

Inhaltsverzeichnis

6.6 Ionisierende Strahlung und Strahlenschutz	1
6.6.1 Art der Gefährdungen und deren Wirkungen	2
6.6.2 Ermittlung und Beurteilung	5
6.6.3 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle	18
6.6.4 Vorschriften, Regelwerke, Literatur	22
6.6.5 Autoren und Ansprechpartner	24

6.6 Ionisierende Strahlung und Strahlenschutz

Das Strahlenschutzrecht ist ein eigenständiger Rechtsbereich, der fast alle Aspekte des Schutzes des Menschen und seiner Umwelt vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung regelt. Darunter fällt auch der Umgang mit radioaktiven Stoffen. Im Strahlenschutzrecht sind auch alle Aspekte des Arbeitsschutzes, die sich aus dem Umgang mit ionisierender Strahlung bzw. Quellen ionisierender Strahlung, die unter das Strahlenschutzrecht gemäß StrlSchG bzw. StrlSchV fallen, abschließend geregelt.

Deshalb ist es für Verantwortliche im Arbeitsschutz wichtig zu wissen, wann eine Tätigkeit unter das Strahlenschutzrecht fällt und wie die Zusammenarbeit mit Beauftragen und Verantwortlichen geregelt ist.

6.6.1 Art der Gefährdungen und deren Wirkungen

Der Mensch im Feld natürlicher und künstlicher Strahlenquellen

Der Mensch ist ständig von einer Vielzahl von Strahlungen umgeben. Das Licht und die Wärme der Sonne, die das Leben auf der Erde erst möglich machen, gelangen als Strahlung zur Erde. Strahlung ist eine Energieform, die sich als elektromagnetische Welle - oder als Teilchenstrom - durch Raum und Materie ausbreitet.

Was unterscheidet die einzelnen Strahlungsarten voneinander? Es ist die Energie, die die elektromagnetische Welle mit sich trägt. Die infrarote Wärmestrahlung eines Kachelofens, die UV-Strahlung, die Sonnenbrand auf der Haut verursacht, oder die Röntgenstrahlung, die unseren Körper durchdringen kann und die Abbildung innerer Organe möglich macht, sie unterscheiden sich in ihrer grundlegenden physikalischen Natur nicht voneinander, wohl aber in der Menge der pro Quant mitgeführten Energie und damit auch in ihrer Wirkung.

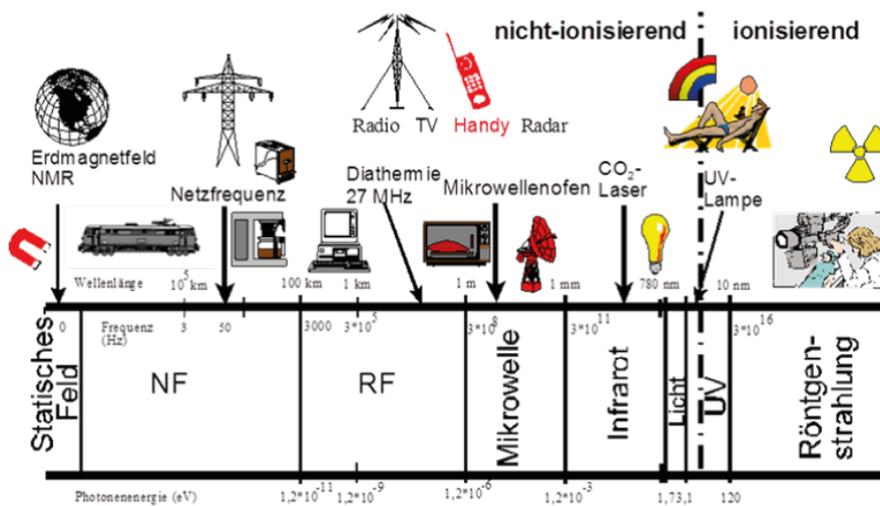


Abb. 6.6-1 Elektromagnetisches Spektrum mit einigen für die jeweiligen Frequenzbereiche typischen Quellen (NMR Kernspintomograph; NF Niederfrequenz; RF Radiofrequenz, UV Ultraviolett, TV Fernsehen) (Quelle: Autor)

Die Strahlungsarten werden je nach ihrer Energie in zwei große Gruppen unterteilt. Ist die Energie der Strahlung so hoch, dass sie bei der Durchdringung von Stoffen an Atomen und Molekülen Ionisationsvorgänge auslöst, spricht man von ionisierender Strahlung. Zu dieser Kategorie gehört z. B. die Röntgen- und Gammastrahlung. Reicht die Energie der Strahlung nicht aus, um Atome und Moleküle zu ionisieren, handelt es sich um nicht ionisierende Strahlung. Sie umfasst den Bereich der Radio- und Mikrowellen, elektromagnetische Felder und die optische Strahlung.

Eine eigene Familie ist die Teilchenstrahlung. Teilchenstrahlung wird, wie auch die Gammastrahlung, von radioaktiven Stoffen beim Zerfall ausgesendet. Sie ist sehr energiereich und hat gemeinsam mit der Gammastrahlung die Eigenschaft, Atome und Moleküle bei der Durchdringung von Stoffen zu ionisieren. Sie wird deshalb ebenfalls der Gruppe der ionisierenden Strahlung zugeordnet.

Ionisierende Strahlung ist sowohl Teil der Natur als auch das Resultat menschlicher Tätigkeit. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung umgeben uns - bildlich gesprochen - überall. Natürliche radioaktive Stoffe sind in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden. Durch Medizin, Forschung, Technik und Nutzung der Kernenergie sind künstlich erzeugte radioaktive Stoffe und die von ihnen ausgehende Strahlung in unsere Lebenssphäre gekommen. Trifft ionisierende Strahlung auf das menschliche Gewebe, übt sie dort eine Wirkung aus, die in Abhängigkeit von den konkreten Umständen auch schädigend sein kann.

Ionisierende Strahlung

Radioaktivität und Strahlung

Als der französische Physiker Henri Becquerel im Jahre 1896 mit uranhaltigem Gestein experimentierte, stellte er

fest, dass in der Nähe befindliche Fotoplatten trotz lichtdichter Verpackung geschwärzt waren. Die Ursache dafür konnten nur die Präparate in seinem Labor sein, von denen offensichtlich eine durchdringende Strahlung ausging. Die Wissenschaftlerin Marie Curie prägte später für die Erscheinung, dass bestimmte Stoffe ohne erkennbare äußere Einwirkung unsichtbare, mit technischen Mitteln jedoch nachweisbare Strahlung aussenden, den Begriff der Radioaktivität.

Die von Becquerel gefundene Strahlung wies die gleichen Eigenschaften auf, wie die sog. "X-Strahlen", die Wilhelm Conrad Röntgen ein Jahr zuvor entdeckt hatte und die später nach ihm benannt wurden. Sie konnten Materie durchdringen und diese dabei ionisieren.

Heute bezeichnen wir als Radioaktivität die Eigenschaft bestimmter Atomkerne, sich ohne äußere Einwirkung von selbst in andere Kerne umzuwandeln und dabei energiereiche Strahlung auszusenden. Im Ergebnis der Umwandlung entstehen letztlich Atome, die nicht mehr radioaktiv sind. Der Prozess der Kernumwandlung wird in der Regel als Kernzerfall und die abgegebene Strahlung - wegen ihrer bereits erwähnten Eigenschaft - als ionisierende Strahlung bezeichnet. Der häufig umgangssprachlich verwendete Ausdruck "radioaktive" Strahlung ist deshalb wissenschaftlich nicht korrekt. "radioaktiv" sind die Atome, die in ihrer Gesamtheit auch als Radionuklide bezeichnet werden.

Beim Kernzerfall können folgende Arten ionisierender Strahlung emittiert werden:

Alphastrahlung:

Teilchenstrahlung in Form von Kernen des Elements Helium (Alphateilchen). Alphateilchen werden durch wenige Zentimeter Luft bereits absorbiert und können weder ein Blatt Papier noch die Haut des Menschen durchdringen.

Betastrahlung:

Teilchenstrahlung in Form von Elektronen (Betateilchen). Das Durchdringungsvermögen von Betateilchen beträgt in Luft einige Zentimeter bis Meter, in Weichteilgewebe oder Kunststoff nur wenige Millimeter bis Zentimeter.

Gammastrahlung:

Elektromagnetische Wellenstrahlung. Gammastrahlung ist von gleicher physikalischer Natur wie das sichtbare Licht, allerdings erheblich energiereicher und mit hohem Durchdringungsvermögen in Materie. Zur Abschirmung von Gammastrahlung müssen deshalb schwere Materialien wie beispielsweise Blei und Beton verwendet werden. Abgesehen von der Art der Entstehung ist Gammastrahlung mit der Röntgenstrahlung vergleichbar.

Neutronenstrahlung:

Neutronen sind elektrisch neutrale Elementarteilchen. Sie werden insbesondere bei der Kernspaltung – einer speziellen Form der Kernumwandlung - freigesetzt. Die Kernspaltung ist nur für schwere Atomkerne - wie z. B. vom Element Uran - charakteristisch.

Becquerel:

Die Anzahl der pro Zeiteinheit in einem radioaktiven Stoff ablaufenden Kernzerfälle ist das Maß für die Aktivität dieses Stoffs. Die Maßeinheit der Aktivität eines radioaktiven Stoffs ist das Becquerel (Kurzzeichen: Bq). Mit der Aktivität wird also angegeben, wie viele Kernzerfälle in einem bestimmten radioaktiven Stoff pro Sekunde stattfinden. Die Aktivität 1 Bq ist sehr klein. Ein Gramm Wasser enthält etwa 10^{23} Atome. Wenn darunter so viele radioaktive Atome sind, dass jede Sekunde eines davon zerfällt, dann hat dieses Gramm Wasser eine Aktivität von einem Becquerel. Aus dem Zerfall radioaktiver Atome gehen letztlich stabile Atome hervor. Die Anzahl der radioaktiven Atome in einer bestimmten Stoffmenge nimmt deshalb mit der Zeit ab. Die Zeit, die vergeht, bis nur noch die Hälfte der ursprünglich vorhandenen radioaktiven Atomkerne vorhanden ist, nennt man die Halbwertszeit. Diese ist auch das Maß für die Zeit, in der die Intensität der von dem radioaktiven Stoff ausgesandten ionisierenden Strahlung auf die Hälfte des Ausgangswerts absinkt. Nach zehn Halbwertszeiten beträgt die Aktivität des Stoffs und demnach auch die Intensität der Strahlung etwa ein Tausendstel des Anfangswerts. Jedes Radionuklid hat eine eigene charakteristische Halbwertszeit. Für die verschiedenen Radionuklide reichen die jeweiligen Halbwertszeiten von Sekundenbruchteilen bis zu mehreren Milliarden Jahren.

Röntgenstrahlung:

Die Röntgenstrahlung zählt zur ionisierenden Strahlung und unterscheidet sich in ihrer physikalischen Natur nicht

von der Gammastrahlung. Röntgenstrahlung wird technisch beim Abbremsen von energiereichen Elektronen an der Anode einer Röntgenröhre erzeugt. Die kurzwellige Strahlung ist umso durchdringender, je höher die anliegende Röhrenspannung ist, mit der die Elektronen beschleunigt werden. Bei einigen technischen Prozessen entsteht Röntgenstrahlung, auch wenn es nicht beabsichtigt ist. Solche Geräte werden Störstrahler genannt. Diese sind u. a. Kathodenstrahlröhren, Plasmaanlagen, Elektronenstrahlhärtungsanlagen, Elektronenmikroskope. Auch Ultrakurz-puls-laser können unter gewissen Bedingungen Röntgenstrahlung erzeugen.

Im Unterschied zur Kernstrahlung, die in ihrer Existenz an Radionuklide gebunden ist und solange ausgesandt wird, bis auch das "letzte" Radionuklid zerfallen ist, wird keine Röntgenstrahlung mehr erzeugt, sobald das Röntgengerät/Störstrahler abgeschaltet ist.

6.6.2 Ermittlung und Beurteilung

Strahlenexposition und Dosis

Zur Bemessung der Wirkung von Strahlung dient der Begriff der Dosis. Strahlung überträgt – wie bereits beschrieben – Energie. Deshalb bemisst man die Strahlungsdosis an der Energiemenge (Maßeinheit: Joule), die durch die Strahlung an eine bestimmte Materiemenge (Maßeinheit: Kilogramm) abgegeben wird. Die Dosis wird in diesem Zusammenhang als Energiedosis bezeichnet. Die Maßeinheit der Energiedosis ist das Gray; Kurzzeichen Gy. Ein Gray entspricht dabei einem Joule pro Kilogramm ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$).

Trifft ionisierende Strahlung auf den menschlichen Körper, erfolgt eine Strahlenexposition. Das bedeutet, dass die Strahlung mit dem Körpergewebe in Wechselwirkung tritt und in unterschiedlichem Maße absorbiert wird. Auch die „Menge“ der vom Körper aufgenommenen Strahlung wird durch die Angabe einer Dosis ausgedrückt. Verschiedene Strahlungsarten verursachen im Körpergewebe jedoch unterschiedlich starke biologische Wirkungen. Wird z. B. ein Gewebe einer Exposition ausgesetzt, die bei gleicher Energiedosis einmal von Alphastrahlung und ein anderes Mal von Betastrahlung herrührt, ist die biologische Wirkung der Alphastrahlung etwa 20-mal größer. Mit der Angabe allein der Energiedosis kann demzufolge die biologische Wirkung der Strahlung im menschlichen Körper nicht ausreichend beschrieben werden.

Die Energiedosis wird deshalb mithilfe sog. Strahlungs-Wichtungsfaktoren präzisiert, die die biologischen Unterschiede der Strahlungswirkung berücksichtigen. Die Zahlenwerte dieser Faktoren für die verschiedenen Strahlungsarten sind dabei so ausgewählt, dass sie ein Maß für deren biologische Wirksamkeit bei niedrigen Dosen darstellen. Der Wichtungsfaktor für Strahlung mit geringer Ionisationsdichte in Gewebe, wie Röntgen-, Gamma- und Betastrahlung, wird mit 1 angenommen. Für Strahlung mit hoher Ionisationsdichte, wie Alpha- und Neutronenstrahlung, nimmt er höhere Werte an. Die Dosis, die die biologische Wirksamkeit der Strahlung „gewichtet“, wird als Äquivalentdosis bezeichnet. Man erhält sie durch Multiplikation der Energiedosis, angegeben in Gray (Gy) mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor. Die Maßeinheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Kurzzeichen: Sv).

Tab. 6.6-1 Strahlung-Wichtungsfaktoren für verschiedene Arten ionisierender Strahlung [StrlSchV 18]

Strahlenart	Faktor
Photonen	1
Elektronen und Myonen	1
Protonen und geladenen Pionen	2
Alphateilchen, Spaltfragmente, Schwerionen	20
Neutronen, Energie $E < 1$	$2,5 + 18,2 e^{-\frac{[\ln(E)]^2}{6}}$
Neutronen, $1 \leq \text{Energie} \leq 50$	$5,0 + 17,0 e^{-\frac{[\ln(E)]^2}{6}}$
Neutronen, Energie > 50	$2,5 + 3,25 e^{-\frac{[\ln(0,004E)]^2}{6}}$

Strahlungswirkungen werden eingeteilt in deterministische Wirkungen, die bei einer Exposition oberhalb bestimmter Dosissschwellenwerte eintreten, und stochastische Wirkungen, die nach Ablauf einer längeren Latenzzeit mit einer bestimmten, dosisabhängigen Wahrscheinlichkeit auftreten können. (Im Abschnitt „Wirkung ionisierender Strahlung“ wird darauf näher eingegangen.)

Die Wahrscheinlichkeit, mit der im niedrigen Dosisbereich stochastische Wirkungen ausgelöst werden, ist bei gleicher Äquivalentdosis für die verschiedenen Organe und Gewebe unterschiedlich. Die Haut des Menschen ist z. B. weit weniger empfindlich gegenüber einer Strahlenexposition als verschiedene innere Organe. Um diese Unterschiede zu berücksichtigen, wird durch die Bestimmung einer effektiven Dosis das Risiko für das Auftreten mögli-

cher stochastischer Wirkungen bei Exposition einzelner Organe und Gewebe oder des gesamten Körpers bewertet. Die Organdosen der exponierten Organe und Gewebe werden dazu mit Gewebe-Wichtungsfaktoren multipliziert, die ein Maß für den Beitrag des exponierten Organs zum Schadensrisiko des gesamten Körpers darstellen.

Tab. 6.6-2 Gewebe-Wichtungsfaktoren für verschiedene Organe und Gewebe [nach StrlSchV 18]

Organ und Gewebe	Faktor
Knochenmark (rot)	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Brust	0,12
Keimdrüsen	0,08
Blase	0,04
Speiseröhre	0,04
Leber	0,04
Schilddrüse	0,04
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
Gehirn	0,01
Speicheldrüse	0,01
Andere Organe und Gewebe	0,12

Die Summe der derart gewichteten Organdosen ist die effektive Dosis. Eine gleichmäßige Exposition des ganzen Körpers oder eine Exposition einzelner Organe und Gewebe ergeben das gleiche stochastische Risiko, wenn die effektiven Dosen übereinstimmen. Die effektive Dosis wird ebenfalls in Sievert (Sv) angegeben.

Organdosis und effektive Dosis sind Größen, die nur im Strahlenschutz und unterhalb der Schwellenwerte für deterministische Wirkungen verwendet werden. Da diese Schutzgrößen nicht direkt gemessen werden können, definiert der Strahlenschutz eine Äquivalentdosis (gemessen an einer repräsentativen Stelle des Oberkörpers einer Person) als Messgröße.

Bezieht man die Dosis auf eine bestimmte Zeiteinheit, spricht man von der Dosisleistung. Die Dosisleistung wird in der Regel auf eine Stunde bezogen und z. B. in Gray oder Sievert pro Stunde (Gy/h; Sv/h) angegeben.

Organdosis und effektive Dosis werden als Körperdosen bezeichnet. Bei beruflich strahlenexponierten Personen ist die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Wenn die gemessenen Äquivalenzdosen unterhalb der Grenzwerte liegen sind auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich.

Tab. 6.6-3 Größenordnungen: Im Strahlenschutz werden häufig Größen (wie Dosis, Aktivität) verwendet, deren Werte sich um sehr viele Größenordnungen unterscheiden

Vielfaches/Bruchteil	Größenordnung	mathematisches Zeichen
$10^9 = 1\,000\,000\,000$	Milliarde	G = Giga
$10^6 = 1\,000\,000$	Million	M = Mega
$10^3 = 1\,000$	Tausend	k = Kilo
$10^0 = 1$		
$10^{-3} = 0,001$	1 Tausendstel	m = Milli
$10^{-6} = 0,000\,001$	1 Millionstel	μ = Mikro
$10^{-9} = 0,000\,000\,001$	1 Milliardstel	n = Nano

Natürliche Strahlenquellen

Wie alle Materie dieser Welt sind auch wir Menschen immer und überall ionisierender Strahlung ausgesetzt. Die Ursache dafür sind natürliche Strahlenquellen, die unabhängig vom Menschen entstanden sind und existieren. Sie sind damit Bestandteil unseres täglichen Lebens und sind gegenwärtig, wo immer wir uns befinden.

Aus der Sonne und den Tiefen des Weltalls gelangt kosmische Strahlung auf die Erde. Sie besteht im Wesentlichen aus energiereichen Teilchen und aus Gammastrahlung. Auf ihrem Weg durch die Lufthülle wird die kosmische Strahlung teilweise absorbiert. Das bedeutet, dass die Dosisleistung der kosmischen Strahlung von der Höhenlage abhängt. Sie ist auf Meeresebene am niedrigsten und beträgt hier ca. 32 nGy/h. Mit der Höhe nimmt die Dosisleistung der kosmischen Strahlung zu und ist z. B. auf der Zugspitze viermal höher als an der Küste. Im Durchschnitt führt die kosmische Strahlung in Deutschland zu einer effektiven Dosis von ca. 0,3 mSv/a.

Mit der Entstehung der Materie, aus der die Erde gebildet wurde, entstanden auch zahlreiche Radionuklide. Von diesen sind heute nur noch die Radionuklide vorhanden, deren Halbwertszeit in der Größenordnung des geschätzten Alters der Erde liegt.

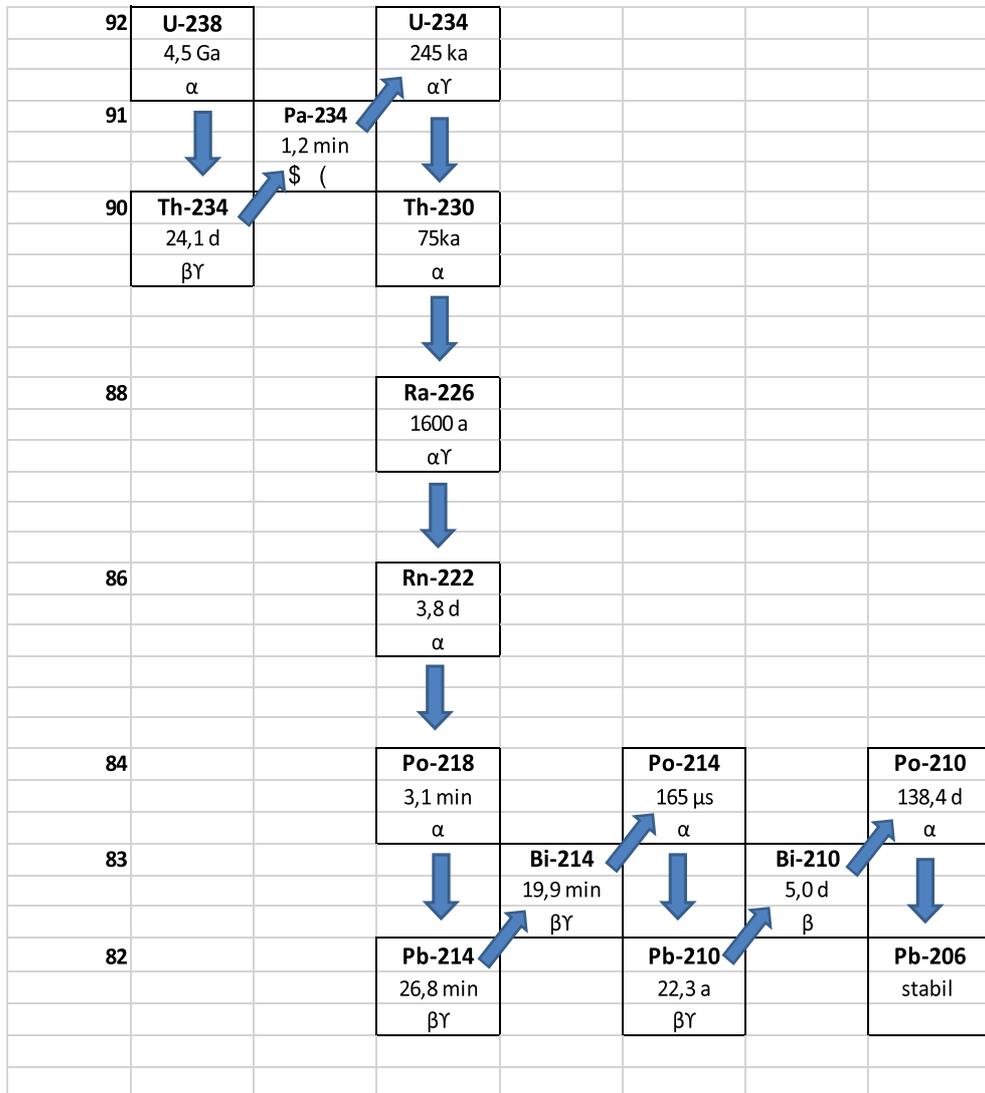
Tab. 6.6-4 Halbwertszeit einiger natürlicher radioaktiver Nuklide [Bfs 08]

Element	Halbwertszeit
Thorium-232	14 Milliarden Jahre
Uran-235	700 Millionen Jahre
Kalium-40	1,3 Milliarden Jahre
Uran-238	4,4 Milliarden Jahre

Diese natürlichen Radionuklide und deren Zerfallsprodukte sind in unterschiedlichen Konzentrationen in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden; die von ihnen ausgehende Strahlung wird deshalb als terrestrische Strahlung bezeichnet. Die wichtigsten Elemente, die einen Beitrag zur terrestrischen Strahlung leisten, sind Kalium, Uran mit seinem Zerfallsprodukt Radium und in bestimmten Regionen Thorium.

Während im Flachland Norddeutschlands Dosisleistungen im Bereich von 40 bis 70 nSv/h vorherrschen, kann das Niveau der terrestrischen Strahlung in Gebirgsregionen mit Granitformationen, die einen erhöhten Gehalt an Uran und Radium aufweisen, Werte bis 180 nSv/h und lokal darüber erreichen. Der Mittelwert der effektiven Dosis durch terrestrische Strahlung für die Bevölkerung in Deutschland liegt bei ca. 0,3 mSv/a.

Tab. 6.6-5 Zerfallsreihe von Uran-238. Links steht die Ordnungszahl, unter dem Nuklid dessen Halbwertszeit und die Art der auftretenden Strahlung (Quelle: Autor)



Tab. 6.6-6 Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten in Bq/kg Trockenmasse [BMU 00]

Bodenart	K-40	Th-232	U-238
	spez. Aktivität (Bq/kg)		
Fahlerde	650	50	35
Schwarzerde	400	40	20
Bleicherde	150	10	7
Moorboden	100	7	7

Tab. 6.6-7 Natürliche radioaktive Stoffe in Gewässern [BMU 00]

Kompartiment	Radionuklid	Wertebereich
		<i>Aktivitätskonzentration (mBq/l)</i>
Grundwasser	K-40	11 – 15 000
	U-238	1 – 200
	Ra-226	< 4 – 400
	Rn-222 (mit Folgeprodukten)	2 000 – 1 500 000
	Th-232	0,4 – 70
Oberflächenwasser	K-40	40 – 2 000
	U ₂₃₈	< 2 – 40
	Th-232	< 0,04 – 0,04

Aus dem Boden gelangen die natürlichen Radionuklide in Wasser, Pflanzen und Tiere und damit in die Nahrung des Menschen. Alle unsere pflanzlichen und tierischen Nahrungsmittel sowie das Wasser enthalten geringe Konzentrationen natürlicher Radionuklide. Dabei überwiegt das radioaktive Kalium-40, das im natürlich vorkommenden Element Kalium mit 0,012 % enthalten ist. Mit jedem Kilogramm unserer pflanzlichen und tierischen Nahrung nehmen wir im Mittel etwa 100 Bq an natürlichen Radionukliden zu uns. Diese werden zum Teil in den Stoffwechsel einbezogen und verbleiben über bestimmte Zeitspannen hinweg im menschlichen Körper. Das bedeutet, dass der Mensch selbst eine gewisse Menge natürlicher Radionuklide enthält.

Die mittlere Strahlenexposition durch natürliche radioaktive Stoffe im Trinkwasser liegt in der Größenordnung von 0,05 – 0,009 mSv pro Jahr und ist damit eher klein gegenüber den anderen natürlichen Quellen. Die chemische Toxizität (Giftigkeit) von Uran ist unterhalb von 60 Mikrogramm Uran/Liter (entsprechend ca. 0,7 Bq/l) Trinkwasser relevanter als die Radiotoxizität.

Die Gesamtaktivität natürlicher Radionuklide im Körper eines erwachsenen Menschen beträgt etwa 8 000 bis 9 000 Bq. Das dabei wesentliche Nuklid ist wiederum Kalium-40, da das Element Kalium ein unverzichtbarer, lebenswichtiger Baustein des menschlichen Körpers ist. Das bedeutet, dass in unserem Körper jede Sekunde 8 000 bis 9 000 Kernzerfälle stattfinden, fast 800 Millionen pro Tag. Die daraus resultierende effektive Dosis beträgt im Mittel ca. 0,3 mSv pro Jahr.

Eine besondere Stellung unter den natürlichen Radionukliden nimmt das Radon ein. Radon-222 ist ein radioaktives Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen, das in geringer Aktivitätskonzentration praktisch überall in unserer Lebenssphäre vorhanden ist und infolge Inhalation eine Strahlenexposition des Atemtraktes verursacht. Radon entsteht aus Uran, das in geringen, jedoch messbaren Konzentrationen in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden ist und somit auch in mineralischen Baustoffen auftritt. Uran wandelt sich durch radioaktiven Zerfall in Radium-226 um, das weiter zu Radon-222 zerfällt (siehe Tabelle 6.5-5). Aufgrund seiner Mobilität kann das Radon-222 bis in die freie Atmosphäre und in Häuser gelangen.

Sowohl in der bodennahen Atmosphäre als auch in Gebäuden ist die Radonkonzentration erheblichen Schwankungen unterworfen, die von der Jahreszeit, der Wetterlage und anderen Bedingungen abhängen.

In der bodennahen Atmosphäre wird das Radon rasch verteilt, die Radonkonzentration ist deshalb im Freien wesentlich niedriger als in Gebäuden. In die Gebäude gelangt das Radon im Wesentlichen auf zwei Wegen: aus dem Erdboden durch Risse und Undichtigkeiten im Fundament, und aus den Baustoffen, die je nach Material und Herkunft unterschiedliche Konzentrationen an Radium enthalten. Der Beitrag der Baustoffe zur Radonkonzentration in Häusern ist in Deutschland von untergeordneter Bedeutung. In den Wohnungen in Deutschland beträgt die Radonkonzentration im Durchschnitt 50 Bq/m³. Es wurden Jahresmittelwerte zwischen 10 und einigen tausend Bq/m³ gemessen. Die Häufigkeit, mit der erhöhte Radonkonzentrationen auftreten, ist regional unterschiedlich. Diese regionale Verteilung kann im Geoportal des BfS (Radon-Konzentration im Boden) eingesehen werden.

Die Radonkonzentrationen in einem Haus weisen oft starke zeitliche Veränderungen auf, die auf Lüftungsgewohnheiten und die Witterungsverhältnisse zurückzuführen sind.

Untersuchungen zeigen, dass ein langjähriger Aufenthalt in Räumen das zusätzliche Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken, um ca. 10 % ansteigen lässt, wenn die Radonkonzentration um 100 Bq/m³ zunimmt.

In der Raumluft von Gebäuden ist im Durchschnitt etwa fünfmal so viel Radon enthalten wie in der Außenluft. Das spiegelt sich auch in den Mittelwerten der jährlichen effektiven Dosis der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte wieder, bei deren Bestimmung die unterschiedlichen Aufenthaltszeiten im Freien und in Gebäuden berücksichtigt wurden. Während der Mensch im statistischen Mittel während des Aufenthaltes in Häusern eine Exposition von ca. 0,9 mSv pro Jahr erfährt, beträgt dieser Wert für den Aufenthalt im Freien ca. 0,2 mSv pro Jahr. Die Gesamtexposition durch Radon ergibt sich zu 1,1 mSv pro Jahr, der Wertebereich ist dabei 1 - 6 mSv. Das bedeutet, dass die jährliche Exposition durch Radon mehr als die Hälfte der jährlichen Exposition durch alle natürlichen Radionuklide zusammen ausmacht. Die durch alle Komponenten natürlicher Strahlenquellen bedingte Strahlenexposition des Menschen beträgt in Deutschland durchschnittlich etwa 2,1 mSv pro Jahr. Aufgrund natürlicher Gegebenheiten, zu denen z. B. die geologischen Bedingungen an einem bestimmten Aufenthaltsort oder dessen Höhenlage gehören, können erhebliche Abweichungen von dem Durchschnittswert auftreten.

Die natürliche Strahlenexposition kann deshalb sehr unterschiedlich sein; in Deutschland liegt sie zwischen ca. 1 und 10 mSv pro Jahr.

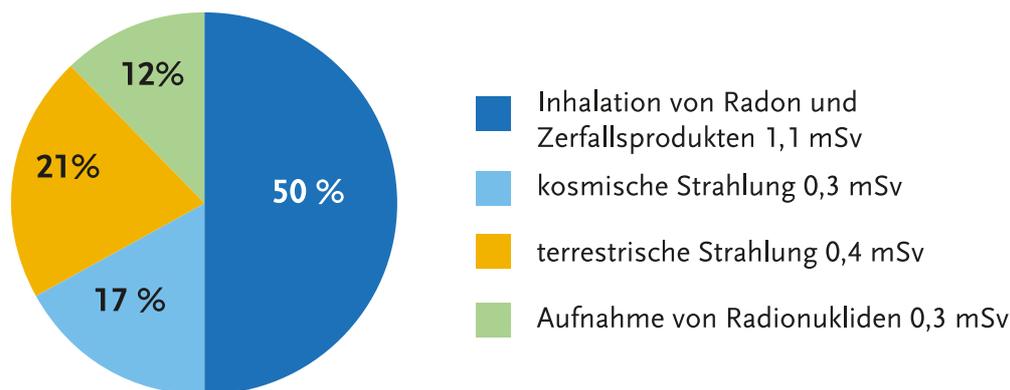


Abb. 6.6-2 Mittlere jährliche effektive Dosis der deutschen Bevölkerung der nördlichen Hemisphäre durch natürliche Strahlungsquellen, nach [BMUV22]

Die ursprüngliche Verteilung der Radionuklide in der Natur und die Höhe der natürlichen Strahlenexposition kann durch die Tätigkeit des Menschen beeinflusst werden. Diese zivilisatorischen Einwirkungen können unter Umständen erheblich sein.

Ein klassisches Beispiel dafür ist der Bergbau. In verschiedenen Regionen Deutschlands wurde bereits seit dem Mittelalter nach Erzen geschürft. Diese kamen häufig zusammen mit Uranerz vor, das damals keine Beachtung fand und mit dem Nebengestein als Abraum in der Umgebung abgelagert wurde. In Häusern, die auf diesen Halden errichtet wurden, konnten erhöhte Radonkonzentrationen auftreten. Diese Zusammenhänge wurden erst in jüngster Vergangenheit erkannt, was in vielen Fällen zur Einleitung von Maßnahmen zur Verringerung der Radonkonzentration in den Häusern führte.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde in Sachsen und Thüringen Uranerz in großem Umfang abgebaut und verarbeitet. Dies führte zu weiteren radiologischen Umweltbelastungen. Als Abraum aufgehaldete Materialien sowie Rückstände aus der Erzverarbeitung mit erhöhten Konzentrationen natürlicher Radionuklide sind Ursache lokaler Veränderungen der Strahlensituation. Diese Veränderungen sind jedoch auf bergbauliche Objekte und deren Umgebung beschränkt. Seit 1991 wurden in großem Umfang Sanierungsarbeiten durchgeführt, durch die die Belastungen der Umwelt deutlich reduziert wurden.

Weitere Beispiele für eine zivilisatorisch bedingte Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition seien hier nur kurz angeführt:

Viele Reisen werden heute mit dem Flugzeug in großen Höhen absolviert. Wegen der bereits erwähnten Abhängigkeit der Intensität der kosmischen Strahlung von der Höhe über dem Meeresspiegel werden Flugpassagiere und Besatzung dabei einer erhöhten kosmischen Strahlung ausgesetzt. Auf einer Flughöhe von 12 000 m bei interkonti-

mentalenen Flügen beträgt die Dosisleistung auf der Nordpolarroute etwa 0,007 mSv/h. Das bedeutet, dass Flugpassagiere, die auf dieser Route mehrmals im Jahr nach Nordamerika fliegen, bei insgesamt rund 40 Flugstunden eine zusätzliche Strahlenexposition von ca. 0,2 mSv erhalten. Dies entspricht nur etwa einem Zehntel der jährlichen natürlichen Strahlendosis. Für das fliegende Personal kann es aber zu nicht mehr zu vernachlässigenden Strahlenexpositionen kommen, die dann dem Strahlenschutzrecht unterliegen.

Geringfügige Erhöhungen der natürlichen Strahlenexposition werden auch durch Kohlekraftwerke verursacht. Die in der Kohle enthaltenen natürlichen Radionuklide werden bei der Verfeuerung in der Asche angereichert, gelangen in die Atmosphäre und lagern sich auf dem Boden ab. Die dadurch zustande kommende effektive Dosis für die Bevölkerung liegt zwischen 0,001 und 0,01 mSv pro Jahr. Sie ist damit –bezogen auf die gleiche Kraftwerksleistung – etwa gleich groß wie die Jahresdosis der Bevölkerung durch Emission künstlicher Radionuklide aus Kernkraftwerken im Normalbetrieb.

Zivilisatorische Strahlenquellen

Mit der Entwicklung von Industrie, Forschung und Medizin hat sich der Mensch in zunehmendem Maße radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung nutzbar gemacht. Damit wurde den natürlichen Strahlenquellen eine Reihe künstlicher Strahlenquellen hinzugefügt. Diese sind Ursache einer zivilisatorischen Strahlenexposition.

Der weitaus größte Anteil an der zivilisatorischen Strahlenexposition ist auf die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin zurückzuführen. Durch die Medizin, im Wesentlichen durch die diagnostische Anwendung der Röntgenstrahlung, verdoppeln sich in den Industriestaaten die durchschnittlichen natürlichen Strahlenexpositionen (siehe u. a. Abb. 6.6-2 und 6.6-3). Dieses sind statistische Durchschnittswerte, d. h., die meisten Menschen erhalten durch medizinische Maßnahmen nur eine relativ geringe Dosis, aber einige wenige können einer medizinisch bedingten Strahlenexposition ausgesetzt sein, die durchaus ein Vielfaches der natürlichen Exposition beträgt.

Röntgenuntersuchungen sind nach den Ultraschalluntersuchungen (Sonographie) die am zweithäufigsten eingesetzten bildgebenden Verfahren in der Medizin. Die Verfahren der Röntgendiagnostik wurden ständig weiterentwickelt, sodass die Zahl der Röntgenuntersuchungen in den Industriestaaten stetig anstieg. In den letzten zwei Jahrzehnten hat in Deutschland die Anzahl aber wieder abgenommen. Heute (2016) werden schätzungsweise über 137 Millionen Röntgenuntersuchungen pro Jahr (ca. 1,7 Untersuchungen pro Einwohner pro Jahr) durchgeführt [BMUV 22]. Die Fortschritte in der Röntgentechnik haben in den letzten Jahrzehnten die Voraussetzungen geschaffen, die Strahlendosis, bei gleicher diagnostischer Aussagefähigkeit, erheblich zu verringern. Andererseits wurden aber auch Untersuchungsverfahren entwickelt, die mit deutlich höheren Dosen verbunden sind, dann aber auch wesentlich höhere diagnostische Aussagekraft haben, wie z. B. die Computertomographie (CT). In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte der effektiven Dosis bei einigen häufig durchgeführten Untersuchungsarten zusammengestellt.

Tab. 6.6-8 Typische Werte für die effektive Dosis häufiger Röntgenmaßnahmen für Standardpatienten mit 70 kg Körpergewicht (Stand 2016) nach [BfS 17]

Untersuchungsart	Effektive Dosis in mSv
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	< 0,01
Extremitäten (Gliedermaße)	< 0,01 – 0,1
Schädelaufnahmen (anterior-posterior)	0,03 – 0,06
Brustkorb, 1 Aufnahme	0,02 – 0,04
Mammographie beidseitig in je 2 Ebenen	0,2 – 0,4
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,6 – 1,1
Beckenübersicht	0,3 – 0,7
Bauchraum (Abdomen-Übersicht)	0,3 – 0,7
Röntgenuntersuchung mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen-Darm	4 – 12
Angiographie	10 – 30
PTCA (Perkutane transluminale koronare Angiographie zur Herzkranzgefäßweiterung)	6 – 16
Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein)	0,3 – 0,7
Becken-Bein-Arteriographie	5 – 9
CT-Untersuchungen	
Hirnschädel	1 – 3
Brustkorb (Thorax)	4 – 7
Bauchraum (Abdomen)	8 – 20

Tab. 6.6-9 Prozentualer Anteil der verschiedenen Röntgenuntersuchungen an der kollektiven Dosis (2016), gerundet daher Summe nicht 100 % [BMUV 22]

Röntgenmaßnahme	Prozent (%)
CT	67
Angiographie/Intervention	18
Skelett	7
Verdauungs- und Urogenitaltrakt	5
Thorax	1
Mammographie	1
Sonstiges	0,8
Zahnmedizin	0,4

Die gelegentlich anzutreffende Auffassung, Röntgenstrahlung würde sich im Körper des Patienten sammeln, ist nicht richtig. Durchdringt während einer Röntgenuntersuchung die Strahlung den menschlichen Körper, wird ein Teil der Strahlung im Gewebe absorbiert und kann zu biologischen Veränderungen in den Zellen führen. Bei den meisten Untersuchungsarten der Röntgendiagnostik treten Dosen auf, die deutlich geringer sind als diejenigen, denen Menschen seit jeher durch natürliche Strahlenquellen ausgesetzt sind. Bei einigen Untersuchungen, insbesondere bei CT-Untersuchungen, liegt die Dosis jedoch z. T. deutlich darüber.

Die Verantwortung für die Höhe der Strahlenexposition des Patienten liegt bei der Ärztin/beim Arzt, die dafür eine spezielle Fachkunde haben müssen. Sie treffen die Entscheidung für eine Röntgenuntersuchung unter Abwägung des möglichen diagnostischen Nutzens und der möglicherweise damit verbundenen Strahlenrisiken. In dieser sog. rechtfertigenden Indikation liegt das größte Potenzial zur Einsparung und auch Vermeidung unnötiger Dosis. Dabei sind auch alternative Untersuchungsverfahren (ohne die Anwendung von Röntgenstrahlung), wie z. B. Ultraschall, Endoskopie, Magnetresonanztomographie, zu berücksichtigen. Ist die rechtfertigende Indikation gestellt, obliegt es einer fachkundigen Ärztin/einem fachkundigen Arzt für eine optimale Durchführung der Untersuchung zu sorgen, die mit dem Stand der medizinischen Wissenschaft vereinbar ist. Die Röntgendiagnostik verursacht eine jährliche kollektive effektive Dosis von rund 1,6 mSv pro Person.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden radioaktive Stoffe verabreicht, die sich abhängig von ihren chemischen Eigenschaften im Körper unterschiedlich verteilen. Aufgrund der Radioaktivität können spezielle Messgeräte wie Gammakameras oder Positronen-Emissions-Tomographen (PET) von außen die Verteilung im Körper nachweisen und bildlich darstellen. Diese Untersuchungsmethode kann Aussagen zur Funktion einer Vielzahl von Organismen sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen wie auch der örtlichen Verteilung von Krankheitsherden (z. B. Entzündungen oder Krebs) liefern. In Deutschland werden jährlich ca. 2,5 Millionen Untersuchungen mit Radionukliden durchgeführt. Die nuklearmedizinischen Untersuchungen verursachen eine jährliche kollektive effektive Dosis pro Einwohner von rund 0,1 mSv.

Tab. 6.6-10 Prozentualer Anteil an der kollektiven effektiven Dosis der nuklearmedizinischen Untersuchungen (2016), gerundet daher Summe nicht 100 %, nach [BMUV 22]

Nuklearmedizinische Untersuchung	Prozent (%)
Skelett	30
Herz	31
Schilddrüse	18
PET	8
Lunge	4
Gehirn	2
Tumoren	5
Sonstige	1
Niere	0,8

In Deutschland werden pro Jahr an ca. 322 000 Patienten therapeutische Strahlenanwendungen durchgeführt. Davon bei ca. 283 000 Patienten aufgrund von bösartigen Erkrankungen (Krebs). Die dabei applizierte Dosis im Zielvolumen (Tumor) muss in der Größenordnung von ca. 20–40 Sv liegen, um den Tumor mit hoher Wahrscheinlichkeit abzutöten. Bei diesen Therapien sind in der Regel deterministische Schäden nicht auszuschließen. Der Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis ist trotzdem zu vernachlässigen.

Auch wenn bei der Nutzung der Kernenergie in Leistungsreaktoren zur Erzeugung von Strom Sicherheitsaspekte absoluten Vorrang vor wirtschaftlichen Fragen haben, ist es nicht möglich, diese ohne Auswirkungen auf die Umwelt zu betreiben. Die damit verbundene Strahlenexposition ist aber durch gesetzliche Bestimmungen geregelt und deren Einhaltung wird kontinuierlich durch den Staat überwacht. Die zulässigen Werte für die Strahlenexposition sind so festgelegt, dass sie innerhalb der Schwankungsbreite des natürlichen Strahlenpegels in Deutschland liegen. Die Ableitung über Luft oder Wasser darf maximal je 0,3 mSv/a betragen. Diese Grenzwerte sollen und werden nicht ausgeschöpft, sondern weit unterschritten. Die rechnerisch ermittelte Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung beträgt im Mittel weniger als 0,01 mSv/a.

In der Industrie und in der Forschung werden eine Vielzahl von radioaktiven Stoffen eingesetzt. So wird die Dichtigkeit von Schweißnähten bei Erdgasrohrleitungen mit radioaktiven Stoffen oder Röntgengeräten vor Ort überwacht. In der Forschung werden radioaktive Stoffen u. a. eingesetzt, um Stoffwechselprozesse und Stofftransporte in Organismen zu verstehen. In Deutschland sind pro Jahr mehr als 450 000 Versandstücke mit radioaktivem Material unterwegs. Auch wenn in Deutschland ca. 440 000 Beschäftigte als strahlenexponierte Personen überwacht werden, beträgt rechnerisch die ermittelte Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung dadurch im Mittel weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

Der Unfall des Kernkraftwerkes Tschernobyl 1986 in der Sowjetunion führte zu einer europaweiten Verteilung von radioaktiven Stoffen, die auch heute noch in der Umwelt nachgewiesen werden kann. Das dabei freigesetzte Isotop Cäsium-137 (Cs-137) kann noch heute gemessen werden und führte zu nicht zu vernachlässigenden Expositionen in Pilzen und Wildfleisch. In Südbayern werden noch Maronen gefunden, die 4 000 Bq/kg Cs-137 aufweisen. Eine Pilzmahlzeit von 200 g würde zu einer Exposition von 0,01 mSv führen. Die Verteilung der radioaktiven Stoffe mit dem Wind war aber auch in Deutschland sehr unterschiedlich. Die rechnerisch ermittelte Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung beträgt im Mittel dabei weniger als 0,015 mSv/a.

Bis 1963 wurde von den Atommächten eine Vielzahl von Kernwaffen in der Atmosphäre gezündet. Damit wurde radioaktives Material weltweit verteilt. Dieses trägt noch heute messbar zur Strahlenexposition bei, besonders durch die langlebigen Radioisotope Strontium-90 und Cäsium-137. Die rechnerisch ermittelte Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung beträgt im Mittel dabei weniger als 0,01 mSv/a. Durch den Vertrag über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser im Jahr 1963 wurde der Anstieg dieser Exposition gestoppt.

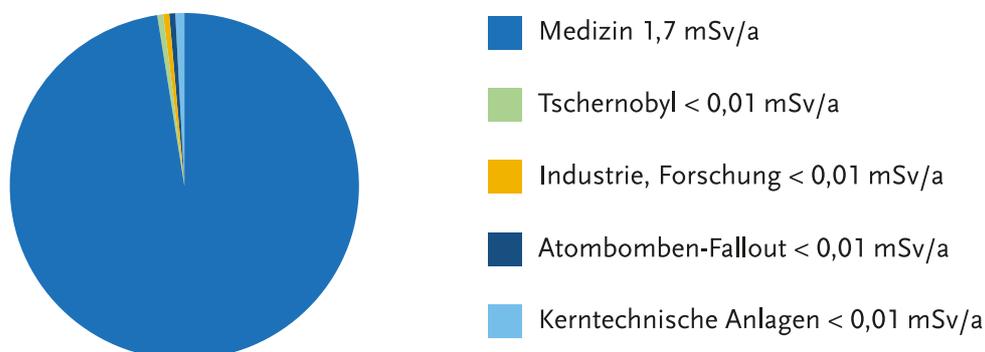


Abb. 6.6-3 Mittlere effektive Dosis der deutschen Bevölkerung durch zivilisatorische Strahlenquellen, nach [BMUV 22]

Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland

Natürliche und zivilisatorisch bedingte Strahlenquellen sind Ursache einer Strahlenexposition, der jeder Mensch ausgesetzt ist. Die dabei aufgenommene effektive Dosis pro Jahr kann für den Einzelnen sehr unterschiedlich sein. Die Höhe der natürlichen Strahlenexposition ist vom Aufenthaltsort und von den individuellen Lebensgewohnheiten abhängig, die Höhe der zivilisatorischen Strahlenexposition wird maßgeblich durch die Inanspruchnahme medizinischer Maßnahmen unter Verwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung bestimmt. Die Strahlungsdosis der Bevölkerung wird in Werten angegeben, die über Deutschland über ein Jahr gemittelt sind.

Die mittlere effektive Dosis, die aus allen natürlichen Strahlenquellen resultiert, beträgt im Mittel etwa 2,1 mSv pro Jahr. Neben der kosmischen Komponente von 0,3 mSv und der terrestrischen Komponente von 0,4 mSv trägt die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung 0,3 mSv zur Strahlenexposition bei. Ein Teil der Exposition durch die radioaktiven Edelgase Radon und Thoron sowie ihre kurzlebigen Folgeprodukte von etwa 1 mSv ist unvermeidbar. Die effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition liegt in Deutschland bei etwa 2 mSv pro Einwohner und Jahr.

Der größte Beitrag wird durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung liegt unter 1 % der zivilisatorischen Strahlenexposition.

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht. Die Zahl der überwachten Personen liegt in Deutschland bei rund 420 000, davon der größte Teil in der Medizin. Mit Personendosimetern messbare Dosen wurden bei ca. 99 000 Personen ermittelt (Mittelwert 0,34 mSv) [BfS Internet2022]. Dies ist weniger als 5 % des Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr für beruflich strahlenexponierte Personen. Durch die kosmische Strahlung tritt auch beim Personal in Flugzeugen eine Strahlenexposition auf. Im Jahr 2020 führte dieses bei diesen 38 000 Personen zu einer mittleren Jahresdosis von ca. 0,62 mSv. Damit trägt das fliegende Personal ca. 50 % der Kollektivdosis (ca. 48,8 Pers-Sv/a) aller strahlenexponierter Personen [BfS Internet 2022]. Durch die COVID-19 Pandemie sind diese Zahlen gegenüber dem Vorjahr erheblich niedriger. Aktuelle Daten zur Strahlenbelastung in Deutschland können dem jeweiligen Jahresbericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) entnommen werden.

Die Erkrankung durch ionisierende Strahlung trägt die BK Nr. 2402. Nach den Zahlen, die durch den DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung) veröffentlicht wurden, gab es im Jahr 2021 399 Anzeigen mit dem Verdacht einer Berufserkrankung durch ionisierende Strahlung und in 14 Fällen wurde diese anerkannt.

Messung ionisierender Strahlung

Der sichere Umgang mit ionisierender Strahlung setzt voraus, dass diese zuverlässig gemessen werden kann. Das ist schon allein deswegen erforderlich, weil der Mensch kein Sinnesorgan besitzt, das ihm die Wahrnehmung ionisierender Strahlung ermöglicht. Ionisierende Strahlung lässt sich in der Regel sehr gut messen. Das Prinzip der Strahlungsmessung beruht auf der Nutzung der ionisierenden Wirkung der Strahlung in Materie, beispielsweise in

einem Gas, einem Kristall oder einem Filmmaterial.

Das klassische Anwendungsbeispiel hierfür ist die Ionisationskammer. Diese besteht aus einem gasgefüllten Behälter, in dem sich zwei Elektroden befinden, an denen eine Gleichspannung anliegt. Die in das Messvolumen einfallende Strahlung ionisiert einen Teil der Gasmoleküle. Die Häufigkeit der Ionisationsvorgänge hängt von der Intensität der Strahlung ab. Im Gas werden Ladungsträgerpaare gebildet: positiv geladene Ionen und negative Elektronen. Durch die angelegte Spannung werden die Ladungsträger zu der jeweils entgegengesetzt geladenen Elektrode hin angezogen. Es fließt ein Strom, dessen Stärke gemessen werden kann. Die Stromstärke ist ein Maß für die Intensität der Strahlung. Mit einer Ionisationskammer kann je nach Messbedingung sowohl die Dosis als auch die Dosisleistung bestimmt werden. Wird zwischen den Elektroden der Messkammer eine Hochspannung angelegt, wird jeder einzelne Ionisationsvorgang im Messvolumen lawinenartig verstärkt. An den Elektroden entstehen Spannungsimpulse, die elektronisch gezählt werden. Deshalb werden diese Geräte als Zählrohre bezeichnet. Eines der bekanntesten Geräte ist das Geiger-Müller-Zählrohr, das umgangssprachlich auch als „Geigerzähler“ bekannt ist. Zählrohre sind vielseitig verwendbar. Bei der Messung von Gammastrahlung werden sie zur Bestimmung der Dosis und Dosisleistung eingesetzt. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Bestimmung des Aktivitätsgehaltes von Radionukliden in Substanzen, z. B. in Proben von Bio- oder Umweltmedien. Die zumeist sehr geringen Aktivitätskonzentrationen in diesen Proben können jedoch nur dann zuverlässig bestimmt werden, wenn die Messanordnung mit geeigneten Materialien (z. B. Blei) von der natürlichen Umgebungsstrahlung abgeschirmt wird.

Andere Arten von Strahlungsmessgeräten verwenden als Detektormaterial feste Stoffe in Kristallform, Gläser, Kunststoff oder andere spezielle Materialien. Die Wahl des geeigneten Messgerätes einschließlich des Detektors hängt in hohem Maße von der Messaufgabe ab. Bevor man sich für ein bestimmtes Messgerät entscheidet, muss geklärt sein, welcher Art die Strahlenquelle ist, welche Strahlung oder welches Strahlungsgemisch gemessen werden soll und in welchem Dosisleistungsbereich die Intensität der Strahlung erwartet wird. Letzteres ist von entscheidender Bedeutung bei der Wahl der Empfindlichkeit des Messgerätes. Das bedeutet, dass z. B. mit einem Gerät, das zur Überwachung von Arbeiten im Kernkraftwerk geeignet ist, keine verlässlichen Messwerte gewonnen werden können, wenn man versucht, damit die Aktivitätskonzentration von Radionukliden in Umweltmedien zu bestimmen. Mit einem Strahlungsmessgerät können nur dann zuverlässige Messergebnisse erzielt werden, wenn es gemäß den Messbedingungen verwendet wird, für die es konzipiert wurde. Eine wichtige Messaufgabe in der Praxis des Strahlenschutzes besteht darin, die Dosis zu ermitteln, die von Personen beim beruflichen Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung aufgenommen wird. Die dazu verwendeten Strahlungsmessgeräte werden als Personendosimeter bezeichnet. In der Regel werden die Dosimeter an der Arbeits- oder Schutzkleidung befestigt und registrieren auf diese Weise die Personendosis in einem sich örtlich und zeitlich ändernden Strahlungsfeld.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Diese Dosimeter werden deshalb als Filmdosimeter bezeichnet. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Filmdosimeter werden bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen verwendet.

Wird mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen, ist die Oberflächenkontamination messtechnisch zu überwachen, um eine Verschleppung oder Inkorporation zu vermeiden.

Messung von Radon in Trinkwasser dürfen nur durch dafür akkreditierte Labore durchgeführt werden.

Messungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration in Gebäuden können sowohl mit passiven als auch direkt anzeigenden Geräten durchgeführt werden. Zu den passiven Messgeräten zählen u. a. mit Kernspurdetektoren ausgestattete Radon-Diffusionskammern. Diese passiven Dosimeter eignen sich insbesondere für Langzeitmessungen über mehrere Monate. Zur Untersuchung von zeitlichen Änderungen wie z. B. Lüften sollten direkt anzeigende Messgeräte verwendet werden. Das BfS führt jährlich Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte durch, die Ergebnisse sind im Internet auf den Seiten des BfS veröffentlicht.

Wirkung ionisierender Strahlung auf Menschen

Von Anbeginn der Welt hat sich alles Leben unter dem Einfluss natürlicher Strahlenquellen entwickelt. Das bedeutet, dass sich alle Lebewesen, so auch der Mensch, im Zuge der Evolution dieser Bedingung anpassen mussten. Heute wissen wir, dass ionisierende Strahlung, unabhängig davon, ob sie natürlichen oder künstlichen Ursprungs ist, eine schädigende Wirkung auf die Zelle als kleinste biologische Einheit ausüben kann, indem sie die Erbsubstanz (DNS) der lebenden Zelle verändert oder beschädigen kann. Zellverluste oder Veränderungen in den Zellen

sind jedoch nicht gleichbedeutend mit der Entstehung eines gesundheitlichen Schadens. Der Organismus besitzt die Fähigkeit, Zellverluste auszugleichen sowie geschädigte Zellen zu erkennen und durch Reparaturmechanismen, Absterben der Zelle sowie durch Eingreifen der Immunabwehr einen normalen Zustand wiederherzustellen.

Die Abwehr- und Reparatursysteme können jedoch versagen oder überfordert sein. Ein ausschlaggebender Faktor dafür ist die Höhe der Dosis, mit der eine Zelle oder ein Organ exponiert wurde. Von wesentlichem Einfluss auf die „Leistungsfähigkeit“ der Reparatursysteme ist auch die Dosisleistung, d. h. der Zeitraum, in dem die Dosis aufgenommen wird, und die räumliche Verteilung der durch die Strahlung gesetzten Zellschädigungen über ein Organ oder den gesamten Organismus.

Wird z. B. eine bestimmte Dosis innerhalb eines kurzen Zeitraumes aufgenommen und dabei eine größere Anzahl von Zellen praktisch gleichzeitig geschädigt, können die Reparatursysteme an ihre Grenzen gelangen. Wird die gleiche Dosis über einen langen Zeitraum verteilt aufgenommen, werden nur wenige Zellen gleichzeitig geschädigt und der Organismus kann mit hoher Wahrscheinlichkeit in den normalen Zustand zurückgeführt werden. Ähnliches gilt für die räumliche Verteilung von Zellschädigungen, die umso effektiver repariert werden, je „vereinzelter“ sie auftreten.

Die biologische Wirkung der ionisierenden Strahlung auf den Menschen kann auf zwei Wegen auftreten: Deterministische Strahlenwirkungen können direkt auf eine Strahlenexposition zurückgeführt werden. Sie setzen hohe Strahlungsdosen voraus und treten sofort oder innerhalb weniger Wochen nach der Exposition auf. Sie machen sich erst bemerkbar, wenn ein bestimmtes Maß zerstörter oder geschädigter Zellen überschritten wird. Daher tritt diese Art von Schäden erst oberhalb einer Mindestdosis – dem Schwellenwert – auf. Dieser liegt beim Menschen bei akuter Exposition des ganzen Körpers bei rund 500 mSv (0,5 Sv). Dann können sich kurzzeitige, nur von Ärztinnen/Ärzten feststellbare Veränderungen des Blutbildes zeigen. Je höher die Strahlungsdosis ist, desto schwerer ist die Erkrankung. Betroffen sind in erster Linie die Blutbildungsorgane, die Schleimhäute des Magen-Darm-Traktes und der Luftwege sowie die Keimdrüsen. Eine akute Exposition des ganzen Körpers, die den Schwellenwert von 0,5 Sv um mehr als das Zehnfache überschreitet, führt beim Menschen, ohne medizinische Gegenmaßnahmen, in der Regel zum Tod.

Stochastische Strahlenwirkungen treten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erst Jahre oder Jahrzehnte nach der Exposition auf. Die Höhe der Dosis beeinflusst dabei nicht die Schwere der zu erwartenden Strahlenschäden, sondern die Wahrscheinlichkeit, dass diese auftreten. Stochastische Strahlenwirkungen beruhen auf Vorgängen zufälliger Art: Wurde durch Strahleneinwirkung im Zellkern der Informationsgehalt einer Zelle verändert und anschließend vom Organismus nicht richtig repariert, und bleibt die Zelle aber sonst lebensfähig, kann die Veränderung an nachfolgende Zellgenerationen weitergegeben werden. Je nachdem, ob es sich um eine Keimzelle oder eine Körperzelle handelt, kann es sich um eine Veränderung der Erbanlagen handeln oder es können bösartige Neubildungen wie Krebs entstehen.

Die Wahrscheinlichkeit einer stochastischen Strahlenwirkung wird auch durch den Begriff des Schadensrisikos zum Ausdruck gebracht. Dieses Risiko wird auf der Grundlage von Modellen und Extrapolationen auch für den niedrigen Dosisbereich berechnet (für weniger als 10 mSv). Dabei wird auf grundsätzliche strahlenbiologische Überlegungen zurückgegangen und angenommen, dass auch kleinste Strahlendosen eine biologische Wirkung haben können und ihnen ein bestimmtes Schadensrisiko zuzuordnen ist.

Deshalb kann selbst für kleinste Schadensrisiken, denen große Personengruppen ausgesetzt sind, eine bestimmte, wenn auch geringe Anzahl von Spätschäden, z. B. Krebserkrankungen, abgeschätzt werden. Diese Zahl der rechnerisch ermittelten Fälle wird häufig als gesicherte biologische Realität dargestellt. Sie besitzt jedoch einen rein hypothetischen Charakter, denn sie kann nicht von spontanen Krebserkrankungen unterschieden werden, die in vergleichbaren nicht bestrahlten Bevölkerungsgruppen auftreten. Die medizinische Statistik zeigt, dass in Deutschland etwa jeder vierte Todesfall auf eine spontan auftretende Krebserkrankung zurückzuführen ist. Strahlenbedingte Krebsfälle können daher nur mit statistischen Methoden in großen Personengruppen, nicht jedoch bei Einzelpersonen am Krankheitsbild festgestellt werden.

6.6.3 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle

Angewandter Strahlenschutz

In Medizin, Industrie und Landwirtschaft, im Umweltschutz, bei der Energieerzeugung und im Bereich der Forschung werden radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung auf vielfältige und nützliche Weise angewendet. Jede Anwendung fügt zu der ohnehin vorhandenen natürlichen Strahlenexposition eine zivilisatorisch bedingte Strahlenexposition hinzu oder erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass diese auftritt. Auf diese Anwendungen richten sich die Maßnahmen des Strahlenschutzes; sie haben das Ziel, den Schutz des Menschen vor der schädigenden Wirkung der ionisierenden Strahlung zu gewährleisten, ohne die Anwendungen, die der Anlass für die Strahlenexposition sind, mehr als notwendig einzuschränken. Das System des Strahlenschutzes beruht dabei auf folgenden allgemeinen Prinzipien:

Jede Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung oder jede Anlage, die eine Strahlenexposition verursacht, muss gerechtfertigt sein. Das bedeutet, die Anwendung oder der Betrieb der Anlage muss einen Nutzen für den Einzelnen oder die Gesellschaft erbringen, der auf anderem Wege nicht zu erlangen ist und der das Risiko, dadurch einen Schaden zu verursachen, mehr als aufwiegt.

Ist eine Anwendung gerechtfertigt, muss ihre Durchführung optimiert werden. Dabei wird gefordert, dass alle dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Maßnahmen ausgeschöpft werden, um das Schadensrisiko für den Einzelnen und die Bevölkerung zu minimieren. Der Strahlenschutz geht dabei weltweit nach dem "**ALARA-Prinzip**" vor. ALARA steht für "As Low As Reasonably Achievable" - was bedeutet, dass die Maßnahmen, die ergriffen werden, um die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten, unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren vernünftig und sinnvoll sein müssen.

In der Praxis wird das durch die Optimierung von **vier Grundregeln des Strahlenschutzes** erreicht. Im Einzelnen sind das:

1. Abschirmung der Strahlung durch geeignete Materialien
2. Beschränkung der Aufenthaltsdauer in einem Strahlungsfeld
3. Einhaltung eines sicheren Abstandes zur Strahlenquelle
4. Verwendung einer möglichst geringen Aktivität der Strahlenquelle bei einer bestimmten Anwendung.

Der Mensch kann einer Strahlenexposition auf unterschiedliche Weise ausgesetzt sein. Befindet sich eine Strahlenquelle außerhalb des menschlichen Körpers, wie z. B. das Röntgengerät bei einer röntgendiagnostischen Untersuchung, erfolgt eine äußere Strahlenexposition. Wurden jedoch Radionuklide mit der Nahrung oder über die Atemluft in den Körper aufgenommen - der Fachmann spricht von einer Inkorporation - erfolgt eine innere Strahlenexposition.

Je nach konkretem Fall werden unterschiedliche Varianten der Optimierung angewendet. Die Röntgenassistentin schützt sich beispielsweise vor äußerer Strahlung, indem sie beim Röntgen den Raum verlässt und sich hinter eine abschirmende Wand begibt. Zur Vermeidung einer unzulässigen inneren Strahlenexposition muss hingegen durch eine Reihe anderer Maßnahmen dafür Sorge getragen werden, dass die Aktivität von Radionukliden in der Umwelt des Menschen ein bestimmtes Maß nicht übersteigt - so z. B. in Luft, Wasser oder Nahrungsmitteln.

Die Wirksamkeit der Strahlenschutzmaßnahmen wird sichergestellt, indem die Einhaltung festgelegter Dosisgrenzwerte für die Exposition von Personen kontrolliert wird. Dosisgrenzwerte werden oft fälschlicherweise wie eine Trennlinie zwischen "gefährlicher" und "ungefährlicher" Strahlenexposition interpretiert. Es wird dabei angenommen, dass bei Einhaltung des durch Gesetze vorgeschriebenen Grenzwerts die aufgenommene Dosis hinnehmbar sei, bei Überschreitung des Grenzwerts jedoch gefährlich.

Eine Überschreitung des Grenzwerts bedeutet, dass diese - bei fortdauernder Exposition - für den Einzelnen mit einem radiologischen Risiko verknüpft ist, das unter normalen Umständen nicht mehr akzeptiert werden kann. Unterhalb der Dosisgrenzwerte geht der Strahlenschutz von der Hypothese der Existenz eines geringen radiologischen Risikos aus. Gemäß ALARA-Prinzip ist es deshalb nicht ausreichend, einfach den Dosisgrenzwert einzuhalten, sondern es müssen alle vernünftigen und sinnvollen Maßnahmen ergriffen werden, um die Strahlenexposition auch unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts so niedrig wie möglich zu halten. In der Praxis liegen deswegen die tatsächlichen Jahresdosen beruflich strahlenexponierter Personen weit unter den vorgeschriebenen Grenzwerten.

Gesetzliche Regelungen zum Schutz vor ionisierender Strahlung und radioaktiven Stoffen

Die Maßnahmen zum Schutz vor der schädigenden Wirkung der ionisierenden Strahlung sind in speziellen Geset-

zen und Verordnungen geregelt. Die wissenschaftliche Grundlage dafür wird von der United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) einer Unterorganisation der UNO zusammengestellt. Auf dieser Grundlage entwickelt die internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) Empfehlungen für den Strahlenschutz. Die Strahlenschutzgesetzgebung wird in Europa im Rahmen des EURATOM-Vertrages einheitlich und verbindlich festgelegt. Diese Richtlinien müssen von allen Mitgliedstaaten als Mindestvorschriften umgesetzt werden.

Die wichtigsten gesetzlichen Regelungen für den Strahlenschutz in Deutschland sind:

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG): 2013 wurde eine neue europäische Basisstrahlenschutz-Richtlinie 2013/59/EURATOM erlassen. Diese wurde mit dem im Juni 2017 erlassenen Strahlenschutzgesetz umgesetzt. Es bildet damit die Grundlage des deutschen Strahlenschutzrechtes.

Das Atomgesetz (AtG): Es ist das übergeordnete Gesetzeswerk, das die Nutzung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken regelt. Es enthält die wesentlichen Vorschriften, die zur Gewährleistung der Sicherheit bei der Nutzung der Kernenergie einzuhalten sind und legt die internationalen Verpflichtungen der Bundesrepublik auf dem Gebiet der Kernenergie fest.

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV): Ab 2019 basiert die Strahlenschutzverordnung auf dem Strahlenschutzgesetz und legt nähere Regelungen des Strahlenschutzes auf allen hierfür relevanten Gebieten fest mit dem Ziel, sowohl Personen beim beruflichen Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung als auch die Bevölkerung vor der schädigenden Wirkung der Strahlung zu schützen. Dazu wird das Konzept der Rechtfertigung und Optimierung jeder Strahlenanwendung in ein System von Regeln umgesetzt und das Schutzziel in Form von Dosisgrenzwerten kontrollierbar festgelegt. Die Prinzipien des Strahlenschutzes bei der medizinischen Strahlenanwendung werden ebenfalls geregelt.

Auf den Internetseiten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) sind alle für den Strahlenschutz relevanten Gesetze und Verordnungen einsehbar.

Wann ist das Strahlenschutzrecht anzuwenden?

Da ionisierende Strahlung und radioaktive Stoffe ubiquitär sind, muss für den Fall der Verwendung von ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe vorher geprüft werden, ob die Kriterien, die das Strahlenschutzrecht vorgibt, eingehalten sind. Werden die Kriterien nicht erfüllt, ist eine Genehmigung notwendig.

Die Kriterien für genehmigungsfreie Tätigkeiten sind in der Anlage 3 der StrlSchV aufgeführt.

Die Menge eines radioaktiven Stoffs, der ohne Genehmigung verwendet werden darf, ist für jedes Radionuklid als Freigrenze (Aktivität oder spezifische Aktivität) in der Anlage 4 der StrlSchV aufgeführt.

Tab. 6.6-11 Beispiele für Freigrenzen verschiedener radioaktiver Isotope (nach Anlage 4 der StrlSchV) [StrlSchV18]

Element	Isotop	Freigrenze [Bq]	Freigrenze Bq/g]	Anwendung (Beispiel)
Kobalt	Co-60	1E+5	1E+3	Prüfstrahler
Americium	Am-241	1E+1	1E-1	Prüfstrahler
Wasserstoff	H-3	1E+9	1E+2	Markierung

Bevor Beschäftigte in fremden Anlagen oder Einrichtungen tätig werden dürfen, die eine Umgangsgenehmigung haben, ist zu prüfen, ob der entscheidende Betrieb dafür eine Genehmigung oder eine Anzeige bei der zuständigen Behörde benötigt (§§ 25 und 26 StrlSchG).

Auch bei der Beförderung (versenden, transportieren oder empfangen) radioaktiver Stoffe sind neben den Bestimmungen des Gefahrguttransportrechtes (ADR/RID) wie die Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnengewässer [GGVSEB 19] ggf. auch die Bestimmungen des Strahlenschutzrechtes (§§ 27 bis 30 StrlSchG) zu beachten.

Bei dem Umgang mit radioaktiven Stoffen kann es notwendig sein, dass dieses mit der lokal zuständigen Feuerwehr abgestimmt werden muss. Näheres dazu ist in der jeweiligen Umgangsgenehmigung der zuständigen Behörde festgelegt.

Zum Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen in Innenräumen müssen ggf. Messungen der Radonkonzentration durchgeführt werden (§ 127 StrlSchG). In Radon Vorsorgegebieten, die in Geoportal des BfS in Internet eingesehen werden können, muss der Arbeitgeber entsprechende Messungen durchführen lassen.

Strahlenschutzverantwortliche

Bei allen Tätigkeiten nach Strahlenschutzrecht muss es immer einen Strahlenschutzverantwortlichen geben. Auch bei juristischen Personen muss dafür immer eine zur Vertretung berechtigte natürliche Person eingesetzt sein.

Die Aufgaben und Pflichten des Strahlenschutzverantwortlichen sind umfangreich und komplex und sind sowohl im StrlSchG wie auch in der StrlSchV beschrieben.

Ein Strahlenschutzverantwortlicher muss, wenn er nicht selbst im Strahlenschutz fachkundig ist, fachkundige Strahlenschutzbeauftragte bestellen. Durch die Delegation wird aber die Verantwortung des Strahlenschutzverantwortlichen nicht eingeschränkt. Dem Strahlenschutzverantwortlichen können aber nach einer umfänglich durchgeführten Bestellung von Strahlenschutzbeauftragten nur noch die Organisations- und Aufsichtspflichten obliegen.

In großen Betrieben oder Institutionen mit vielen Strahlenschutzbeauftragten kann es sinnvoll sein, Strahlenschutzbevollmächtigte zu bestellen, die die Organisation in Teilbereiche koordinieren.

Strahlenschutzbeauftragter

Strahlenschutzbeauftragte nehmen im betrieblichen Strahlenschutz eine zentrale Funktion ein. Sie werden vom Strahlenschutzverantwortlichen schriftlich mit Angabe ihres innerbetrieblichen Entscheidungsbereichs bestellt, um den Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung zu beaufsichtigen und zu leiten. Die Rechte, Aufgaben und Pflichten müssen dabei detailliert beschrieben werden. Benennung und Abberufung sind durch den Strahlenschutzverantwortlichen der zuständigen Behörde mitzuteilen.

Der Strahlenschutzbeauftragte darf bei der Ausübung seiner Tätigkeit (im innerbetrieblichen Entscheidungsbereich) nicht behindert werden und keine Nachteile aufgrund seiner Tätigkeit erfahren.

Strahlenschutzbeauftragte müssen zwingend eine für die jeweilige Tätigkeit ausreichende und aktuelle Fachkunde im Strahlenschutz gemäß StrlSchV haben. Das Vorliegen der Fachkunde muss von einer zuständigen Behörde bescheinigt sein.

Im Gegensatz zu der Fachkraft für Arbeitsschutz oder anderen betrieblichen Beauftragten hat der Strahlenschutzbeauftragte nicht nur eine Beratungsfunktion gegenüber dem Unternehmer, sondern in seinem innerbetrieblichen Entscheidungsbereich auch Weisungsbefugnis und kann z. B., wenn er es aus Gründen des Strahlenschutzes für notwendig ansieht, die Fortführung von Arbeiten untersagen.

Die zuständige Behörde kann die Bestellung eines Strahlenschutzbeauftragten kontrollieren.

Der Strahlenschutzbeauftragte ist gehalten, konstruktiv mit den Fachkräften für Arbeitssicherheit, Personalvertretungen und ermächtigten Ärztinnen/Ärzten zusammenzuarbeiten.

Zusammenarbeit Arbeitsschutz - Strahlenschutz

Der Strahlenschutzverantwortliche und der Strahlenschutzbeauftragte haben bei der Wahrnehmung/Erfüllung ihrer Aufgaben mit dem Betriebsrat/Personalrat und den Fachkräften für Arbeitsschutz zusammenzuarbeiten und sie über wichtige Angelegenheiten des Strahlenschutzes zu unterrichten. Der Strahlenschutzbeauftragte hat den Betriebsrat/Personalrat auf dessen Verlangen in Angelegenheiten des Strahlenschutzes zu beraten.

Zuständige Behörde

Die für die Genehmigung des Umgangs mit ionisierender Strahlung zuständigen Behörden sind in der Regel Landesbehörden, die das Strahlenschutzrecht im Auftrage des Bundes ausführen. Welche das im jeweiligen Bundesland ist, ist von Land zu Land sehr unterschiedlich und ist für jeden Umgangsort gesondert zu ermitteln.

Strahlenschutzanweisung

Der Strahlenschutzverantwortliche ist gesetzlich dazu verpflichtet, eine Strahlenschutzanweisung zu erlassen. Diese ist ein Dokument, das eine zusammengefasste, detaillierte Darstellung des Strahlenschutzes in dem jeweiligen

Betrieb darstellt. Darin müssen die Verhaltensanweisungen und Arbeitsabläufe beschrieben sein. Für verschiedene Tätigkeiten gibt es im Internet Musterstrahlenschutzanweisungen (z. B. auf den Seiten des Fachverbands für Strahlenschutz).

Eine Strahlenschutzanweisung kann Bestandteil sonstiger erforderlicher Betriebsanweisungen sein. Aufgrund der detaillierten gesetzlichen Vorgaben für die Strahlenschutzanweisung wird dieses aber als wenig empfehlenswert angesehen.

Fachkunde im Strahlenschutz

Im Strahlenschutzrecht besitzt die Fachkunde im Strahlenschutz einen hohen Stellenwert. Für eine Reihe von herausgehobenen Tätigkeiten wie die der Strahlenschutzbeauftragten und der ermächtigten Ärztinnen/Ärzte schreibt das Strahlenschutzrecht sehr detailliert Anforderungen für diese Fachkunde vor.

Je nach Fachkunde sind unterschiedliche abgeschlossene Ausbildungen, eine vorgeschriebene Zeit des praktischen Sachkunderwerbs unter fachlicher Anleitung und die erfolgreiche Teilnahme an einem anerkannten Strahlenschutzkurs vorgeschrieben. Die jeweiligen Anforderungen sind in zwei Richtlinien über die im Strahlenschutz erforderlichen Fachkunden (Technik oder Medizin) im Detail beschrieben.

Die Fachkunde wird von der nach Landesrecht zuständigen Stelle geprüft und bescheinigt und sie gilt bundesweit.

Die Fachkunde muss regelmäßig, spätestens alle fünf Jahre aktualisiert werden.

Normen

Der Stand der Technik im Strahlenschutz ist in mehreren hundert nationalen und internationalen Normen (die in die deutsche Normung übernommen worden sind) beschrieben. Zum Strahlenschutz sind zahlreiche DIN-Normen veröffentlicht worden, die den medizinischen Bereich, den „konventionellen“ industriellen Bereich, die Forschung und Lehre sowie die Kerntechnik abdecken. Das vollständige Angebot ist im Internet unter www.din.de einsehbar (Eine Übersicht ist u. a. auch im Strahlenschutz-Lexikon des Fachverbandes für Strahlenschutz zu finden). Einige Normen wurden von der internationalen Organisation für Normung wie der ISO oder vom Europäischen Komitee für Normung und von der internationalen elektrotechnischen Kommission übernommen als DIN-ISO-Norm, DIN-EN-Norm bzw. DIN-ICE-Norm herausgegeben.

Einige Beispiele:

- DIN 6814: Begriffe der radiologischen Technik
- DIN 6812: Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV, baulicher Strahlenschutz
- DIN 25400: Zeichen für ionisierende Strahlung
- DIN 25462: In-situ-Gammaspektrometrie zur nuklidspezifischen Umweltkontaminationsmessung
- DIN 44427: Prüfstrahler mit Aufbewahrungsbehälter
- DIN 51003: Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)
- DIN EN 12679: Zerstörungsfreie Prüfung - Bestimmung der Strahlergrößen von industriell genutzten Radio-Nukliden - Durchstrahlungsverfahren
- DIN IEC 62302: Umwelt- und Strahlenschutz-Messgeräte - Einrichtungen zur kontinuierlichen Überwachung radioaktiver Edelgase am Arbeitsplatz, in Ableitungen und der Umwelt
- DIN ISO 9271: Dekontamination von radioaktiv kontaminierten Oberflächen- Prüfung von Dekontaminationswaschmitteln für Textilien

Ob es zu einer konkreten technischen Anwendung und einem Verfahren eine Norm gibt, kann auf den Internetseiten recherchiert werden.

6.6.4 Vorschriften, Regelwerke, Literatur

www.gesetze-im-internet.de; <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

- [AtG 85] Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz); 15. Juli 1985
- [ArbSchG 96] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz); 7. August 1996
- [BfS 08] STRAHLUNG UND STRAHLENSCHUTZ: Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz, Salzgitter; 2008
- [BfS 17] STRAHLUNG UND STRAHLENSCHUTZ: Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz, Salzgitter; 2017
- [BMU 00] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 1998; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; 2000
- [BMUB 15] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 2013; Bundesministerium für Umwelt, Bau und Reaktorsicherheit; 2015
- [BMUB 16] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 2015; Bundesministerium für Umwelt, Bau und Reaktorsicherheit; 2016
- [BMUV 22] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2019; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz; 2022
- [EU 80] Richtlinie 80/836/EURATOM des Rates zur Änderung der Richtlinien, mit denen die Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen festgelegt wurden; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften; 17. September 1980
- [EU 96] Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften; 29. Juni 1996
- [EU 97] Richtlinie 97/43 EURATOM des Rates über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/466/EURATOM; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften; 30. Juli 1997
- [3]EU 13] Richtlinie 2013/51/EURATOM zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe im Wasser für den menschlichen Gebrauch; 22. Oktober 2013
- [EU 13a] Richtlinie 2013/59/EURATOM zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung zur Aufhebung der Richtlinie 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM und 2003/122/EURATOM; 5. Dezember 2013
- [GGVSEB 19] Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnengewässer; BGBl. 1 S. 258] 11. März 2019
- IRPA14[IRPA 14] International Radiation Protection Association; IRPA guiding principles for establishing a radiation protection culture; Edition 2014
- [Kiefer 12] Strahlung und Gesundheit; Jürgen Kiefer; Wiley-VCH; 2012
- [StrlSchG 17] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG); 3. Juli 2017
- [StrlSchV 18] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV), 29.11.2018
- [UNSCEAR 00] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Sources and Effects of ionizing Radiation; United Nations publication 2000
- [UBA 05] Umweltbundesamt; Uran im Trinkwasser; Umweltbundesamt; 2005
- [UNSCEAR 06] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Effects of Ionizing Radiation; United Nations publication; 2006
- [UNSCEAR 08] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Sources and Effects of Ionizing Radiation; United Nations publication 2008
- [SSK 20] Strahlenschutzkommission; Organisatorische Voraussetzungen für einen erfolgreichen betrieblichen Strahlenschutz: 11./12. Februar 2020

Internetlinks

- [Bundesamt für Strahlenschutz \(BFS\)](#)
- [Geoportal beim BFS](#)
- [BMUV - Thema "Atomenergie - Strahlenschutz"](#)

- International Atomic Energy Agency (IAEA)
- Strahlenschutzkommission
- Fachverband für Strahlenschutz e. V.

6.6.5 Autoren und Ansprechpartner

Autor:

– Dr. rer. nat. Hauke Brüggemeyer

Ansprechpartner

– Dipl.-Ing. Marlies Kittelmann
Fachgruppe 2.4 "Arbeitsstätten, Maschinen- und Betriebssicherheit"

Kontakt

Impressum

Zitiervorschlag:

Marlies Kittelmann, Lars Adolph, Alexandra Michel, Rolf Packroff, Martin Schütte, Sabine Sommer, Hrsg., 2023.
Handbuch Gefährdungsbeurteilung
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
DOI: 10.21934/baua:fachbuch20230531
[Bitte Zugriffsdatum einfügen]
Verfügbar unter: www.baua.de/gefaehrungsbeurteilung

Fachliche Herausgeber:

Marlies Kittelmann, Lars Adolph, Alexandra Michel, Rolf Packroff, Martin Schütte, Sabine Sommer

Herausgeber:

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1–25, 44149 Dortmund
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund

Telefon: 0231 9071-2071
Telefax: 0231 9071-2070
E-Mail: info-zentrum@baua.bund.de
Internet: www.baua.de

Redaktion: Strategische Kommunikation und Kooperation, BAuA

Gestaltung: Susanne Graul, BAuA; eckedesign, Berlin

Fotos: Uwe Völkner, Fotoagentur FOX, Lindlar/Köln; Kapitel "Biostoffe": Nancy Heubach, BAuA

Diese Handlungshilfe benutzt eine geschlechtergerechte Sprache. Dort, wo das nicht möglich ist oder die Lesbarkeit stark eingeschränkt würde, gelten die gewählten personenbezogenen Bezeichnungen für beide Geschlechter.

Alle Urheberrechte bleiben vorbehalten. Die auf der Website der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin hinterlegten Datenbankinhalte, Texte, Grafiken, Bildmaterialien, Ton-, Video- und Animationsdateien sowie die zum Download bereitgestellten Publikationen sind urheberrechtlich geschützt. Wir behalten uns ausdrücklich alle Veröffentlichungs-, Vervielfältigungs-, Bearbeitungs- und Verwertungsrechte an den Inhalten vor.

Die Inhalte dieser Handlungshilfe wurden mit größter Sorgfalt erstellt und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die BAuA jedoch keine Gewähr.

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.