

Zeitschrift:	Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
Herausgeber:	Bundesamt für Gesundheit
Band:	83 (1992)
Heft:	5
Artikel:	Gesetzliche Regelung von chemischen Kanzerogenen und Radionukliden in Lebensmitteln = Regulation of chemical carcinogens and radionuclides in food
Autor:	Zimmerli, B. / Bosshard, Elisabeth / Zeller, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-982272

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: 28.01.2026

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

Gesetzliche Regelung von chemischen Kanzerogenen und Radionukliden in Lebensmitteln

Regulation of Chemical Carcinogens and Radionuclides in Food

B. Zimmerli, Elisabeth Bosshard und W. Zeller

Bundesamt für Gesundheitswesen, Bern

Einleitung

Der Mensch ist seit jeher natürlichen krebserzeugenden Einflüssen ausgesetzt. Neben der ionisierenden Strahlung kann die Nahrung krebserzeugende Stoffe enthalten, zudem werden im Körper selbst solche Stoffe gebildet. Durch die 1986 verursachte Reaktorkatastrophe in Tschernobyl ist die Strahlenexposition durch Radionuklide in Lebensmitteln stärker ins Zentrum öffentlicher Diskussionen gerückt. Obwohl die Schweiz als eines der wenigen europäischen Länder über ein Dosis-Massnahmen-Konzept für Unfallsituationen mit Radioaktivitätsfreisetzungen verfügte (1), zeigten sich in der organisatorischen, administrativen und politischen Bewältigung der Auswirkungen der Tschernobyl-Katastrophe verschiedene Mängel. Das erwähnte flexible Konzept erwies sich im Zusammenhang mit kontaminierten Lebensmitteln für einen wirksamen Gesundheitsschutz zwar als ausreichend, war aber für die Öffentlichkeit unverständlich. Dies vor allem beim Vergleich mit ausländischen Regelungen, welche die Festlegung von Grenzwerten für Radionuklide in Lebensmitteln bevorzugten. In der Folge wurde vor allem von Seiten der Kantonschemiker, aber auch der Lebensmittelindustrie, gefordert, dass für Radionuklide in Lebensmitteln Höchstkonzentrationen festzulegen sind (2).

Das neue Strahlenschutzgesetz schreibt deshalb in Artikel 18 u. a. zwingend vor, dass für Radionuklide in Lebensmitteln Toleranz- und Grenzwerte im Sinne des Lebensmittelgesetzes festzulegen sind. Bei der Festlegung der Grenzwerte soll derselbe Gesundheitsschutz angestrebt werden wie bei anderen krebserzeugenden (chemischen) Stoffen in Lebensmitteln (2, 3). Die Forderung beinhaltet nicht nur eine qualitative, sondern auch eine quantitative Vergleichbarkeit. Ob und wie diese Forderung erfüllt werden kann, soll in der vorliegenden Arbeit diskutiert werden. Die Frage der Vergleichbarkeit ist nicht neu, doch wurde sie bisher nie abschließend wissenschaftlich und politisch diskutiert (4–8)¹.

Nachstehend sollen deshalb die gesundheitspräventiven Überlegungen, Konzepte und deren Bedeutung, wie sie bei der lebensmittelrechtlichen Beurteilung chemischer Stoffe in Lebensmitteln in den letzten Jahren vermehrt angewendet wurden, dargestellt und mit jenen des Strahlenschutzes verglichen werden.

Konzepte des Gesundheitsschutzes

Das erste eidgenössische Lebensmittelgesetz stammt aus dem Jahre 1905 und wurde nach einer Referendumsabstimmung 1909 in Kraft gesetzt (9). Ziel dieses in erster Linie für den Konsumenten bestimmten Gesetzes ist der Gesundheitsschutz (Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände) und der Schutz vor Täuschungen im Lebensmittelbereich. Näheres dazu wurde in der Folge in verschiedenen bundesrätlichen und departementalen Verordnungen festgelegt. Der Vollzug wurde den Kantonen übertragen, von denen einige bereits im letzten Jahrhundert über entsprechende Laboratorien verfügten (kantonale Laboratorien, Kantonschemiker).

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde im Hinblick auf die vermehrte technische Nutzung der Radioaktivität 1959 das Bundesgesetz über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz geschaffen (10). Der Strahlenschutz, der insbesondere die Exposition in der Medizin und bei anderen beruflich Exponierten berücksichtigt, wurde in einer Verordnung des Bundesrates (Strahlenschutzverordnung) sowie in einigen departementalen Verordnungen geregelt. In der Strahlenschutzverordnung (11) war auch die Kompetenz zur Festlegung von Gehaltsnormen für Radionuklide in Lebensmitteln festgelegt. Der Vollzug der Strahlenschutzgesetzgebung verblieb beim Bund.

Das neue Strahlenschutzgesetz (3) wurde am 22. März 1991 vom Parlament verabschiedet, und das Lebensmittelgesetz (12) wird derzeit revidiert, wobei nach den Erfahrungen mit Tschernobyl im erstgenannten der Schutz der allgemeinen Bevölkerung einen grösseren Raum einnimmt als bisher. Zudem wird die Kontrolle der Radioaktivität der Lebensmittel neu den Kantonen übertragen. Eine der im vorliegenden Zusammenhang wesentlichsten Änderungen im Entwurf des neuen Lebensmittelgesetzes stellt die Verankerung des Begriffs der technisch unvermeid-

¹ Es ist bekannt, dass die wissenschaftlichen Beurteilungsgrundlagen für die Abschätzung des Risikos für den Menschen durch ionisierende Strahlung erheblich fundierter sind als jene für die Risikobeurteilung der meisten chemischen Stoffe. Die strahlenbiologische Forschung hat bald nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen, d. h. um die Jahrhundertwende, eingesetzt. Entsprechende Risiken durch chemische Stoffe wurden erst seit etwa den 60er Jahren in ähnlich gründlicher Weise behandelt. So lag bereits früher der Gedanke nahe, die Erfahrungen auf dem Gebiet der Strahlenrisiken für eine Abschätzung chemischer Risiken nutzbar zu machen, d. h. diese als Vorbild zu benutzen. Allerdings sind die Probleme hier komplexer, da die Zahl der chemischen Stoffe sehr gross und ihre Wirkungsmechanismen sehr unterschiedlich sind. Dies im Gegensatz zur Strahlung, wo ein einheitlicher Mechanismus vorliegt (17).

baren Rückstände dar, wie sie z. B. bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln bei der Lebensmittelproduktion entstehen können (Reinheitskriterium). Bisher war der Gesundheitsschutz das einzige gesetzlich abgestützte Kriterium bei der Festlegung von Gehaltsnormen für solche Stoffe. Von Bedeutung ist auch, dass im neuen Lebensmittelgesetz Radionuklide speziell erwähnt und zu den sogenannten Fremdstoffen gezählt werden. Fremdstoffe sind Stoffe, die natürlicherweise in Lebensmitteln nicht vorkommen (z. B. Pestizide, künstliche Radionuklide)².

In der Gesetzgebung über die nutzbringenden Anwendungen der Strahlung (oder der Radioaktivität) wird grundsätzlich das gleiche Schutzziel angestrebt wie bei der Gesetzgebung über chemische Stoffe (Tabelle 1), nämlich die Exposition des Menschen möglichst gering zu halten (ALARA-Prinzip: *as low as reasonably achievable*). Eine Strahlenexposition (z. B. im Beruf, Medizin) wird nur dann in Kauf genommen, wenn der Anwendung der Strahlung auch ein entsprechender Nutzen gegenübersteht. Desgleichen wird die Exposition durch einen Lebensmittelzusatzstoff oder einen Pflanzenschutzmittelrückstand nur dann toleriert, wenn die Anwendung solcher Stoffe mit einem Nutzen verbunden ist. Die zulässige Exposition wird auf die «technisch notwendige Menge» bzw. «technisch unvermeidbaren Rückstände» begrenzt. Allfällige behördliche Massnahmen zur Limitierung von chemischen Noxen (z. B. Pflanzenschutzmittelrückstände) wie auch zur Beschränkung der Strahlenexposition folgen also dem gleichen Grundprinzip («So wenig wie möglich», vorsorglicher Gesundheitsschutz).

Während die zulässige Exposition bei der absichtlichen Anwendung der Strahlung oder von chemischen Stoffen zum voraus frei wählbar ist, trifft dies bei Unglücksfällen oder bei einer in der Umwelt bereits vorhandenen Kontamination nicht mehr zu. In solchen Fällen müssen bei der Limitierung der Exposition der Bevölkerung gegenüber künstlichen Radionukliden oder chemischen Stoffen, neben dem Gesundheitsschutz, auch die Kontaminationslage bzw. die Eingreifmöglichkeiten mitberücksichtigt werden, wobei die Verhältnismässigkeit allfälliger Massnahmen gewahrt werden muss. Das Ziel Gesundheitsschutz kann demnach nicht allein durch die Anwendung klar definierter, absoluter Kriterien erreicht werden, sondern nur durch die Ableitung realistischer Bewertungsmassstäbe, die unter Umständen zu unterschiedlichen Kriterien führen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor ionisierender Strahlung und chemischen Stoffen existierenden Gesetze. Während bei chemischen Stoffen mindestens fünf Gesetze (und entsprechende Verordnungen) Anwendung finden, ist es im Fall der ionisierenden Strahlung nur ein einziges, welches gleichzeitig den Schutz der Allgemeinbevölkerung, der beruflich Exponierten sowie der Patienten sicherstellt. Die Strahlenexposition durch künstliche und natürliche Radionuklide in Lebensmitteln sollte daher nicht isoliert, sondern im Zusammenhang mit der gesamten Exposition, d. h. im Sinne eines ganzheitlichen Konzeptes, betrachtet und gesetzlich geregelt werden.

² Als Fremdstoffe werden auch natürlich vorkommende Stoffe (Inhaltsstoffe), z. B. Cadmium oder Nitrat betrachtet, wenn sie in «erhöhten Mengen» in Lebensmitteln enthalten sind.

Tabelle 1. Schutz des Menschen vor chemischen Stoffen und ionisierender Strahlung: gesetzliche Regelungen des Bundes¹

Ionisierende Strahlung	Chemische Stoffe
Strahlenschutzgesetz (StSG)	Arbeitsgesetz (ArG) Unfallversicherungsgesetz (UVG) Lebensmittelgesetz (LMG) Umweltschutzgesetz (USG) Giftgesetz (GG) Betäubungsmittelgesetz (BetmG) Heilmittelgesetzgebung ² (IKS)

¹ Beinhaltet auch die entsprechenden bundesrätlichen und departementalen Verordnungen.

² Kantonal geregelt.

Im Hinblick auf die Festlegung von Gehaltsnormen für Radionuklide in Lebensmitteln sind folgende Unterschiede zwischen der Strahlenschutz- und Lebensmittelgesetzgebung von Bedeutung:

- Bei der absichtlichen Strahlen- oder Radioaktivitätsanwendung ist es im Strahlenschutz international üblich, das Ausmass des Gesundheitsschutzes im Sinne einer Konvention gesetzlich quantitativ vorzugeben (Dosisbegrenzung). Infolge der einheitlichen Qualität der Schädigungen ist es approximativ möglich, die Strahlendosen verschiedener Quellen (intern und extern) zu addieren und das Gesamtrisiko abzuschätzen.
Da die Anzahl der kanzerogenen, chemischen Stoffe in Lebensmitteln einerseits nicht bekannt und andererseits kein einheitlicher Schaden definierbar ist, kann das Ausmass des Gesundheitsschutzes auch nicht gesetzlich vorgegeben werden. Üblicherweise werden Einzelstoffbeurteilungen vorgenommen.
- Neben der Festlegung von Gehaltsnormen für Radionuklide in Lebensmitteln erlaubt die Strahlenschutzgesetzgebung auch die Festlegung von Emissions- und Immissionsnormen für Betriebe, die mit radioaktiven Stoffen umgehen. Diese Normen dürften weitgehend die Gehalte der Lebensmittel an den entsprechenden Radionukliden mitbestimmen, d. h. dass die Normen für die zulässigen Radionuklidgehalte der Lebensmittel mit den Emissions- und Immissionsgrenzwerten ein konsistentes System bilden sollten. Für nicht-radioaktive gesundheitsgefährdende Stoffe geschieht die Festlegung von Emissions- und Immissionsnormen auf Basis der Umweltschutzgesetzgebung und jene für die zulässigen Gehalte der Lebensmittel an solchen Stoffen auf Basis der Lebensmittelgesetzgebung. Eine entsprechende «Abstimmung» der jeweiligen Normen ist in der Gesetzgebung nicht vorgesehen!
- Die bisherige Lebensmittelgesetzgebung erlaubte auf der Ebene Lebensmittel nur dann Massnahmen durch die kantonalen Kontrollorgane, wenn sich die Lebensmittel im lebensmittelrechtlichen Sinne im Verkehr befanden³. Demgegenüber erlaubt die Strahlenschutzgesetzgebung Eingriffe oder Massnahmen

auf verschiedenen Ebenen. Exemplarisch bedeutet dies, dass die Organe der Lebensmittelkontrolle erst dann Massnahmen ergreifen können, wenn z. B. bei einem in den Verkehr gebrachten Lebensmittel eine gesetzliche Gehaltsnorm überschritten ist. Die allfällige Massnahme des Kantonschemikers richtet sich dabei gegen den Inverkehrbringer des betreffenden Lebensmittels (indirekter Eingriff). Die anders strukturierte Strahlenschutzgesetzgebung erlaubt es demgegenüber, bereits vor der Überschreitung einer allfälligen Gehaltsnorm einzuschreiten (z. B. bei erhöhter Radioaktivität der Luft), und zwar direkt beim Verursacher der allfälligen Kontamination (direkter Eingriff).

- Der individuelle Schutz scheint im Strahlenschutzgesetz stärker ausgeprägt zu sein als im Lebensmittelgesetz. Während das Lebensmittelgesetz primär den Konsumenten schützt (Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände, die in den Verkehr gebracht werden), wird im Strahlenschutz auch die Einzelperson erfasst, indem Massnahmen ergriffen werden können, die auch den Selbstanwender schützen. Mit dem damaligen Fischereiverbot im Lagonersee infolge Tscher-nobyl-Fallout wurde z. B. auch derjenige geschützt, der die gefangenen Fische selbst verzehrte. Nach dem Lebensmittelgesetz hingegen wäre nur das Inverkehrbringen (siehe Fussnote 3) der Fische, die überhöhte Radionuklide gehalte aufwiesen, zu verhindern gewesen. In diesem Sinne sieht der Entwurf zur neuen Strahlenschutzverordnung eine Begrenzung der Radonkonzentrationen auch in selbstbewohnten Häusern vor.

Da das neue Strahlenschutzgesetz die Lebensmittelgesetzgebung als Vorbild für die Limitierung der Radionuklide der Lebensmittel benutzt, muss bei der Ableitung der entsprechenden Toleranz- und Grenzwerte, die im Lebensmittelgesetz umschrieben sind, nach den Prinzipien der Lebensmittelgesetzgebung vorgenommen werden: Exposition ausschliesslich via Lebensmittel, gesundheitliche Beurteilung des Einzelstoffes und Anwendung des Reinheitsprinzipes (vergleiche zu diesem Abschnitt auch Anhang 1).

Kanzerogene in der Nahrung

Allgemeines

Bei der Kanzerogenese handelt es sich nach heutigem Verständnis um einen mehrstufigen Prozess, dessen Mechanismen noch nicht vollständig erklärt werden können. Die Exposition gegenüber ionisierender Strahlung wie auch gegenüber

³ Unter Inverkehrbringen ist das Gewinnen, Herstellen, Lagern oder Ankündigen zum Zwecke des Verkaufes sowie das Einführen (Importieren), Feilhalten und Verkaufen zu verstehen. Nach dem Entwurf des neuen Lebensmittelgesetzes untersteht diesem neu auch die landwirtschaftliche Produktion, soweit sie der Herstellung von Lebensmitteln dient (12).

gewissen chemischen Stoffen sowie insbesondere die genetische Veranlagung können das Risiko einer Krebsentstehung erhöhen. Wie nachstehend gezeigt, sind die natürlichen Belastungen mit kanzerogenen Stoffen und ionisierender Strahlung in der Regel von grösserer Bedeutung als die künstlichen.

In Lebensmitteln vorkommende, potentiell gesundheitsgefährdende, chemische Stoffe können im Tierversuch, wenn in genügender Menge verabreicht, sowohl reversible (z. B. Enzymhemmungen) wie auch irreversible (z. B. Krebsauslösung) Wirkungen zeitigen. Während die erstgenannten einen Schwellenwert in der Dosis-Wirkungskurve zeigen, trifft dies für genotoxische Kanzerogene nach der derzeit vorherrschenden Auffassung nicht zu. Genotoxische Kanzerogene verursachen schon in kleinster Dosierung irreversible Schädigungen der Erbsubstanz. Ionisierende Strahlung und somit auch mit der Nahrung inkorporierte Radionuklide wirken ebenfalls als genotoxische Kanzerogene. Für die zufallsbedingten (stochastischen) Schäden (Krebsentstehung, genetische Effekte, pränatale Kanzerogenese) der ionisierenden Strahlung wird gemäss heutiger Auffassung ebenfalls davon ausgegangen, dass auch bei sehr geringen Strahlenexpositionen zwischen der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schadens und der Dosis ein linearer Zusammenhang besteht. Biologische Daten liegen nur für den hohen Dosisbereich vor. Extrapolationen in den tiefen Dosisbereich führen somit zu hypothetischen Krebstodesfallrisiken. Die Forderung in Absatz 2 von Artikel 18 des neuen Strahlenschutzgesetzes, dass bei der Festlegung entsprechender Gehaltsnormen für Radionuklide in Lebensmitteln derselbe Gesundheitsschutz anzustreben sei wie bei anderen kreberzeugenden (chemischen) Stoffen, erscheint daher aus politischer Sicht nicht unvernünftig (2, 3).

Es wird vermutet, dass etwa ein Drittel aller Krebstodesfälle dem komplexen Faktor «Ernährung» (Alkohol ausgenommen) zugeordnet werden kann (13)⁴. Die dafür verantwortlichen Stoffe bzw. Stoffkombinationen sind aber weitgehend unbekannt. Grosses Gewicht kommt neben der eigentlichen Fehlernährung vermutlich der Überernährung (Gesamtenergiezufuhr) zu und nicht etwa der Anwesenheit einzelner heute bekannter Kanzerogene. Epidemiologische und tierexperimentelle Studien stützen diese Vermutung (14, 15). Eine die Tumorentstehung fördernde Wirkung einer Überernährung konnte auch bei bestrahlten Labortieren beobachtet werden (16). Epidemiologische Studien ergaben z. B. ebenfalls Zusammenhänge zwischen der Inzidenz von Brusstumoren bei Frauen bzw. Prostatatumoren bei Männern und der täglichen Fettzufuhr (18, 19). Daneben können auch unverdauliche Nahrungsfasern, welche die Verweilzeit der Nahrung im Darm beeinflussen, sowie die Darmflora eine Bedeutung bei der Entstehung von Tumoren des Verdauungstraktes haben (20). Hinzu kommt, dass auch im Körper selbst kanzerogene Stoffe gebildet und deren Wirkungen durch Nahrungsbestandteile beeinflusst werden (21–23).

⁴ Beispielsweise ist seit langem bekannt, dass Japaner, welche eine der höchsten Magenkrebsraten der Welt aufweisen, diese Eigenschaft in der zweiten und dritten Generation verlieren, wenn sie nach den USA auswandern, sich aber dann der hohen amerikanischen Kolonkarzinomhäufigkeit angleichen.

Aus epidemiologischen Studien und Tierversuchen ist bekannt, dass die Gesamtnahrung auch antikanzerogene Stoffe (z. B. Vitamine A, C und E, organische Schwefelverbindungen, aromatische Isothiocyanate, Indole, Selen) enthält (24–26); wobei einzelne dieser Stoffe in hohen Dosen bei Tieren ebenfalls zu Tumoren führen oder deren Entwicklung fördern können. Es muss daher die Frage gestellt werden, ob es bei der (lebensmittelrechtlichen) Beurteilung genotoxischer chemischer Kanzerogene weiterhin richtig ist, diese «isoliert», d. h. unabhängig von der gesamten Nahrungszusammensetzung, zu betrachten.

Die Art und Weise wie die Nahrung die Bildung von Tumoren und deren Wachstum beeinflusst, ist aber nicht bekannt (z. B. gleichzeitiges Vorkommen von Initiatoren [genotoxische Stoffe], Promotoren, Antikanzerogenen sowie Immunabwehrveränderungen usw.). Es ist daher auch nicht möglich, die Summe der durch einzelne Stoffe bzw. Stoffkombinationen in der Nahrung bedingten natürlichen, unvermeidbaren Krebsrisiken abzuschätzen. Demgegenüber ist die natürliche Strahlenexposition bekannt, aus der sich das unvermeidbare hypothetische Krebsrisiko abschätzen lässt. Eine solche Vergleichsgröße steht für natürlich vorkommende chemische Stoffe bzw. die Nahrung im allgemeinen nicht zur Verfügung.

Vorkommen und Zufuhr von Kanzerogenen

Chemische Kanzerogene

Genotoxische kanzerogene chemische Stoffe werden Lebensmitteln in der Regel weder absichtlich zugesetzt (z. B. Zusatzstoffe, Pestizide) noch im Lebensmittelbereich (im weitesten Sinne wie z. B. Tierarzneimittel, Desinfektionsmittel) verwendet. Gemäss der heutigen Sicht sind auch geringste Mengen solcher Stoffe in der menschlichen Nahrung prinzipiell unerwünscht.

Allfällige Probleme mit genotoxischen Kanzerogenen in Lebensmitteln ergeben sich folglich insbesondere bei natürlichen Inhaltsstoffen (z. B. Pyrrolizidin-Alkalioide, Agaritin, Gyromitrin) und solchen, die aus der Umwelt in die Lebensmittel gelangen (z. B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) oder in diesen chemisch (z. B. Nitrosamine, Ethylcarbamat, Chlorpropanole, heterozyklische aromatische Amine) oder biologisch (z. B. Mykotoxine) gebildet werden (Kontaminanten).

Die Zahl der natürlichen Inhaltsstoffe von Lebensmitteln, insbesondere solcher aus dem Pflanzenreich, ist sehr gross, ebenso die Zahl der Mykotoxine, die als Kontaminanten auftreten können. Dank den Fortschritten der analytischen Chemie werden ständig neue, biologisch wirksame Naturstoffe gefunden und identifiziert. Nur ein geringer Teil der von ihrer chemischen Struktur her verdächtigen Naturstoffe wurde auf ihre kanzerogene Wirkung geprüft. Dabei erwies sich etwa die Hälfte im chronischen Tierversuch, wie er auch zur Beurteilung künstlicher chemischer Stoffe durchgeführt wird, als kanzerogen (27, 28). Eine Quantifizierung der Exposition ist aber mangels Daten bis heute nicht möglich.

Radionuklide

Seit jeher ist der Mensch ionisierender Strahlung ausgesetzt: Strahlung aus dem Weltraum (u. a. beeinflusst durch die Höhe über Meer und die Sonnenaktivität), Strahlung aus dem Erdboden (beeinflusst durch Gesteinsuntergrund) sowie die interne Strahlung infolge mit der Nahrung inkorporierter natürlich vorkommender Radionuklide (beeinflusst durch Geologie des Untergrundes und der Verzehrgewohnheiten). Da in Gebäuden eine Anreicherung natürlicher Radioaktivität stattfindet (Radon und seine Zerfallsprodukte), führen die heutigen Lebensgewohnheiten zu einer zusätzlichen, relativ hohen Strahlenexposition. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die mittlere natürliche Strahlenbelastung der schweizerischen Wohnbevölkerung (6, 29, 52).

Neben der natürlichen Strahlenexposition besteht auch eine künstliche durch Radionuklide aus den Atombombenexplosionen und vom Tschernobyl-Unfall (vor allem Cs¹³⁷). Diese wurden ähnlich wie auch gewisse chemische Stoffe (Organochlorpestizide, polychlorierte Biphenyle, «Dioxine», Blei und Cadmium) weltweit aus der Atmosphäre abgelagert und sind als Kontaminanten zu betrachten. Für die Schweiz beträgt ihr mittlerer Beitrag zur Strahlendosis gegenwärtig weniger als 0,04 mSv/Jahr (vorwiegend durch externe Strahlung aus dem Boden), d. h. weniger als 1% der natürlichen Exposition. Dazu kommen weitere Beiträge, die in unmittelbarer Nähe von Kernkraftwerken im Normalfall für Einzelpersonen auf theoretisch maximal 0,2 mSv/Jahr, entsprechend etwa 5% der mittleren natürlichen Dosis, ansteigen können (29)⁵.

Die durch das Fliegen in grosser Höhe resultierende Strahlendosis wird für die Schweizer Bevölkerung im Mittel zwar kleiner als 0,1 mSv/Jahr geschätzt, kann jedoch in Einzelfällen leicht auf 2–3 mSv/Jahr ansteigen (z. B. pro Jahr 50 Flüge USA und zurück), d. h. zu einer Verdoppelung der natürlichen Strahlenexposition führen. Würde in nur 10 km Höhe statt in 19 km geflogen, wäre die Strahlenexposition und somit das entsprechende hypothetische Krebsrisiko nur etwa die Hälfte (vgl. Vermeidbarkeit), der Treibstoffverbrauch jedoch höher (6).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass unter normalen Umständen die natürliche Strahlenexposition die künstliche bei weitem übertrifft, wenn die medizinische Anwendung der Strahlung unberücksichtigt bleibt. Ganz ähnlich ist die Situation bei chemischen Kanzerogenen mit dem Unterschied, dass das Risiko durch die natürliche Strahlenexposition quantifiziert werden kann, jenes durch die Nahrung aber nicht.

⁵ Den grössten Beitrag zur künstlichen Strahlenexposition liefert mit im Mittel rund 1,1 mSv/Jahr die Medizin (effektive Dosis, Erklärung s. unten) (6, 29). Beispielsweise ist pro Untersuchung mit folgenden Dosen zu rechnen (effektive Dosis): 0,05–0,1 mSv Zahn- und Thoraxaufnahmen, 0,1–1 mSv Schädel- und Wirbelsäuleaufnahmen, 1–5 mSv Lendenwirbelsäule, Computer-Tomographie und 5–10 mSv Kolonkontrasteinlauf (30). Den aus den entsprechend indizierten Untersuchungen resultierenden Strahlendosen muss aber das Risiko, welches aus einer unterlassenen Untersuchung resultieren kann, gegenübergestellt werden. In diesem Sinne verbietet das neue Strahlenschutzgesetz auch «unnötige Untersuchungen». Allerdings dürfte der Vollzug dieser Vorschrift nicht einfach sein.

Tabelle 2. Mittlere natürliche Strahlenexposition (effektive Dosis) der Schweizer Bevölkerung (6, 52)

Herkunft	Dosis (mSv / Mensch / Jahr)	Variation ¹
Terrestrische Strahlung ²	0,45	+++
Kosmische Strahlung ³	0,34	++
Interne Strahlung ⁴	ca. 0,38	++
Radon ⁵	ca. 2,20	+++++
Total	ca. 3,4	

¹ qualitativ: ++ gering bzw. +++++ sehr stark

² 0,3 mSv/Jahr (z. B. auf Kalkböden) bis 3 mSv/Jahr (z. B. Granit).

³ 0,37 mSv/Jahr (400 m ü. M.) bis 0,78 mSv/Jahr (2000 m ü. M.).

⁴ Davon allein 0,16 mSv/Jahr durch K⁴⁰ (0,012% des Gesamtkaliums, entsprechend 31 Bq K⁴⁰/g Gesamtkalium) und Nuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihe.

⁵ Die häufigsten Werte liegen im Bereich von 0,7–5 mSv/Jahr (Mittelwerte: Alpen, Jura > Südalpen, Voralpen > Mittelland).

Beurteilungsgrundlagen

Grundprinzipien (Toleranz- und Grenzwerte)

Im Lebensmittelbereich ist es zum Zwecke des präventiven Gesundheitsschutzes seit langer Zeit weltweit üblich, für potentiell gesundheitsgefährdende chemische Stoffe in Lebensmitteln Gehaltsnormen (Höchstkonzentrationen) festzulegen. Die Schweiz ist das einzige Land, das dabei zwischen sogenannten Toleranz- und Grenzwerten unterscheidet (32)⁶. Diese Werte stellen in erster Linie Massnahmenhilfsmittel dar zur Reduktion bzw. zur Begrenzung der nahrungsbedingten Belastung des Menschen mit potentiell gesundheitsgefährdenden Stoffen. Mittels solcher Werte wird daher in der Lebensmittelgesetzgebung einerseits die Anwendung (z. B. Zulassung von Pestiziden) und andererseits das Vorkommen (z. B. Kontaminanten, Inhaltsstoffe) potentiell gesundheitsgefährdender chemischer Stoffe in Lebensmitteln geregelt. Für absichtlich im Lebensmittelbereich (im weitesten Sinne) eingesetzte Stoffe stellt daher die Festlegung von Höchstkonzentrationen indirekt eine Zulassung dieser Stoffe dar (81).

⁶ Dieses Konzept stammt ursprünglich aus der *Mikrobiologie*: Für pathogene Mikroorganismen und Bakterientoxine in Lebensmitteln, die zu akuten Erkrankungen führen, wurden *Grenzwerte* festgelegt. Ist der Grenzwert überschritten, ist das Produkt gesundheitsgefährdet, verdorben oder unbrauchbar. Für die übrigen ubiquitären Mikroorganismen, welche unvermeidbar in Lebensmitteln vorkommen können, wurden auf Basis der «guten Herstellungspraxis» Toleranzwerte definiert und festgelegt. Wird der Toleranzwert überschritten, so ist der Gebrauchswert eines Produktes stark vermindert (eingeschränkte Haltbarkeit und Verwendungsmöglichkeit wegen hoher Keimbelaistung) (31).

Absichtlich angewendete Stoffe

Bei der Ableitung von Höchstkonzentrationen für absichtlich im Lebensmittel-sektor angewendete Stoffe wird in der Regel davon ausgegangen, dass der Mensch (inkl. Säuglinge und Kinder) den betreffenden Stoffen täglich und lebenslänglich ausgesetzt ist. *Toleranzwerte* berücksichtigen dabei eher den Reinheitsaspekt eines Lebensmittels (Konsumentenerwartung), d. h. die technisch unvermeidbaren Rückstände bei «guter Herstellungspraxis», bzw. bei Kontaminanten vorwiegend die existierende Umweltsituation. *Grenzwerte* berücksichtigen eher die potentielle Gesundheitsgefährdung durch den betreffenden Stoff. Naturgemäß ist bei chemischen Stoffen, die eine chronisch toxische Wirkung entfalten können, die Abgrenzung zwischen einer effektiv existierenden Gesundheitsgefährdung und einer nur theoretisch möglichen weitaus schlechter definierbar als bei pathogenen Mikroorganismen und akut toxisch wirkenden Bakterientoxinen (vgl. Fussnote Nr. 6). Grenzwerte für chemische Stoffe müssen daher unter Berücksichtigung verschiedenster Aspekte, wobei selbstverständlich die mögliche Gesundheitsgefährdung im Vordergrund stehen muss, administrativ festgelegt werden, da der streng wissenschaftliche Beweis einer Gesundheitsgefährdung in der Regel nicht erbracht werden kann (81).

Die Art und Weise wie in der Schweiz Toleranz- und Grenzwerte für absichtlich im Lebensmittelsektor verwendete Stoffe festgesetzt werden, basiert einerseits auf dem meist an Labortieren ermittelten toxikologischen Profil des Stoffes, das durch die Abschätzung einer «*duldbaren Tagesdosis*» quantifiziert wird, und andererseits auf den bei vorschriftsgemässer Anwendung des betreffenden Stoffes entstehenden Rückständen in den Lebensmitteln (technisch unvermeidbare Rückstände). Unter Berücksichtigung der Verzehrmengen des bestreffenden Lebensmittels wird dabei in der Regel der höchste in Praxisversuchen gefundene Wert als Höchstkonzen-tration festgelegt, im Falle von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen meist als Toleranzwert oder, wenn das toxikologische Profil des Stoffes, dessen Rückstände sowie die Verzehrmenge dies erfordert, auch als Grenzwert. In der Schweiz wird bei der Festlegung solcher Werte in der Regel darauf geachtet, dass bei üblichen Verzehrs-mengen des betreffenden Lebensmittels die duldbare Tagesdosis nicht überschrit-tten wird. International vorgeschlagene Werte, z. B. solche des Codex Alimentarius, haben per Definitionem die Bedeutung eines Grenzwertes. Diese Art der Festle-gung von Toleranz- und Grenzwerten hat zur Folge, dass diese bei vorschriftsgemässer Anwendung des fraglichen Stoffes («gute Herstellungspraxis») kaum über-schritten werden können. Werden trotzdem Überschreitungen festgestellt, so deu-tet dies auf nicht vorschriftsgemäss oder missbräuchliche Anwendung hin («schlechte Herstellungs»- bzw. «schlechte Landwirtschaftspraxis»).

Kontaminanten

Handelt es sich um Stoffe, die nicht absichtlich im Lebensmittelsektor verwen-det werden, sondern die z. B. aus der Umwelt in die Lebensmittel gelangen können (Kontaminanten), muss bei der Ableitung entsprechender Werte anders vorgegan-gen werden. Die Gehalte der Lebensmittel an Kontaminanten zeigen fast stets eine sogenannte linkssteile Verteilung, was bedeutet, dass nur ein sehr geringer Teil der

Lebensmittel erhöhte, überdurchschnittliche Gehalte aufweist (z. B. solche, die aus der Nähe eines Industriebetriebes stammen). Die Erfahrung hat gezeigt, dass diese Situation als charakteristisch für Kontaminanten gelten kann. Durch die Festlegung von Toleranzwerten (falls aus Gründen des Gesundheitsschutzes nötig auch Grenzwerten) wird nun versucht, Lebensmittel, die Spitzengehalte aufweisen, zu eliminieren, was letztlich nur durch Eingriffe an der Quelle, die zur Kontamination der Lebensmittel führt, zu bewirken ist. Durch die Beanstandung der entsprechenden nicht konformen Lebensmittel wird also indirekt ein entsprechender Druck erzeugt. Im Gegensatz zur Strahlenschutzgesetzgebung, welche es gestattet, direkt auf allfällige Betriebe, die Radioaktivität abgeben, Einfluss zu nehmen, erlaubt die Lebensmittelgesetzgebung bei Betrieben, die direkt nichts mit Lebensmitteln zu tun haben, nur Massnahmen auf der Ebene Lebensmittel⁷.

Es ist einleuchtend, dass die Art der Ableitung von Toleranzwerten (und in gewissen Fällen von Grenzwerten) für Kontaminanten das Vorliegen eines guten Datenmaterials über Gehaltszahlen des fraglichen Stoffes bedingt (Kenntnis der Kontaminationssituation). In der Praxis werden Toleranzwerte für Kontaminanten im Gegensatz zu jenen für absichtlich angewendete Stoffe arbiträr so angesetzt, dass sie in der Regel 90–95% der gemessenen Gehaltszahlen abdecken. Es ist üblich, solche Werte der Kontaminationslage anzupassen, d. h. diese bei einer Verbesserung der Situation zu senken.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass durch dieses arbiträre Vorgehen gewisse Kontaminationsquellen erkannt und diese in der Folge beeinflusst oder beseitigt werden konnten. Orientieren sich entsprechende Toleranzwerte nicht an der gegebenen Kontaminationssituation, erfüllen sie keinen vernünftigen Zweck: Ist der entsprechende Toleranzwert zu hoch angesetzt, erfüllen ihn alle Lebensmittel und Beanstandungen werden hinfällig. Ist er andererseits zu tief festgelegt, kann er zu künstlichen Problemen führen, da die Vollzugsorgane bei Überschreitungen verpflichtet sind, sehr viele Beanstandungen auszusprechen. Obwohl ein Toleranzwert wenig mit Gesundheitsschutz zu tun hat, kann in der Öffentlichkeit dann leicht der Eindruck entstehen, dass infolge der vielen Toleranzwertüberschreitungen ein ernstes Gesundheitsproblem vorliegt (z. B. Spuren von Herbiziden in Trinkwasser).

Überschreitungen von Toleranzwerten führen zur Beanstandung, solche von Grenzwerten zur Beschlagnahmung des Lebensmittels. Wird ein Grenzwert überschritten, gilt das Lebensmittel als für den menschlichen Verzehr ungeeignet (32). Da für einen bestimmten Stoff der Toleranzwert stets tiefer angesetzt ist als der Grenzwert, können Toleranzwerte für den Warenbesitzer, der Lebensmittel in Verkehr bringt, auch eine «Warnfunktion» erfüllen. Nach dem Entwurf des neuen Lebensmittelgesetzes können die Vollzugsorgane auch Auflagen über die Verwertung eines Lebensmittels oder dessen Beseitigung (Einziehung) anordnen, wenn ein Toleranzwert wiederholt missachtet wird (12).

⁷ Nach dem Entwurf des neuen Lebensmittelgesetzes können die Kantonschemiker neu insbesondere auch landwirtschaftlich genutzte Böden beanstanden und sogar deren Nutzung dauernd oder für eine bestimmte Zeit verbieten (12).

Im Anhang 2 findet sich eine ausführliche Diskussion zur Abschätzung von gesundheitlichen Risiken durch chemische Stoffe in Lebensmitteln. Dabei wird insbesondere auf die Abschätzung von Zufuhrmengen unter Berücksichtigung der Verzehrsgewohnheiten und die dabei auftretenden Probleme eingegangen.

Chemische Kanzerogene

Für praktisch alle genotoxischen Kanzerogene, die in Lebensmitteln eine Rolle spielen können, resultiert der Hinweis auf ihre Wirkung aus Tierexperimenten. Dies im Unterschied zur Wirkung der Strahlung, für die auch Daten am Menschen vorliegen. Relativ hohe Dosen sind häufig notwendig, um im Tierexperiment Effekte zu beobachten, da die Krebsentstehung ein seltenes Ereignis ist und das Beobachtungskollektiv nicht beliebig gross sein kann⁸. Einzig für die im Tierversuch Leberkrebs induzierenden Aflatoxine liegen auch epidemiologische Studien vor, deren Aussagekraft aber infolge zusätzlicher Variablen (z. B. Hepatitisviren) beschränkt ist. Nachteile von tierexperimentellen Daten sind die Unsicherheit bei der Übertragung der Ergebnisse auf den Menschen sowie Probleme der Extrapolation vom hohen in den extrem tiefen, für den Menschen relevanten Dosisbereich. Der Metabolismus solcher Stoffe im Körper und ihr Wirkungsmechanismus sind meist unbekannt. Noch weniger bekannt sind die Veränderungen im Genom und deren biologische Auswirkungen (Tumorbiologie). Deren Kenntnisse würde die Übertragung der Ergebnisse des Tierversuchs auf den Menschen erleichtern.

Echte biologisch festgestellte oder begründbare Beziehungen zwischen Dosis und Effekt gibt es im ganz tiefen Dosisbereich (noch) nicht. Zur Extrapolation der im Tierversuch bei hohen Dosen beobachteten Tumorzidenzen über mehrere Größenordnungen hinweg dienen daher verschiedene mathematische Modelle (Kurvenanpassung). Die Ergebnisse solcher Modellrechnungen bei der Extrapolation in den tiefen Dosisbereich können sich, je nach Modell, Substanz und Datenmaterial, bis um mehrere Größenordnungen voneinander unterscheiden, wie das am Beispiel von Ethylcarbamid gezeigt wurde (33). Von behördlicher Seite wird für einzelne Stoffe am häufigsten das Linearitätsmodell (41) als das vermutlich konservativste gewählt, wobei gemäss den heutigen Gepflogenheiten als Zielvorgabe, insbesondere bei absichtlich angewendeten oder durch technische bzw. technologische Massnahmen vermeidbaren Stoffen, ein Krebsrisiko von $\leq 1 \cdot 10^{-6}$ pro Stoff bei lebenslanger Exposition willkürlich vorgegeben wird; d. h., dass maximal ein zusätzlicher Krebsfall auf eine Million lebenslang Exponierter als gesellschaftlich tolerierbar betrachtet wird (34–36). Die dem akzeptablen Risiko entsprechende Dosis wird häufig als «*virtuell sichere Dosis*» bezeichnet⁹. Aus dieser werden unter Berücksichtigung des Vorkommens in den verschiedenen Lebensmitteln und den entsprechenden Verzehrsmengen die Grenzwerte berechnet.

⁸ Der Tierversuch umfasst aus praktischen Gründen nur eine sehr beschränkte Anzahl Tiere, so dass zur Erzielung eines statistisch signifikanten Effektes gegenüber den Kontrollgruppen hohe Dosen (die ohne Lebensverkürzung gerade noch ertragen werden) des zu untersuchenden Stoffes verabreicht werden müssen. Im allgemeinen sind erst Inzidenzerhöhungen im Bereich von 5–10% statistisch abgesichert.

Für Stoffe, die absichtlich im Lebensmittelbereich im weitesten Sinne eingesetzt werden, kann die Anwendung dieses Konzeptes als Grundlage für lebensmittelrechtliche Massnahmen nach wie vor gerechtfertigt werden. Dasselbe gilt für Stoffe, die bei der Herstellung von Lebens- und Genussmittel gebildet werden, deren Konzentrationen sich aber erwiesenmassen durch technische Eingriffe ohne geschmackliche und sensorische Qualitätsverluste erniedrigen lassen (z. B. Chlorpropanole in Würzen). Bei allen anderen Stoffen, insbesondere bei Naturstoffen, kann dieses Konzept, wie nachstehend gezeigt wird, nicht unbesehen angewendet werden. Eine allzu sture Anwendung dieses Konzeptes würde zu unverhältnismässigen oder gar unsinnigen, dem Konsumenten nicht verständlichen Entscheiden führen (z. B. Verbote wertvoller Lebensmittel oder gewisser Genussmittel).

Neben dem genannten Akzeptanzkriterium eines Krebsrisikos von $\leq 1 \cdot 10^{-6}$ muss bei der Ableitung von Gehaltsnormen auch die Vermeidbarkeit sowie die Möglichkeit einer Gehaltsreduktion miteinbezogen werden, damit die Verhältnismässigkeit der gesetzlichen Regelung sichergestellt ist. Bei nicht oder bei schwer vermeidbaren Stoffen aus der Natur oder der Umwelt müssen unter Umständen auch höhere hypothetische Krebsrisiken pro Leben als 10^{-6} , z. B. solche im Bereich von 10^{-4} , in Kauf genommen werden, eventuell mindestens zeitlich begrenzt (39). Beispielsweise entsprechen auch die von der WHO vorgeschlagenen Richtwerte für Kanzerogene in Trinkwasser, die bei der Chlorierung entstehen, häufig einem höheren Risiko als 10^{-6} pro Leben, z. B. einem solchen im Bereich von 10^{-4} – 10^{-6} (40). Diesen theoretischen Risiken muss allerdings das Risiko schwerer Erkrankungen (z. B. Cholera, Typhus) bei nicht oder unvollständiger Chlorierung des Trinkwassers gegenübergestellt werden.

Da die Berechnungen der Krebsinzidenzen auf Extrapolationen basieren, müssen sie als hypothetische Krebsfälle bezeichnet werden. Ihre Aussagekraft ist zwar beschränkt, doch können sie einen Hinweis über die Größenordnung der möglichen Risiken für den Menschen geben und erlauben Risikovergleiche mit anderen

⁹ Dieses Konzept zur Beurteilung kanzerogener Stoffe in Lebensmitteln verdankt seine Entstehung u. a. der Deleany Clause (USA), welche 1958 ursprünglich für «kanzerogene» Zusatzstoffe (absichtliche Anwendung!) in Lebensmitteln eine «Nulltoleranz» festlegte. Man glaubte damals, dass sich in der Nahrung viele «künstliche» genotoxische Kanzerogene befinden. Diese Ansicht liess sich in der Zwischenzeit allerdings nicht erhärten. Mit den zunehmenden Fortschritten der chemischen Analytik, die gegenüber den 50er Jahren zur 1000 bis 10 000mal empfindlicheren Erfassung von Spurenstoffen geführt hat, wurden sowohl in Trinkwasser als auch Lebensmitteln eine Reihe von im Tierversuch kanzerogen wirkenden Stoffen gefunden, deren Gehalte, obwohl teilweise auch natürlicher Herkunft (z. B. kanzerogene Mykotoxine), geregelt werden mussten. Die Forderung der «Nulltoleranz» musste als unrealistisch betrachtet werden. Nicht zuletzt deshalb wurde von Mantel und Bryan das oben beschriebene Konzept der «virtuell sicheren Dosis» entwickelt (37). Mittlerweile wird das Konzept auch auf absichtlich im Lebensmittelbereich verwendete Stoffe, wie z. B. Tierarzneimittel, angewendet, wobei Risiko-/Nutzen-Überlegungen eine grosse Bedeutung zukommt (34–36). Bei der erstmaligen Diskussion dieses Konzepts für absichtlich angewendete Stoffe wurde für eine lebenslange Exposition ein Krebsrisiko von 10^{-8} zugrunde gelegt (37, 38).

Stoffen und daher auch die Festlegung von Prioritäten. Die Ableitung von Normen für genotoxische Kanzerogene ist folglich mit wissenschaftlichen Methoden allein (noch) nicht möglich, praktisch aber trotzdem notwendig. Das Verfahren, das zur Festlegung von Toleranz- und Grenzwerten für chemische Kanzerogene in Lebensmitteln führt, ist somit ein äusserst komplexer Prozess, wobei situations- und stoffspezifisch vorgegangen werden muss. Solche Werte müssen vom Gesetzgeber differenziert, unter Berücksichtigung von Nutzen-, Schaden- und Kostenabwägungen (Verhältnismässigkeit) sowie des «gesunden Menschenverstandes» evaluiert und administrativ festgelegt werden (35, 42, 43).

Anhand der Naturstoffe Aflatoxine, Hydrazine und Ethylcarbamat sowie der beim Braten von Fleisch gebildeten heterocyklischen aromatischen Amine werden im Anhang 3 einige Überlegungen zur Problematik lebensmittelrechtlicher Massnahmen bei genotoxischen kanzerogenen Stoffen exemplarisch dargestellt.

Bisher sind in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (32) bzw. Verordnung über die hygienisch-mikrobiologischen Anforderungen an Lebensmittel, Gebrauchs- und Verbrauchsgegenstände (31) für genotoxisch chemische Kanzerogene in Lebensmitteln ausschliesslich Grenzwerte festgelegt worden. Es spricht aber nichts dagegen, auch für solche Stoffe Toleranzwerte festzulegen, die z. B. 3- bis 10mal unterhalb des Grenzwertes anzusetzen wären. Dadurch würde das Ziel, den Menschen möglichst wenig mit solchen Stoffen zu belasten, erheblich besser realisiert als durch Grenzwerte allein.

Radionuklide

Die Strahlendosen werden gemäss den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) als *effektive Dosis* (früher: effektive Äquivalentdosis) in der Einheit Sievert (Sv) bzw. Millisievert (mSv) angegeben. Das Konzept der effektiven Dosis entsprang dem Wunsch, das gesamte kanzerogene und mutagene Risiko einer Strahlenexposition zu ermitteln (Totalrisiko), unabhängig davon, ob es sich um eine Ganzkörper- oder eine Organbestrahlung handelt¹⁰. Dazu wurden die Strahlenempfindlichkeiten der verschiedenen Organe und Gewebe des Menschen gewichtet. Diese Gewichtungen wurden anhand epidemiologischer Untersuchungen vorgenommen (44).

Das Risiko für das Auftreten stochastischer Effekte basiert auf der Analyse grosser Kollektive (u. a. Überlebende der Atombombenexplosionen), die relativ grossen Strahlendosen von $> 1 \text{ Sv}$ ausgesetzt und seit 1950 beobachtet worden waren. Mittels Risikomodellen werden die beobachteten Inzidenzen auf ein Lebensalter extrapoliert (Risikofaktor [Inzidenz/Sv]). Neue Beobachtungen und Dosisberechnungen des erwähnten Kollektivs ergaben, dass dieser Risikofaktor höher anzusetzen ist als bisher angenommen ($2 \cdot 10^{-2}/\text{Sv}$). Der neueste Wert der ICRP für die Gesamtbevölkerung beträgt total $7,3 \cdot 10^{-2}/\text{Sv}$, nämlich $5 \cdot 10^{-2}/\text{Sv}$ für tödliche

¹⁰ Beispielsweise führt die Inkorporation von Cs¹³⁷ (und K⁴⁰) praktisch zu einer Gesamtkörperbestrahlung, jene von Sr⁹⁰ zu einer solchen des Knochenmarks.

und $1 \cdot 10^{-2}$ /Sv für nicht tödliche Krebsfälle sowie $1,3 \cdot 10^{-2}$ /Sv für ernsthafte genetische Schäden (45).

Die effektive Dosis kann nicht wie die Aktivität (Becquerel [Bq] = 1 Zerfall/s) gemessen, sondern muss anhand von Modellen berechnet, d. h. approximiert werden. Bei mit der Nahrung (oder der Luft) inkorporierten Radionukliden wird die Dosis aus der zugeführten Aktivität mit Hilfe der tabellierten *Dosisfaktoren* (Sv/Bq) bestimmt. Bei der Ableitung der Dosisfaktoren für die Ingestion werden neben den physikalischen Eigenschaften der Strahlung (α -, β -, γ -Strahlung, Energie) insbesondere die Absorption aus dem Magen-Darm-Trakt, Verteilung im Organismus, biologische Halbwertszeit sowie das Alter des Menschen mitberücksichtigt (46, 47a, 47b). Für chemische Elemente, zu denen auch die Radionuklide gehören, sind die Kenntnisse dieser biokinetischen Parameter im allgemeinen relativ bescheiden. Andere Faktoren, die auch noch eine Rolle spielen, sind beispielsweise Füllungsgrad im Magen-Darm-Trakt, Zusammensetzung der Nahrung, deren Gehalt an anderen chemischen Elementen und potentiellen Komplexbildnern. So gibt es z. B. Hinweise, dass Blei, wenn mit Getränken allein aufgenommen, besser absorbiert wird, als wenn es mit der festen Nahrung zugeführt wird. Auch die chemische Form des Elementes im Lebensmittel spielt für die Absorption eine wesentliche Rolle. Aus Gründen der Vorsicht werden zur Berechnung der Dosisfaktoren in der Regel aber eher pessimistische Annahmen (z. B. wässrige Lösungen) getroffen, was bei konkreten Fällen, z. B. der Festsetzung allfälliger Normen für Radium in Paranüssen oder Uran und Radium in Mineralwasser, zu berücksichtigen ist (6).

In der Schweiz wird voraussichtlich in Übereinstimmung mit der ICRP für die Bevölkerung ein *individueller Dosisgrenzwert* für eine Strahlenexposition (ohne medizinische Anwendungen der Strahlung) durch kontrollierbare, beherrschbare Strahlenquellen von 1 mSv/Jahr festgelegt. Dosen, die im Einzelfall kleiner sind als 0,01 mSv/Jahr, entsprechend rund 0,8% der natürlichen mittleren schweizerischen Strahlenexposition (ohne Radon), werden nicht in Betracht gezogen (*de-minimis-Dosis*).

Wird der Risikofaktor von $5 \cdot 10^{-2}$ /Sv auf die unvermeidbare natürliche Strahlenexposition (ohne Radon) der schweizerischen Wohnbevölkerung von rund 1,2 mSv/Jahr angewendet (Tabelle 2), berechnet sich das hypothetische Krebstodesfallrisiko auf $6 \cdot 10^{-5}$ /Jahr, was bei 6,6 Millionen Einwohnern theoretisch rund 400 Krebstodesfällen pro Jahr entspricht. Wird angenommen, dass von den rund 16 000 jährlichen Krebstodesfällen in der Schweiz deren 30% durch das Rauchen verursacht werden (13), müssten theoretisch rund 4% der Krebstodesfälle der natürlichen Strahlenexposition (ohne Radon) zugeschrieben werden.

Ableitung von Grenz- und Toleranzwerten für Radionuklide

Für radioaktive Nuklide waren Höchstkonzentrationen (Grenz- und Toleranzwerte) in Lebensmitteln bis zur Katastrophe in Tschernobyl nahezu unbekannt

bzw. standen nicht zur Diskussion¹¹. Zum Schutze der Umwelt und der Bevölkerung vor Strahlenexposition wurde bisher, analog wie in der Umweltschutzgesetzgebung, vornehmlich die innerhalb eines gewissen Zeitraums zulässige Abgabe von Radioaktivität an die Umwelt gesetzlich geregelt (z. B. Quellenbeschränkung durch Abgabelimiten).

Im Hinblick auf Unglücksfälle, bei denen grosse Mengen Radioaktivität freigesetzt werden können, war ein Dosis-Massnahmen-Konzept entwickelt worden, wonach keine Schutzmassnahmen vorgesehen waren, solange die durch die Nahrung verursachte interne Dosis $\leq 5 \text{ mSv/Jahr}$ betrug (1).

Nach den unbefriedigenden schweizerischen (und europäischen) Erfahrungen vor allem in der organisatorischen, administrativen und politischen Bewältigung der Auswirkungen des Tschernobyl-Unfalls erscheint heute ein wirksamer und glaubhafter Gesundheitsschutz bezüglich Radioaktivität nur durch die gesetzliche Festlegung von Höchstkonzentrationen für Radionuklide in Lebensmitteln gewährleistet zu sein (2). Daher schreibt das neue Strahlenschutzgesetz (3) zwingend vor, dass für Radionuklide in Lebensmitteln Toleranz- und Grenzwerte im Sinne der Lebensmittelgesetzgebung festzulegen sind, dass diese den gleichen Gesundheitsschutz wie für chemische Kanzerogene sicherstellen müssen und dass der Vollzug dieser Vorschriften den Kantonen übertragen wird. Insbesondere der letzte Punkt ist von grosser Bedeutung, da nur die Kantone die gesetzlichen Grundlagen, die technischen und personellen Möglichkeiten besitzen, um im Lebensmittelktor wirksame Massnahmen zu treffen.

Da Radionuklide Lebensmitteln nicht absichtlich zugesetzt werden, sind diese, um einen Begriff aus der Lebensmittelgesetzgebung zu gebrauchen, als Fremdstoffe einzustufen. Künstliche Radionuklide gelangen aus der Umwelt, entweder durch eine bereits vorhandene Kontamination des Bodens (Atombomben- und Tschernobyl-Fallout) durch die legale oder illegale Abgabe von Radioaktivität durch Betriebe oder infolge von Unglücksfällen in die Lebensmittel. Gemäss den vorstehenden Ausführungen und dem Auftrag des Gesetzgebers folgend wird für die Ableitung von Grenzwerten für künstliche Radionuklide ausschliesslich die Strahlenexposition via Lebensmittel berücksichtigt, nicht jedoch eine solche durch Direktstrahlung oder Inkorporation via Lunge.

Wird für die Beurteilung von Radionukliden in Lebensmitteln ein hypothetisches Krebsrisiko über Lebenszeit von 10^{-6} als akzeptierbar betrachtet, wie es für verschiedene vermeidbare chemische Kanzerogene heute häufig angewendet wird, entspräche dies einer zulässigen Jahressdosis von $0,0003 \text{ mSv}$, d. h. rund einem Tausendstel (bzw. Zehntausendstel) der mittleren internen (bzw. gesamten) natür-

¹¹ Obwohl die mittlere Strahlenbelastung der Schweizer Wohnbevölkerung als Folge der Atombombenexplosionen in der Atmosphäre (50er Jahre) insgesamt etwa gleich gross war wie jene durch den Tschernobyl-Ausfall (6), sind damals für Radionuklide in Lebensmitteln (Cs^{137} , Sr^{90}) keine Gehaltsnormen festgelegt worden, obschon die Gesetzesgrundlage dazu bestanden hätte. Dies war aber auch nicht zwingend notwendig, da die durch den Atombomben-Fallout ebenso wie die durch Tschernobyl verursachten Strahlendosen für die Schweizer Bevölkerung relativ gering waren.

lichen Strahlenbelastung (Tabelle 2). Die indirekt geforderte Festlegung derart tiefer Limiten für Radionuklide in Lebensmitteln erscheint somit unverhältnismässig (2). Wäre die rein natürliche nahrungsbedingte Krebsinzidenz bekannt und quantifizierbar, würde bei einem entsprechenden Vergleich möglicherweise ein ähnliches Missverhältnis resultieren.

Grenzwerte

Es kann davon ausgegangen werden, dass in Unfallsituationen bzw. Störfällen praktisch stets ein Radionuklid im Vordergrund steht, welches den grössten Dosisbeitrag zur Folge hat und somit für die ganze «Radionuklidmischung» limitierend ist (*Leitradionuklid*). Es liegt deshalb nahe, die Berechnung von Grenzwerten für einzelne Radionuklide, welche als Leitradionuklide in Lebensmitteln in Frage kommen, auf den erwähnten gesetzlichen individuellen Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr zu stützen. Dieses Vorgehen ist in Übereinstimmung mit jenem bei chemischen Stoffen, die auch einzeln beurteilt werden (Einzelstoffbeurteilung).

Unter der Annahme einer mittleren jährlichen Verzehrmenge Erwachsener von 570 kg Lebensmittel¹², einem Kontaminationsgrad¹³ von 20% sowie einer maximalen rein nahrungsbedingten Dosis von 1 mSv/Person/Jahr wird exemplarisch für Cs¹³⁷, als Beispiel für ein Leitradionuklid, ein Wert von 730 Bq/kg erhalten. Aufgrund von etwas anderen Annahmen, basierend auf den Resultaten einer WHO-Arbeitsgruppe (48)¹⁴, wurden im Hinblick auf Unfallsituationen vom Codex Alimentarius für das erste Jahr nach einem Ereignis die in Tabelle 3 aufgeführten Werte vorgeschlagen (49). Das Ziel des Codex Alimentarius (FAO/WHO) ist es, durch eine Vereinheitlichung der Normen im Lebensmittelsektor im internationalen Handel einen Abbau von Handelshemmissen zu ermöglichen. Eine Gutheisung dieses Vorschlages durch die einzelnen Mitgliedsländer ist noch nicht erfolgt.

Angesichts der relativ geringen Unterschiede und den Unsicherheiten in den getroffenen Annahmen kann die Übernahme der Codex-Werte als Grenzwerte für die Schweiz gerechtfertigt werden. Im Hinblick auf radiologische Notstandsmassnahmen wurden in der Europäischen Gemeinschaft Werte in ähnlichen Grössenordnungen abgeleitet (Tabelle 4), wobei sich entsprechende Werte für Futtermittel noch in Vorbereitung befinden. Diese Werte sollen bei Bedarf, d. h. im Fall eines Ereignisses basierend auf einer dann zu erlassenden, zeitlich beschränkt gültigen Verordnung in Kraft gesetzt werden (50, 51, 83).

Da im allgemeinen der sich entwickelnde Organismus auf genotoxische Einwirkungen empfindlicher reagiert als der erwachsene und da auch der Metabolismus

¹² Ohne Trinkwasser, da dieses nur in Ausnahmefällen (Zisternen!) kontaminiert werden kann.

¹³ Der Kontaminationsgrad berücksichtigt, dass in der Praxis nicht sämtliche Lebensmittel dauernd das Radionuklid gleichzeitig bis zum Grenzwert enthalten. Beispielsweise besteht ein ausserordentlich geringes Risiko dafür, dass Kartoffeln und Wurzelgemüse je im Ausmass des Grenzwertes kontaminiert werden können.

¹⁴ 5 mSv im ersten Jahr, Kontaminationsgrad 100%, Verzehrmenge 550 kg/erwachsene Person/Jahr bzw. je 275 l Milch pro Säugling und Jahr.

Tabelle 3. Vom Codex Alimentarius (FAO/WHO) vorgeschlagene Richtwerte für Radionuklide in verzehrsbereiten Lebensmitteln¹
(Gültigkeitsdauer für 1 Jahr nach einem Unfall)

Lebensmittel	Radionuklid ²	Richtwert (Bq/kg)	Dosisgruppe ³ (Sv/Bq)
<i>Allgemeine Lebensmittel</i>	Am ²⁴¹ , Pu ²³⁹ Sr ⁹⁰ I ¹³¹ , Cs ¹³⁴ , Cs ¹³⁷	10 100 1000	10 ⁻⁶ 10 ⁻⁷ 10 ⁻⁸
<i>Milch und Säuglingsnahrung</i> (für das erste Lebensjahr)	Am ²⁴¹ , Pu ²³⁹ I ¹³¹ , Sr ⁹⁰ Cs ¹³⁴ , Cs ¹³⁷	1 100 1000	10 ⁻⁵ 10 ⁻⁷ 10 ⁻⁸

¹ Nicht anwendbar für Lebensmittel, die nur in geringen Mengen, wie z. B. Gewürze, verzehrt werden.

² Beim Vorhandensein mehrerer Radionuklide pro Dosisgruppe soll die Summe deren Aktivitäten den Richtwert nicht übersteigen.

³ Ungefähre Dosisfaktoren (Dosisgruppe).

unterschiedlich sein kann (z. B. erhöhte Absorption von Radionukliden aus dem Verdauungstrakt von Säuglingen im Vergleich zum Erwachsenen), wurden für Säuglinge für gewisse Radionuklide teilweise tiefere Werte vorgeschlagen. Andererseits können bei Säuglingen und Kleinkindern die biologischen Halbwertszeiten gewisser Radionuklide kleiner sein als bei Erwachsenen, wodurch ein kleinerer Dosisfaktor resultiert (z. B. für Cs¹³⁷). Dies erklärt, weshalb sich die vom Codex Alimentarius für Cs¹³⁷ in Säuglingsnahrung vorgeschlagenen Werte nicht von jenen für Erwachsene unterscheiden (Tabelle 3).

Die Erfahrungen mit langlebigen künstlichen Radionukliden in der Umwelt zeigen, dass nach einer stattgefundenen Kontamination (Pflanzenoberfläche) die in den Pflanzen vorkommenden Konzentrationen über Monate bis Jahre relativ rasch, bis um Größenordnungen, abnehmen (geringe Verfügbarkeit im Boden). Es kann also davon ausgegangen werden, dass sich die Strahlenexposition via mit der Nahrung inkorporierter künstlicher Radionuklide nach einem Unfall relativ rasch «normalisiert». Bei der Ableitung der Normen für chronisch toxisch wirkende chemische Stoffe wird demgegenüber in der Regel von einer lebenslangen Exposition ausgegangen.

Wird angenommen, dass bei einer Radioaktivitätsfreisetzung der vorgeschlagene Grenzwert für das Leitradionuklid in Lebensmitteln eingehalten werden kann, so würde im ersten Jahr danach eine nahrungsbedingte Dosis von 1 mSv resultieren. Wird pessimistischerweise angenommen, dass die interne Dosis für die folgenden 4 Jahre total nochmals 1 mSv betrage, ergibt sich für das Ereignis eine Totaldosis von 2 mSv, entsprechend rund 7% der natürlichen rein nahrungsbedingten intern akkumulierten Strahlendosis über die Lebenszeit (75 Jahre). Sollte innerhalb eines Lebens ein vergleichbares Ereignis alle 30–40 Jahre eintreten, resultiert eine Total-

Tabelle 4. Von der Europäischen Gemeinschaft vorgesehene Höchstwerte für Radionuklide in verzehrsbereiten (bzw. rekonstituierten) Lebensmitteln (50, 51, 83)

	Lebensmittel (Bq / kg)			
	für Säuglinge ¹	Milch ²	Flüssige ³	übrige (ausser solche von geringer Bedeutung) ⁴
Strontiumisotope, insbesondere Sr ⁹⁰	75	125	125	750
Iodisotope, insbesondere I ¹³¹	150	500	500	2000
Alphateilchen emittierende Plutoniumisotope, insbesondere Pu ²³⁹ , Am ²⁴¹	1	20	20	80
Alle übrigen Nuklide mit einer Halbwertzeit von mehr als 10 Tagen, insbesondere Cs ¹³⁴ , Cs ¹³⁷ (ohne C ¹⁴ , H ³ und K ⁴⁰)	400	1000	1000	1250

¹ Für die Ernährung speziell von Säuglingen während der ersten vier bis sechs Lebensmonate, die für sich genommen den Nahrungsbedarf dieses Personenkreises decken und in Packungen für den Einzelhandel dargeboten werden, die eindeutig als «Zubereitung für Säuglinge» gekennzeichnet sind.

² – Milch (und Rahm) unterschiedlicher Fettgehalte (inkl. eingedickte und getrocknete), ausgenommen Pulvermilch, die speziell zur Ernährung von Säuglingen vorgesehen und in luftdicht verpackten Behältnissen angeboten wird.
– Milchprodukte wie Joghurt, Käse usw. gehören zur Gruppe übrige Lebensmittel.

³ Frucht- und Gemüsesäfte, Mineralwasser, Wein, Bier usw. (Für die Trinkwasserversorgungssysteme sollten nach dem Ermessen der zuständigen Behörden der Mitgliedstaaten identische Werte gelten.)

⁴ Für Lebensmittel von geringer Bedeutung, wie z. B. für Gewürze, Trüffel oder Kaviar usw., liegen die Höchstwerte um das Zehnfache höher als die in dieser Spalte aufgeführten Werte.

dosis von 4 mSv oder eine mittlere jährliche Dosis von 0,05 mSv, entsprechend einem zusätzlichen hypothetischen Krebsrisiko von rund $3 \cdot 10^{-6}$ /Jahr oder von $2 \cdot 10^{-4}$ pro Leben.

Toleranzwerte

Im Sinne des Lebensmittelgesetzes berücksichtigt ein Toleranzwert in erster Linie das *Reinheitsprinzip* («so wenig wie möglich»), das zwar vornehmlich bei

absichtlich im Lebensmittel sektor verwendeten Stoffen zum Tragen kommt («technisch unvermeidbare Rückstände», gute Herstellungspraxis), jedoch nach Möglichkeit auch für Kontaminanten Anwendung findet. Wird dieses Konzept auch auf künstliche Radionuklide angewendet, muss bei der Festlegung von Toleranzwerten von der heutigen Kontaminationssituation ausgegangen werden, da solche Werte die effektive Situation berücksichtigen und zu realistischen Anforderungen an die Lebensmittel führen sollen (vgl. Anhang 4).

Wie erwähnt, stellen Toleranzwerte ein wichtiges Hilfsmittel des Kantonschemikers dar, um den Konsumenten vor überhöhten aber nicht zwingenderweise gesundheitsgefährdenden Mengen von chemischen Stoffen zu schützen. Gelangen solche Stoffe aus lebensmittelfremden Betrieben (z. B. Kehrichtverbrennungsanlagen) in Mengen in die Lebensmittel, die zu Toleranzwertüberschreitungen führen, so sind die Organe der Lebensmittelkontrolle nur befugt, die betreffenden Lebensmittel zu beanstanden, nicht jedoch direkt beim entsprechenden Betrieb, der die Kontamination verursacht, einzutreten. Demgegenüber erlaubt die Strahlenschutzgesetzgebung den Kontrollbehörden, bei Unregelmässigkeiten in der Abgabe von Radioaktivität Massnahmen gegen einen Betrieb zu ergreifen, auch wenn die Lebensmittel weder Toleranz- noch Grenzwerte überschreiten. Aus diesem Grund könnte eigentlich auf die Festlegung von Toleranzwerten für künstliche Radionuklide in Lebensmitteln verzichtet werden, wenn nicht der Gesetzgeber dies zwingend vorschreiben würde.

Es gibt nun aber verschiedene Gründe, warum für die Ableitung von Toleranzwerten für künstliche Radionuklide nicht streng nach denselben Prinzipien wie bei chemischen Umweltkontaminanten vorgegangen werden kann:

- Bisher war es für chemische Kanzerogene nicht üblich, neben Grenzwerten auch entsprechende Toleranzwerte festzulegen. In den entsprechenden departementalen Verordnungen sind ausschliesslich Grenzwerte aufgeführt (31, 32).
- Die Strahlenschutzgesetzgebung gestattet vielfältige direkte Eingriffe auf Radioaktivität an die Umwelt abgebende Betriebe.
- Obwohl nicht in jedem Fall nuklidspezifisch, werden für jeden Betrieb Emissions- und Immissionsgrenzwerte festgelegt.
- Abgesehen von γ -Strahlern ist das Vorkommen einiger Radionuklide in Lebensmitteln in der Schweiz nicht systematisch untersucht (da ihr Beitrag zur Strahlenbelastung vernachlässigbar ist), d. h. ein entsprechendes Datenmaterial (Kontaminationslage) für diese Radionuklide ist nur begrenzt verfügbar.

Es wird daher vorgeschlagen, die vom Gesetzgeber geforderten Toleranzwerte auf Basis der de-minimis-Dosis von 0,01 mSv abzuleiten. Die Toleranzwerte der einzelnen Radionuklide sind somit einen Faktor 100 tiefer als die entsprechenden Grenzwerte.

Natürliche Radionuklide

Es kann vermutet werden, dass der Gesetzgeber mit der Forderung nach der Festlegung von Toleranz- und Grenzwerten für Radionuklide in Lebensmitteln in erster Linie die Begrenzung der Strahlenbelastung durch künstliche Radionuklide

anvisierte. Dies wäre zwar in Übereinstimmung mit der in Konsumentenkreisen weitverbreiteten Meinung, dass alles Natürliche a priori gut, alles Künstliche dagegen schlecht sei. Der präventive Gesundheitsschutz dagegen muss auch natürlich vorkommende Stoffe berücksichtigen, da diese vielfach höhere Risiken darstellen als künstliche.

Mehr als 60 Radionuklide kommen in der Umwelt und ein Teil davon auch in Lebensmitteln natürlicherweise vor. Einige sind terrestrischen Ursprungs wie K^{40} , Rb^{87} sowie Uran und Thorium und deren Folgenuklide, andere wie H^3 und C^{14} werden teilweise als Folge der kosmischen Strahlung in der Atmosphäre produziert (6).

Wie in Tabelle 2 dargestellt, beträgt die geschätzte mittlere unvermeidbare interne Jahresdosis der Schweizer Wohnbevölkerung infolge mit der Nahrung inkorporierter, natürlich vorkommender Radionuklide (K^{40} , Pb^{210} , Uran, Radium, Thorium usw.) rund 0,4 mSv/Jahr oder, bezogen auf eine Lebensdauer von 75 Jahren, total rund 30 mSv, entsprechend einem hypothetischen Krebstodesfallrisiko von etwa $2 \cdot 10^{-3}$. Die entsprechenden Dosen können je nach Verzehrgewohnheiten und geologischen Verhältnissen variieren, vermutlich im Bereich von 0,2–0,5 mSv/Jahr (52).

Im Hinblick auf die Festlegung von Grenzwerten müssen zwei Arten von natürlichen Radionukliden unterschieden werden, nämlich solche, deren Konzentrationen im Körper homöostatisch reguliert werden, wie das K^{40} als Bestandteil des lebensnotwendigen Kaliums und solche, von denen keine biologischen (lebensnotwendigen) Funktionen bekannt sind, wie z. B. Uran und Radium. Bei den letztgenannten kann angenommen werden, dass die durch sie bedingte Strahlenexposition proportional der täglichen Zufuhr ist. Die Gehalte der Lebensmittel an solchen Radionukliden sind weitgehend geologisch bedingt¹⁵. In bzw. auf die Pflanzen gelangen sie via Wurzeln (z. B. Uran, Radium) sowie teilweise über die Luft (Radon und seine Zerfallsprodukte), vermutlich aber insbesondere durch anhaftende Erdpartikel.

Das Verhältnis von K^{40} zum Gesamtkalium ist in der Nahrung konstant, und der Gesamtkaliumgehalt des Körpers ist weitgehend unabhängig von der täglichen Zufuhr (Homöostase). Somit ist auch die Strahlenexposition unabhängig von der K^{40} -Zufuhr. Sie beträgt rund 0,16 mSv/Jahr und liefert im Mittel den grössten Beitrag eines Einzelnuklids zur internen Dosis. Derzeit sind keine Situationen vorstellbar, in denen K^{40} angereicherte Lebensmittel in Erscheinung treten könnten. Aus den erwähnten Gründen macht die Festlegung von Grenzwerten für K^{40} in Lebensmitteln keinen Sinn.

¹⁵ Die Gehalte der Kulturböden an Uran, Thorium und Radium dürften zwar infolge der langjährigen Düngung mit Phosphaten, welche diese Elemente als Verunreinigung (wie auch Cadmium) enthalten, sowie durch die Kohlenutzung angestiegen sein (Böden in Privatgärten vermutlich mehr) (53, 54). Infolge der geringen Bioverfügbarkeit dieser Elemente im Boden dürften sich jedoch die Gehalte der Lebensmittel gegenüber früheren Zeiten noch nicht signifikant erhöht haben. Demgegenüber dürfte die Direktstrahlung messbar angestiegen sein.

Normalerweise tragen die mit der festen Nahrung (insbesondere Cerealien) zugeführten Mengen natürlicher Radionuklide etwa 90% zur Gesamtzufuhr bei. Es ist aber bekannt, dass der Konsum gewisser Mineralwässer (in den USA auch Trinkwasser), infolge ihrer natürlichen Gehalte insbesondere an Uran und Radium, die interne Strahlenexposition erhöhen können. Durch die Wahl weniger belasteter Wässer kann die Strahlenexposition herabgesetzt werden, d. h. die zusätzliche Exposition ist vermeidbar. Wird ferner bedacht, dass Trink- und Mineralwässer in grösseren Mengen (bis zu 700 Liter pro Jahr) und möglicherweise lebenslänglich konsumiert werden, macht es durchaus Sinn, entsprechende Grenzwerte festzulegen¹⁶.

Allerdings ist der als Basis für künstliche Radionuklide gewählte Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr, der insbesondere bei der Bewältigung unfallmässiger Situationen zur Anwendung kommt, als Kriterium zur Ableitung von Grenzwerten für Uran und Radium in Mineralwasser unserer Meinung nach nicht anwendbar. Zudem muss, im Gegensatz zum Fall erhöhter Radioaktivität durch künstliche Radionuklide, mit einer lebenslangen Exposition gerechnet werden. Der Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr entspricht etwa dem Doppelten der natürlichen mittleren internen Dosis. Bei lebenslänglicher voller Ausschöpfung dieses Dosisgrenzwertes würde ein zusätzliches hypothetisches Krebsrisiko von rund $4 \cdot 10^{-3}$ resultieren. Dieses zusätzliche Risiko ist rund 4000mal höher als für leicht vermeidbare chemische Kanzerogene in Lebensmitteln üblicherweise akzeptiert wird. Ein entsprechender Vorschlag zur Ableitung von Grenzwerten für natürliche Radionuklide in Mineral- und Trinkwasser soll in einer folgenden Publikation dargelegt werden.

Risikovergleich chemische Kanzerogene – Radionuklide

Gemäss Strahlenschutzgesetz soll bei der Festlegung von Grenzwerten für Radionuklide in Lebensmitteln der gleiche Gesundheitsschutz angestrebt werden wie bei anderen krebserzeugenden chemischen Stoffen in Lebensmitteln (3).

Wie erwähnt, ist es in der Lebensmitteltoxikologie üblich, Einzelstoffbeurteilungen vorzunehmen. Ähnliches kann, wie ebenfalls bereits erwähnt, bei Unfallsituationen für Radionuklide in Lebensmitteln gelten, da in solchen Fällen üblicherweise ein Leitradionuklid existiert, das den grössten Teil der Dosis verursacht. Für den vorzunehmenden konkreten, exemplarischen Risikovergleich zwischen einem genotoxischen chemischen Stoff und einem Radionuklid wurden, in Anlehnung an die «Diskussionen über Tschernobyl» (2), Aflatoxin B₁ und Cs¹³⁷ gewählt.

Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Für die Berechnung der potentiellen Exposition mit «Aflatoxin» wurde formal von den

¹⁶ Da die auftretenden Konzentrationen an Uran und Radium geologisch bedingt und nicht das Resultat anthropogener Einflüsse (z. B. Bergbau) sind, ergibt die Festlegung von Toleranzwerten wenig Sinn.

vom Gesetzgeber festgelegten Grenzwerten für die verschiedenen Lebensmittel (31) sowie den entsprechenden mittleren jährlichen Verzehrmengen ausgegangen (total 280 kg). Für Cs¹³⁷ andererseits wurde analog angenommen, dass sämtliche Lebensmittel, ausser Trinkwasser, dieses auf dem Grenzwertniveau enthalten (total 570 kg). Beide Annahmen, sowohl jene für Aflatoxin B₁ als auch die für Cs¹³⁷, sind unrealistisch, repräsentieren jedoch den schlimmsten Fall (worst case).

Aus Tabelle 5 ist ersichtlich, dass die derart berechneten hypothetischen jährlichen Krebstodesfälle durch Aflatoxin B₁ jenen durch Cs¹³⁷ entsprechen, d. h. dass der Gesundheitsschutz durch die vorgeschlagenen Grenzwerte für beide Stoffe etwa vergleichbar ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Abschätzung für Cs¹³⁷ auf bedeutend besseren wissenschaftlichen Grundlagen beruht als für Aflatoxin B₁.

Geht man andererseits von der heute tatsächlich vorliegenden Situation aus («Aflatoxin» ausschliesslich in Erdnüssen und Mais, Cs¹³⁷ in Wildfleisch und Wildpilzen) und berechnet die Risiken mit den festgelegten bzw. vorgeschlagenen Grenzwerten, so sind auch hier die hypothetischen Risiken vergleichbar und liegen im Bereich von 10⁻⁶ bis 10⁻⁵ pro Jahr.

Tabelle 5. Risikovergleich des Mykotoxins Aflatoxin B₁ (AF B₁) mit dem Radio-nuklid Cäsium-137 (Cs¹³⁷): hypothetisches Krebstodesfallrisiko pro Jahr

Parameter	AF B ₁	Cs ¹³⁷
Krebsart	Leber	alle Arten
Inzidenz/Mortalität	≈ 1	≈ 1
Unsicherheit der Übertragung		
– Tier → Mensch	+++ ¹	++
– Lineare Extrapolation der Dosis	++	+
Daten beim Menschen	+++	+
Risikofaktor	3 · 10 ⁻⁶ /µg/Mensch ²	5 · 10 ⁻² /Sv/Mensch ³
Unsicherheit des Risikofaktors	++++ (aus Tier)	++ (aus Mensch)
Dosisfaktor	–	1.2 · 10 ⁻⁸ Sv/Bq ⁴
Potentielle Exposition pro Jahr (worst case)	157 µg/Mensch ^{5, 6}	7 mSv/Mensch ⁷
Hypothetisches Krebstodesfallrisiko	5 · 10 ⁻⁴ /Jahr	4 · 10 ⁻⁴ /Jahr

¹ qualitativ: + geringe bzw. ++++ grosse Unsicherheit.

² Ist äquivalent mit der Aussage, dass eine Zufuhr von 1 ng/Mensch/Tag eingenommen über 1 Jahr zu einem zusätzlichen Leberkrebstodesfall pro Million Exponierter führe (67).

³ Risikofaktor gemäss ICRP für fatale Fälle (45).

⁴ Dosisfaktor für Erwachsene (46).

⁵ Nur die in der Verordnung (31) aufgeführten Lebensmittel (total 280 kg) enthalten «Aflatoxin» auf dem Grenzwertniveau (Verzehrmengen pro Jahr: 200 kg Milch und Milchprodukte, 75 kg Cerealien, 2 kg verschiedene Lebensmittel, je 1 kg Mais, Erdnüsse und Mandeln).

⁶ Aflatoxin B₁-Äquivalente.

⁷ Alle Lebensmittel (total 570 kg), ausser Trinkwasser, enthalten Cs¹³⁷ auf dem Grenzwertniveau von 1000 Bq/kg!

Zu welchem Ergebnis führt der Risikovergleich, wenn die ganze Lebenszeit einbezogen wird? Bei diesem Vergleich muss bedacht werden, dass der Mensch dem «Aflatoxin» lebenslänglich, dem radioaktiven Cäsium jedoch nur eine beschränkte Zeit ausgesetzt ist. Treten beispielsweise innerhalb eines Lebens (75 Jahre) zwei Ereignisse auf, bei denen der Mensch einer ausserordentlichen künstlichen Strahlenexposition via Lebensmittel ausgesetzt ist (Annahme: total 2 mSv pro Ereignis, siehe Abschnitt Ableitung für Grenz- und Toleranzwerte für Radionuklide), resultiert, bezogen auf die ganze Lebenszeit, ein zusätzliches hypothetisches Krebstodesfallrisiko von $2 \cdot 10^{-4}$ im Fall von Cs¹³⁷. Bei Aflatoxin B₁ liegt das hypothetische Krebstodesfallrisiko im Bereich von $4 \cdot 10^{-2}$, wenn völlig unrealistischerweise angenommen wird, dass alle in der Verordnung (31) aufgeführten Lebensmittel Aflatoxin B₁ andauernd bis zum Grenzwert enthalten. Werden nur Lebensmittel berücksichtigt, die nachgewiesenermassen Aflatoxin B₁ enthalten können, resultiert noch eine totale potentielle maximale Zufuhr von 6 µg/Person/Jahr (ausgeschöpfte Grenzwerte), entsprechend einem hypothetischen Risiko von etwa 10^{-3} pro Leben. Da infolge der gesetzlichen Regelung die Aflatoxingehalte der Lebensmittel unter Kontrolle sind, dürfte die tatsächliche jährliche Zufuhr heute noch etwa 20 ng pro Person betragen, entsprechend einem hypothetischen Lebenszeitkrebsrisiko von $5 \cdot 10^{-6}$.

Heute beträgt die mittlere jährliche Zufuhr von Cs¹³⁷ (und Cs¹³⁴) schätzungsweise noch maximal 600 Bq, entsprechend im Mittel rund 1 Bq/kg Lebensmittel, d. h. rund einen Zehntel des vorgeschlagenen Toleranzwertes. Diese Zufuhr führt zu einer maximalen Dosis von $\leq 0,01$ mSv/Jahr (52) bzw. bei einer 75 Jahre dauernden gleichen jährlichen Zufuhr zu einem hypothetischen Lebenszeitkrebsrisiko von maximal $4 \cdot 10^{-5}$.

Schlussfolgerungen

Die Exposition gegenüber ionisierender Strahlung wie auch gegenüber gewissen chemischen Kanzerogenen kann das Risiko einer Krebserkrankung erhöhen. Das neue Strahlenschutzgesetz fordert die Festlegung von Grenz- und Toleranzwerten für Radionuklide in Lebensmitteln, um dadurch einen vergleichbaren Gesundheitsschutz wie bei chemischen Kanzerogenen in der Nahrung anzustreben. Es scheint daher vernünftig, die Ableitung der Grenz- und Toleranzwerte für Radionuklide nach den Prinzipien der Lebensmittelgesetzgebung vorzunehmen. Das bedeutet, dass Radionuklide einzeln beurteilt werden, soweit sie nicht auf das gleiche biologische System wirken (Einzelstoffbeurteilung), und dass dabei nur die interne Strahlenexposition (orale Zufuhr) berücksichtigt wird. Weitere wichtige Kriterien sind die Vermeidbarkeit einer Exposition sowie die Berücksichtigung der Umweltsituation (Reinheitsaspekte).

Da die Grenz- und Toleranzwerte im neuen Lebensmittelgesetz definiert und im Strahlenschutzgesetz aufgeführt sind, gehören die festzulegenden Werte für Radionuklide in die Fremd- und Inhaltsstoff- oder in die Strahlenschutzverord-

nung, wobei der letzten aus Gründen der Einheit der Materie und solcher fachtechnischer Art der Vorzug zu geben ist. Unabhängig davon, in welcher Verordnung diese Werte festgelegt sind, können sie nicht auf Lebensmittel für den Eigengebrauch angewendet werden, da sich diese im lebensmittelrechtlichen Sinne nicht im Verkehr befinden.

Grenzwerte für künstliche Radionuklide in Lebensmitteln, im Sinne von Leitnukliden bei Unfallsituationen, lassen sich anhand von Dosisüberlegungen ableiten ($\leq 1 \text{ mSv/Jahr}$). Für Cs¹³⁷ wird dabei in qualitativer Übereinstimmung mit einem Vorschlag des Codex Alimentarius (FAO/WHO) exemplarisch ein Wert von 1000 Bq/kg (Frischmasse) vorgeschlagen. Ein Risikovergleich mit dem chemischen genotoxischen Kanzerogen «Aflatoxin» zeigt, dass dadurch ein im Sinne des Gesetzgebers etwa vergleichbarer Gesundheitsschutz realisiert werden kann. Bei voller Ausschöpfung der Grenzwerte während einer gewissen Zeitspanne ist für beide Stoffe ein resultierendes hypothetisches Krebsrisiko auf Lebenszeit im Bereich von 10^{-4} bis 10^{-3} abschätzbar.

Bei natürlichen Radionukliden muss unterschieden werden zwischen solchen, deren Aufnahme und Ausscheidung vom Körper reguliert werden (Homöostase), wie z. B. ⁴⁰Kalium, und solchen, die keine biologischen Funktionen erfüllen, wie z. B. Uran und Radium. Die Zufuhr von Uran und Radium kann durch den Konsum einzelner Mineralwässer deutlich erhöht werden. Da in der Praxis natürliche Radionuklide über einen bedeutend längeren Zeitraum in erhöhten Mengen zugeführt werden können als künstliche, im Extremfall lebenslang, ist die Festlegung von Grenzwerten gerechtfertigt. Derzeit sind, im Gegensatz zur künstlichen Strahlenexposition ($\leq 1 \text{ mSv/Jahr}$), keine weltweit anerkannten Kriterien zur Ableitung entsprechender Grenzwerte verfügbar. In einer weiteren Arbeit soll ein entsprechender Vorschlag als Diskussionsgrundlage vorgestellt werden.

Für chemische Kanzerogene wurden bisher keine Toleranz-, sondern ausschliesslich Grenzwerte festgelegt. Für künstliche Radionuklide werden die Toleranzwerte einen Faktor 100 unterhalb der Grenzwerte angesetzt. Die gegenwärtige Kontaminationslage wird dabei nicht berücksichtigt.

Da Toleranz- und Grenzwerte Massnahmenhilfsmittel zur Minimierung der Exposition körperfremder Stoffe via Lebensmittel darstellen, ist künftig für chemisch genotoxische Kanzerogene neben Grenzwerten auch die Festlegung von Toleranzwerten in Betracht zu ziehen, da dadurch die Exposition der Bevölkerung gegenüber solchen Stoffen weiter vermindert werden kann.

Dank

Herrn Dr. H. Strauss, stellvertretender Direktor des Bundesamtes für Gesundheitswesen und Chef der Hauptabteilung Lebensmittel und Gifte, sowie Herrn Dr. U. Müller, Kantonschemiker, Bern, danken wir für wertvolle Diskussionen. Herrn Dr. R. Dick, Sektion Lebensmittelchemie, verdanken wir die redaktionelle Durchsicht des Manuskriptes.

Zusammenfassung

Das neue Strahlenschutzgesetz verlangt in Artikel 18, dass im Sinne der Lebensmittelgesetzgebung für Radionuklide in Lebensmitteln Toleranzwerte (Reinheitskriterium) und Grenzwerte (Gesundheitskriterium) festgelegt werden müssen. Der dadurch angestrebte Gesundheitsschutz soll demjenigen von chemischen Kanzerogenen entsprechen. Im Hinblick auf die Erfüllung dieser Forderung des Gesetzgebers werden die Konzepte des präventiven Gesundheitsschutzes für chemische Kanzerogene und ionisierende Strahlung dargelegt und diskutiert.

Basierend auf dem individuellen Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr wird im Falle erhöhter Radioaktivität in der Umwelt für ein einzelnes Radionuklid in Lebensmitteln, z. B. Cs¹³⁷ als Leitradionuklid, ein Grenzwert von 1000 Bq/kg vorgeschlagen. Aus dem exemplarischen Vergleich der nahrungsbedingten Risiken von Cs¹³⁷ und Aflatoxin B₁ ergibt sich, dass die resultierenden hypothetischen Krebstodesfallrisiken in der gleichen Größenordnung liegen, wenn die entsprechenden Grenzwerte ausgeschöpft werden. Die für einzelne Leitradionuklide vorgeschlagenen Toleranzwerte liegen einen Faktor 100 tiefer als die entsprechenden Grenzwerte.

Résumé

La nouvelle loi sur la radioprotection exige, à l'article 18, qu'au sens de la législation sur les denrées alimentaires des tolérances (critère pureté) et des valeurs limites (critère santé) soient établies pour les nucléides radioactifs dans les denrées alimentaires. Ce, afin d'assurer une protection de la santé équivalant à celle qui existe au sujet d'autres carcinogènes chimiques. Afin de satisfaire à cette exigence du législateur, des concepts de protection préventive de la santé appliqués aux carcinogènes chimiques et aux rayonnements ionisants sont exposés et discutés.

Se fondant sur la valeur limite pour la dose individuelle d'1 mSv/année, on propose, en cas d'augmentation de la radioactivité dans l'environnement, pour un seul nucléide radioactif, par ex. Cs¹³⁷ en tant que nucléide radioactif pilote, une valeur limite de 1000 Bq/kg. Si l'on compare, à titre d'exemple, les risques inhérents au Cs¹³⁷ et à l'aflatoxine B₁ dans les aliments, il ressort que les risques hypothétiques de décès par cancer se situent dans un même ordre de grandeur si les valeurs limites correspondantes ne sont pas dépassées. Les tolérances proposées pour les nucléides radioactifs sont d'un facteur 100 inférieures aux valeurs limites correspondantes.

Summary

In the new Swiss law on radiation protection it is requested in article 18 that tolerance levels (purity criterion) and maximum levels (health criterion) are to be established for radionuclides in food according to the principles of the food regulation. The resulting health protection should be the same as for chemical carcinogens. In order to fulfill the legislator's requirement the concepts of preventive health protection for chemical carcinogens in foods and for ionizing radiation are outlined and discussed.

Based on an individual dose limit of 1 mSv/year in the case of increased radioactivity in the environment a maximum level for a single dominant radionuclide in food, e.g. Cs¹³⁷ of

1000 Bq/kg is proposed. The comparison of the risks resulting from the intake of Cs¹³⁷ and aflatoxin B₁ in food demonstrates that the hypothetical fatal cancer risks are in the same range for both carcinogens, provided that the corresponding maximum levels are reached in food. For the tolerance levels of dominant radionuclides 100 times lower values than the maximum levels are proposed.

Die Lebensmittelgesetzgebung als Sonderfall?

Die historischen, politischen und ethischen Gegebenheiten haben dazu geführt, dass die Lebensmittelgesetzgebung einen Spezialfall des Gesundheitsschutzes darstellt, der gesetzlich besonders streng geregelt wird, wobei in deren Anwendung neben rein wissenschaftlichen und gesundheitlichen Aspekten sowie Reinheitskriterien auch andere eine Rolle spielen können, wie z. B. Druck der öffentlichen Meinung, Administration und Politik (55, 56). Vor dem Bestehen einer Umweltschutzgesetzgebung diente z. B. die Lebensmittelgesetzgebung in besonders krassen Fällen gelegentlich auch als indirektes Eingreifinstrument. Andere Beispiele, die sich nicht mit Gesundheitsschutz allein begründen lassen, sind z. B. die Festlegung eines Grenzwertes für Benzol von 2 µg/l in Mineralwasser (57) sowie das Verbot der Verwendung anaboler Hormone bei Nutztieren. Im ersten Fall konnte nur so die Möglichkeit zur Beschlagnahme von Mineralwasser, das Spuren von Benzol enthielt, geschaffen werden, und im zweiten Fall dürften wirtschaftliche und/oder ethische Gründe zum Verbot geführt haben.

Während sich die Grenzwerte von je 50 µg/l für Blei und Arsen (anorganisches) in Trinkwasser durchaus mit dem präventiven Gesundheitsschutz (im Fall von Blei insbesondere bei Säuglingen und Kleinkindern) begründen lassen, ist dies bei den Grenzwerten für Quecksilber (1 µg/l) und Selen (10 µg/l) nicht der Fall (32). Sämtliche Werte sind von der Weltgesundheitsorganisation als Richtwerte vorgeschlagen worden. Jene für Quecksilber und Selen wurden unter der Voraussetzung abgeleitet, dass das Trinkwasser maximal 10% zur tolerierbaren Quecksilberzufuhr bzw. zur empfohlenen Selenzufuhr beiträgt (40). Aus rein gesundheitlichen Gründen könnten in Trinkwasser ohne weiteres 10–20 µg/l anorganisches Quecksilber toleriert werden. Dadurch sollen die festgelegten Werte aber nicht in Frage gestellt werden. Entsprechende Überlegungen wären hingegen bei Spezialfällen, wie z. B. im Hinblick auf die (kostspielige) Sanierung von sogenannten «Altlasten» im Umweltbereich, durchaus angebracht.

Der Sonderfall der Lebensmittelgesetzgebung hängt einerseits mit der Existenz eines wirksamen Vollzugs (Kantonschemiker) und andererseits damit zusammen, dass die Risikobewertung und Risikoakzeptanz der Bevölkerung bezüglich künstlichen chemischen Stoffen in Lebensmitteln, z. B. im Vergleich zu solchen in der Luft oder aber insbesondere zu gesundheitsgefährdenden Stoffen natürlicher Herkunft, eine Sonderstellung einnimmt. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass die Nahrungsaufnahme ursprünglich einen von einer tiefen Symbolik erfüllten magischen Akt darstellte. In der magischen Denkweise wurde der Mensch zu dem, was er ass, was er sich einverleibte. Da magisches Denken nicht quantitativ ist, empfindet sich der Konsument auch heute noch durch kleinste Mengen «Gift» in der Nahrung vergiftet. In einer Zeit des Lebensmittelüberflusses ist an die Stelle der Sorge um das «tägliche Brot» die Angst vor «chemischen Rückständen» getreten. Es scheint auch, dass sich die Nahrung heute zu einem bevorzugten Kristallisierungspunkt einer allgemeinen Zivilisationskritik entwickelt hat (58, 59, 66, 81).

Aus diesen Gründen und auch deshalb, weil Lebensmittel einen Preis haben, besteht in der heutigen Zeit wohl zu Recht die Forderung der Konsumenten, dass Lebensmittel, unabhängig von einer möglichen Gesundheitsgefährdung, möglichst frei von künstlichen Stoffen sein sollen. Da derzeit in den Industrieländern ein Überangebot an Nahrungsmitteln

existiert, lässt sich dieses Ziel mit Hilfe einer entsprechenden Gesetzgebung und einer schlagkräftigen Vollzugsbehörde auch weitgehend erreichen.

Anhang 2

Gesundheitsgefährdende Stoffe und Zufuhrabschätzungen (82)

Die Ergebnisse von Risikoabschätzungen für potentiell gesundheitsgefährdende Stoffe in Lebensmitteln (z. B. Schwermetalle), bzw. darauf basierende Toleranz- oder Grenzwerte, werden gelegentlich auch von «Fachleuten» in Frage gestellt, falsch oder gar nicht verstanden. Nachstehend werden einige Überlegungen, die bei Zufuhr- und Risikoabschätzungen eine wichtige Rolle spielen, dargelegt und diskutiert, wobei auf eine mögliche Beeinflussung der Absorption solcher Stoffe aus dem Magen-Darm-Trakt durch die Nahrungszusammensetzung nicht eingetreten wird. Solche Einflüsse können die effektiven Konzentrationen der fraglichen Stoffe in den Zielorganen erhöhen oder erniedrigen.

Allgemeines

Die tägliche Zufuhr eines Stoffes ergibt sich aus der Konzentration dieses Stoffes im Lebensmittel und der täglichen Verzehrmenge des betreffenden Lebensmittels. Zusammen mit den toxikologischen Gegebenheiten (toxikologisches Potential des Stoffes) bilden Zufuhrabschätzungen die Grundlage für *Risikoabschätzungen*. Risikoabschätzungen andererseits liefern u. a. die Basis, auf welcher über das weitere Vorgehen bei einem «Problemstoff» entschieden werden kann (z. B. Festlegung eines Grenzwertes)¹⁷. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, von welchen *Stoffkonzentrationen* und *Verzehrmengen* bei Risikoabschätzungen vernünftigerweise auszugehen ist. Da auch der präventive Gesundheitsschutz, wie er heute im Lebensmittelbereich gehandhabt wird, nicht absolut sein kann, lässt sich diese Frage nur stoffspezifisch und unter Berücksichtigung verschiedenster Aspekte beantworten. Häufig stellt sich bei einem «Problemstoff» auch die Frage nach möglichen Alternativen. Lässt sich z. B. der fragliche Stoff nicht einfach durch einen weniger problematischen ersetzen? Des Weiteren muss auch der Nutzen der Verwendung des entsprechenden Stoffes betrachtet bzw. die Risiken einer Nichtanwendung des fraglichen Stoffes abgeschätzt werden (*Nutzen-Risiko-Überlegungen*).

Absichtlich eingesetzte Stoffe

Bei der Lebensmittelherstellung und -verarbeitung werden heute verschiedene Stoffe eingesetzt, die im genussfertigen Lebensmittel vorhanden sein können (z. B. Konservierungsmittel, Süßstoffe) oder aber Pestizide und Tierarzneimittel, die als unerwünschte Rückstände in Erscheinung treten können. Die toxikologischen Beurteilungsgrundlagen dieser Stoffe basieren praktisch ausschliesslich auf tierexperimentellen Untersuchungen. Bei solchen Stof-

¹⁷ Wichtige Kriterien für die Festlegung von Grenz- (und z. T. auch Toleranz-) Werten für potentiell gesundheitsgefährdende Stoffe sind: toxikologisches Potential des Stoffes, Ergebnisse von Zufuhrabschätzungen, Analytik, Konsumentenerwartung und der internationale Handel (vgl. Handelshemmnisse bei bereits bestehenden oder sich in Vorbereitung befindlichen nationalen oder internationalen Normen).

fen besteht das Ziel allfälliger gesetzlicher Regelungen darin, die Exposition zu minimalisieren (Reinheit des Lebensmittels, Konsumentenerwartung), wodurch ein maximaler Sicherheitsabstand (Sicherheitsfaktor) erreicht wird (*«maximale Handlungsfreiheit»*).

Handelt es sich dabei nur um einen einzigen Stoff, der zudem in sehr wenigen Lebensmitteln vorkommt und dessen Konzentrationen sich technisch oder technologisch leicht beeinflussen lassen, wird für eine Risikoabschätzung meist von maximalen (teilweise unrealistischen) Verzehrmengen und häufig von den höchsten gemessenen oder theoretisch möglichen Konzentrationen ausgegangen. Beispiele für solche Stoffe sind Antibiotika in Milch, Biphenyl auf Zitrusfrüchten oder Methylbromid in Cerealien.

Nach Möglichkeit ähnlich verfahren wird, wenn die zur Diskussion stehenden Stoffe zwar nicht absichtlich verwendet, sich aber technisch oder technologisch vermeiden lassen (z. B. Chlorpropanole in Würzen).

Inhaltsstoffe und Kontaminanten

Bei Stoffen, deren Gehalte sich in den Lebensmitteln technisch oder technologisch nicht ohne weiteres beeinflussen lassen, wie beispielsweise bei Inhaltsstoffen (Naturstoffen) und Kontaminanten, muss in der Regel anders vorgegangen werden. Hier ist das Ziel allfälliger gesetzlicher Regelungen, das Risiko gesundheitlicher Effekte, seien sie auch noch so geringfügig, zu vermeiden. Dabei müssen oft relativ kleine Sicherheitsfaktoren akzeptiert werden. Kleine Sicherheitsfaktoren lassen sich dadurch rechtfertigen, dass für verschiedene derartige Stoffe, wie z. B. für Blei und Cadmium sowie teilweise auch für «Dioxine», Erfahrungen über mögliche Effekte beim Menschen vorliegen und die Unsicherheit bei der Extrapolation tierexperimenteller Daten auf den Menschen wegfällt.

In der Regel ist bei solchen Stoffen auch der Bereich zwischen der tatsächlichen unvermeidbaren Zufuhr und derjenigen, bei denen erste biologische Effekte erwartet werden können, relativ gering. Beispiele sind Isoflavonoide in Gemüse (oestrogene Wirkung), Furocoumarine in Sellerie (phototoxisch, akute Effekte), Ethylcarbamat in Steinobstdestillaten (kanzerogen, chronische Effekte) oder das ubiquitär in Lebensmitteln vorkommende Cadmium¹⁸. Diese Gegebenheiten können im Hinblick auf die Verhältnismässigkeit allfälliger gesetzlicher Massnahmen auch dazu führen, dass die tatsächliche Belastung sowie die toxikologischen Grundlagen vorgängig genauer überprüft bzw. ergänzt werden müssen (*«beschränkte Handlungsfreiheit»*).

Für Stoffe, die in sehr vielen Lebensmitteln vorkommen, wird als Basis für Zufuhrabschätzungen bei Grundnahrungsmitteln meistens die mittlere Verzehrmenge (bzw. Pro-Kopf-Verzehrmenge) und die mittlere im betreffenden Lebensmittel vorkommende Konzentration berücksichtigt. Dieses Vorgehen ist bei chronisch-toxisch wirkenden Stoffen gerechtfertigt. Bei akut-toxisch wirkenden Stoffen ist demgegenüber von einer Tagesration und den maximal möglichen Konzentrationen auszugehen.

Bei speziellen Lebensmitteln hingegen, die wahrscheinlich nur von wenigen Personen (z. B. 5% der Bevölkerung) täglich und meist in vermutlich geringen Mengen verzehrt werden (z. B. Leinsamen, Meeralgen), sind mittlere Verzehrmengen für Risikoabschätzungen kaum geeignet. Da in der Schweiz keine entsprechenden Erhebungsdaten verfügbar sind, müssen entsprechende Werte angenommen werden. Bei in unserer Gesellschaft üblichen Lebensmitteln fällt dies relativ leicht (z. B. Sellerie), nicht aber bei solchen aus fremden Kulturreisen (z. B. Meeralgen) oder bei solchen, die von Personen mit speziellen Ernähr-

¹⁸ – Nierentoxisch, chronische Effekte; massgebend ist die lebenslange Aufnahme.
– Cadmium ist einerseits ein Inhaltsstoff und andererseits ein Kontaminant (analog zu Nitrat).

rungsgewohnheiten¹⁹ (z. B. Leinsamen bei Makrobioten) verzehrt werden. In solchen Fällen muss von den Empfehlungen des Anbieters ausgegangen werden oder, wenn solche nicht verfügbar sind, müssen «vernünftige» Annahmen getroffen werden.

Extreme Verzehrsgewohnheiten

Häufig stellt sich die Frage, wie extreme Verzehrsgewohnheiten hinsichtlich gesundheitsgefährdender Stoffe bewertet werden müssen. In solchen Fällen ist zuerst abzuklären, ob nicht bereits die extreme Verzehrsgewohnheit an sich zu einer einseitigen Ernährung und dadurch zu einem Gesundheitsrisiko führt (z. B. über einen langen Zeitraum täglich 100 g Schokolade oder Feigen, 100 g trockene Spirulina-Algen oder 150 g Leber).

Führt die angenommene Verzehrsmenge nicht zu einer Fehlernährung im klassischen Sinne, ist aufgrund von Untersuchungen aus den USA und aus Grossbritannien folgendes zu berücksichtigen (80): Ist der mittlere Verzehr eines Lebensmittels bei Personen, die das betreffende Lebensmittel konsumieren, bekannt, so kann davon ausgegangen werden, dass etwa 10% der Bevölkerung (die das betreffende Lebensmittel konsumieren) das Doppelte, und weniger als 5% der Bevölkerung mehr als das Dreifache des Mittelwertes verzehren. Dies gilt sowohl für Grundnahrungsmittel wie etwa Brot als auch für Lebensmittel, die nur von einem Teil der Bevölkerung konsumiert werden (z. B. Innereien).

Saisonale Verzehrsgewohnheiten

Werden gewisse Lebensmittel vom grössten Teil der Bevölkerung nur vor allem während einer bestimmten Jahreszeit konsumiert, wie beispielsweise Wildpilze und Trauben, oder tritt eine erhöhte Konzentration eines Stoffes nur während einer definierten Zeit auf²⁰, so darf nur in bestimmten Fällen auf eine mittlere Jahresbelastung umgerechnet werden: Während beispielsweise bei Cadmium die kumulative Gesamtbelaistung wichtig ist für das Auftreten biologischer Effekte und demzufolge eine Umrechnung auf eine mittlere Jahresbelastung bei Wildpilzen zulässig ist, trifft dies nicht zu für die Belastung mit akut toxisch wirkenden Substanzen (z. B. Furocoumarine, Glykoalkaloide) oder für Stoffe, welche in den normalen Stoffwechsel eingreifen (z. B. Zyklusstörungen bei der Frau durch oestrogenwirksame Stoffe).

Anhang 3

Beispiele für chemische Kanzerogene

Aflatoxine

Das bislang bekannteste und häufig zu Vergleichen (2) herangezogene Beispiel eines genotoxischen kanzerogenen Stoffes in Lebensmitteln stellt das natürlich vorkommende Mykotoxin Aflatoxin B₁ dar. Seine Struktur wurde 1961 aufgeklärt und seine genotoxische

¹⁹ Dazu gehören auch Personen, welche Lebensmittel aus der Eigenproduktion konsumieren (z. B. Hobbygärtner, Fischer).

²⁰ Beispielsweise durch Lagerung, ungünstige Wachstumsbedingungen, z. B. während den Wintermonaten, Trockenheit usw.

kanzerogene Wirkung Mitte der 60er Jahre gefunden. Es ist in der Schweiz erstmals Mitte der 70er Jahre in Mandelmehl (64) und einige Jahre später in Form seines Metaboliten Aflatoxin M₁ in Milch (65) nachgewiesen worden. Bei Aflatoxin B₁ handelt es sich um den im Tierversuch am stärksten kanzerogen wirkenden Stoff, der bekannt ist. Nach den seit rund 30 Jahren üblichen Prüfverfahren hätte nie die Möglichkeit bestanden, dass ein solcher Stoff zur Anwendung im Lebensmittelbereich zugelassen worden wäre.

Basierend auf Tierversuchen ergab eine von *Schlatter* 1978 vorgenommene Risikobetrachtung, unter Vorgabe eines akzeptierbaren jährlichen hypothetischen Leberkrebstodesfallrisikos von $1 \cdot 10^{-6}$ (bzw. berechnet auf eine Lebenszeit von 75 Jahren von etwa 10^{-4}) sowie unter Berücksichtigung weiterer Faktoren bei der Übertragung der Daten vom Tier auf den Menschen, wie Stoffwechsel und Lebensdauer, dass die tägliche Zufuhr an Aflatoxin B₁ nicht grösser als 1–20 ng/Mensch sein sollte (67). Werden die tierexperimentellen Daten (84) direkt auf den Menschen linear extrapoliert (41), berechnet sich für ein Risiko über Lebenszeit von 10^{-6} eine täglich duldbare Zufuhr von 0,2 ng/Mensch (virtuell sichere Dosen). Für die Ableitung der schweizerischen Grenzwerte für Aflatoxin B₁ in Mais, Mandeln, Erdnüssen und Milch wurde ursprünglich von einer virtuell sicheren Dosis von 1 ng/Mensch/Tag ausgegangen.

«Aflatoxine» wurden primär nachgewiesen in Mandelmehl (Mandeln), Erdnüssen, Pistazien, importiertem Mais und neuerdings auch in getrockneten Feigen sowie sekundär in Milch infolge Verfütterung von aflatoxinhaltigem Erdnusschrot. «Aflatoxine» gelangen vermutlich ausschliesslich via *Importprodukte* in die Nahrung der Schweizer Wohnbevölkerung²¹. Die erwähnten Lebensmittel waren nicht lebensnotwendig und auf dem Weltmarkt war auch nahezu «aflatoxinfreie» Ware erhältlich. Die Exposition war somit durchaus vermeidbar. Im Hinblick auf den präventiven Gesundheitsschutz fiel daher die Festlegung strenger schweizerischer Grenzwerte (31) relativ leicht. Auf die Festlegung von Toleranzwerten wurde indessen verzichtet, obwohl durch solche die effektive Exposition weiter hätte vermindert werden können, da auch bei minder kontaminierte Ware bereits lebensmittelrechtliche Massnahmen (Beanstandungen) hätten erfolgen können.

Bedeutend weniger leicht fällt die Festlegung strenger gesetzlicher Normen in denjenigen Ländern, die Erdnüsse und Mais produzieren (z. B. USA), oder aber der FAO/WHO (70), welche die verfügbaren toxikologischen Unterlagen zu «Aflatoxin» als ungenügend zur Evaluation einer zulässigen Tagesdosis einstuft, sich aber vermutlich bewusst ist, dass Erdnüsse in vielen Entwicklungsländern einen wichtigen Beitrag zur Nahrungsversorgung leisten²².

Die Festlegung der Aflatoxinnormen in der Schweiz und deren konsequente Anwendungen führten dazu, dass heute die mittlere Aflatoxin-Zufuhr (Aflatoxin-B₁-Äquivalente) geringer ist als 1 ng/Mensch/Tag, vermutlich im Bereich von 0,05 ng/Mensch/Tag. Mitte der 70er Jahre dürfte die mittlere Zufuhr noch 20–40 ng/Mensch/Tag betragen haben, wobei gut die Hälfte oder mehr aus der Milch (und Milchprodukten) stammte (65). Diese Abnahme der Belastung der Bevölkerung ist als ein grosser Erfolg der Lebensmittelkontrolle zu werten.

²¹ Es gibt zwar Hinweise, dass in feuchtem einheimischem Futtermais auch während der Lagerung eine Aflatoxinbildung nicht vollkommen ausgeschlossen werden kann (68, 69).

²² Die FAO-/WHO-Empfehlung für «Aflatoxine» lautet: «Lowest practicable level». Mit der Bemerkung: «Presence in food should be reduced to irreducible levels. An irreducible level is defined as that concentration of a substance that cannot be eliminated from a food without involving the discarding of that food altogether, severely compromising the ultimate availability of major food supplies» (70).

Dass die Aflatoxinexposition aber vermutlich nur einen geringen Beitrag zur Leberkrebshäufigkeit in der Schweiz liefert, zeigen die folgenden Zahlen:

Die jährliche Leberkrebsinzidenz pro 100 000 Einwohner (altersstandardisiert) lag 1979/81 in den Kantonen Genf, Waadt, Neuenburg, Basel-Stadt, Zürich und St. Gallen im Mittel bei rund 10 für Männer und bei rund 2,5 für Frauen (Unterschied durch Alkohol bedingt?) (71). Umgerechnet auf die ganze Schweiz würde dies etwa 400 Leberkrebskrankungen pro Jahr entsprechen, was nur rund 1,5% sämtlicher jährlicher Neuerkrankungen an Krebs entspricht (71). Es wurde geschätzt, dass durch die getroffenen gesetzlichen Regelungen und deren (kostspieligen) konsequenten Vollzug theoretisch vielleicht 1–5 Leberkrebstodesfälle weniger pro Jahr in der Schweiz auftreten als früher (72, 73). Gemessen an den tatsächlich jährlich auftretenden Leberkrebsfällen entspricht dies höchstens etwa 1%.

Damit soll die Berechtigung der getroffenen lebensmittelrechtlichen Massnahmen nicht in Frage gestellt werden, denn jeder einzelne Krebsfall, der vermieden werden kann, muss selbstverständlich vermieden werden. Obige Ausführungen sollen vielmehr zeigen, dass die wichtigsten Krebsursachen vermutlich nicht bei einzelnen genotoxischen Spurenstoffen zu suchen sind.

Hydrazine

Es ist bekannt, dass Lorcheln (*Gyromitra esculenta*), auch «falsche Morcheln» genannt, sowie Zuchtchampignons (*Agaricus bisporus*) natürlicherweise verschiedene Hydrazinderivate (*Gyromitrin* bzw. *Agaritin*) enthalten, die im Tierversuch eine genotoxische kanzerogene Wirkung entfalten (*Inhaltsstoffe*). Eine entsprechende Risikobeurteilung soll, nach dem Kriterium der Vermeidbarkeit, in der Folge zu einem lebensmittelrechtlichen Verbot, Lorcheln als Speisepilze in den Verkehr zu bringen, führen (74).

Auch für Zuchtchampignons wurde, basierend auf Tierversuchen sowie anhand von Analogien zu anderen Hydrazinverbindungen und Nitrosaminen, eine vorläufige Risikobeurteilung vorgenommen (75). Das Ergebnis lautet, dass pro Tag und pro Person nicht mehr als 0,1–0,5 g frische Zuchtchampignons verzehrt werden sollten. Demgegenüber beträgt der mittlere Pro-Kopf-Konsum an Zuchtpilzen (vorwiegend Champignons) insgesamt (inkl. Konserven) etwa 5 g/Kopf/Tag (76). Das aus diesem Konsum resultierende hypothetische Krebsrisiko scheint somit in einer ähnlichen Größenordnung zu liegen, wie dasjenige anderer unvermeidbarer kanzerogener Stoffe in der Nahrung (z. B. Dimethylnitrosamin) (79).

Behördliche Massnahmen sind vernünftigerweise bis jetzt noch nicht erfolgt, da die Datenlage als noch nicht ausreichend einzustufen ist. Immerhin würde ein Verbot der Zuchtchampignons schwerwiegende Folgen für einen ganzen Wirtschaftszweig ergeben, da heute noch kein Verfahren bekannt ist, das zu Pilzen mit verminderten Gehalten an kanzerogenen Stoffen führt. Bei einem weniger verbreiteten Lebensmittel oder einem, das nur importiert wird, wären nach dem Prinzip der Vermeidbarkeit der Exposition eventuelle präventive lebensmittelrechtliche Massnahmen eher zu realisieren.

Ethylcarbamat

Ethylcarbamat ist eine im Tierversuch in verschiedenen Organen kanzerogen wirkende Substanz, die natürlicherweise in fermentierten Lebensmitteln, wie z. B. in alkoholischen Getränken und Brot sowie in Tabak, vorkommen kann. Die vorwiegend durch den Brotkonsum bedingte Grundzufuhr beträgt schätzungsweise 10–20 ng/kg Körpergewicht/Tag. Sie kann durch den mässigen täglichen Konsum von Steinobstbranntweinen (20–40 ml) massiv erhöht werden, da diese mit im Mittel rund 2000 µg/l die weitaus höchsten Ethylcarbamat-

Konzentrationen aufweisen. Auf der Basis der vorhandenen Daten aus Tierversuchen wurde eine vorläufige Risikoabschätzung (Leber- und Lungenkrebs) vorgenommen. Der lebenslängliche tägliche Konsum von 20–40 ml eines Steinobstdestillates ist noch mit keiner alkoholbedingten Gesundheitsgefährdung verknüpft, führt jedoch zu einem hypothetischen Krebsrisiko über Lebenszeit von nahezu 10^{-4} (77).

Im Gegensatz zu anderen potentiell gesundheitsgefährdenden Stoffen in Lebensmitteln, im Sinne von Kontaminanten, die gesetzlich geregelt wurden, wie z. B. Nitrosamine in Bier, ist die Herkunft und Bildungsweise von Ethylcarbamid noch weitgehend unklar. Entsprechend schwierig gestalten sich die im Gange befindlichen Massnahmen, durch technologische Veränderungen der traditionellen Herstellungsprozesse die Ethylcarbamidgehalte alkoholischer Getränke zu senken. Unter der Berücksichtigung, dass für die Herstellung von Steinobstdestillaten noch keine «gute Herstellungspraxis» bekannt ist, die zu ethylcarbamidarmen Produkten führt, und in Anbetracht der Tatsache, dass Alkohol ein Genussmittel für Erwachsene ist und im Übermass genossen selbst einen Risikofaktor für verschiedene Erkrankungen darstellt, wäre die Ergreifung lebensmittelrechtlicher Massnahmen im jetzigen Zeitpunkt unverhältnismässig (78).

Heterocyklische aromatische Amine

Bei Temperaturen über 200 °C werden aus Aminosäuren (Proteinen) in Abwesenheit von Kohlenhydraten stark mutagene Pyrolyseprodukte gebildet, welche zur Klasse der sogenannten heterocyklischen aromatischen Amine (HAA) gehören. Somit ist klar, dass solche Stoffe auch beim Kochen und insbesondere Braten von Fleisch und Fisch sowie in geringem Umfang auch von Sojaprodukten gebildet werden können. Die Art und insbesondere das Ausmass der Bildung von HAA wird stark durch die Art des Erhitzens (Braten direkt in der Flamme erhöht den Gehalt), die Temperatur (im Bereich von 200–250 °C exponentielle Konzentrationszunahme), die Zeitspanne des Erhitzens sowie die Anwesenheit von Begleitstoffen (z. B. Kreatinin) beeinflusst. Die Konzentrationen einzelner HAA bewegen sich im Bereich von 0,1 µg/kg bis 100 µg/kg. Die höchsten Konzentrationen finden sich im «Bratsaft». Die Summe aller bekannten HAA, die durch den Konsum industriell hergestellter Rinderbouillon aufgenommen werden können, wurde auf maximal 100 ng pro Person pro Tag geschätzt, entsprechend etwa einem Promille der geschätzten Totalzufuhr.

Alle bis heute isolierten 16 Vertreter der HAA haben sich in bakteriellen Mutagenitätstests als stark mutagen erwiesen. In Mutagenitätstests mit Säugetierzellen (Zellkulturen) waren die gleichen Stoffe wesentlich weniger aktiv und teilweise sogar inaktiv. 10 einzelne Vertreter der HAA wurden in der Folge in Langzeitstudien an Labortieren geprüft (200–500 mg/kg im Futter). Diese hohen Dosen führten ausnahmslos zu Tumoren in verschiedenen Organsystemen, vorzugsweise der Leber. Die kanzerogene Potenz dieser Stoffe ist etwa vergleichbar mit jener anderer Kanzerogene wie Benzo(a)pyren oder Ethylcarbamid (Urethan). Wird für die HAA eine «virtuell sichere Dosis» abgeschätzt, so liegt diese etwa bei 30 ng/kg Körpergewicht und Tag.

Ausländische Schätzungen einer mittleren Gesamtbelaistung des Menschen ergaben für die bis jetzt bekannten HAA eine tägliche Aufnahme von etwa 100 µg, entsprechend etwa 1500 ng/kg Körpergewicht. Diese Abschätzung ist mit grossen Unsicherheiten behaftet, insbesondere auch bezüglich der Belastungssituation des Menschen. Die erwähnte Zufuhrmenge entspricht einem hypothetischen Lebenszeit-Krebsrisiko von gegen 10^{-4} .

Obwohl die Zufuhr der HAA über der entsprechenden «virtuell sicheren Dosis» liegt, wären lebensmittelrechtliche Massnahmen unverhältnismässig und in gewissen Fällen auch

gar nicht möglich. Leicht realisierbar ist hingegen die Vermeidung hoher Brattemperaturen (< 200 °C), der Verzicht auf den Genuss des «Bratsafes» sowie die Vermeidung einer zusätzlichen inhalativen Exposition gegenüber diesen Stoffen durch eine gute Lüftung beim Braten und Grillieren (79).

Anhang 4

Zur Ableitung von Toleranzwerten am Beispiel von Plutonium und Tritium

Nachstehend wird die für aus der Umwelt stammenden chemischen Stoffe übliche Vorgehensweise bei der Ableitung von Toleranzwerten exemplarisch auf zwei Radionuklide angewendet.

Auf der Basis der de-minimis-Dosis von 0,01 mSv resultiert für Pu²³⁸⁺²³⁹ ein Toleranzwert von 100 mBq/kg. Wenn in Lebensmitteln unter «normalen» Umständen nur Aktivitäten im Bereich von 0,4 mBq/kg (Getreide) bis 8 mBq/kg (Honigtauhonig) auftreten (60, 61), würde im Sinne der Lebensmittelgesetzgebung dieser Wert bedeutend tiefer angesetzt. – Die geschätzte mittlere tägliche Plutoniumzufuhr beträgt rund 0,2 mBq/Person («Grundzufuhr»). – Emissionen (legale?) der Kernforschungsanstalt Karlsruhe bewirkten im Dezember 1980 Plutoniumaktivitäten auf Grünkohl (vgl. grosse Blattoberfläche) von rund 70 mBq/kg (60). Falls solche Abgaben legal sind (Abgabelimiten eingehalten), wäre für Plutonium allerdings ein Toleranzwert von 100 mBq/kg (totale Pu-Aktivität) angebracht.

Ähnliche Betrachtungen lassen sich für Tritium anstellen. Der aus der de-minimis-Dosis resultierende vorgeschlagene Toleranzwert beträgt 1000 Bq/kg. In essfertiger Säuglingsnahrung wurden z. B. aber nur Werte im Bereich von 1,3–9,4 Bq/kg gemessen (62). In Schweizer Weinen fanden sich in den Jahren 1962–1976 Tritiumkonzentrationen im Bereich von 20–250 Bq/l (63).

Zusammenfassend lässt sich folgendes festhalten: Da im lebensmittelrechtlichen Sinne bei der Festlegung von Toleranzwerten für chemische Stoffe in erster Linie das Reinheitskriterium massgebend ist, sollten auch bei Radionukliden Dosisüberlegungen, und damit Gesundheitskriterien, eine vernachlässigbare Rolle spielen. Die festzulegenden Toleranzwerte müssten nuklid- und lebensmittelspezifisch die derzeitige schweizerische Kontaminationslage widerspiegeln (nicht berücksichtigt werden Extremfälle, wie z. B. Cs¹³⁷ in Milch im Bergell).

Da einerseits ein solides Datenmaterial über das Vorkommen gewisser Radionuklide, die aber für die Gesamtexposition unwesentlich sind, in den unterschiedlichsten Lebensmitteln nicht vorhanden ist (ausgenommen für Gammastrahler und Sr⁹⁰) und andererseits für gewisse Betriebe nuklidspezifische Abgabelimiten existieren, besteht die Möglichkeit der «Überbestimmtheit», d. h. es wären Situationen denkbar, in denen derart abgeleitete Toleranzwerte überschritten würden, ohne dass der entsprechende Betrieb irgend eine Vorschrift verletzt hätte. Aus den im Text genannten Gründen wird vorgeschlagen, die Toleranzwerte für künstliche Radionuklide in Lebensmitteln nicht streng nach dem bei chemischen Stoffen üblichen Verfahren, sondern auf Basis der de-minimis-Dosis abzuleiten.

Literatur

1. *Alarmausschuss Radioaktivität*: Schutz der Bevölkerung bei einer Gefährdung durch Radioaktivität, 30. Dezember 1982. Huber, O., Honegger, P., Prêtre, S. und Baggenstoss, M., Bern 1982.
2. *Anonym*: Massnahmen nach Tschernobyl. Bericht der Geschäftsprüfungskommission an den Bundesrat vom 10. November 1988. Bundesblatt Jg. 141 Bd. I (10), 698–715 (1989).
3. *Schweizerische Eidgenossenschaft*: Strahlenschutzgesetz vom 27. März 1991, SR 732.0.
4. *Rubery, E.D.*: Radionuclides in food. A neglected branch of toxicology? Human Toxicol. 8, 79–86 (1989).
5. *Travis, C.C., Pack, R.S. and Hattemer-Frey, H.A.*: Is ionizing radiation regulated more stringently than chemical carcinogens? Health Physics 56, 527–531 (1989).
6. *Zimmerli, B. und Bosshard, E.*: Strahlenexposition durch Radionuklide in Lebensmitteln. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 80, 387–404 (1989).
7. *Zimmerli, B. und Bosshard, E.*: Strahlenexposition durch Radionuklide. In: Stähelin, H.B., Lüthy, J., Casabianca, A., Monnier, N., Müller, H.R., Schutz, Y. und Sieber, R., Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 168–180. Bundesamt für Gesundheitswesen, Bern 1991.
8. *Bosshard, E., Zimmerli, B. and Schlatter, Ch.*: Uranium in the diet: risk assessment of its nephro- and radiotoxicity. Chemosphere 24, 309–322 (1992).
9. *Schweizerische Eidgenossenschaft*: Bundesgesetz betreffend den Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen vom 8. Dezember 1905, SR 817.0.
10. *Schweizerische Eidgenossenschaft*: Bundesgesetz über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz vom 23. Dezember 1959, SR 732.0.
11. *Schweizerischer Bundesrat*: Verordnung über den Strahlenschutz vom 30. Juni 1976, SR. 814.50.
12. *Schweizerischer Bundesrat*: Botschaft zu einem Bundesgesetz über Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände vom 30. Januar 1989, SR 89.011.
13. *Doll, R. and Peto, R.*: The cause of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today. J. Nat. Cancer Inst. 66, 1193–1308 (1981).
14. *Demetrius, A.*: Total calories, body weight, and tumor incidence in mice. Cancer Res. 47, 1987–1992 (1987).
15. *Doll, R.*: Epidemiology and the prevention of cancer: some recent developments. J. Canc. Res. Clin. Oncol. 114, 447–458 (1988).
16. *Gross, L. and Dreyfuss, Y.*: Prevention of spontaneous and radiation-induced tumors in rats by reduction of food intake. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 87, 6795–6797 (1990).
17. *Glubrecht, H.*: Ansätze zum Dosisvergleich bei der Wirkung ionisierender Strahlung und chemischer Stoffe. In: Glöbel, E., Gerber, G., Grillmaier, R., Kunkel, R., Leetz, H.-K. und Oberhausen, E. (Hrsg.), Umweltrisiko 80. Das Strahlenrisiko im Vergleich zu chemischen und biologischen Risiken, S. 455–468. Georg Thieme, Stuttgart und New York 1981.
18. *Carroll, K.K.*: Dietary fats and cancer. Am. J. Clin. Nutr. 53, 1064S–1067S (1991).
19. *Welsch, C.W.*: Relationship between dietary fat and experimental mammary tumorigenesis: a review and critique. Cancer Res. (Suppl.) 52, 2040S–2048S (1992).
20. *Burkitt, D.P.*: Dietary fiber and cancer. J. Nutr. 118, 531–533 (1988).
21. *Ames, B.N. and Gold, L.S.*: Endogenous mutagens and the cause of aging and cancer. Mut. Res. 250, 3–16 (1991).

22. Simic, M.G. and Bergtold, D.S.: Dietary modulation of DNA damage in human. *Mut. Res.* **250**, 17–24 (1991).
23. Lutz, W.K.: Endogenous genotoxic agents and processes as a basis of spontaneous carcinogenesis. *Mut. Res.* **238**, 287–295 (1990).
24. Weisburger, J.H.: Nutritional approach to cancer prevention with emphasis on vitamins, antioxidants, and carotenoids. *Am. J. Clin. Nutr.* **53**, 226S–237S (1991).
25. Wattenberg, L.W.: Inhibition of carcinogenesis by minor annutrient constituents of the diet. *Proc. Nutr. Soc.* **49**, 173–183 (1990).
26. Ames, B.N.: Dietary carcinogens and anticarcinogens. *Science* **221**, 1256–1264 (1983).
27. Ames, B.N., Propst, M. and Gold, L.S.: Dietary pesticides (99,9% all natural). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **87**, 7777–7781 (1990).
28. Ames, B.N. and Gold, L.S.: Misconceptions on pollution and the causes of cancer. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **29**, 1197–1208 (1990).
29. Anonym: 30. Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität für die Jahre 1987–1988 zuhanden des Bundesrates, Teil 1 und Teil 2 (1991).
30. Martignoni, K.: Strahlenrisiken der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlen. In: Somogyi, A., Weisse, W. und Grossklaus, D. (Hrsg.), *Gesundheit und Umwelt '90*. BGA Schriften 2/90, S. 55–57. MMV Medizin Verlag München 1990.
31. Eidgenössisches Departement des Innern: Verordnung über die hygienisch-mikrobiologischen Anforderungen an Lebensmittel und Gebrauchs- und Verbrauchsgegenstände vom 14. September 1981 bzw. deren Neufassung vom 1. Juli 1987, SR 817.024.
32. Eidgenössisches Departement des Innern: Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln vom 27. Februar 1986, SR 817.022.
33. Schlatter, J.: The toxicity of urethane (ethyl carbamate). In: *Proceedings Euro Food Tox II*, p. 249–254. Institute of Toxicology, Swiss Federal Institute of Technology and University of Zurich, CH-8603 Schwerzenbach, 1986.
34. Food and Drug Administration: Sponsored compounds in food producing animals; criteria and procedure for evaluating safety of cancerogenic residues; animal drug safety policy. *Fed. Reg.* **52**, 49572–49588 (1987).
35. Scheuplein, R.J.: Risk assessment and food safety: a scientist's and regulator's view. *Food Drug Cosm. Law J.* **42**, 237–250 (1987).
36. Scheuplein, R.J.: Perspectives on toxicological risk – an example: food-borne carcinogenic risk. In: Clayson, D.B., Shubik, P. and Swenberg, J.A. (eds.), *Progress in predictive toxicology*, p. 351–372. Elsevier, Amsterdam, New York, Oxford 1990.
37. Mantel, N. and Bryan, W.R.: «Safety» testing of carcinogenic agents. *J. Nat. Cancer Inst.* **27**, 455–470 (1961).
38. Mantel, N., Bohidar, N.R., Brown, C.C., Ciminera, J.L. and Tukey, J.W.: An improved Mantel-Bryan procedure for «safety» testing of carcinogens. *Cancer Res.* **35**, 865–872 (1975).
39. Travis, C.C. and Hattemer-Frey, H.A.: Determining an acceptable level of risk. *Environ. Sci. Technol.* **22**, 873–876 (1988).
40. World Health Organization (WHO): Guidelines for drinking-water quality. Vol. 1: Recommendations. WHO, Geneva 1984.
41. Lorentzen, R.J.: FDA procedure for carcinogenic risk assessment. *Food Technol.* **38**, 108–111 (1984).
42. Zeise, L., Wilson, R. and Crouch, E.A.C.: Dose-response relationships for carcinogens: a review. *Environm. Health Perspectiv.* **73**, 259–308 (1987).
43. Hazelwood, R.N.: Carcinogen risk assessment. *Adv. Food Res.* **31**, 1–51 (1987).

44. International Commission on Radiological Protection (ICRP): Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Pergamon Press, Oxford 1977.
45. International Commission on Radiological Protection (ICRP): Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 60. Pergamon Press, Oxford 1991.
46. Phipps, A.W., Kendall, G.M., Stather, J.W. and Fell, T.P.: Committed equivalent organ doses and committed effective doses from intakes of radionuclides. Technical Report / National Radiological Protection Board NRPB-R 245 (1991).
- 47a. Nosske, D., Gerich, B. und Langner, S.: Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen (Erwachsene). ISH-Heft 63. Bundesgesundheitsamt, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg b/München 1985.
- 47b. Heinrichs, K., Elsasser, U., Schotola, C. und Kaul, A.: Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen. Altersklasse 1 Jahr = ISH-Heft 78; Altersklasse 5 Jahre = ISH-Heft 79; Altersklasse 10 Jahre = ISH-Heft 80; Altersklasse 15 Jahre = ISH-Heft 81. Bundesgesundheitsamt, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg b/München 1985.
48. World Health Organization (WHO): Derived intervention levels for radionuclides in food. Guidelines for application after widespread radioactive contamination resulting from a major radiation accident. WHO, Geneva 1988.
49. Codex Alimentarius Commission: Contaminants. Guideline levels for radionuclides in food following accidental nuclear contamination for use in international trade. Volume XVII-Ed. 1, Supplement 1. FAO/WHO, Rome 1989.
50. Rat der Europäischen Gemeinschaften: Höchstwerte an Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermitteln. Verordnung (EURATOM) Nr. 3954/87 vom 22. Dezember 1987. Amtsbl. d. EG Nr. L 371/11 vom 30. 12. 1987.
51. Rat der Europäischen Gemeinschaften: Höchstwerte an Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermitteln. Verordnung (EURATOM) Nr. 2218/89 vom 18. Juli 1989. Amtsbl. d. EG Nr. L 211/1 vom 22. 7. 1989.
52. Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG): Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz, 1989–1990. BAG, Abteilung Strahlenschutz, Sektion Überwachung der Radioaktivität, Bern 1992.
53. Menzel, R.G.: Uranium, radium, and thorium content in phosphate rocks and their possible radiation hazard. J. Agr. Food Chem. **16**, 231–234 (1968).
54. Rothbaum, H.P., McGavestone, D.A., Wall, T., Johnston, A.E. and Mattingly, G.E.M.: Uranium accumulation in soils from long-continued applications of superphosphate. J. Soil Sci. **30**, 147–153 (1979).
55. Lutz, K.W., Poetzsch, J., Schlatter, J. and Schlatter, Ch.: The real role of risk assessment in cancer risk management. Trends Pharmacol. Sci. **12**, 214–217 (1991).
56. Schlatter, Ch.: Fremdstoffregelung bei Fleisch und Fleischwaren im Spannungsfeld zwischen Politik und Toxikologie. Schweiz. Arch. Tierheilk. **127**, 129–139 (1985).
57. Anonym: Analysenresultate bei Perrier-Mineralwasser (Pressemitteilung des Bundesamtes für Gesundheitswesen vom 15.2.1990). Bulletin des Bundesamtes für Gesundheitswesen Nr. 7 vom 26. 2. 1990, S. 77.
58. Baumgartner, E.: Gesundheitliche Risiken bei Lebensmitteln. Vorbemerkungen. In: Aebi, H., Blumenthal, A., Bohren-Hoerni, M., Brubacher, G., Frey, U., Müller, H.R., Ritzel, G. und Stransky, M. (Hrsg.), Zweiter Schweizerischer Ernährungsbericht, S. 127–130. Hans Huber, Bern, Stuttgart, Wien 1984.
59. Solms, J.: Lebensmittel und Wohlstandsgesellschaft. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **79**, 21–28 (1988).

60. Frindik, O.: Fünfzehn Jahre alphaspektrometrische Actinidenbestimmung in Lebensmitteln. In: Kutsch, Th. (Hrsg.), Forschung im Dienste der Ernährung. Bericht der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe, BFE-R-89-01, S. 27–31. Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe 1989.
61. Bunzl, K. und Kracke, W.: ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Pu und ^{137}Cs in Lebensmitteln aus der Umgebung eines Kernkraftwerkes und anderen Teilen der Bundesrepublik Deutschland. Arch. Lebensm. Hyg. 34, 113–115 (1983).
62. Müller, H.: Tritium-Gehalte von Baby- und Kleinkinder-Fertignahrung. Z. Lebensm. Unters.-Forsch. 175, 1–4 (1982).
63. Völkle, H., Murith, C. and Surbeck, H.: Fallout from atmospheric bomb tests and release from nuclear installations. Radiat. Phys. Chem. 34, 261–277 (1989).
64. Merk, E.: Jahresbericht 1976 des Kantonalen Laboratoriums Thurgau. Kantonales Laboratorium, Frauenfeld 1977.
65. Zimmerli, B. und Blaser, O.: Vorkommen von Aflatoxin M in Milch. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 70, 287–293 (1979).
66. Baumgartner, E.: Giftfreie Nahrung – eine durchsetzbare Forderung? In: Anonym: Belastete Umwelt – kontaminierte Nahrung – gefährdete Gesundheit. Schriftenreihe der Schweiz. Vereinigung für Ernährung, Heft 47a, S. 5–15. Schweiz. Vereinigung für Ernährung, Bern 1981.
67. Schlatter, Ch.: Zur Kanzerogenität der Aflatoxine. In: Schlatter, Ch. und Poiger, H. (Hrsg.), Gesundheitsgefährdung durch Aflatoxine, Arbeitstagung, Zürich 21./22. März 1978, S. 51–64. Institut für Toxikologie der Eidg. Technischen Hochschule und der Universität Zürich, CH-8603 Schwerzenbach, 1978.
68. Kantonales Laboratorium Basel-Landschaft: Milch – Lait. In: Siegwart Y., Die Durchführung der Lebensmittelkontrolle in der Schweiz im Jahre 1980. II. Auszüge aus den Berichten der amtlichen Laboratorien und Lebensmittelinspektorate über die Lebensmittelkontrolle im allgemeinen. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 72, 303–304 (1981).
69. Steiner, W., Pacciarelli, B. und Battaglia, R.: Aflatoxin B₁, BGY-Fluoreszenz und Kojisäure in Maiskörnern: eine Untersuchung auf Mais schweizerischer Herkunft. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 82, 457–474 (1991).
70. Anonym: Evaluation of certain food additives and contaminants. Thirty-first Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Tech. Rep. Ser. No 759, p. 33–37. WHO, Geneva 1987.
71. Raymond, L.: (Vereinigung schweizerischer Krebsregister): Krebsinzidenz in der Schweiz (1979–1981). Schweiz. Ärzteztg. 66, 1894–1899 (1985).
72. Schlatter, Ch.: Toxikologische Bedeutung von lebensmittelfremden Bestandteilen. In: Wie sicher sind unsere Lebensmittel? – Wissenschaftler antworten – Symposium. Bund für Lebensmittelrecht, Bonn, 19./20. April 1983, BLL-Schriftenreihe, Heft 102, S. 300–308. Behr's Verlag, Hamburg 1983.
73. Schlatter, Ch.: Schimmelpilze und Krebs. In: Anonym: Ernährung und Krebs, Tagung vom 25. Mai 1984, Schriftenreihe der Schweiz. Vereinigung für Ernährung, Heft 55a, S. 40–42. Schweiz. Vereinigung für Ernährung, Bern 1985.
74. Anonym: Zur Verzehrfähigkeit getrockneter Frühjahrslorcheln (*Gyromitra esculenta*). Bulletin des Bundesamtes für Gesundheitswesen Nr. 43 vom 31. 10. 1985, S. 433.
75. Schlatter, Ch.: Toxicological significance of some hydrazines in food (cycasin, gyromitrin and agaritine). In: Proceedings Euro Food Tox II, October 15–18, 1986, Zurich, p. 333–342. Institute of Toxicology, Swiss Federal Institute of Technology and University of Zurich, CH-8603 Schwerzenbach, 1986.

76. *Erard, M., Dick, R. und Zimmerli, B.*: Studie zum Lebensmittel-Pro-Kopf-Verzehr der Schweizer Bevölkerung. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **77**, 88–130 (1986).
77. *Zimmerli, B. and Schlatter, J.*: Ethyl carbamate: analytical methodology, occurrence, formation, biological activity and risk assessment. *Mut. Res.* **259**, 325–350 (1991).
78. *Anonym*: Ethylcarbamat in Steinobstdestillaten: Stand der Abklärungen. *Bulletin des Bundesamtes für Gesundheitswesen* Nr. 31 vom 12. 8. 1991. S. 484–487.
79. *Anonym*: Kanzerogene Stoffe in traditionell hergestellten und zubereiteten eiweissreichen Lebensmitteln. *Bulletin des Bundesamtes für Gesundheitswesen* Nr. 35 vom 7. 9. 1992. S. 564–574.
80. *Zimmerli, B. und Knutti, R.*: Untersuchung von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben. I. Allgemeine Aspekte von Zufuhrabschätzungen und Beschreibung der Studie. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **76**, 168–196 (1985).
81. *Zimmerli, B.*: Betrachtungen zur Festlegung und Bedeutung gesetzlicher Normen für potentiell gesundheitsgefährdende Stoffe in Lebensmitteln. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **77**, 473–498 (1986).
82. *Zimmerli, B. und Schlatter, J.*: (Bundesamt für Gesundheitswesen): Interne Mitteilung vom 26. 5. 1992 (im Mai 1992 an die kantonalen Laboratorien der Schweiz verteilt).
83. *Rat der Europäischen Gemeinschaften*: Höchstwerte an Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermitteln. Verordnung (EURATOM) Nr. 944/89 vom 12. 4. 1989. *Amtsbl. d. EG* Nr. L 101/17 vom 13. 4. 1989.
84. *Wogan, G.N., Paglialunga, S. and Newberne, P.M.*: Carcinogenic effects of low dietary levels of aflatoxin B₁ in rats. *Fd. Cosmet. Toxicol.* **12**, 681–685 (1974).

Dr. Elisabeth Bosshard
 Bundesamt für Gesundheitswesen
 Abteilung Lebensmittelwissenschaft
 c/o Institut für Toxikologie der Eidg.
 Technischen Hochschule und der
 Universität Zürich
 Schorenstrasse 16
 CH-8603 Schwerzenbach

Dr. B. Zimmerli
 Bundesamt für Gesundheitswesen
 Abteilung Lebensmittelwissenschaft
 Sektion Lebensmittelchemie
 Postfach
 CH-3000 Bern 14

Dr. W. Zeller
 Bundesamt für Gesundheitswesen
 Abteilung Strahlenschutz
 Sektion Physik und Biologie
 Postfach 2644
 CH-3001 Bern