



Radioactivité dans l'alimentation

5

Radioaktivität in Lebensmitteln

5

Radioaktivität in Lebensmitteln

P. Steinmann, S. Estier

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern
mit Daten und Angaben von

A. Pregler

Kantonales Laboratorium, Basel

C. Gemperle

Amt für Verbraucherschutz, Aarau

S. Nussbaumer

Kantonales Laboratorium, Bern

R. Brogioli

Amt für Lebensmittelkontrolle und
Verbraucherschutz, Luzern

D. Baumann, S. Schmid

Amt für Lebensmittelsicherheit und
Tiergesundheit, Chur

N. Forrer, M. De Rossa

Laboratorio Cantonale, Bellinzona

S. Reber

Kantonales Labor, Zürich

F. Barraud, R. Cusnir, P. Froidevaux, P.-A. Pittet, M. Straub

Institut de Radiophysique, Lausanne

G. Ferreri, A. Gurtner

Sektion Umweltradioaktivität, URA/BAG, Bern

Zusammenfassung

Insgesamt wurden 2023 etwa 300 Lebensmittelproben aus der Schweiz (Spezialkampagnen für Wildschweine nicht mitgezählt) sowie rund 200 importierte Lebensmittel auf Radioaktivität untersucht. Die Analysen fanden im Rahmen des BAG Probenahmeplans, von kantonalen Messkampagnen und von Spezialprogrammen statt. In den Hauptnahrungsmitteln waren wie erwartet Spuren von ^{137}Cs , ^{90}Sr und Tritium als künstliche Radionuklide nachweisbar. Bei rund 3 % der untersuchten Wildschweine aus dem Tessin lag der ^{137}Cs -Gehalt über dem Grenzwert von 600 Bq/kg. Damit war der Anteil konfiszierter Wildschweine vergleichbar mit den Vorjahren. In einer Milchprobe aus dem Tessin konnten immer noch Spuren von ^{137}Cs nachgewiesen werden (14 Bq/l). Auch ein Wildpilz aus dem Kanton Bern zeigte leicht erhöhte ^{137}Cs Aktivitätskonzentrationen (95 Bq/kg).

Bei den importierten Lebensmitteln waren die festgestellten Konzentrationen künstlicher Radionuklide im allgemeinen sehr tief und ohne Grenzwertüberschreitungen. Auch hier zeigten eine Wildprobe (Gams) und Pilze die höchsten ^{137}Cs -Aktivitätskonzentrationen (Maxima: 23 Bq/kg, bzw. 183 Bq/kg). Bei allen anderen Proben waren die Konzentrationen von künstlichen Radionukliden sehr tief. Ausser bei den Wildschweinen wurden keine Grenzwertüberschreitungen festgestellt.

Im Text werden die kantonalen Ämter mit «KL» gefolgt vom Kanton abgekürzt.

Messprogramm

Die Radioaktivität von Lebensmitteln wird von den Bundesstellen und den kantonalen Laboratorien gemeinsam überwacht. Die am häufigsten angewandten Untersuchungsmethoden sind Gammaspektrometrie sowie ^{90}Sr - und Tritium-Analytik. Der Probenahmeplan des BAG umfasst Messungen an den Hauptnahrungsmitteln Milch, Getreide und Gemüse. Die untersuchten Proben stammen sowohl aus der Umgebung von Kernanlagen und

Tritium-verarbeitender Industrie als auch aus davon entfernten Standorten. Darüber hinaus messen einige Kantone weitere Lebensmittel wie einheimische oder importierte Wildpilze, Früchte, Gewürze etc. Seit dem Reaktorunfall in Fukushima 2011 besteht für Lebensmittelimporte aus Japan ein spezielles Überwachungsprogramm mit Messungen von Stichproben. Informationen zu den Messungen der KL finden sich auch in deren Tätigkeitsberichten (siehe www.kantonschemiker.ch).

Höchstwerte für Lebensmittel

Die wichtigsten Höchstwerte sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Für Radioaktivität in Lebensmittel gelten in der Schweiz die Tschernobyl-Verordnung, die Verordnung über Trinkwasser, Bäder und Duschanlagen (TBDV), der Kontaminantenverordnung (VHK) sowie die Verordnung über die Einfuhr von Lebensmitteln mit Ursprung oder Herkunft Japan (seit August 2023 aufgehoben). Die Tschernobyl-Verordnung gilt für Lebensmittel (einheimische Produkte und Importe), die aufgrund des Reaktorunfalls in Tschernobyl (1986) kontaminiert sind. Die in der VHK festgehaltenen Höchstwerte würden nach einem radiologischen Unfall zur Anwendung kommen. In der TBDV übernimmt die Schweiz Richt-

werte für Radioaktivitätsparameter aus der Richtlinie 2013/51/ EURATOM für Trinkwasser. Ebenfalls in Übereinstimmung mit EU-Recht war die Festlegung von Höchstwerten für Cäsium-Isotope für Importe aus Japan nach dem Reaktorunfall in Fukushima in der BLV Verordnung über die Einfuhr von Lebensmitteln aus Japan.

Für die vergleichende Einordnung der Radioaktivität in Lebensmitteln bieten sich die abgeleiteten Konzentrationen (AK) aus der Trink-, Dusch- und Badewasserverordnung (TBDV) an; diese in Tabelle 1 fett dargestellten Werte liegen in der Grössenordnung der Toleranzwerte der 2017 ausser Kraft getretenen Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV).

Tabelle 1:
Höchstwerte für Radionuklide in Lebensmitteln (Bq/kg).

Parameter	Referenz	LM für Säuglinge u. Kleinkinder	Trinkwasser	Milch & Getränke auf Milchbasis	Flüssige LM (andere)	LM allgemein	LM geringer Bedeutung
Summe der Strontium-Isotope insbesondere ⁹⁰ Sr	VHK HG	75	125 ^a	125	125	750	7'500
	TBDV AK	-	4.9	-	-	-	-
Summe der Iod-Isotope insbesondere ¹³¹ I	VHK HG	150	500 ^a	500	500	2'000	20'000
	TBDV AK	-	6.2	-	-	-	-
Summe Plutonium- und Transplutonium-Isotope	VHK HG	1	20 ^a	20	20	80	800
	TBDV AK	-	0.1	-	-	-	-
Summe der Cäsium-Isotope ¹³⁴ Cs und ¹³⁷ Cs (VHK auch weitere künstliche Isotope)	T.-V. HW	370	600	370	600	600	600
	VHK HG	400	1'000 ^a	1'000	1'000	1'250	12'500
	Japan HG	50	10	50	10 ^b	100 ^c	100
	TBDV AK	-	11	-	-	-	-
³ H, ²²² Rn	TBDV PW	-	100	-	-	-	-
Gesamtdosis	TBDV PW	-	0.1 mSv/a ^d	-	-	-	-

VHK: Kontaminantenverordnung, Anhang 10: Höchstgehalte (HG) für Radionuklide nach einem nuklearen Unfall oder einem anderen radiologischen Notfall. Die Verordnung tritt nach einem Ereignis in Kraft.

TBDV: Trink-, Bade- und Duschwasserverordnung mit Parameterwerten (PW) und aus der Gesamtdosis abgeleiteten Konzentrationen (AK). Eine Überschreitung erfordert weitere Abklärungen.

T.-V.: Die Tschernobyl-Verordnung gilt für Lebensmittel, die aufgrund des Reaktorunfalls in Tschernobyl (1986) kontaminiert sind. HG: Höchstgrenzen.

Japan: Japanische Grenzwerte, die auch für Importe in die EU und in die Schweiz aus den vom Reaktorunfall in Fukushima betroffenen Gebiete gelten (817.026.2 Verordnung des BLV).

^{a)} Mit der Revision vom 1.7.2020 gelten Höchstwerte der VHK auch für Trinkwasser.

^{b)} Für Tee gilt ein Zubereitungsfaktor von 50, d.h. die Höchstgrenze für trockene Teeblätter ist 500 Bq/kg.

^{c)} Für Pilze gilt ein Rekkonstitutionsfaktor von 5, d.h. die Höchstgrenze für getrocknete Pilze ist 500 Bq/kg.

^{d)} Die TBDV gibt einen Parameterwert für die Gesamtdosis durch alle Radionuklide (ohne ³H, ²²²Rn und kurzlebige Radonfolgeprodukte).

Ergebnisse der Überwachung der Lebensmittel aus der Schweiz

^{137}Cs , ^{131}I und ^{90}Sr in Milch

2023 wurden rund 150 Milchproben gammaskoptrisch analysiert. Für ^{137}Cs waren die meisten Werte tiefer als die Nachweisgrenze, die zwischen 0.02 Bq/l und 0.3 Bq/l lag. Ein einziger Messwert war grösser als 1 Bq/l. Er wurde bei einer Probe aus dem Centovalli festgestellt (14 Bq/l). Solche leicht erhöhten Werte in der Nähe des Parameterwertes für Trinkwasser (11 Bq/l) sind in den letzten Jahren sporadisch in Proben aus dem Tessin oder den Bündner Südtälern immer wieder aufgetreten. Diese geringfügig erhöhten Werte sind immer noch eine Folge der hohen ^{137}Cs -Depositionen nach dem Unfall von Tschernobyl in der Südschweiz. Alle Werte liegen deutlich unterhalb der Höchstgrenze von 600 Bq/l aus der Tschernobyl-Verordnung. ^{131}I konnte 2023 in keiner Milchprobe nachgewiesen werden (Nachweisgrenze meist < 1 Bq/l oder tiefer). Das KL-BS, das IRA in Lausanne und das LABOR SPIEZ untersuchten insgesamt 63 Milchproben auf ^{90}Sr . Alle gemessenen Werte waren sehr tief mit einem Maximum von 0.21 Bq/l und einem Median von 0.008 Bq/l. Als Vergleich können wir die abgeleitete Konzentration aus der TBDV (4.9 Bq/l) oder auch den in Japan gültigen Höchstwert (50 Bq/l) heranziehen.

^{137}Cs und ^{90}Sr in Getreide, Obst und Gemüse

Bei 18 Getreideproben und 28 Gemüse- und Obstproben aus der Schweiz konnte in einer Getreideprobe aus dem Tessin Spuren von ^{137}Cs erkannt werden (0.1 Bq/kg Frischgewicht). In allen anderen Proben konnte ^{137}Cs nicht nachgewiesen werden (Nachweisgrenzen typischerweise 0.4 Bq/kg). Je etwa die Hälfte der Proben stammte aus der Umgebung der Kernkraftwerke bzw. aus davon entfernten Gegenden. Ein Unterschied zwischen diesen beiden Probengruppen konnte nicht festgestellt werden. Die gemessenen Konzentrationen sind sehr tief und liegen deutlich unter den strengsten Höchstwerten für Lebensmittel (10 Bq/kg, siehe Tabelle 1).

Die ^{90}Sr Werte der Getreideproben (n=17), sowohl aus der Umgebung von Kernkraftwerken als auch aus entfernten Gebieten, variierten zwischen 0.05 und 0.21 Bq/kg Frischgewicht; mit Median = Durchschnitt = 0.12 Bq/kg. Diese tiefen, mit den Vorjahren vergleichbaren Werte sind noch Folgen der Kontamination mit ^{90}Sr aus den Atombombentests in den frühen 60er-Jahren. Die Werte liegen deutlich unter den in der VHK vorgesehenen Höchstwerten und auch unterhalb der aus dem Parameterwert abgeleiteten Konzentration für ^{90}Sr von 4.9 Bq/l aus der Trinkwasser-Verordnung (siehe Tabelle 1).

Sechs Gemüse- und Obstproben aus der Umgebung des KKL zeigten ^{90}Sr -Spuren zwischen 0.01 und 0.06 Bq/kg Frischgewicht. Ebenso viele Gemüseproben aus dem Kanton Waadt befanden sich in einem Bereich zwischen 0.04 und 0.22 Bq/kg ^{90}Sr .

Tritium (^3H) in Obst und Milch

Die genehmigten Abgaben an die Umwelt der Firma mb-microtec in Niederwangen verursachen lokal erhöhte Tritiumwerte im Niederschlag (siehe Kapitel 9.3). Als Folge davon ist Tritium in diesem Gebiet auch in Lebensmitteln nachweisbar. Die gemeinsam vom KL-BE und BAG jährlich durchgeführten Routinemessungen von Gemüse- und Obstproben aus der Umgebung der Firma 2023 ergaben Tritiumkonzentrationen (^3H) von 9 - 119 Bq/l im Destillat (12 Proben; Mittelwert: 40 Bq/l). Die ebenfalls leicht erhöhte ^3H -Aktivität der Milch aus der Umgebung des genannten Betriebes (7.6 - 10.6 Bq/l im Destillat von 3 Milchproben) ist auf die Aufnahme von ^3H aus lokalen Futtermitteln zurückzuführen.

In 10 Milchproben aus der Umgebung des KKW Mühlberg konnten keine Werte > 5 Bq/l Tritium nachgewiesen werden. Für Tritium gibt es für diese Art Proben keinen gesetzlichen Höchstwert. Verglichen mit dem für Trinkwasser geltenden Parameterwertes für Tritium von 100 Bq/l liegen zwei Gemüse und Obstproben leicht darüber, alle anderen Proben sind deutlich tiefer.

^{137}Cs in Wildschweinen

Der Kanton Tessin hat die in Zusammenarbeit mit dem BAG eingeführten Triagemessungen an Wildschweinen mit einem empfindlichen Dosisleistungsmessgerät im Jahr 2023 weitergeführt. Tiere, bei denen die Triagemessung (Dosisleistung) vor Ort einen zu hohen Wert anzeigte, wurden konfisziert. Dies war bei 22 von 681 untersuchten Tieren der Fall. Das entspricht, ähnlich wie in den letzten Jahren, einer Quote von ca. 3 %. Bei diesen Tieren liegt die ^{137}Cs Konzentration im Fleisch über dem Grenzwert aus der Tschernobylverordnung von 600 Bq/kg. Nachmessungen der Proben (Zunge) im Labor ergaben einen Höchstwert von 4'832 Bq/kg ^{137}Cs .

Andere Lebensmittel aus der Schweiz

In den 6 untersuchten Fischproben aus Aare und Rhein wurden keine Spuren von ^{137}Cs festgestellt (Nachweisgrenze < 0.3 Bq/kg Frischgewicht). In diesen Proben werden auch die Aktinide Plutonium, Americium und Curium gemessen. In keiner Probe konnten Spuren von Aktiniden nachgewiesen werden, mit Nachweisgrenzen im Bereich von wenigen mBq/kg Frischgewicht. Diese Nachweisgrenzen liegen weit unterhalb der Grenzwerte. Für die Summe der Aktinide (Pu und Am) beispielsweise würde bei Anwendung der VHK ein Grenzwert von 80'000 mBq/kg gelten.

Die KL Bern und Graubünden haben 9 Proben einheimischer Pilze untersucht: Mittelwert 17 Bq/kg (Frischgewicht) ^{137}Cs ; Maximum 95 Bq/kg ^{137}Cs ; Median 6 Bq/kg ^{137}Cs . Der Grenzwert von 600 Bq/kg aus der Tschernobylverordnung wurde somit nicht erreicht.

Des Weiteren führte das KL-BS eine Messkampagne mit grösstenteils aus der Schweiz stammenden Mineralwässern durch. In 7 der 30 Proben konnten Spuren von ^{226}Ra nachgewiesen werden. Der höchste Wert lag bei $53 \pm 22 \text{ mBq/L}$ in einem Mineralwasser aus der Schweiz. In keiner der 30 Proben konnte ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{224}Ra oder ^{3}H nachgewiesen werden. Die Gesamtdosis überschritt in keiner Wasserprobe den Richtwert von 0.1 mSv/Jahr.

Importierte Lebensmittel

Die Kontrolle der Radioaktivität in importierten Lebensmitteln findet im Rahmen von gemeinsamen Kampagnen des Bundes und der Kantonalen Laboratorien sowie von eigenen Kampagnen der Kantonalen Laboratorien statt. Im Berichtsjahr wurden rund 200 importierte Lebensmittel geprüft.

Die höchste Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs bei 26 vom KL-BS untersuchten, meist importierten Wildproben wurde mit $22.6 \pm 1.5 \text{ Bq/kg}$ in einem Gamsragout aus Slowenien nachgewiesen. Der Höchstwert gemäss Tschernobyl-Verordnung von 600 Bq/kg wurde deutlich unterschritten. ^{90}Sr konnte in diesen Proben nicht nachgewiesen werden.

20 Algenprodukte wurden im Kanton Basel-Stadt erhoben. Die Proben stammten aus China (6), Südkorea (5), Taiwan (3) und je 2 mal aus Deutschland, Frankreich und Portugal. Die künstlichen Radionuklide ^{134}Cs , ^{137}Cs und ^{90}Sr konnten in keiner Probe nachgewiesen werden.

15 Verkaufseinheiten Zitrusfrüchte wurden ebenfalls im Kanton Basel-Stadt erhoben. In keiner der Proben konnte ^{134}Cs oder ^{137}Cs detektiert werden.

Die KL BE und ZH analysierten 45 Proben von importierten Pilzen. Die höchste Aktivitätskonzentration erreichten mit 183 Bq/kg Frischgewicht ^{137}Cs Eierschwämme aus Litauen. Weitere Eierschwämme aus dem gleichen Ursprungsland enthielten deutlich weniger bis gar kein ^{137}Cs . Der Medianwert aller Proben betrug 1 Bq/kg.

Grenzwertüberschreitungen sind bei den importierten Lebensmitteln im Berichtsjahr 2023 nicht aufgetreten.

Bewertung der künstlichen Radionuklide

Der Grenzwert für ^{137}Cs der Tschernobyl-Verordnung (600 Bq/kg) wurde 2023 von 22 Wildschweinproben (Maximum 4'832 Bq/kg) aus der Schweiz überschritten. Bezogen auf die Gesamtzahl untersuchter Proben machen diese Grenzwertüberschreitungen mit 3% der untersuchten Tiere ähnlich viel aus wie in den letzten Jahren. Das untersuchte Wildschweinfleisch aus der Jagd ist im Allgemeinen nicht für den Markt bestimmt. Tiere mit ^{137}Cs Gehalten über dem Grenzwert werden konfisziert.

Leicht erhöhte ^{137}Cs Werte, aber deutlich unter dem Grenzwerte der Tschernobyl-Verordnung, traten erwartungsgemäss auch in einheimischen Wildpilzen (95 Bq/kg Frischgewicht) und importierten Pilzproben (183 Bq/kg) auf. Ebenfalls erwartet war die gemessenen Spuren von ^{137}Cs in einer Milchprobe aus dem Tessin (14 Bq/l).

Bei allen anderen Lebensmitteln aus der Schweiz und bei den Importierten sind die Konzentrationen von künstlichen Radionukliden sehr tief und der Grenzwert für ^{137}Cs war eingehalten.

Bei starkem Konsum der am stärksten mit künstlichen Radionukliden belasteten Lebensmittel – Wild, Wildpilze und Wildbeeren – könnte eine Dosis von einigen wenigen Hundertstel mSv akkumuliert werden. Im Vergleich dazu liegen die jährlichen Dosen durch die über die Nahrung aufgenommenen natürlichen Radionuklide im menschlichen Körper (ohne Kalium) bei durchschnittlich rund 0.22 mSv.

Natürliche Radionuklide in der Nahrung

Natürliche Radionuklide aus den Zerfallsreihen von Uran und Thorium kommen in allen Lebensmitteln vor. Typische Aktivitätskonzentrationen («weltweiter Durchschnitt») sind in der Tabelle 2a aufgeführt. Auffallend sind vor allem erhöhte Werte für ^{210}Po in Meeresfischen und Meeresfrüchten sowie die hohen Aktivitätskonzentrationen der beiden Radium-Isotope in Paranüssen. Der durchschnittliche jährliche Verzehr der verschiedenen Lebensmittelgruppen ist in Tabelle 2a ebenfalls aufgeführt. Für die Ermittlung der Strahlendosis muss die Aktivitätskonzentration im Lebensmittel (Bq/kg), der jährliche Konsum (kg/Jahr) sowie die Radiotoxizität des Radionuklids berücksichtigt werden.

Tabelle 2a:

Durchschnittliche Aktivitätskonzentrationen von natürlichen Radionukliden in verschiedenen Lebensmittelgruppen

Lebensmittelgruppe	Verzehr (kg/Jahr)	Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Radionuklide (Bq/kg)							
		^{210}Pb	^{210}Po	^{226}Ra	^{228}Ra	^{228}Th	^{230}Th	^{232}Th	^{238}U
Getreide	66 A	0.15 D	0.14 D	0.12 D	0.12 D	0.003 L,M	0.01 C,X	0.003 C,X	0.02 C,X
Früchte	58 B	0.14 D	0.12 D	0.08 D	0.11 D	0.0005 L,N	0.0005 L,N	0.0005 L,N	0.003 L,N
Wurzelgemüse + Kartoffeln	37 B	0.07 D	0.04 D	0.11 D	0.31 D	0.0005 L,N	0.0005 L,N	0.0005 L,N	0.003 L,N
Andere Gemüse	53 B	0.13 D	0.12 D	0.11 D	0.12 D	0.015 L,O	0.02 L,O	0.015 L,O	0.02 L,O
Konsummilch	51 C	0.06 D	0.07 D	0.05 D	0.04 D	0.0003 L,P	0.001 L,P	0.0003 L,P	0.001 L,P
Milchprodukte	69 C	0.15 D,X	0.15 D	0.08 D	0.14 D	0.0003 L,P	0.0005 L,P	0.0003 L,P	0.001 L,P
Fleisch	45 C	0.15 D	0.10 D	0.04 D	0.09 D	0.001 L,Q	0.002 L,Q	0.001 L,Q	0.002 L,Q
Innereien	0.7 C	0.52 D	0.72 D	0.04 D,J	0.09 D,J	0.001 L,Q	0.002 L,Q	0.001 L,Q	0.002 L,Q
Eier	11 A	0.09 D	0.07 D	0.11 D	0.09 D	0.001 L,Q	0.002 L,Q	0.001 L,Q	0.002 L,Q
Süßwasserfisch	1.8 C	0.23 D	0.99 D	0.48 D	0.84 D	0.1 L,R	0.01 L,R	0.01 L,R	0.03 L,R
Meerfisch	7.5 C	0.20 D	1.94 D	0.27 D	1.75 D	0.1 L,R	0.01 L,R	0.01 L,R	0.03 L,R
Krustentiere	1.3 C	0.14 D	7.60 D,E,F	0.06 D	0.40 D	0.1 L,R	0.01 L,R	0.01 L,R	0.03 L,R
Weichtiere: Muscheln	0.4 C	1.99 D	32.7 D,F	0.16 D	0.17 D				
Weichtiere: Tintenfisch	0.2 C	0.20 D,H	1.90 D,F	0.27 D,H	1.75 D,H				
Andere: Pilze (Champignons)	3.4 C	0.32 D	0.58 D	0.30 D	0.26 D				
Andere: Pilze (Boletaceae)	0.6 C	9.70 D,Y	0.25 D,Y	0.30 D	0.26 D				
Andere: Kräuter	1.0 A	0.57 D	0.88 D	0.33 D	0.18 D				
Andere: Zucker und Honig	36 A	0.11 D	0.23 D	0.05 D	0.19 D				
Andere: Nüsse	4.4 A	0.13 D	0.10 D	0.23 D	0.53 D				
Andere: Paranuss	0.03 A	4.70 G	4.70 G	33 I	34 I	12 G		17 G	1.4 G
Andere: Olivenöl	1.83 A			< 0.27 K	< 0.39 K				

e_{ing} (Sv/Bq)		6.9E-07	1.2E-06	2.8E-07	6.9E-07	7.2E-08	2.1E-07	2.3E-07	9.5E-08 S
Effektive Jahresdosis (mSv)	Summe: 0.22	0.044	0.114	0.012	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000
		20%	51%	5%	23%	0%	0%	0%	0%

A "Angenäherter Verzehr"; Benzi Schmid C, 2023. Nahrungsmittelbilanz für die Schweiz: Überblick zum angenäherten Verzehr und zu dessen Entwicklung in den vergangenen acht Jahren. Schweizer Ernährungsbulletin. doi: 10.24444/blv-2023-0111

B "Angenäherter Verzehr" (Referenz Fussnote A) korrigiert für "food waste" gemäss Angaben Bafu

C menuCH: Food consumption data from the First Swiss National Nutrition Survey menuCH 2014-15, Matthes K., Floris J., Bender N., Staub K., 2021.

D IAEA 2023. Exposure due to Radionuclides in Food Other Than During a Nuclear or Radiological Emergency. Part 1: Technical Material. Safety Reports Series No. 114, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2023.

E Mittelwert aus Unterkategorien

F ^{210}Po Aktivitätskonzentrationen sind mit einem Faktor 0.81 für den Zerfall während der Aufbewahrung korrigiert.

G Angaben BfS (www.bfs.de)

H Werte für Meeressfische

I Messungen BAG/IRA

J Werte für Fleisch

K Guillén (2020)

L UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources: Report to the General Assembly, Scientific Annexe B. UNSCEAR 2008 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2010.

M Referenzwert für 'Getreide'

N Referenzwert für 'Wurzelgemüse und Früchte'

O Referenzwert für 'Blattgemüse'

P Referenzwert für 'Milch und Milchprodukte'

Q Referenzwert für 'Fleischprodukte'

R Referenzwert für 'Fischprodukte'

S Dosiskoeffizient beinhaltet ^{238}U , ^{234}U und ^{235}U in natürlichem Isotopenverhältnis.

X Wert von ^{210}Po eingesetzt. Begründung: Der IAEA-Wert für ^{210}Pb ist aus Tabelle II-1 "not included in statistical analyses". Mit diesem Wert wäre eine Anreicherung in Milchprodukten verglichen mit Milch ist mehr als doppelt so hoch wie für die anderen Radionuklide. Ein Gleichgewicht zwischen ^{210}Pb und ^{210}Po ist realistischer.

Y IAEA 2023, geometrisches Mittel, Tabelle 22, birch bolete

Z IAEA 2023, arithmetisches Mittel, Tabelle 21

Tabelle 2b:
Effektive jährliche Dosis pro Radionuklid und Lebensmittelkategorie

Lebensmittelgruppe	Verzehr (kg/Jahr)	Effektive jährliche Dosis pro Nuklid und Kategorie (mSv)								Summe pro Lebensmittel (mSv, %)	
		^{210}Pb	^{210}Po	^{226}Ra	^{228}Ra	^{228}Th	^{230}Th	^{232}Th	^{238}U		
Getreide	66	0.007	0.011	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	12%
Früchte	58	0.006	0.008	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	9%
Wurzelgemüse + Kartoffeln	37	0.002	0.002	0.001	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	6%
Andere Gemüse	53	0.005	0.008	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	8%
Konsummilch	51	0.002	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	4%
Milchprodukte	69	0.007	0.012	0.002	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	12%
Fleisch	45	0.005	0.005	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	6%
Innereien	0.7	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0%
Eier	11	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	1%
Süßwasserfisch	1.8	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	2%
Meerfisch	7.5	0.001	0.017	0.001	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	13%
Krustentiere	1.3	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	5%
Weichtiere: Muscheln	0.4	0.001	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	7%
Weichtiere: Tintenfisch	0.2	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0%
Andere: Pilze (Champignons)	3.4	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	2%
Andere: Pilze (Boletaceae)	0.6	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	2%
Andere: Kräuter	1.0	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	1%
Andere: Zucker und Honig	36	0.003	0.010	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	8%
Andere: Nüsse	4.4	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	1%
Andere: Paranuss	0.03	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	1%
											0.22 mSv total

Die Radiotoxizität wird als Dosiskoeffizient ausgedrückt (Sv/Bq). Die Dosiskoeffizienten (e_{ing}) stehen in Tabelle 2a unten. Das Produkt aus diesen drei Zahlen (mal Tausend) ergibt die jährliche Dosis (mSv) für jede Lebensmittelgruppe und jedes Radionuklid. Die so errechneten Dosisbeiträge pro Radionuklid sind in Tabelle 2a, unterste Zeile, sowie pro Lebensmittel in Tabelle 2b, letzte Spalten, aufgelistet. Die geschätzte durchschnittliche jährliche effektive Dosis für Erwachsene in der Schweiz durch natürliche Radionuklide in der Nahrung beträgt 0.22 mSv.

Aufgeschlüsselt nach Radionukliden ist für den grössten Beitrag zu dieser Dosis mit knapp über 50% das ^{210}Po verantwortlich. Nahrungsmittel aus dem Meer (Meerfisch, Meeresfrüchte) tragen hier besonders viel bei. Die Nummern 2 und 3 der natürlichen Radionuklide, gemessen am Beitrag zur Ingessionsdosis, sind ^{210}Pb und ^{228}Ra mit einem Beitrag von jeweils um die 20%. Die Dosisbeiträge dieser Radionuklide kommen aus ganz unterschiedlichen Lebensmittelgruppen. Auch noch nennenswert ist ein Dosisbeitrag von rund 5% durch ^{226}Ra , während die Thorium-Isotope und Uran in der Nahrung keinen wesentlichen Beitrag zur Strahlendosis liefern.

Betrachten wir die Dosisbeiträge pro Nahrungsmittelgruppe, fallen drei Gruppen mit einem Beitrag über 10% auf (12% - 13%). Es sind dies einerseits zwei Gruppen mit einem hohen Verzehr (Getreide und Milchprodukte) und andererseits der Meerfisch mit einem mittleren Verzehr aber erhöhter Aktivitätskonzentrationen.

Unterschiede in der individuellen Strahlenbelastung durch natürliche Radioaktivität in der Nahrung: Meeresfrüchte und Paranüsse

Die jährliche Strahlendosis, die eine Person durch natürliche Radioaktivität in der Nahrung erhält, hängt stark vom individuellen Ernährungsverhalten ab und kann deutlich vom Durchschnitt von 0.22 mSv abweichen. Die Dosis erhöht sich, wenn überdurchschnittliche Mengen von Lebensmitteln mit erhöhter natürlicher Radioaktivität konsumiert werden.

Zwei besonders betroffene Lebensmittel sind Muscheln (hohe Konzentrationen von ^{210}Po) und Paranüsse (hohe Konzentrationen von ^{228}Ra und ^{226}Ra). In der Studie menuCH 2014 - 2015 [1] wurden neben

den Mittelwerten des Verzehrs, auch Perzentile ermittelt. Für Muscheln zum Beispiel beträgt der Mittelwert für den Verzehr 0.4 kg/Jahr und der 99te Perzentil liegt mit 11.5 kg/Jahr, rund 29 mal höher. Für das eine Prozent der Schweizer Bevölkerung, mit einem Verzehr von Muscheln gleich oder über dem 99ten Perzentil, erhöht sich die jährliche Strahlendosis durch natürliche Radionuklide in der Nahrung um 0.45 mSv oder mehr. Die Strahlendosis durch natürliche Radionuklide in Nahrungsmitteln insgesamt beträgt also für diese Personen 0.7 mSv oder mehr. Für die französische Bevölkerung hat das IRSN [2] eine jährliche Strahlendosis durch Meeresfrüchte von 0.13 mSv für einen durchschnittlichen Konsum und von 2.1 mSv für Personen mit einem starken Konsum errechnet!

Bei Grundnahrungsmitteln sind die individuellen Unterschiede naturgemäß kleiner. Für Getreide und Getreideprodukte beispielsweise ist der 99te Perzentil knapp dreimal so hoch wie der Mittelwert. Die jährliche Dosis durch natürliche Radionuklide in diesen Nahrungsmitteln schwankt damit zwischen 0.026 mSv im Mittel und 0.073 mSv für einen starken Verzehr.

Ein besonderer Fall sind die Paranüsse mit bekannt hohen Aktivitätskonzentrationen der Radiumisotope. Diese hohe Radioaktivität ist auf eine Eigenheit des Paranussbaumes zurückzuführen. Der Baum wächst auf stark verwitterten Böden in tropischen Regenwäldern und reichert durch ein weitverzweigtes Wurzelsystem besonders viele Radiumisotope an. Bei anderen Nussarten ist dieses Phänomen nicht bekannt. Der durchschnittliche Verzehr von Paranüssen ist in der Schweiz mit 30 g pro Jahr gering und entspricht einer Jahresdosis von 0.001 mSv. Einzelne Personen essen aber deutlich mehr Paranüsse. Im Rahmen der Pilotphase der Schweizer Gesundheitsstudie wurden rund hundert Personen mit vegetarischer oder veganer Ernährung nach dem Verzehr von Para-

nüssen gefragt [3]. Den höchsten Verzehr hatten drei Personen mit einer Portion (30 g) Paranüsse täglich. Das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz BfS hat sich vertieft mit der Strahlendosis durch Paranüsse befasst [4]. Für einen hohen Konsum von 2 Paranüssen täglich (8 g) rechnet das BfS mit einer jährlichen Strahlendosis von 0.16 mSv für Erwachsene. Für Kleinkinder (immer noch bei 2 Paranüssen täglich!) wäre die Dosis rund 1 mSv. Das BfS empfiehlt daher für die allgemeine Bevölkerung Paranüsse nicht übermäßig zu verzehren und für Schwangere und Kinder ganz darauf zu verzichten. Diese Empfehlung entspricht dem im Strahlenschutz verankerten Prinzip der Optimierung, wonach jede Strahlenbelastung so tief wie vernünftigerweise möglich gehalten werden soll.

Während bei einer Kontamination von Lebensmitteln mit künstlicher Radioaktivität Massnahmen in jedem Falle angezeigt sind, ist die Beurteilung der natürlichen Radioaktivität in Lebensmitteln komplexer. Es sind insbesondere auch gesundheitsfördernde Eigenschaften der Nahrungsmittel mitzuberücksichtigen. Meeresfrüchte, beispielsweise, sind ein wichtiger Bestandteil der mediterranen Ernährungsweise, die bekannterweise eine der gesündesten ist. Hier scheinen die gesundheitsfördernden Eigenschaften die etwas erhöhte natürliche Radioaktivität mehr als wettzumachen. Auch Paranüsse enthalten für die Gesundheit wertvolle Nährstoffe, speziell das essentielle Spurenelement Selen. Ein moderater Konsum von Paranüssen kann zu einer ausreichenden Selenversorgung beitragen [5] und ist von der Menge der aufgenommenen natürlichen Radioaktivität her tolerierbar. Von einem stärkeren Verzehr (2 Paranüsse pro Tag oder mehr) ist eher abzuraten, insbesondere für Frauen während der Schwangerschaft und der Stillzeit, einmal aufgrund der erhöhten Aufnahme von natürlichen Radionukliden mit der Nahrung, aber auch durch eine mögliche Überversorgung mit Selen, die sich negativ auf die Gesundheit auswirken kann.

Referenz

- [1] Nationale Ernährungserhebung menuCH.
<https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/ernaehrung/menuCH.html>



- [2] IRSN, Exposition de la population française aux rayonnements ionisants, bilan 2014-2019. N° du rapport : IRSN /2021-00108.
https://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiques_et_dossiers_de_presse/Documents/IRSN_Rapport%20EXPOP_def.pdf



- [3] Morand Bourqui R, Nusslé SG, von Goetz N, Veys-Takeuchi C, Zuppinger C, Boulez Y, et al. (2023) Towards a Swiss health study with human biomonitoring: Learnings from the pilot phase about participation and design. PLoS ONE 18(7): e0289181.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289181>



- [4] Bfs, Natürliche Radioaktivität in Paranüssen.
<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/paranuesse/paranuesse.html>



- [5] Fragnière Rime C. (2023) Selen: Status der Schweizer Bevölkerung und Einfluss einer vegetarischen und veganen Ernährung. Schweizer Ernährungsbulletin.
<https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/ernaehrung/schweizer-ernaehrungsbulletin/schweizer-ernaehrungsbulletin-2023.html>

