



Strahlenbelastung des Menschen durch natürliche radioaktive Quellen

Dr. Renate Schnauer, Carolin Löw

Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Stuttgart

In unserer Wahrnehmung spielen häufig nur künstliche Radionuklide wie Plutonium, Cäsium-137 (zuletzt in größeren Mengen aus dem Atomunfall des Kernreaktors in Tschernobyl) und angereichertes Uran (aus Kernkraftwerken und in Atombomben) eine Rolle. Dabei wird übersehen, dass der Mensch seit Anbeginn der Zeiten von natürlich vorkommenden Radionukliden umgeben ist. Beispiele dafür sind Kalium-40, das in nahezu allen Lebensmitteln auftritt, das radioaktive Edelgas Radon oder uranhaltige Mineralien.

Der folgende Beitrag wurde durch Fragen und Diskussionen inspiriert, die während unserer „Tage der offenen Tür“ mit den interessierten Besuchern aufkamen.

Dieser Beitrag soll einen groben Überblick über die Quellen natürlicher 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.

Natürliche Zerfallsreihen

Die meisten der uns umgebenden natürlichen Nuklide sind aus dem Zerfall von Uran-238 (U-238), U-235 und Thorium-232 (Th-232) entstanden. Unabhängig von ihrem Ausgangsnuklid, enden alle diese natürlichen Zerfallsreihen mit einem stabilen Blei-Isotop, das nicht weiter zerfällt.

Uran (U) gibt es schon seit der Entstehung der Erde. Es besteht natürlicherweise aus drei Isotopen in folgender Zusammensetzung:

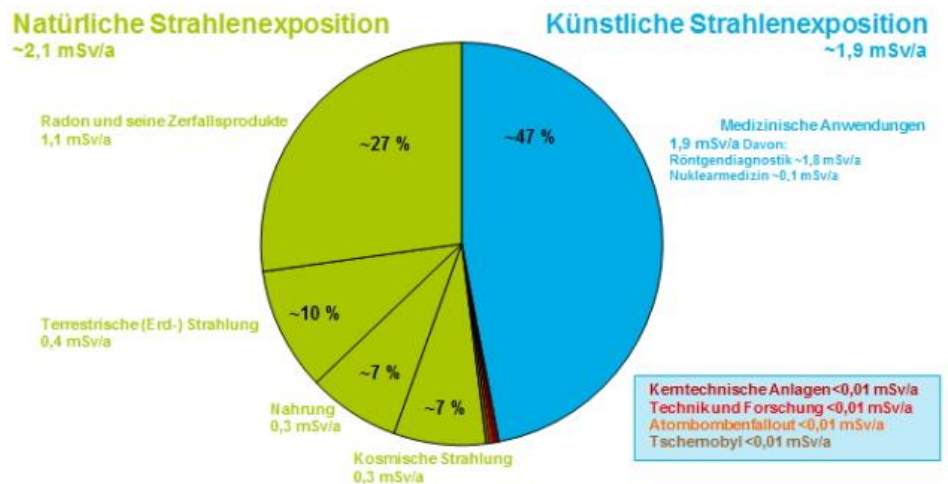


Abb. 1: Ungefähr die Hälfte der radioaktiven Strahlenbelastung des Menschen in Deutschland ist auf natürliche Quellen zurückzuführen und liegt im Mittel bei 2,1 Milli-Sievert pro Jahr (mSv/a, näheres zur Einheit im Info-Kasten). Dieser Wert kann jedoch je nach Wohnort, Ernährungs- und Lebensgewohnheiten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

Prozentuale Verteilung der Uran-Isotope in Natur-Uran	
238 Uran	99,27 %
235 Uran	0,72 %
234 Uran	0,0055 %

Wegen des hohen Anteils von U-238 im Natururan haben dessen Zerfallsprodukte die größte Bedeutung für die natürliche Strahlenbelastung.

In Abbildung 2 ist daher beispielhaft der Zerfall des U-238, die Uran-Radium-Zerfallsreihe, dargestellt.

Die rote Farbe der Kästchen zeigt an, dass es sich bei dem dargestellten Nuklid um einen Alpha-Strahler handelt, die blaue Farbe symbolisiert einen Beta-Strahler. Bei den Zahlen unter den Nuklid-Namen handelt es sich um die Halbwertszeiten (a = Jahr, d = Tag, m = Minute, µs = Mikrosekunde)

U-238 selbst hat eine sehr lange Halbwertszeit von 4,47 Milliarden Jahren. Das ist die Zeit, in der die Menge/Aktivität an U-238 durch Zerfall auf die Hälfte gesunken ist. Der Zerfall des U-238 erfolgt über Th-234, U-234 und Radium-226 (Ra-226), aus dem weiter durch einen sogenannten Alpha-Zerfall Radon (Rn)-222 entsteht (siehe Info-Kasten „Arten von Strahlung“).

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.

tät an U-238 durch Zerfall auf die Hälfte gesunken ist. Der Zerfall des U-238 erfolgt über Th-234, U-234 und Radium-226 (Ra-226), aus dem weiter durch einen sogenannten Alpha-Zerfall Radon (Rn)-222 entsteht (siehe Info-Kasten „Arten von Strahlung“).

In Abhängigkeit der Geologie (d. h. viel Uran im Untergrund, wie z. B. im Südschwarzwald oder dem Erzgebirge) kann Grundwasser in entsprechenden Gebieten erhöhte Konzentrationen an Uran, Radium und Radon aufweisen. Das Edelgas Radon findet sich dann auch in mehr oder weniger hohen Aktivitäten in der Umgebungsluft. Diese natürlichen Gegebenheiten werden in der **Trinkwasser-Verordnung** hinsichtlich der durchzuführenden Untersuchungen berücksichtigt [2].

Für die natürliche Strahlenbelastung des Menschen spielen vor allem der Wohnort, sowie die Ernährungs- und Lebensgewohnheiten eine entscheidende Rolle. Im Folgenden wird zwischen diesen Aufnahmequellen unterschieden:

- Inhalation (Einatmen)
- Innere Strahlung (Nahrung)
- Äußere Strahlung (kosmische und terrestrische Strahlung)

Inhalation (Einatmen)

Über die Atmung, also die Inhalation, werden ca. 1,1 mSv/a aufgenommen. Dieser Weg macht knapp ein Drittel der natürlichen Strahlenbelastung aus und ist größtenteils dem radioaktiven Edelgas Radon (Rn) zuzuschreiben [1]. Rn-222 als Zerfallsprodukt des U-238 (siehe Abbildung 2) ist überall in kleinen Mengen in der Luft vorhanden. Gesundheitsgefährdend sind bei Rn-222 vor allem seine radioaktiven Zerfallsprodukte (siehe Abbildung 2). Durch die Atmung in die Lunge gelangt, senden seine Zerfallsprodukte (darunter auch Polonium) direkt dort u. a. Alpha-Strahlen aus. Alpha-Teilchen (siehe Info-Kasten „Arten von Strahlung“) sind relativ groß und weisen eine hohe Energie auf. Diese kann die Zellen der Lunge und anderer Organe schädigen und die Entstehung von Krebserkrankungen begünstigen.

Als gesundheitsgefährdend ist eine länger andauernde Exposition mit hohen Dosen an Rn-222 einzustufen. Ein kurzzeitiger Kontakt mit Rn-222, z. B. in unterirdischen Radon-Stollen, soll sich dagegen günstig auf das Immunsystem auswirken [3].

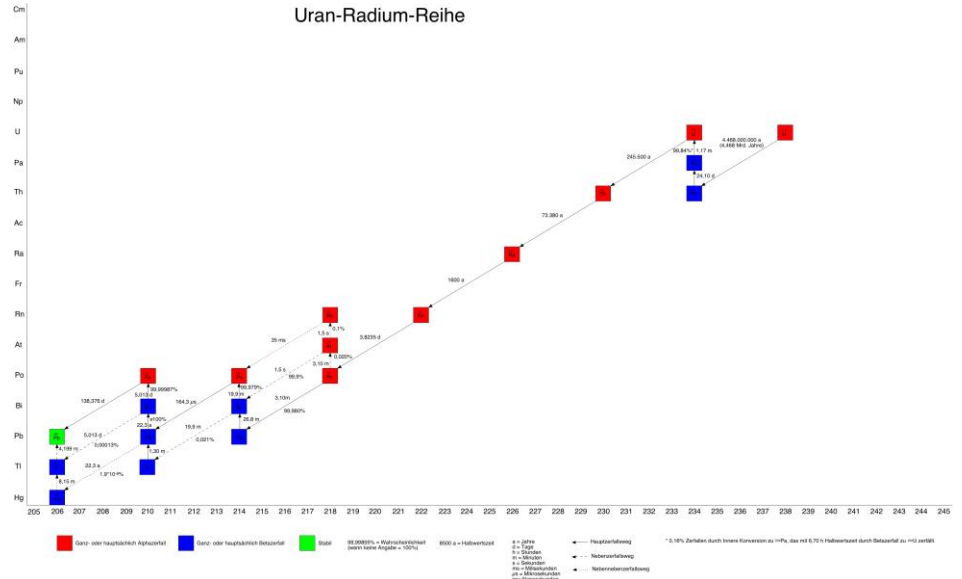


Abb 2: Zerfallsreihe von Uran
Ra-226, Rn-222, Pb-210 und Po-210 sind laut Trinkwasserverordnung zu untersuchen

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 (Messgerät siehe Abbildung 3 und 4).

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

Ausführliche Informationen und Hintergründe rund um das Thema „Radon“ finden sich auf der Homepage des **Bundesamtes für Strahlenschutz**: oder in der Broschüre „**Schutz vor Radon**“ des Umweltministeriums BW

Innere Strahlung (Nahrung)

Die sogenannte innere Strahlung mit ca. 0,3 mSv/a kommt durch die Nahrungsaufnahme zustande. Daraus resultieren ca. 7% der Gesamt-Strahlenbelastung. Die wichtigsten Nuklide sind hierfür

Kalium-40, Kohlenstoff-14 und Blei-210 [1].

Da auch der menschliche Körper Kalium und Kohlenstoff enthält, führen die geringen Anteile der oben genannten radioaktiven Isotope dazu, dass jeder von uns mit ca. 4200 Becquerel (Bq) Kalium-40 und ca. 3800 Bq Kohlenstoff-14 strahlt. Ein Bq entspricht einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde.

Kalium-40 / K-40

Natürliches Kalium ist ein Gemisch aus verschiedenen Isotopen. K-40 liegt zu 0,0117% in diesem natürlichen Isotopengemisch vor und ist damit unvermeidbar in nahezu jedem Lebensmittel vorhanden. K-40 ist wie U-238 ein Isotop, das seit Anbeginn der Zeiten existiert. Es hat eine Halbwertszeit von 1,28 Milliarden Jahren. K-40 sendet während seines Zerfalls Betastrahlung und Gammastrahlung aus und kann daher auch mittels Gammaskopie bestimmt werden (Abbildung 3 und 4).

Kohlenstoff-14 / C-14

C-14 wird wie K-40 auch über pflanzliche und tierische Nahrung aufgenommen. Das CO₂ in der Luft enthält natürlicherweise neben dem stabilen C-12 auch radioaktives C-14. Pflanzen nehmen das CO₂ aus der Luft auf und bauen den Kohlenstoff in organische Materie ein. Somit wird auch C-14 beständig in einem festen Verhältnis in organische Materie eingebaut. Der Entstehungsprozess von C-14 verläuft folgendermaßen: durch kosmische Strahlung werden Neutronen freigesetzt, die mit natürlichem Stickstoff-14 (N-14) in der Atmosphäre in der Weise reagieren, dass das Neutron aufgenommen und ein Proton abgegeben wird. So entsteht C-14, das wie normaler Kohlenstoff C-12 auch am Photosynthese-Prozess teilnimmt und so in die Nahrungskette gelangt. Da jeder lebende Organismus C-14 enthält, kann über die Halbwertszeit von 5740 Jahren eine Altersbestimmung durchgeführt werden (Radiokarbonmethode). Denn im Moment des Todes nimmt ein Lebewesen kein weiteres C-14 mehr auf und die Abnahme von C-14 durch dessen Zer-



Abb. 3: (links) Gamma-Messplätze mit darunter befindlichen Dewar-Gefäßen mit Flüssigstickstoff zur Kühlung der Germanium-Detektoren

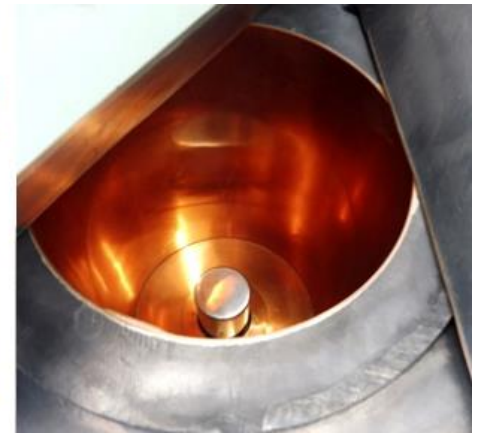


Abb. 4: (rechts) Geöffneter Gamma-Messplatz: mit Kupfer ausgekleidete Bleiummantelung und Germaniumdetektor mit aufgesetzter Aluminium-Kappe

fall beginnt. C-14 ist ein sog. „weicher“ Beta-Strahler, d. h. die Strahlung hat eine vergleichsweise geringe Energie. Sie kann über das Messverfahren der Flüssigszintillation bestimmt werden.

Blei-210 / Pb-210

Eine weitere wichtige Quelle einer Belastung, verbunden mit einer hohen Radiotoxizität bildet Pb-210. Pb-210 ist ebenfalls ein Zerfallsprodukt aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe (Abbildung 2). Da Uran in wechselnden Mengen in praktisch allen Umweltmedien, besonders auch in Böden vorhanden ist, treffen wir Pb-210 überall an.

Interessant hierbei ist, dass Pb-210 über den Weg „Boden – Luft – Niederschlag – in Pflanzen“ und somit in unsere Lebensmittel gelangt. Eine entscheidende Rolle übernimmt das Edelgas Rn-222, der Vorläufer des Pb-210. Rn-222 wird im Boden durch Zerfall von Ra-226 ständig neu gebildet, diffundiert in die Luft und zerfällt dort über mehrere Zwischenprodukte zu Pb-210. Pb-210 wird an Staubteilchen und Aerosole gebunden und gelangt mit dem Niederschlag oder durch Staub auf die Pflanze. Wie der vorne dargestellten Zerfallsreihe (Abbildung 2) zu entnehmen ist, resultieren aus dem Pb-210 weitere Zerfälle über Bismut-210 und Polonium-210 zum stabilen Pb-206.

Äußere Strahlung

Eine weitere Strahlenquelle besteht durch die sog. äußere Strahlung mit 0,7 mSv/a. Diese umfasst die kosmische

und terrestrische Strahlung, wobei die terrestrische Strahlung aus Boden und Gebäuden in Deutschland bei durchschnittlich bei 0,4 mSv/a liegt [1,6,7].

Kosmische Höhenstrahlung

Kosmische Höhenstrahlung ist eine hochenergetische Strahlung aus dem Weltall. Aufgrund dieser sind z. B. die Bewohner der peruanischen Stadt La Rinconada (5100 m über Meereshöhe) einer effektiven Dosis von ca. 3,7 mSv/Jahr ausgesetzt [8]. Auch im Flugverkehr spielt die kosmische Höhenstrahlung eine vergleichsweise gewichtige Rolle: So verursacht beispielsweise ein Flug von Frankfurt/Main nach New York City und zurück eine Strahlenbelastung von ca. 0,1 mSv [1].

Terrestrische Strahlung

Wichtige Zerfallsprodukte von Uran und Thorium sind Radiumisotope Ra-226 und Ra-228. Diese befinden sich auch in der oberen Erdkruste und können je nach Geologie in größeren Mengen z. T. erheblich zur Strahlenbelastung der dort lebenden Bevölkerung beitragen. Die hohen Dosen, denen Bewohner der Stadt Ramsar, Iran, und des Staates Espirito Santo, Brasilien, ausgesetzt sind, sind vor allem auf Radium aus Uran und Thorium im Boden zurückzuführen und betragen ca. 6 mSv/a [8].

Zum Vergleich hierzu: das radiochemische Labor des CVUA Stuttgart wurde nach der alten Strahlenschutz-Verordnung als sog. „Überwachungsbereich“

definiert mit einer maximalen effektiven Dosis von 6 mSv/a. Das heißt, dass dem Labor bei Strahlendosen, wie sie in den oben genannten Gebieten natürlicherweise auftreten, Maßnahmen durch die Aufsichtsbehörde drohen würden. In unserer regelmäßigen Überwachung wurden im radiochemischen Labor des CVUA Stuttgart in den vergangenen Jahren keine über die natürliche Strahlung hinausgehenden Belastungen festgestellt. Diese Überwachung erfolgt durch Dosimeter, die alle Mitarbeiter während der Arbeitszeit tragen müssen.

Art der Strahlung und biologische Strahlenwirkung

Für die biologische Strahlenwirkung auf den Körper sind neben der „Strahlendosis“ auch die Arten der Strahlung entscheidend, die unterschiedlich im Körper wirken. Dabei ist die Art der Strahlung vom betrachteten Nuklid abhängig. Die Einheit Sievert (Sv) beschreibt dabei das Ausmaß der schädigenden Wirkung der jeweiligen Strahlung auf den Körper (siehe dazu auch Info-Kasten „Sievert“).

Im Gegensatz dazu ist die Einheit Becquerel (Bq) eine rein physikalische Einheit. Ein Bq ist 1 radioaktiver Zerfall pro Sekunde. Die Einheit ist unabhängig vom betrachteten Nuklid. 1 Becquerel Tritium bzw. 1 Becquerel Plutonium bedeutet, dass in 1 Sekunde 1 Atom Tritium bzw. 1 Atom Plutonium zerfällt. Die Strahlung von Plutonium ist aber ungleich gefährlicher als die von Tritium.

In Tabelle 1 ist ersichtlich, wie unterschiedlich die einzelnen Nuklide auf unseren Körper wirken.

Pb-210 wird wie Calcium beim Aufbau von Knochen in den menschlichen Körper eingelagert und verbleibt mit einer Halbwertszeit von 22,3 Jahren recht lange dort. Das bedeutet, dass Kinder, die sich in der Wachstumsphase befinden, von Pb-210 stärker betroffen sind als Erwachsene.

So hat 1 Bq Pb-210 die gleiche biologische Strahlenwirkung wie 107 Bq Cäsium-137 (Cs-137). Für ein Kleinkind hat Pb-210 sogar die gleiche biologische

Tab. 1: Dosisfaktoren für die Ingestion (Nahrung, Trinkwasser)) verschiedener Radionuklide beim Erwachsenen und Kleinkind [4, 5] (Relativwerte sind bezogen auf Pb-210)

Nuklid	Erwachsener [Sv/Bq] (relativ)	Kleinkind (1 Jahr) [Sv/Bq] (relativ)
⁴⁰ K	5 * 10 ⁻⁹ (300)	39 * 10 ⁻⁹ (126)
¹³⁷ Cs	14 * 10 ⁻⁹ (107)	9,3 * 10 ⁻⁹ (527)
⁹⁰ Sr	35 * 10 ⁻⁹ (43)	1100 * 10 ⁻⁹ (4,5)
²¹⁰ Pb	1500 * 10 ⁻⁹ (1)	4900 * 10 ⁻⁹ (1)
²²⁶ Ra	360 * 10 ⁻⁹ (4)	2600 * 10 ⁻⁹ (1,9)

Strahlenwirkung wie 527 Bq Cs-137 (siehe Relativzahlen). Cäsium ist ein künstliches Nuklid.

Soweit der erste Überblick über die natürlichen radioaktiven Quellen. Ein weiterer Artikel wird sich mit den künstlichen radioaktiven Quellen befassen, denen wir in unserem Alltag ausgesetzt sind.

Quellen

Abb.1: Graphische Darstellung: *eigene Datenquellen*

Abb.2: Wikimedia Commons *Uwe W.*

Abb. 3 und 4 Fotos der 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 ⁹⁰Sr, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra und ²¹⁰Pb in Lebensmitteln mittels eines Strontium-spezifischen Extraktionscharzes; Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 92, 1996, 215–217*

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