen in erster Linie in Frage: nichtstationärer Zustand und Einzeltier (individuelle Unterschiede).

Fütterungsversuch mit Legehennen

In einer Studie mit Eiern von Hühnern, die ein Futter mit ca. 0,1 µg/g *nativem Pflanzenselen* und ca. 0,1 µg/g Selen als *Selenhefe* mit einer gemessenen Totalselenkonzentration von 200 ± 23 ng/g TM erhielten (81), ergaben zwei Versuche die folgende Selenkonzentration (in Klammern mittlere Frischmasse pro Ei): im Eidotter 855/744 ng/g TM ($13,37 \pm 0,11$ g) und im Eiklar 710/630 ng/g TM ($36,80 \pm 0,55$ g). Das Verhältnis der Selenkonzentration von Eidotter zu Eiklar, bezogen auf die TM, beträgt im Mittel $1,19 \pm 0,01$ ($n = 2$) bzw. $5,06 \pm 0,05$ falls auf Frischmasse bezogen (Annahmen: TM von Eiklar 12,1 g/100 g und Eidotter 51,3 g/100 g). Der Gesamtseleengehalt von Vollei (ohne Schale) verteilt sich somit auf rund 35 % im Eiklar und 65 % im Dotter.

Die entsprechenden mittleren Konzentrationsverhältnisse (TM/TM) betragen für «natives» Futterselen für Dotter zu Futter $4,0 \pm 0,7$, Eiklar zu Futter $3,4 \pm 0,6$ und für Vollei zu Futter ergibt sich $3,7 \pm 0,6$, wenn die oben angenommenen TM sowie die Gesamtfrischmasse der analysierten Eier ($50,2 \pm 0,9$ g) berücksichtigt wird. Mit Ausnahme des Verhältnisses Eidotter/Eiklar sind diese Verhältniszahlen höher als die anhand der Literatur für natives Pflanzenselen geschätzten Werte von 2–3 (Tabelle II des Anhangs).

Literatur

- 1 Zimmerli, B., Haldimann, M. und Sieber, R.: Selenstatus der schweizerischen Bevölkerung. 1. Biologische Wirkungen, Bedarf und Toxizität von Selen. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **88**, 732–754 (1997).
- 2 Zimmerli, B., Haldimann, M. und Sieber, R.: Selenstatus der schweizerischen Bevölkerung. 2. Vorkommen in Lebensmitteln und Blutserum. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **89**, 147–176 (1998).
- 3 Zimmerli, B., Haldimann, M. und Sieber, R.: Selenstatus der schweizerischen Bevölkerung. 3. Veränderungen und deren Ursachen. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **89**, 257–293 (1998).
- 4 Zimmerli, B., Haldimann, M. und Sieber, R.: Selenstatus der schweizerischen Bevölkerung. In: Keller, U., Lüthy, J., Amadò, R., Battaglia-Richi, E., Battaglia, R., Casabianca, A., Eichholzer, M., Rickenbach, M. und Sieber, R. (Hrsg.), Vierter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 74–86. EDMZ, Bern 1998.

- 5 Behne, D. und Kyriakopoulos, A.: Neue Selenoproteine: Verteilung, Funktion und Selenbedarf. In: Lombeck, I. (Hrsg.), Spurenelemente, S. 73–77, Schriftenreihe der Gesellschaft für Mineralstoffe und Spurenelemente, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 1997.
- 6 Dreher, I., Schmutzler, C., Jakob, F. and Köhrle, J.: Expression of selenoproteins in various rat and human tissues and cell lines. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 11, 83–91 (1997).
- 7 Hotz, C. S., Fitzpatrick, D. W., Trick, K. D. and L'Abbé, M. R.: Dietary iodine and selenium interact to affect thyroid hormone metabolism of rats. *J. Nutr.* 127, 1214–1218 (1997).
- 8 Combs, G. F. and Gray, W. P.: Chemopreventive agents: selenium. *Pharmacol. Ther.* 79, 179–192 (1998).
- 9 Stünzi, H.: Selenmangel? Untersuchungen zum Selenstatus des Wiesenfutters. *Landw. Schweiz* 2, 437–441 (1989).
- 10 Kessler, J.: Selen-Vitamin E: Versorgung der Milchkuh während der Winterfütterung. *Landw. Schweiz* 4, 607–611 (1991).
- 11 Anonym: Futtermittel-Verordnung des EVD vom 1. März 1995, Anhang 6. EDMZ, Bern.
- 12 Kessler, J.: Selenmangel beim Wiederkäuer: Eine Übersicht über mögliche Vorbeugemassnahmen. *Landw. Schweiz* 5, 555–560 (1992).
- 13 Sutter-Luzinger, A., Bolla, E. und Schlotke, F.: Projekt einer Schweizerischen Nährwert-Datenbank. In: Keller, U., Lüthy, J., Amadò, R., Battaglia-Richi, E., Battaglia, R., Casabianca, A., Eichholzer, M., Rickenbach, M. und Sieber, R. (Hrsg.), *Vierter Schweizerischer Ernährungsbericht*, S. 52–62. EDMZ, Bern 1998.
- 14 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 GmbH, Überlingen 1989.
- 15 Haldimann, M. und Zimmerli, B.: Hydrid-ICP-MS-Bestimmung von Selen in Weizen mit Isotopenverdünnungskalibration. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 85, 111–131 (1994).
- 16 Haldimann, M., Dufossé, K. und Zimmerli, B.: Vorkommen von Selen in schweizerischen Cerealien. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 87, 267–295 (1996).
- 17 Dafflon, O., Scheurer, L., Gobet, H., Koch, H. und Haldimann, M.: Kupfer, Eisen, Zink und Magnesium in Kalbslebern und -nieren. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 87, 559–573 (1996).
- 18 Sieber, R., Badertscher, R., Büttikofer, U. und Nick, B.: Beitrag zur Kenntnis der Zusammensetzung schweizerischer pasteurisierter und ultrahocherhitzter Milch. *Mitt. Lebensm. Hyg.* 90, 000–000 (1999).
- 19 Haldimann, M., Bajo, C., Haller, Th., Venner, T. und Zimmerli, B.: Vorkommen von Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber und Selen in Zuchtpilzen. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 86, 463–484 (1995).
- 20 Haldimann, M., Venner, T.Y. und Zimmerli, B.: Determination of selenium in the serum of healthy Swiss adults and correlation to dietary intake. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 10, 31–45 (1996).
- 21 Corns, W.T., Stockwell, P.B., Ebdon, L. and Hill, S.J.: Development of an atomic fluorescence spectrometer for the hydride-forming elements. *J. Anal. At. Spectrom.* 8, 71–77 (1993).
- 22 Haldimann, M., Zimmerli, B., Als, C. and Gerber, H.: Direct determination of urinary iodine by coupled plasma mass spectrometry using isotope dilution with iodine-129. *Clin. Chem.* 44, 817–824 (1998).
- 23 Anonym: Die Durchführung der Lebensmittelkontrolle in der Schweiz im Jahre 1997. Tätigkeitsbericht der Facheinheit Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände des Bundesamtes für Gesundheit. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 89, 389–431 (1998).
- 24 Hansson, L., Pettersson, J. and Olin, Å.: Determination of selenium in fish flesh by hydride generation atomic absorption spectrometry. *Analyst* 114, 527–528 (1989).
- 25 Kessler, J.: Eidg. Forschungsanstalt für Nutztiere, Posieux, persönliche Mitteilungen 1998.

- 26 *Anonym*: Richtlinien für die Erzeugung, Verarbeitung und den Handel von Produkten aus biologischem (ökologischem) Anbau. Vereinigung schweizerischer biologischer Landbauorganisationen (VSBLO/Bio Suisse), Basel 1997.
- 27 *Anonym*: Bio, IP, Tiergerecht. Labels für Lebensmittel. WWF Schweiz 1998.
- 28 *Thomson, C.D. and Robinson, M.F.*: Selenium in human health and disease with emphasis on those aspects peculiar to New Zealand. *Am. J. Clin. Nutr.* **48**, 303–323 (1980).
- 29 *Lorenz, K.*: Selenium in wheats and commercial wheat flours. *Cereal Chem.* **55**, 295–307 (1978).
- 30 *Ullrey, D.E.*: Basis for regulation of selenium supplements in animal diets. *J. Anim. Sci.* **70**, 3922–3927 (1992).
- 31 *Van Dael, P., Vlaemynck, G., Van Renterghem, R. and Deelstra, H.*: Selenium content of cow's milk and its distribution in protein fractions. *Z. Lebensm.-Unters.-Forsch.* **192**, 422–426 (1991).
- 32 *Lombeck, I., Kasparek, K., Harbisch, H.D., Feinendegen, L.E. and Bremer, H.J.*: The selenium state of healthy children. I. Serum selenium concentration at different ages; activity of glutathione peroxidase of erythrocytes at different ages; selenium content of food of infants. *Europ. J. Pediatr* **125**, 81–88 (1977).
- 33 *Hojo, Y.*: Selenium in Japanese baby foods. *Sci. Total Environ.* **57**, 151–159 (1986).
- 34 *Koops, J., Klomp, H. and Westerbeek, D.*: Determination of selenium in milk by spectrofluorometry and by Zeeman-corrected, stabilized-temperature platform-furnace atomic absorption spectroscopy. Comparison of results. *Neth. Milk Dairy J.* **43**, 185–198 (1989).
- 35 *Euroala, M.H., Ekholm, P.I., Ylinen, M.E., Koivistoinen, P.E. and Varo, P.T.*: Selenium in Finnish foods after beginning the use of selenate-supplemented fertilizers. *J. Sci. Food Agric.* **56**, 57–70 (1991).
- 36 *Fleischer, D.*: Selen und Vitamin-E-Gehalt im Blutserum von Kühen mit unterschiedlicher Fruchtbarkeit. Inaugural-Dissertation, Veterinär-Medizinische Fakultät der Universität Zürich, Zürich 1987, 51–53.
- 37 *Sutter-Leuzinger, A.*: Bundesamt für Gesundheit, Bern, Resultate einer Umfrage bei Futtermühen, persönliche Mitteilung, 1994.
- 38 *Pitschen, M.*: Futtermühle Amrein AG, Sempach, persönliche Mitteilung, 1998.
- 39 *Kessler, J., Egger, I., Münger, A., Jans, F. und Lehmann, E.*: Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen 1993.
- 40 *Beale, A.M., Fasulo, D.A. and Craigmill, A.L.*: Effects of oral and parenteral selenium supplements on residues in meat, milk and eggs. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* **115**, 126–150 (1990).
- 41 *Boltshauser, M., Jost, M., Kessler, J. und Stoll, P.*: Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Schweine. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen 1993.
- 42 *Hadorn, H.*: Schweizerische Geflügelzuchtschule, Zollikofen, persönliche Mitteilung, 1999.
- 43 *Ruz, M., Codeceo, J., Hurtado, S., Muñoz, L. and Gras, N.*: Characterization of the regional distribution of selenium in Chile using selenium in hen's eggs as a monitor. *J. Trace Elem. Med. Biol.* **9**, 156–159 (1995).
- 44 *Robberecht, H., Benemariya, H., Van Dael, P. and Deelstra, H.*: Mineralisation procedures and determination of selenium in egg white, egg yolk and shells of different eggs. *J. Food Chem. Biotechnol.* **42**, 147–153 (1987).
- 45 *Anonym*: Jahresbericht 1987 des Kantonalen Laboratoriums Zürich, 45–46. Zürich 1988.
- 46 *Oehlschlager, J.*: Selengehalt im Seefischmuskel. In: Schlimme, E. (Ed.), Ernährungsphysiologische Eigenschaften von Lebensmitteln. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 445, S. 86–91. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag Münster 1995.
- 47 *Kietzmann, U., Priebe, K., Rakow, D. und Reichstein, K.*: Seefisch als Lebensmittel. Paul Parey, Berlin und Hamburg 1969.

- 48 Heiny, J.S. and Tate, C.M.: Concentration, distribution, and comparison of selected trace elements in bed sediments and fish tissue in the South Plate river basin, USA 1992–1993. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **32**, 246–259 (1997).
- 49 Besser, J.M., Huckins, J.N., Little, E.E. and La Point, T.W.: Distribution and bioaccumulation of selenium in aquatic microcosmos. *Environ. Pollution* **62**, 1–12 (1989).
- 50 Sandholm, M.: Acute and chronic selenium toxicity. In: Frøslie, A. (ed), Problems on selenium in animal nutrition. *Norw. J. Agric. Sci., Supplm. No. 11*, 38–50 (1993).
- 51 Tanticharoenkiat, O., Chastain, M.F. and Lane, H.W.: Selenium content of chicken meat as affected by cooking. *J. Food. Sci.* **53**, 1294–1295 (1988).
- 52 Combs, G.F. and Combs, S.C.: The role of selenium in nutrition. Academic Press, Orlando 1986.
- 53 Anonym: Jahresbericht 1997, Schweizerische Genossenschaft für Schlachtvieh- und Fleischversorgung, Bern 1998.
- 54 Grüter, R., Schmid, I. und Sieber, R.: Verbrauch an Lebensmitteln in der Schweiz in den Jahren 1994/95. In: Keller, U., Lüthy, J., Amadò, R., Battaglia-Richi, E., Battaglia, R., Casabianca, A., Eichholzer, M., Rickenbach, M. und Sieber, R. (Hrsg.), *Vierter Schweizerischer Ernährungsbericht*, S. 4–16. EDMZ, Bern 1998.
- 55 Anonym: Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung 1997. 74. Jahresheft. Sekretariat des Schweizerischen Bauernverbandes, Brugg 1998.
- 56 Anonym: Medienkonferenz Bio wächst und wächst – kommt die Knospe ohne Kompromisse aus. Bio Suisse Medienkonferenz vom 19. März 1998. Vereinigung Schweizer Bio-Landbauorganisationen, Basel.
- 57 Butcher, M. A., Judd, P. A., Caygill, C., Peach, S. and Diplock, A. T.: Current selenium content of foods and estimation of average intake in the United Kingdom. *Proc. Nutr. Soc.* **54**, 131A (1995).
- 58 Läubli, A.: Selenium in plants: uptake, functions, and environmental toxicity. *Bot. Acta* **106**, 455–468 (1993).
- 59 Zheng, J., Goessler, W. and Kosmus, W.: The chemical forms of selenium in selenium nutritional supplements: an investigation by using HPLC/ICP/MS and GF/AAS. *Trace Elem. Electrolytes* **15**, 70–75 (1998).
- 60 Hakkarainen, J.: Bioavailability of selenium. In: Frøslie, A. (ed), Problems on selenium in animal nutrition. *Norw. J. Agric. Sci., Supplm. No. 11*, 21–35 (1993).
- 61 Syrjäla-Quist, L. and Aspila, P.: Selenium fertilization in Finland: effect on milk and beef production. In: Frøslie, A. (ed) Problems on selenium in animal nutrition. *Norw. J. Agric. Sci., Supplm. No. 11*, 159–167 (1993).
- 62 Ekholm, P., Varo, P., Aspila, P., Koivistoinen, P. and Syrjala-Qvist, L.: Transport of feed selenium to different tissues of bulls. *Br. J. Nutr.* **66**, 49–55 (1991).
- 63 Jenkins, K.J. and Winter, K.A.: Effects of supplementation of naturally high selenium swine rations on tissue levels of the element. *Can. J. Anim. Sci.* **53**, 561–567 (1973).
- 64 Ku, P.K., Miller, E.R., Wahlstrom, R. C., Groce, A. W., Hitchcock, J.P. and Ullrey, D.E.: Selenium supplementation of naturally high selenium diets for swine. *J. Anim. Sci.* **37**, 501–505 (1973).
- 65 Ku, P.K., Ely, W.T., Groce, A. W. and Ullrey, D.E.: Natural dietary selenium, α -tocopherol and effect on tissue selenium. *J. Anim. Sci.* **34**, 208–211 (1972).
- 66 Poulsen, H.D.: Selenium supplementation in pigs. In: Frøslie, A. (ed.), Problems on selenium in animal nutrition. *Norw. J. Agric. Sci., Supplm. No. 11*, 190–197 (1993).
- 67 Latshaw, J.D.: Natural and selenite selenium in the hen and egg. *J. Nutr.* **105**, 32–37 (1975).
- 68 Mahan, D.C. and Parret, N.A.: Evaluating the efficacy of selenium-enriched yeast and sodium selenite on tissue selenium retention and serum glutathione peroxidase activity in grower and finisher swine. *J. Anim. Sci.* **74**, 2967–2974 (1996).
- 69 Conrad, H.R. and Moxon, A.L.: Transfer of dietary selenium to milk. *J. Dairy Sci.* **62**, 404–411 (1978).

- 70 Suorante, K., Sinda, E. and Pihlak, R.: Selenium of the selenium yeast enters the cow's milk. In: Frøslie, A. (ed), Problems on selenium in animal nutrition. Norw. J. Agric. Sci., Supplm. No. 11, 215–216 (1993).
- 71 Latshaw, J. P. and Osman, M.: Distribution of selenium in egg white and yolk after feeding natural and synthetic selenium compounds. Poultry Sci., 54, 1244–1252 (1975).
- 72 Boltshauser, M. und Kessler, J.: Verwertung von Selen unterschiedlicher Herkunft durch den Wiederkäuer. Landw. Schweiz 3, 59–63 (1990).
- 73 Koutnik, V. and Ingr, I.: Fleisch als Selenquelle in der menschlichen Ernährung. Fleischwirtschaft 78, 534–536 (1998).
- 74 Venäläinen, E.R., Hirvi, T. and Hirn, J.: Effect of selenium supplementation on the selenium content in muscle and liver of Finnish pigs and cattle. J. Agric. Food Chem. 45, 810–813 (1997).
- 75 Gamerith, W., Lichtenegger, F., Schindler, E. und Steindl, W.: Selengehalt in Fleisch und Nieren von Rindern und Schweinen in der Steiermark. Fleischwirtschaft 71, 1343–1345 (1991).
- 76 Maus, R.W., Martz, F.A., Belyea, R.L. and Weiss, M.F.: Relationship of dietary selenium to selenium in plasma and milk from dairy cows. J. Dairy Sci. 63, 532–537 (1980).
- 77 Smith, A. M.: Maternal selenium intake, milk content, and neonatal selenium status in the rat. In: Combs, G. F., Jr., Spallholz, J.E., Levander, O. A. and Oldfield, J. E. (eds.), Selenium in biology and medicine, Part B, p. 793–804, AVI by van Nostrand, New York 1987.
- 78 Zoller, O., Zimmerli, B., Sager, F., Guidon, D. und Gutzwiller, A.: The transfer of Δ^9 -tetrahydrocannabinol (THC) to cow's milk. In preparation.
- 79 Guidon, D.: Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztiere, Posieux, persönliche Mitteilung, März 1999.
- 80 Ammerman, C.B., Chapman, H.L., Bouwman, G.W., Fontenot, J.P., Bagley, C.P. and Moxon, A.L.: Effect of supplemental selenium for beef cows on the performance and tissue selenium concentrations of cows and suckling calves. J. Anim. Sci. 51, 1381–1386 (1980).
- 81 Zuberbühler, Ch.: Institut für Nutztierwissenschaft, ETH Zürich (C. Wenk), Diss. In Vorbereitung.
- 82 Knowles, S. O., Grace, N. D., Wurms, K. and Lee, J.: Significance of amount and form of dietary selenium on blood, milk and casein selenium concentrations in grazing cows. J. Dairy Sci. 82, 429–437 (1999).
- 83 Bürgi, H.: Jodversorgung der schweizerischen Bevölkerung. In: Keller, U., Lüthy, J., Amadò, R., Battaglia-Richi, E., Battaglia, R., Casabianca, A., Eichholzer, M., Rickenbach, M. und Sieber, R. (Hrsg.), Vierter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 64–73. EDMZ, Bern (1998).

Korrespondenzadresse: Max Haldimann, Bundesamt für Gesundheit,
Abteilung Lebensmittelwissenschaft, Sektion Lebensmittelchemie und -analytik,
CH-3003 Bern