



Strahlenbelastung des Menschen durch künstliche radioaktive Quellen

Dr. Renate Schnauer, Carolin Löw

Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Stuttgart

Aufgeteilt in natürliche (siehe Teil 1) und künstliche radioaktive Quellen soll dieser Beitrag einen groben Überblick über die Quellen radioaktiver Strahlung geben, denen der Mensch ausgesetzt ist. Die Untersuchung auf diese radioaktiven Stoffe in Lebensmitteln, Futtermitteln und Trinkwasser in Baden-Württemberg ist Aufgabe der Radiochemischen Labore am CVUA Stuttgart und Freiburg.

Künstliche Quellen radioaktiver Strahlung

Häufig wird auch von „zivilisatorisch bedingter Strahlenbelastung“ gesprochen. Diese umfasst Belastungen aus medizinischen Untersuchungen, Flugreisen, Kernwaffentests, nuklearen Unfällen und Emissionen aus fossilen Kraftwerken. Bei diesen Emissionen handelt es sich vor Allem um das Edelgas Rn-222, und sich in den Filterstäuben der Kraftwerksasche anreichernde Teilchen aus den natürlichen Uran- und Thorium-Zerfallsreihen.

Medizin und Technik verursachen so eine durchschnittliche Belastung von ca. 1,9 mSv pro Jahr [1, 7]. Dabei reicht das Spektrum von < 0,01 mSv für eine Röntgen-Zahnaufnahme über ca. 0,2 mSv für eine Hirnschädel-Computer Tomographie und ca. 0,3 mSv (0,2–0,6 mSv) für eine beidseitige Mammographie, bis zu max. 20 mSv für ein Bauchraum-CT [1, 9]. Der Anteil der Kernkraftwerke an der künstlichen Strahlenbelastung beträgt im Vergleich dazu weniger als 0,01 mSv/a.

Neben den natürlich auftretenden Elementen gibt es eine Reihe von radioaktiven Nukliden, die ausschließlich bei der Kernspaltung (Kernkraftwerk, Atombombe) entstehen. In großen Mengen freigesetzt wurden künstliche Nuklide

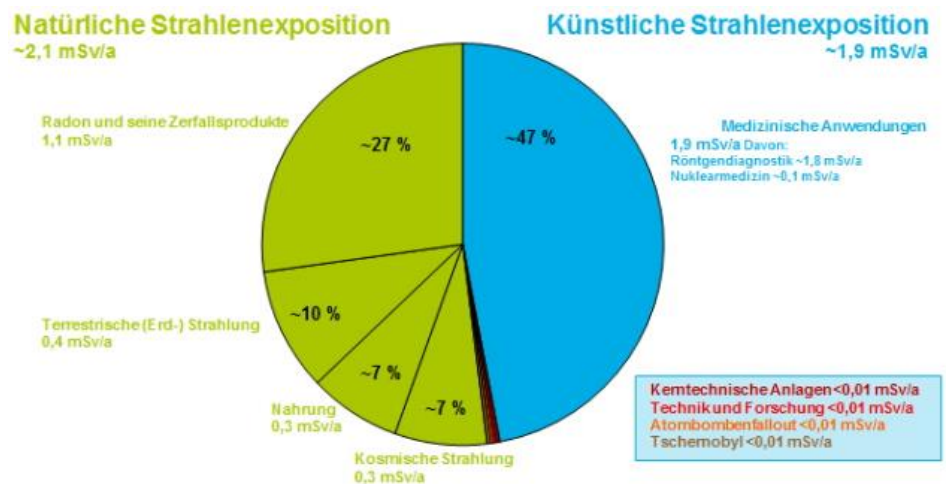


Abb. 1: Ungefähr die Hälfte der radioaktiven Strahlenbelastung des Menschen in Deutschland ist auf natürliche Quellen zurückzuführen und liegt im Mittel bei 2,1 Milli-Sievert pro Jahr (mSv/a, siehe Info-Kasten). Dieser Wert kann jedoch je nach Wohnort, Ernährungs- und Lebensgewohnheiten zwischen 1 bis 10 mSv/a variieren [1].

vor allem durch oberirdische Atomwaffenversuche in den 50er und 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts, durch den nuklearen Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl im April 1986 und durch andere Unfälle in kerntechnischen Anlagen.

Im Folgenden werden als wichtige künstliche Radionuklide Iod-131, Cäsium-137, Strontium-89 und Strontium-90 näher betrachtet.

Iod-131 / I-131

Natürlich auftretendes Iod (I) ist zu 100 % stabiles I-127. Radioaktives I-131 entsteht künstlich bei der Kernspaltung. Es hat eine kurze Halbwertszeit von 8 Tagen und zerfällt zu stabilem Xenon unter Aussendung von Gammastrahlung. Diese energiereiche Strahlung kann gammaspektrometrisch gemessen werden.

Iodverbindungen, auch die radioaktiven, sind sehr flüchtig und verbreiten sich großflächig über die Luft, über die das Iod schließlich auch eingeatmet wird. Iod

Becquerel [Bq]

Physikalische Maßeinheit für die Aktivität einer radioaktiven Substanz: ein Zerfall pro Sekunde.

Sievert [Sv]

Eine Maßeinheit verschiedener gewichteter Strahlendosen bei ionisierender Strahlung. Sie dient zur Bestimmung der Strahlenbelastung und wird für die Analyse des Strahlenrisikos des Menschen verwendet. Dabei wird die unterschiedliche Wirkung der einzelnen Strahlenarten, die Verteilung der einzelnen Radionuklide im Körper und die unterschiedliche Empfindlichkeit der verschiedenen Organe berücksichtigt.

reichert sich in der Schilddrüse an, da es Bestandteil des wichtigen Schilddrüsenhormons Thyroxin ist und vom Körper aktiv gesammelt wird. Im Falle eines nuklearen Unglücks werden daher spezielle Iod-Tabletten ausgegeben, um die Schilddrüse mit nicht radioaktivem Iod zu „sättigen“ und so die Aufnahme von radioaktivem Iod zu begrenzen.

Cäsium-137 / Cs-137

Cs-137 entsteht ausschließlich künstlich als Spaltprodukt bei der Kernspaltung. Nach einem Beta- und einem nachfolgenden Gamma-Zerfall reagiert es zu stabilem Barium-137.

Cs-137 wurde während des nuklearen Unfalls in Tschernobyl in größeren Mengen freigesetzt und ist infolge seiner langen physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren auch heute noch ein Thema in der Umwelt und für die Lebensmittelüberwachung. Aufgrund seiner starken Bindung an Tonminerale in Ackerböden ist Cäsium für Kulturpflanzen wenig verfügbar. Dagegen wird es im humusreichen Waldboden kaum gebunden und wird von Pflanzen und Wildpilzen aufgenommen. Die Hirschrüffel, eine beliebte Speise von Wildschweinen, reichern Cs-137 natürlicherweise an. Mit dieser Nahrung gelangt das unerwünschte Nuklid in die Wildschweine. Die radiochemischen Labore im CVUA Freiburg und im CVUA Stuttgart untersuchen daher regelmäßig von Jägern eingesandte Wildschweinfleischproben. Die **Ergebnisse der jährlichen Untersuchungen** werden auf dem Portal der Untersuchungsämter Baden-Württembergs zusammengefasst [10]. Erfreulich ist, dass die vom Menschen gerne verzehrten Burgunder- bzw. Sommertrüffel nahezu frei von Cs-137 sind. Dies zeigen übereinstimmend Untersuchungen aus der Schweiz, Deutschland, Italien, Frankreich und Ungarn [11].

Cs-137 löst sich sehr gut in Wasser und verteilt sich im Körper insbesondere im Muskelgewebe. Hier kommt neben der oben genannten radiochemischen Halbwertszeit noch die biologische Halbwertszeit zum Tragen. Die biologische Halbwertszeit ist die Zeitspanne, in der in einem Organismus die Menge eines Nuklides durch die Wirkung aller beteiligten biologischen Prozesse (z. B. Stoffwechsel, Ausscheidung) auf die Hälfte abgesunken ist [12]. Für Cs-137 beträgt diese biologische Halbwertszeit 110 Tage, d. h. nach 110 Tagen ist die Hälfte des Cäsiums vom Organismus wieder ausgeschieden [13].

Tab. 1: Auszüge unserer Cs-137 Untersuchungsergebnisse aus 2019/2020

Warengruppe	Probenzahl	Proben unter NWG	Proben über NWG	Proben aus Fallout-Regionen
Gesamtkost	102	100	2	0
Milch	94	81	13	13
Fleisch	90	73	17	12
Blattgemüse	103	100	3	3

Gesamtkost: komplettes Tagesmenü einschließlich Getränke aus einer Klinikküche; NWG (Nachweisgrenze) beträgt je nach Matrix und Messzeit zwischen 0,05 und 0,4 Bq/kg FM bzw. Bq/l oder Bq/d^p. Dabei bedeuten d^p: Tagesportion und FM: Frischmasse.

In der **Durchführungsverordnung (EU) 2020/1158 vom 05.08.2020** über die Einfuhrbedingungen für Lebens- und Futtermittel mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl ist für Cs-137 ein Höchstwert von 370 Bq/kg für Milch-, Milcherzeugnisse und Kleinkindernahrung und von 600 Bq/kg für alle anderen Erzeugnisse festgelegt [14]. Diese Werte wurden auch für die Beurteilung für einheimische Erzeugnisse übernommen. Cs-137 wird am CVUA Stuttgart über die Gammaskopimetrie erfasst (siehe **Teil 1**, Abbildung 3 und 4). Hierfür werden die Proben „küchenüblich“ vorbereitet und in einem geeigneten Messbehälter direkt auf den Detektor gestellt und gemessen. Diese Art der Probenvorbereitung ist gut zu handhaben und liefert „recht schnell“ Ergebnisse. Radiochemische Analysen sind in der Regel zeitintensiv. Routineproben, die nicht belastet sind, werden vergleichsweise lange –

über Nacht – gemessen, um die geforderten Nachweisgrenzen erreichen zu können. Im Falle von belasteten Proben, z. B. nach einem nuklearen Notfall, beträgt die Messzeit nur einen Bruchteil davon (maximal 20 Minuten). Schließlich liegen hier viel höhere Aktivitäten vor und eine zuverlässige Aussage wird schon nach einer viel kürzeren Zeit erhalten.

In 2019/2020 wurden im radiochemischen Labor des CVUA Stuttgart insgesamt 1193 Proben auf ihre Aktivität an Cs-137 untersucht (siehe Tabelle 1).

In den aufgeführten Warengruppen wurde nur in wenigen Proben Cs-137 nachgewiesen. Die wenigen Proben mit messbarer Cs-137-Belastung liegen nur leicht oberhalb der Nachweisgrenze und stammen meist aus Gebieten, die 1986 von dem Fallout (radioaktiver Niederschlag) der Tschernobyl-Explosion besonders betroffen waren.



Abb. 2: (links) Säulen zur Sr-90-Aufarbeitung mit einem Sr-spezifischen Harz
Abb. 3: (rechts) Low-Level-Beta-Counter zur Messung von Beta-Strahlern. Geöffnete Schublade mit 10 Messplätzen, davon 2 mit Präparateschälchen belegt

Strontium-89 und Strontium-90 / Sr-89 und Sr-90

Die Strontium-Nuklide Sr-90 und Sr-89 entstehen im Atomkraftwerk oder einer Atombombe aus U-235 oder Plutonium. Dabei ist Sr-89, aufgrund seiner kurzen physikalischen Halbwertszeit von 50,5 Tagen nur in frischem Fallout zu finden. Sr-90 hat dagegen eine physikalische Halbwertszeit von 28,8 Jahren (in der gleichen Größenordnung wie Blei-210 mit 22,3 Jahren) und wird wie Blei und Calcium in Knochen eingelagert. Daher ist die biologische Halbwertszeit, also die Zeit, nach der der Körper die Hälfte des Elements auf natürlichem Weg ausgeschieden hat, bei Sr-90 mit ca. 50 Jahren [13] recht hoch und für den Menschen relevant. Gleichzeitig hat Sr-90 auch eine ca. doppelt so hohe Radiotoxizität wie Cs-137 [15].

Aktuell ist Sr-90 nur noch in sehr geringen Aktivitäten durch die oberirdischen Atombombenversuche der 50er und 60er Jahre und den Atomunfall von Tschernobyl in Umweltmedien zu finden. Strontium reichert sich z. B. in Kohlsorten an. Das Nuklid ist auch im Ackerboden – im Gegensatz zu Cäsium – gut pflanzenverfügbar [16]. Sr-89/90 sind Beta-Strahler, und zerfallen zu Yttrium-89 (Y-89) bzw. Y-90. Während Y-89 stabil ist, zerfällt Y-90 noch weiter zu stabilem Zirkonium Zr-90.

In der **VO (Euratom) Nr. 2016/52** zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Lebens- und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder eines anderen radiologischen Notfalls ist für Sr-90 in Säuglingsnahrung ein Höchstwert von 75 Bq/kg, für Milcherzeugnisse und flüssige Lebensmittel von 125 Bq/kg und für sonstige Lebensmittel von 750 Bq/kg festgelegt [14].

Im Gegensatz zur oben genannten Gammasppektrometrie ist die Analytik der Strontium-Isotope sehr viel aufwändiger. Es handelt sich um Beta-Strahler, deren Strahlung im Vergleich zu den meisten Gammastrahlern vergleichsweise „weich“ ist und somit leicht in der Lebensmittelmatrix „stecken bleibt“. Zum anderen hat die Beta-Strahlung eine breite Energieverteilung, eine

Tab. 2: Auszüge unserer Sr-90 Untersuchungsergebnisse aus 2019/2020

Warengruppe	Probenzahl	Nachweisgrenze (NWG)	Proben unter NWG	Proben über NWG	Proben aus Fallout-Regionen
Gesamtkost	16	< 0,04 Bq/d·p	14	2	0
Rohmilch	16	< 0,02 Bq/l	6	11	8
Gemüse	11	< 0,2 Bq/kg FM	3	8	7
Babynahrung	7	< 0,02 Bq/kg*	7	0	0

Gesamtkost: komplettes Tagesmenü einschließlich Getränke aus einer Klinikküche; d·p: Tagesportion; FM: Frischmasse; *im verzehrsfertigen Produkt).

nuklidspezifische Messung – wie bei der Gammasppektrometrie – ist daher nicht möglich. Deshalb müssen vor der Beta-messung der Lebensmittelproben, alle anderen Stör-Nuklide und die Lebensmittelmatrix in einem aufwändigen Abtrennungs- und Reinigungsverfahren entfernt werden. Um Sr-90 möglichst genau zu bestimmen, sollte das radiochemische Gleichgewicht zwischen Sr-90 und Y-90 abgewartet werden. Dieses Gleichgewicht hat sich erst nach ca. 3 Wochen eingestellt. Die Messung der Strontium-Nuklide erfordert daher einiges an Know-how und auch Geduld bis verlässliche Messergebnisse vorliegen.

In 2019/2020 wurden im radiochemischen Labor des CVUA Stuttgart auch Proben auf ihre Aktivität an Sr-90 untersucht (siehe Tabelle 2)

Wie Cs-137 wurde auch Sr-90 nur in wenigen Proben nachgewiesen. Die Sr-90-Aktivitäten dieser Proben liegen alle im Bereich der Nachweisgrenze und stammen zumeist aus Gebieten, die 1986 von dem Fallout der Tschernobyl-Havarie besonders betroffen waren.

Arten von Strahlung

Alpha- und Beta-Strahler sind Teilchenstrahlen, Gammastrahlung ist eine elektromagnetische Strahlung. Ihre Energie wird in Kilo-Elektronenvolt (keV) bzw. Mega-Elektronenvolt (MeV) gemessen.

Alpha-Strahlung besteht aus einem Helium-Atomkern mit 2 positiv geladenen Protonen und 2 Neutronen. Ihre typische Energie liegt bei ca. 5 MeV (4–8 MeV). Die Reichweite der Strahlung in der Luft beträgt ca. 4 cm. Im Gewebe beträgt die Reichweite dagegen nur wenige Mikrometer (µm). Alpha-Strahlung kann bereits durch ein einfaches Blatt Papier abgeschirmt werden. Beispiele für Alpha-Strahler sind Rn-222, Ra-226, sowie Uran- und Plutonium-Isotope.

Beta-Strahlung besteht aus einem negativ geladenen Elektron. Die typische Energie dieser Strahlung liegt zwischen 18 keV und 3 MeV. Die Reichweite in Luft beträgt wenige Meter, in Gewebe nur wenige Millimeter. Vor allem Plexiglas und Aluminium mit einer Dicke von wenigstens 0,5 cm dienen als Abschirmung gegen diese Strahlung. Typische Vertreter dieser Strahlung sind K-40, Cs-137 und Sr-90.

Gamma-Strahlung als elektromagnetische Strahlung weist Energien zwischen ca. 10 keV und 10 MeV auf. Sie reicht viele hundert Meter weit und kann unter praktikablen Bedingungen nur abgeschwächt werden, z. B. durch eine 10 cm dicke Bleiplatte oder meterdicke Betonschichten. Gamma-Strahlung entsteht oft als Begleiterscheinung anderer radioaktiver Zerfälle.

Neutronenstrahlung ist eine weitere Teilchenstrahlung, sie entsteht im Gegensatz zu den ersten drei Strahlungsarten selten natürlich und wird am CVUA Stuttgart nicht untersucht.

Quellen

Abb.1: Graphische Darstellung: *eigene Datenquellen*

Abb.2 und 3: *eigene Fotos (CVUAS Radiochemie)*

[1] *Bundesamt für Strahlenschutz*

[2] *Gesetze im Internet*

[3] *Acuradon*

[4] *Noske, D., Gerich, B. und Langner, S.: Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen (Erwachsene), ISH-Heft 63 (1985)*

[5] *Henrichs, K., Elsasser, U., Schotola, C. und Kaul, A.: Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen (Altersklasse 1 Jahr), ISH-Heft 78 (1985)*

[6] *Kernfragen.de*

[7] *Kerntechnik Deutschland e.V.*

[8] *Radioisotopenkurs am KIT Karlsruher Institut für Technologie*

[9] *Krebsinformationsdienst des dkfz*

[10] *Untersuchungsämter für Lebensmittelüberwachung und Tiergesundheit Baden-Württemberg*

[11] *Neue Zürcher Zeitung vom 25.02.2016*

[12] *Wikipedia*

[13] *Umweltanalysen.com*

[14] *www.eur-lex.europa.eu*

[15] *Weißhaar, R.: Abtrennung und Bestimmung von ^{90}Sr , ^{226}Ra , ^{228}Ra und ^{210}Pb in Lebensmitteln mittels eines Strontium-spezifischen Extraktionsharzes; Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 92, 1996, 215–217*

[16] *Weißhaar, R.: Blei-210 in Lebensmitteln; Deutsche Lebensmittel-Rundschau 89, 1993, 205–208*