

Faktenblatt

Juni 2016

Strahlung im Alltag

Die Strahlung von radioaktiven Stoffen ist für viele Menschen etwas Unheimliches: Wir können sie – wie manche chemische Gifte auch – weder sehen, noch riechen, noch fühlen. Und doch ist Radioaktivität in der Natur etwas Allgegenwärtiges, und das Leben hat sich seit Jahrmilliarden darauf eingestellt. Seit einem Jahrhundert haben die Forscher weltweit dieses Naturphänomen untersucht. Sie haben dabei herausgefunden, dass die gesundheitlichen Risiken von kleinen Strahlendosen gering sind – oder möglicherweise sogar auch positive Wirkungen auftreten können.

Radioaktivität ist immer und überall vorhanden, wo auch immer wir uns aufhalten. Sogar unser Körper ist radioaktiv: Jede einzelne unserer Körperzellen beherbergt etwa eine Million radioaktiver Atome. Und jede Sekunde zerfallen etwa 9000 radioaktive Atome in unserem Körper und senden dabei Strahlung aus. Mehr als die Hälfte dieser Strahlung stammt von natürlich vorkommenden radioaktiven Kalium-Atomen, die mit der Nah-

rung in unseren Körper gelangen. Aber auch radioaktiver Kohlenstoff (das C-14, das für die Altersbestimmung von organischem Material Verwendung findet) sowie Uran und Thorium und deren radioaktive Zerfallsprodukte wie Radium, Radon und Polonium befinden sich natürlicherweise in unserem Körper.

Umgeben von Radioaktivität

Da wir Menschen kein Sinnesorgan für die Strahlung von radioaktiven Stoffen haben, wurde die Radioaktivität erst spät – am Ende des 19. Jahrhunderts – und mehr durch Zufall vom französischen Physiker Henri Becquerel entdeckt und danach von Marie Curie, Wilhelm Röntgen und weiteren Wissenschaftlern beschrieben. Heute wissen wir, dass radioaktive Stoffe allgegenwärtig sind.

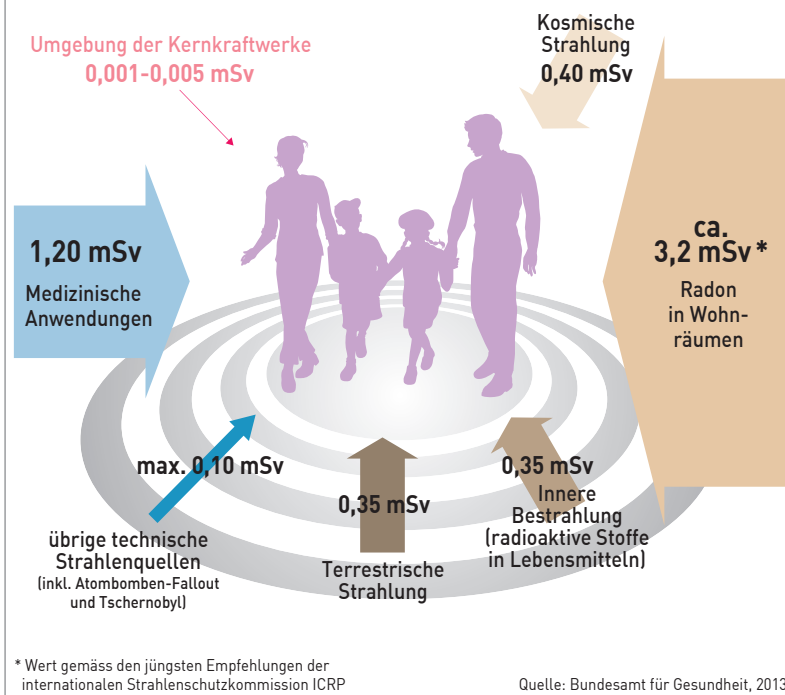
Alle unsere Nahrungsmittel wie auch das Trinkwasser sind natürlicherweise schwach radioaktiv. Alle Nahrungsmittel mit hohem Kaliumgehalt – z.B. Bananen – weisen eine etwas erhöhte Radioaktivität auf. Dabei variiert die Aktivität stark je nach geologischem Untergrund. Im indischen Bundesstaat Kerala beispielsweise, wo das Gestein besonders viel radioaktives Thorium enthält, liegt die Aktivität in Kartoffeln rund 30 Mal höher als anderswo. Hohe Werte werden auch in einsetzendem Regen gemessen, wenn das (natürliche) radioaktive Radon und seine Zerfallsprodukte aus der Luft ausgewaschen werden.



Radioaktive Stoffe finden sich überall in unserer natürlichen Umwelt und auch in unserer Nahrung. Vergleichsweise stark ist die natürliche Radioaktivität in Bananen – trotzdem kein Grund zur Sorge.

Foto: Shutterstock

Durchschnittliche jährliche Strahlendosis pro Person in der Schweiz
(mSv = Millisievert¹; Gesamtdosis: 5,6 mSv)



Einfluss von Geologie und Höhenlage

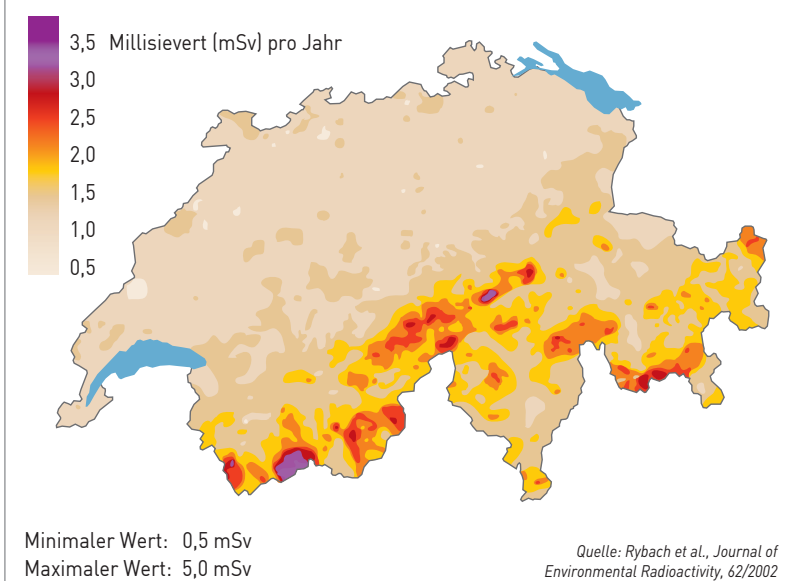
Die Nahrung trägt jedoch nur zu einem geringen Teil an die gesamte Strahlenbelastung bei (siehe Grafik links). Etwa gleich stark werden wir aus den Gesteinen und Baustoffen (terrestrische Strahlung) und aus dem Welt- raum (kosmische Strahlung) bestrahlt.

Auch hier gibt es grosse Unterschiede von Ort zu Ort (siehe Karte unten links): Je nach Geologie ist in den Alpen die terrestrische Strahlung höher als im Mittel- land. Dazu kommt noch die Höhenlage: Je höher jemand wohnt, desto weniger wird die kosmische Strahlung durch die Atmo- sphäre abgeschwächt, so dass die Belastung in den Bergtälern mehr als doppelt so stark sein kann wie im Tiefland. Noch stärker ins Gewicht fällt die kosmische Strahlung beim Fliegen: In 10'000 Metern Höhe ist sie rund hundertmal stärker als am Boden.

Hohe Dosen vom natürlichen Radon

Der Löwenanteil der natürlichen Strahlung stammt in der Schweiz jedoch vom Radon. Radon ist ein Edelgas, das beim radioakti- ven Zerfall des natürlichen Urans in unseren Gesteinen entsteht und seinerseits in weitere radioaktive Stoffe zerfällt. Es steigt aus dem Boden auf und seine Zerfallsprodukte können sich in schlecht belüfteten Räumen anreichern und über die Atmung in die Lunge gelangen. Radongas kommt überall in der Schweiz vor, mit sehr grossen lokalen Schwankungen. Die höchsten Belastungen werden in den Alpen und im Jura gemessen, aber auch in vereinzelt Gebieten im Mittelland.

Äussere jährliche Strahlendosis in der Schweiz
(ohne Radon in Wohnräumen und Medizin)



Erhebliche Dosen aus der Medizin

Ein wesentlicher Teil der kollektiven jährlichen Schweizer Strahlendosis stammt aus der Medizin. Ein erheblicher Teil davon stammt aus der medizinischen Röntgendiagnostik. Eine einzige computertomographische Unter- suchung (CT) kann in Sekunden zu einer Dosis von bis zu 10 Millisievert (mSv)¹ führen – die Hälfte des Grenzwerts für beruflich strahlenexponiertes Personal in einem Jahr.

Wie beim Radon sind die Strahlendosen aus der Medizin sehr ungleich verteilt. Rund

¹ Erklärung der Einheit Millisievert siehe Seite 6.

40'000 mSv:	Bestrahlung eines Krebstumors ³
8000 mSv:	Schockdosis, bei der <i>mit</i> medizinischer Intervention die Hälfte der Menschen sterben (LD ₅₀) ³
3500-4000 mSv:	Schockdosis, bei der <i>ohne</i> medizinische Intervention die Hälfte der Menschen sterben (LD ₅₀) ³
1000 mSv:	Schockdosis, ab der akute Symptome der Strahlenkrankheit auftreten ³
1000 mSv:	Reise zum Mars und zurück (500 Tage) ¹⁰
200-1000 mSv:	erhöhte Wahrscheinlichkeit bestimmter Krebserkrankungen ³

Typische Strahlendosen aus natürlichen und künstlichen Quellen während eines Jahres

500 Millisievert (mSv)

Strahlung in Ramsar, Iran⁹: bis 260 mSv pro Jahr

200 Millisievert (mSv)

Dosis über längere Zeit: unter 200 mSv epidemiologisch keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen nachweisbar³

100-150 mSv: Typische Dosis eines Aufenthalts in der Internationalen Weltraumstation ISS³

100 mSv

Schockdosis (ganze Dosis auf ein Mal): unter 100 mSv epidemiologisch keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen nachweisbar³

100 mSv: Grenzwert bei einem schwerem Störfall in einem KKW¹

Natürliche Quellen

Künstliche Quellen

50 mSv

Strahlung in Kerala, Südindien⁷: 45 mSv (lokaler Spitzenwert)

50 mSv: Grenzwert für beruflich strahlenexponiertes Personal (USA)³

Strahlung am Strand von Guarapari (Brasilien)⁸: 30-40 mSv

10-50 mSv: Grossteil der evakuierten Gebiete in Fukushima⁵ (äussere Strahlung im ersten Jahr nach dem Unfall)

20 mSv

20 mSv: Grenzwert für beruflich strahlenexponiertes Personal (Schweiz)¹



Guarapari, Brasilien: Der dunkle Sand enthält viel radioaktives Thorium

10 mSv

10 mSv: Computertomografie (CT) in der Medizin²

Radon-Dosis in Cornwall, Grossbritannien⁴: 7,8 mSv (Mittelwert)

Strahlung in Yangjiang, China⁷: 6,4 mSv (Mittelwert)

5,6 mSv: Mittlere Strahlendosis in der Schweiz aus allen Quellen¹ (natürlich und künstlich)

Maximalwert der äusseren Strahlung in der Schweiz⁶: 5,0 mSv (terrestrische und kosmische Strahlung)

4,0 mSv: Röntgenuntersuchung Darmtrakt²

Typische zusätzliche Dosis Flugpersonal³: 2-4 mSv

Radon in Wohnräumen¹: 3,2 mSv (Durchschnitt Schweiz)

1,2 mSv: Medizinische Anwendungen¹ (Durchschnitt Schweiz)

1 mSv

1,0 mSv: Gesetzlicher Grenzwert für künstliche Strahlenquellen für die allgemeine Bevölkerung¹ (ohne Medizin, ohne Radon und ohne natürliche Strahlung)

Äussere Strahlung¹: 0,75 mSv (terrestrische und kosmische Strahlung, Durchschnitt Schweiz)

0,5 mSv

Innere Strahlung durch Nahrung¹: 0,35 mSv (Durchschnitt Schweiz)

0,2 mSv: Röntgenaufnahme Brustkorb²

0,1 mSv

Interkontinental-Flug retour^{1,3}: 0,03-0,06 mSv

0,01 mSv

Jeden Tag eine Banane essen¹¹: 0,03 mSv

0,01 mSv: Farbfernsehen³

0,001 mSv

0,001-0,005 mSv: Umgebung Kernkraftwerk¹

Datenquellen:

- Bundesamt für Gesundheit (BAG)
- Forum Medizin und Energie (FME)
- U.S. Department of Energy (DOE)
- Health Protection Agency (HPA), Grossbritannien
- Ministerium für Bildung, Kultur, Sport, Wissenschaft und Technologie (MEXT), Japan
- Rybach et al., in: Journal of Environmental Radioactivity, 62/2009
- Hendry et al., in: Journal of Radiological Protection 29/2009
- Vasconcelos et al., World Journal of Nuclear Science and Technology, 3/2013
- Karam A., Proceedings of the WM'02 Conference, Feb. 2002, Tucson, Arizona
- Southwest Research Institute (SwRI), Boulder, Colorado
- Wikipedia (englisch)

Weiterführende Informationen zum Thema finden sich beim «Forum Medizin und Energie»: <http://www.fme.ch> sowie in den Jahresberichten der Abteilung Strahlenschutz des Bundesamts für Gesundheit: www.bag.admin.ch



² Gemeint sind hier die energiereichen, sogenannte «ionisierenden» Strahlen. Daneben gibt es auch die nicht-ionisierenden Strahlen wie Radiowellen, Mobilfunk oder das sichtbare und das UV-Licht der Sonne. Diese Strahlung ist energieärmer, kann aber auch, wie im Fall der relativ energiereichen UV-Strahlung, bei hohen Dosen Sonnenbrand oder sogar Hautkrebs verursachen.

zwei Drittel der Bevölkerung erhalten praktisch keine Dosis aus der Röntgendiagnostik. Umgekehrt sind es bei wenigen Prozenten der Bevölkerung mehr als 10 mSv pro Jahr.

Kernkraftwerke: kaum Emissionen

Kaum ins Gewicht fallen die technischen Strahlenquellen in Industrie, Forschung und von schwach radioaktiven Gegenständen des täglichen Lebens, und ebensowenig die Spuren aus den Atombombenversuchen vor 50 Jahren oder aus dem Unfall in Tschernobyl im April 1986. Die Strahlendosen in der Umgebung der Schweizer Kernkraftwerke sind noch geringer und im Vergleich zu den natürlichen Strahlenquellen bedeutungslos.

Weltweit sehr grosse Unterschiede

In der Grafik auf Seite 4 sind typische Strahlendosen aus natürlichen und künstlichen Quellen gegenübergestellt. Die durchschnittliche Strahlenexposition eines Menschen in der Schweiz aus sämtlichen Quellen² beträgt nach den Berechnungen des Bundesamts für Gesundheit (BAG) rund 5,6 mSv pro Jahr, mit grossen individuellen Abweichungen nach oben und unten.

In anderen Weltgegenden ist jedoch allein schon die natürliche Strahlung aus dem Boden höher, so zum Beispiel in Cornwall, England (7,8 mSv pro Jahr). Besonders hohe Werte wurden wegen der hohen Konzentration von natürlichem Thorium oder Uran im Erdboden in Brasilien (Badestrand von Guarapari), in Indien (Bundesstaat Kerala) oder im Iran (Kurort Ramsar am Kaspischen Meer) festgestellt.

Die dort gemessenen Werte sind gleich hoch oder sogar deutlich höher als die Strahlendosen im Grossteil der Gebiete, die nach dem Kernkraftwerksunfall in Fukushima im März

2011 evakuiert wurden und die bis heute für das Wohnen gesperrt sind. In den genannten Regionen gibt es keine Hinweise auf erhöhte strahlenbedingte gesundheitliche Probleme in der Bevölkerung.

Schäden durch Energieübertragung

Bereits im Jahr 1928 – zehn Jahre vor der Entdeckung der Kernspaltung – wurde die Internationale Strahlenschutz-Kommission (International Commission on Radiological Protection, ICRP) gegründet, nachdem erkannt worden war, dass Strahlung – neben dem grossen Nutzen für die Medizin und die Industrie – auch schädlich sein kann. Die Empfehlungen der ICRP bilden heute in den meisten Ländern die Grundlage für die Gesetzgebung im Strahlenschutz.

«Radioaktive Strahlung» ist Energieübertragung. In lebenden Zellen überträgt die Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung (siehe S.6) ihre Energie an die Atome und Moleküle in der Zelle. Als Folge davon können in der Zelle Veränderungen auftreten, wie das Trennen von chemischen Bindungen oder Beschädigungen der DNA, der Trägerin der Erbinformation. Solche Schädigungen treten in viel grösserem Ausmass allerdings auch durch den normalen Stoffwechsel und andere Umwelteinwirkungen ein, etwa durch krebsfördernde Stoffe, die in den Körper gelangen.

Effiziente Reparaturmechanismen

Seit seinen Anfängen vor Jahrtausenden hat sich das Leben auf Strahlung und andere potenziell schädliche Einwirkungen eingestellt. So verfügen unsere Zellen über sehr effiziente Reparaturmechanismen. Tritt ein schwerer Schaden auf, stirbt die Zelle und wird durch eine neue ersetzt. Ist der Schaden weniger gross, wird er repariert. Die Reparaturen sind



Radioaktives Radongas zur Linderung von Beschwerden bei rheumatischen Erkrankungen, Bronchitis oder Hautproblemen: Der Heilstollen in Bad Gastein in Österreich.

Foto: Gasteiner Heilstollen

aber nicht immer fehlerfrei und hohe Strahlendosen in kurzer Zeit überfordern den Reparaturmechanismus. Die Zellen von Kleinkindern sind wegen ihrer hohen Teilungsrate besonders empfindlich.

Das alles führt dazu, dass der Zusammenhang von Strahlung und Gesundheitsrisiken vielschichtig ist:

– **Sehr hohe Dosen in kurzer Zeit («Schockdosen»):** Bei Dosen ab rund 1000 mSv treten akute Strahlenschäden auf, bei etwa 4000 mSv stirbt die Hälfte der betroffenen Menschen innerhalb von Tagen oder Wochen. Bei der Bestrahlung von Krebstumoren wird dies ausgenutzt, indem ganz gezielt die Krebszellen mit sehr hohen Strahlendosen abgetötet werden. Wenn jedoch eine hohe Dosis über viele Jahre verteilt anfällt, können die Schäden in den Zellen laufend repariert werden.

– **Strahlendosen mit steigendem Krebsrisiko:** Bei Schockdosen ab etwa 100 mSv steigt epidemiologisch nachweisbar das Risiko von Krebserkrankungen. Wenn beispielsweise 1000 Männer mit 100 mSv bestrahlt werden, sind gemäss den Risikofaktoren der ICRP rein rechnerisch in dieser Gruppe im Lauf der Zeit etwa fünf

strahlenbedingte Krebstote zu erwarten – zusätzlich zu den rund 300 Männern, die aus anderen Ursachen an Krebs sterben. Bei solchen Dosen können sich fehlerhafte Reparaturen mit der Zeit anhäufen, wodurch das Risiko einer Erkrankung oder von Schäden am Erbgut steigt. Erfolgt die Bestrahlung jedoch über längere Zeit, steigt das epidemiologisch nachweisbare Krebsrisiko erst ab etwa 200 mSv an.

– **Kleine Strahlendosen unter 100 mSv:** Unklar ist das effektive Gesundheitsrisiko bei geringen Strahlendosen. Hier überlagern sich die Reparaturmechanismen, andere Krebsursachen (beispielsweise durch das Rauchen) und die individuelle Strahlenempfindlichkeit derart, dass ein allfälliges strahlenbedingt erhöhtes Risiko nicht erkannt werden kann. Es verschwindet in den statistischen Schwankungen der «normalen» Krebserkrankungen.

Auch eine Zunahme von Erbschäden ist bei kleinen Strahlendosen noch nie beobachtet worden. Übrigens auch nicht unter den rund 80'000 Nachkommen der Überlebenden der beiden Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki im August 1945, deren Eltern relativ hohe Strahlendosen erhalten haben.

Vorsorgeprinzip beim Strahlenschutz

Bei den kleinen Dosen zeigen wissenschaftliche Studien widersprüchliche Ergebnisse: Einerseits fördern sie möglicherweise sogar die Gesundheit, weil sie den Reparaturmechanismus stimulieren. Andererseits gibt es Hinweise, wonach auch geringe Dosen den Keim für eine spätere Erkrankung legen können.

Mangels gesicherter Daten gehen weltweit die Strahlenschutzfachleute gemäss Vorsorgeprinzip davon aus, dass auch kleine Dosen schädlich sein können und es keinen Schwellenwert gibt, unterhalb dem Strahlung harmlos ist³. Daher wird angenommen, dass in diesem Bereich das Risiko einer Erkrankung mit sinkender Dosis linear gegen Null abnimmt.

Entsprechend streng sind die gesetzlichen Grenzwerte: Würde man vergleichbare Krebsrisiken auf die UV-Strahlung übertragen, wären nur noch knapp zwei Stunden Sonnenbaden pro Jahr tolerierbar.

³ Im November 2013 hat die Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität (KSR) nach der Durchsicht der aktuellen wissenschaftlichen Literatur eine entsprechende Stellungnahme abgegeben: www.bag.admin.ch/ksr-cpr, Links «Dokumentation KSR» und «Stellungnahmen und Empfehlungen».

Was ist «radioaktive Strahlung»?

Nicht alle Atomkerne (Nuklide) sind stabil. Ein Teil der Kerne «zerfällt» mit der Zeit, d.h. sie wandeln sich spontan, ohne äussere Einwirkung in andere Kerne um. Dieses Naturphänomen wird Radioaktivität genannt.

Es gibt natürlich vorkommende radioaktive Atome und künstlich geschaffene. Wenn sie zerfallen, senden sie energiereiche Strahlung aus. Fachleute sprechen von «ionisierender Strahlung», da ihre Energie ausreicht, um in den Atomen in unseren Körperzellen Elektronen herauszuschlagen, so dass diese elektrisch geladen («ionisiert») werden und chemische Veränderungen in den Zellen auftreten.

Umgangssprachlich wird häufig der Begriff «radioaktive Strahlung» benutzt, obwohl nicht die Strahlung, sondern die Teilchen radioaktiv sind, die die Strahlung aussenden. Dieser Unterschied ist wichtig, denn das bedeutet, dass Stoffe oder Körperteile, die von ionisierender Strahlung getroffen werden, selbst nicht radioaktiv werden.

Drei Arten von Strahlung

Bei solchen Kernumwandlungen entstehen drei Arten von ionisierender Strahlung:

- **Alpha-(α)-Strahlung:** Sie tritt auf, wenn ein zerfallendes Atom einen Heliumkern aussendet. Dieses relativ grosse Teilchen fliegt in Luft nur einige Zentimeter weit. Ein Blatt Papier genügt, um Alphastrahlen vollständig abzuschirmen. Sie können die oberste Hautschicht nicht durchdringen. Gelangen jedoch Atomkerne, die Alphateilchen aussenden, über die Atmung oder die Nahrung ins Innere des Körpers, können die Alphateilchen Veränderungen in den getroffenen Zellen bewirken.

- **Beta-(β)-Strahlung:** Sie tritt auf, wenn ein Atom ein Elektron oder sein positiv geladenes Gegenstück aussendet. Ein Betateilchen fliegt deutlich weiter als ein Alphateilchen. Zwei Zentimeter Kunststoff genügen jedoch, um Betastrahlen vollständig abzuschirmen. Sie dringen nur wenige Millimeter in die oberste Hautschicht ein. Gelangen Atomkerne, die Betateilchen aussenden, in den Körper, können auch sie Veränderungen in den Zellen auslösen.

- **Gamma-(γ)-Strahlung:** Bei Kernumwandlungen kann auch Gammastrahlung entstehen. Im Unterschied zur Alpha- und Betastrahlung handelt es sich dabei nicht um wegfliegende Teilchen, sondern um eine elektromagnetische Welle wie das sichtbare Licht, nur viel energiereicher. Gammastrahlen durchdringen unseren Körper, wobei sie sich abschwächen. Auch sie können Veränderungen in den Zellen auslösen.

Es gibt keinen Unterschied bei der Strahlung aus natürlichen und künstlichen Quellen. Beide wirken gleich auf den Körper. Die Messgrösse für die Radioaktivität ist das Becquerel (Bq):

1 Bq = 1 Kernzerfall pro Sekunde

1000 Bq = 1000 Kernzerfälle pro Sekunde

Die Radioaktivität in Lebensmitteln wird in der Regel in Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) oder Becquerel pro Liter (Bq/l) angegeben.

Die Strahlendosis

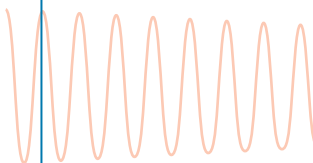
Die Aktivität eines bestimmten Stoffs, angegeben in Becquerel, sagt allerdings wenig über eine mögliche Gefährdung aus. Diese wird mit der Strahlendosis angegeben, wobei die Stärke der Strahlung und die Einwirkungszeit eine Rolle spielen. Die biologische Wirkung auf unseren Körper hängt auch noch von der Art der Strahlung und vom bestrahlten Körperteil ab. Besonders empfindlich ist das blutbildende Knochenmark, eher unempfindlich die Knochen und Muskeln. Alphastrahlung ist in einer Körperzelle wegen ihrer hohen Energiedichte deutlich schädigender als Beta- oder Gammastrahlung.

Die Doseinheit, die alle diese Faktoren berücksichtigt, ist das Sievert (Sv) — eine sehr grosse Einheit, so dass Strahlendosen in der Regel als Bruchteile davon angegeben werden:

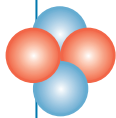
in Millisievert (mSv = ein tausendstel Sievert)
oder
in Mikrosievert (μ Sv = ein millionstel Sievert).

Die Einheit Sievert ist eine errechnete Grösse und gibt Auskunft über die biologische Wirksamkeit einer Strahlendosis. Die gleiche Anzahl Sievert bedeutet das gleiche Risiko, beispielsweise an Krebs zu erkranken.

γ



α



β

