

**Grundlagen
zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung
in Deutschland**

Impressum

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz(BMUV)
Referat S II 2
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Redaktion: Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Angela Trugenberger-Schnabel
Anita Lovsky
Dr. Angelika Löbbke-Reinl
Dr. Josef Peter

Redaktioneller Stand: Dezember 2021

Vorbemerkung

Dieser Bericht war bis zum Berichtsjahr 2019 als „Grundlagenteil“ fester Bestandteil des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“. Er wird spätestens alle fünf Jahre oder bei Bedarf aktualisiert. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, erscheint er ab dem Berichtsjahr 2020 getrennt vom jährlich aktualisierten Jahresbericht.

Inhaltlich gibt der nunmehr „Grundlagen zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung in Deutschland (Grundlagenbericht)“ genannte Bericht neben den wissenschaftlichen und rechtlichen Grundlagen Handreichungen zum tieferen Verständnis der einzelnen Komponenten der Exposition der Bevölkerung Deutschlands durch ionisierende und nichtionisierende Strahlung.

INHALTSVERZEICHNIS

WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN UND ERLÄUTERUNGEN

1.	Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen	6
1.1	Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung	6
1.2	Strahlendosis und ihre Einheiten	7
1.3	Die Messung der Strahlendosen	8
1.4	Äußere und innere Bestrahlung	9
1.5	Stochastische und deterministische Strahlenwirkung	10
1.6	Genetische Strahlenwirkungen	11
1.7	Induktion bösartiger Neubildungen	11
1.8	Risikoabschätzung	12

RECHTLICHE GRUNDLAGEN

2.	Historische Entwicklung der Überwachung	14
2.1	Überwachung der Umwelt	14
2.2	Überwachungsmaßnahmen auf europäischer Ebene - Höchstwertverordnung	15
2.3	Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen	16
2.4	Strahlenschutzmaßnahmen - Die Euratom-Grundnormen	16
2.5	Strahlenschutzmaßnahmen - Umsetzung in deutsches Recht (Überarbeitungsstand 2020)	17
2.6	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Stand 31.12.2020	18

I GRUNDLAGEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1.	Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt	24
1.1	Natürlich radioaktive Stoffe im Boden	25
1.2	Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser	25
1.3	Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre	28
1.4	Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung	29
1.5	Natürliche Strahlenexposition	30
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität	32
2.1	Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie	32
2.2	Radon in Gebäuden	35
2.3	Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten	38

II GRUNDLAGEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1.	Quellen künstlicher Radioaktivität	43
1.1	Kernwaffenversuche	43
1.2	Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall	45
1.3	Fukushima	46
1.4	Anlagen nach Atomgesetz - Allgemeine Angaben	51
2.	Aktivitätsmessungen und Messnetze	52
2.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung	55
2.2	Nord- und Ostsee	56
2.3	Binnengewässer	57
2.4	Böden	58
2.5	Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser	58
2.6	Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe	60
2.7	Abwasser und Klärschlamm	61
2.8	Abfälle	61

2.9	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung	62
III	GRUNDLAGEN ZUR BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION	
1.	Personendosisüberwachung mit Dosimetern	67
2.	Überwachung des fliegenden Personals	67
3.	Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition	67
4.	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen	67
IV	GRUNDLAGEN ZUR STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN	
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen	69
1.1	Röntgendiagnostik	69
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik	70
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen	70
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren	70
1.5	Qualitätssicherung	71
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen	71
2.1	Strahlentherapie	71
2.2	Nuklearmedizinische Therapie	72
3.	Medizinische Forschung	72
4.	Herzschrittmacher	72
V	GRUNDLAGEN ZUM UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG	
1.	Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe	75
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe	78
3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler	78
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe	78
3.2	Radioaktive Stoffe in Konsumgütern und Industrieerzeugnissen	78
3.3	Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ)	79
3.4	Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler	80
3.5	Bestand radioaktiver Abfälle	80
3.6	Freigabe geringfügig radioaktiver Stoffe	80
4.	Meldepflichtige bedeutsame Vorkommnisse	81
VI	GRUNDLAGEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG	
1.	Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung	83
2.	Statische Felder	84
3.	Niederfrequente Felder	84
4.	Hochfrequente Felder	86
5.	Optische Strahlung	88
5.1	UV-Strahlung	89
5.2	Sichtbares Licht	95
5.3	Infrarotstrahlung	97
6.	Grenzwerte	98

WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN UND ERLÄUTERUNGEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

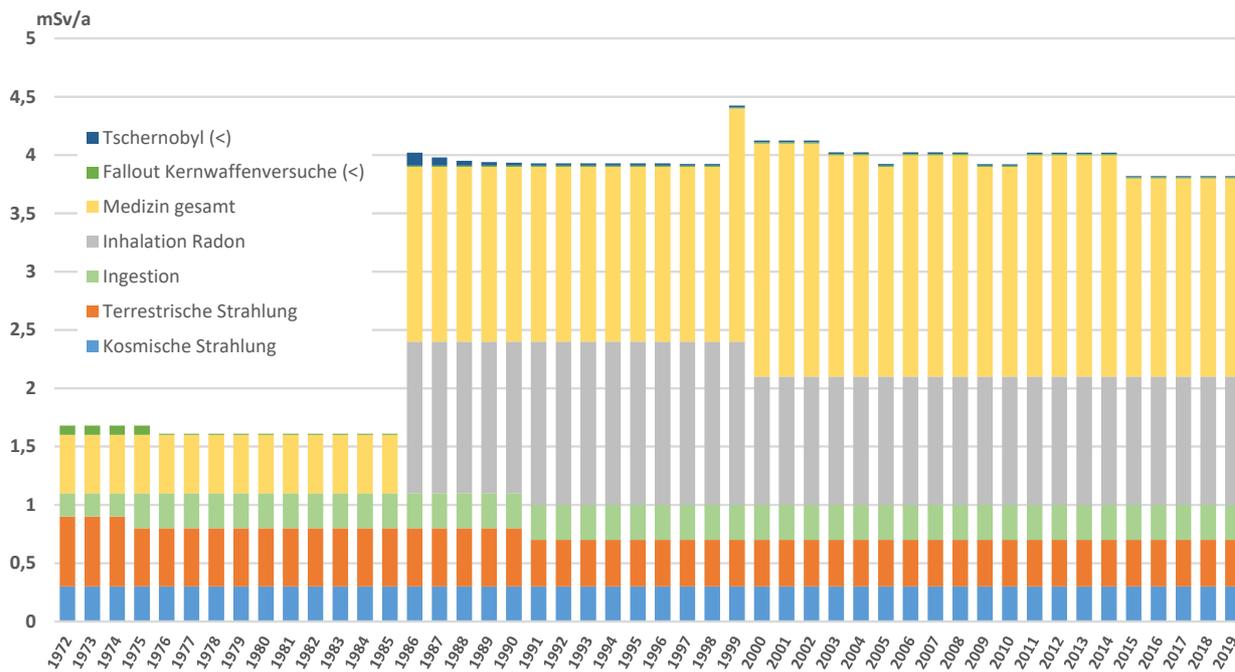


Abbildung G I 1 Berichtete Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands
(Reported mean dose to one person of the population in the Federal Republic of Germany)

1. Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen

1.1 Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung

Die beiden wesentlichen Größen in diesem Bericht im Bereich der ionisierenden Strahlung sind Becquerel und Millisievert. In Becquerel (Bq) wird die „Menge“ an Radioaktivität in einem bestimmten Medium, z. B. Umweltmedium (Umweltradioaktivität) angegeben, in Millisievert (mSv) die sich daraus ergebende Dosis als Maß für die Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die Vermeidung bzw. größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes (ALARA-Prinzip: „As low as reasonably achievable“).

Ein Becquerel pro Maßeinheit eines Umweltmediums – also z. B. pro Kubikmeter Luft, pro Liter Wasser oder pro Kilogramm – bedeutet, dass sich in der betrachteten Substanzmenge pro Sekunde ein Atomkern unter Abgabe von Strahlung in einen anderen umwandelt. Für die Strahlenbelastung (Dosis) ist wichtig, wo sich der Atomkern und damit das Atom zum Zeitpunkt seines Zerfalls befindet (im Körper oder außerhalb) und welche Art von Strahlung (Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung) es abgibt. Alphastrahlung hat eine hohe Schadenswirkung auf betroffene Körperzellen, aber nur eine geringe Reichweite von unter einem Millimeter. Alphastrahler müssen sich also im Körper befinden, um zu einer Strahlenbelastung zu führen. Das wichtigste Beispiel hierfür sind die Zerfallsprodukte des radioaktiven Edelgases Radon, die durch Ablagerungen in der menschlichen Lunge einen großen Teil der Strahlenbelastung des Menschen bewirken. Gammastrahlen haben demgegenüber eine Reichweite von mehreren Metern. Auf diese Weise können radioaktive Atome in der Umgebung zur Strahlenbelastung beitragen. Betastrahler liegen in ihrer Reichweite zwischen den beiden anderen Strahlenarten. Neben diesen Strahlenarten, die bei Atomumwandlungen entstehen, führen auch Röntgenstrahlen, die künstlich erzeugt werden, zu einer Strahlenbelastung.

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Radioaktivitätsmenge einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man den Becquerel-Wert mit einem sog. Dosisfaktor multipliziert.

Im Dosisfaktor werden dabei verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt (siehe nächster Abschnitt „Die Strahldosis und ihre Einheiten“). Endergebnis dieser Berechnungen ist die Strahlenbelastung als effektive Dosis in Millisievert. Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbe-

trachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Im vorliegenden Bericht ist zusätzlich eine Mittelung über die Gesamtbevölkerung durchgeführt worden. Da die einzelnen Komponenten – besonders die Exposition durch medizinische Maßnahmen und durch Radon – individuell sehr stark variieren, kann die individuelle Strahlenexposition auch deutlich höher oder deutlich geringer sein als der ausgewiesene Mittelwert über die Gesamtbevölkerung.

1.2 Strahlendosis und ihre Einheiten

Ionisierende Strahlung umfasst Teilchen- und Wellenstrahlung, die auf Grund ihres Energiegehalts beim Auftreffen auf Materie Elektronen aus den Atomhüllen herausschlagen kann und dadurch Ionen erzeugt. Zur quantitativen Beschreibung der Ursache einer Strahlenwirkung benutzt man den Begriff der Dosis. Da man diese Wirkung auf der atomaren, molekularen oder biologischen Ebene beschreiben kann, sind verschiedene Dosisbegriffe eingeführt worden.

Primär werden durch die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie Ladungsträger (Ionen) erzeugt. Ein Maß für die erzeugte Ladung pro Masse ist die Ionendosis, die Einheit ist Coulomb pro Kilogramm (C/kg). Die alte Einheit dafür ist Röntgen (R).

Die auf das Material übertragene Energie pro Masseneinheit wird als Energiedosis bezeichnet. Sie wird in der Einheit Gray (Gy) gemessen. 1 Gray ist die Energiedosis, die bei der Übertragung der Energie von 1 Joule auf eine Masse von 1 kg entsteht (1 Gy = 1 J/kg). Entsprechend ist die Energiedosisleistung eine Energiedosis pro Zeiteinheit und wird in Gray pro Sekunde (Gy/s) oder Gray pro Stunde (Gy/h) gemessen.

$$1\text{Gy} = \frac{1\text{J}}{1\text{kg}}$$

Molekulare Veränderungen durch Ionisations- und Anregungsprozesse können der Ausgangspunkt für die Entwicklung biologischer Strahlenwirkungen sein. Allerdings ist das Ausmaß einer biologischen Strahlenwirkung nicht alleine von der Energiedosis (Strahlungsenergie pro Masseneinheit) abhängig, sondern auch von der Art und Energie der Strahlung (Strahlenqualität).

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z. B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z. B. tierische oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20-mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Die Dichte der Ionisierung wird mit der Größe „Linearer Energietransfer“ (LET) angegeben. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

Durch diese Umrechnung erhält man zunächst die Organdosis. In Formeln lässt sich dies folgendermaßen ausdrücken:

$$H_{T,R} = w_R \times D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ Energiedosis im Organ T durch die Strahlungsart R

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

$H_{T,R}$ Organdosis im Organ T durch die Strahlungsart R

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in Anlage 18 zur Strahlenschutzverordnung entsprechend [Tabelle G 1.1-1](#) festgelegt.

Tabelle G 1.1-1 Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R nach StrlSchV, Anl. 18
(Radiation weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

Strahlungsart	Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R
Photonen	1
Elektronen und Myonen	1
Protonen und geladene Pionen	2
Alphateilchen, Spaltfragmente, Schwerionen	20
Neutronen, Energie $E_n < 1$	$2,5 + 18,2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}$
1 ≤ Energie E_n ≤ 50	$5,0 + 17,0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}$
Energie $E_n > 50$	$2,5 + 3,25e^{-[\ln(0,04E_n)]^2/6}$

E_n ist der Zahlenwert der Neutronenenergie in MeV.

Die Einheit der Organdosis ist Sievert (Sv). Da der Strahlungs-Wichtungsfaktor dimensionslos ist, ist die Dimension der Organdosis ebenfalls Joule pro Kilogramm. Strahlendosen im Sievertbereich treten selten auf, es wird daher üblicherweise die Untereinheit Millisievert verwendet. Ein Sievert entspricht 1000 Millisievert.

Die verschiedenen Organe und Gewebe sind in Hinblick auf mögliche Strahlenschäden verschieden empfindlich. Um die Strahlenbelastungen verschiedener Organe vergleichen zu können, wurde deshalb die effektive Dosis eingeführt, die als Maß für die Gesamtbelastung eines Menschen durch ionisierende Strahlung dient. Die effektive Dosis ergibt sich aus der Organdosis durch Multiplikation mit dem Gewebe-Wichtungsfaktor.

$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in [Abbildung G 1.1-1](#) dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert eins.

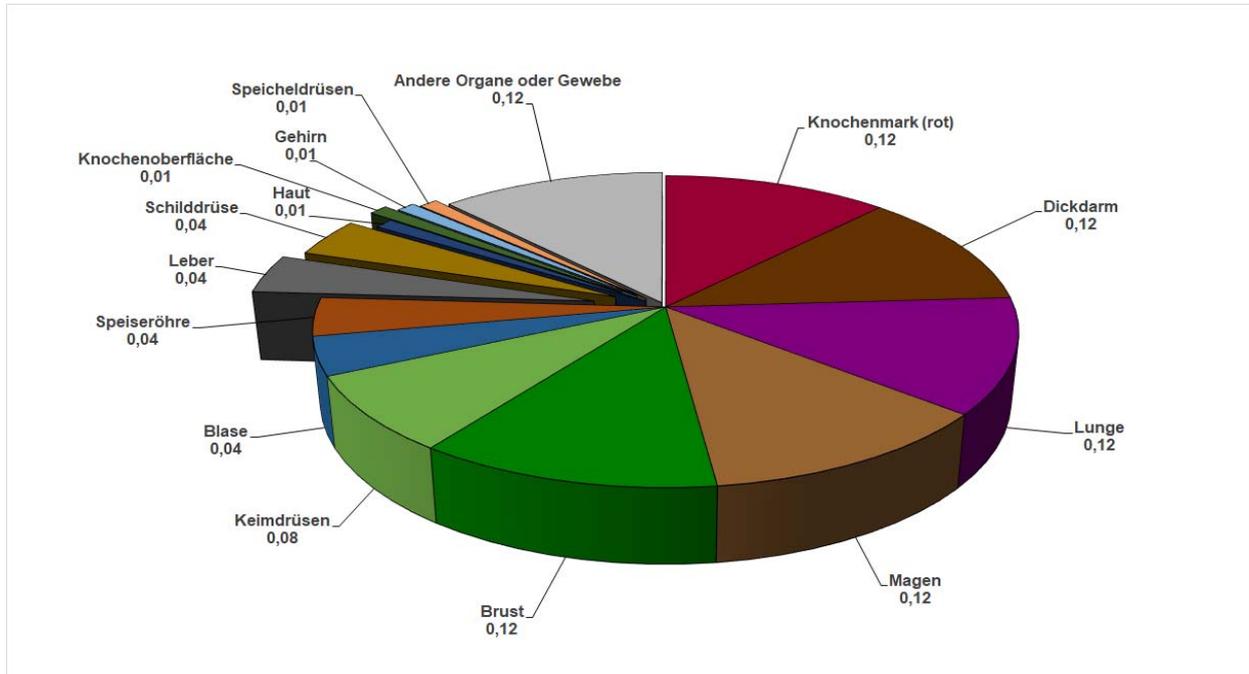


Abbildung G 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anlage 18)
(Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Die Wirkung einer Strahlenart auf ein Organ kann also durch Multiplikation der Energiedosis mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor und dem Gewebe-Wichtungsfaktor in Zahlen gefasst werden. Soll die effektive Dosis für eine Strahlenexposition durch mehrere Strahlungsarten berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müssen die genannten Formeln zusammengefasst und eine Summierung über alle Komponenten durchgeführt werden:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

1.3 Die Messung der Strahlendosen

Die bisher genannten Dosisgrößen Energiedosis, Organdosis und effektive Dosis werden als Körperdosen bezeichnet. Sie dienen dazu, die Ziele zu definieren, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z. B. bei beruflich exponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind Schutzgrößen. Nur in den seltensten Fällen kann eine Dosis direkt im Körper eines Menschen gemessen werden. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den Messgrößen überwacht. Diese sogenannten Äquivalentdosen sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzen, werden auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich liegen.

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g/cm³, Massenzusammensetzung 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff), der sogenannten ICRU-Kugel mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

Im Zusammenhang mit der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen wird der Begriff Personendosis verwendet. Die Strahlenschutzverordnung definiert in Anlage 18 als Messgrößen die Personendosis als Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person und unterscheidet die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ in einer Messtiefe von 10 mm, die Augenlinsen-Personendosis $H_p(3)$ in 3 Millimeter Tiefe und die Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$ in einer Messtiefe von 0,07 mm jeweils an der Tragestelle des für die Messung vorgesehenen Dosimeters. Die Tiefen-Personendosis wird z. B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis ist z. B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter, das Filmdosimeter, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. 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. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Filmdosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich exponierter Personen verwendet.

Bei der Dosisbestimmung ohne Vorhandensein einer Person wird die so genannte Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es drei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$, die Richtungs-Äquivalentdosis in 3 Millimeter Tiefe $H'(3,\Omega)$ und die Richtungs-Äquivalentdosis in 0,07 mm Tiefe $H'(0,07,\Omega)$. Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt. Gemäß StrlSchV Anlage 18 bestimmen sich die Werte des Qualitätsfaktors der ICRU in Abhängigkeit von dem unbeschränkten linearen Energieübertragungsvermögen in Wasser nach den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) in ICRP-Veröffentlichung 103. Diese ist in deutscher Übersetzung durch das BFS als BfS-Schrift 47/09 unter [urn:nbn:de:0221-2009082154](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2009082154) verfügbar .

Zur Bewertung der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen wird als Maß der Gesamtexposition die Kollektivdosis verwendet. Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Die Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.

1.4 Äußere und innere Bestrahlung¹

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgenstrahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betaeilchen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann in Risikobetrachtungen einzubeziehen, wenn sie mit der Nahrung oder dem Trinkwasser (Ingestion) oder durch Atmung (Inhalation) dem Körper zugeführt oder durch Wunden in den Körper aufgenommen werden. Die Bestrahlung erfolgt dann von innen. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer solchen Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus bzw. in einzelnen Organen sowie Geweben genau zu kennen. Diese Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muss bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben physikalischen Eigenschaften der Strahlung und den physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide gehen zahlreiche, u. a. altersabhängige biokinetische Parameter in die Dosisermittlung ein.

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (Folgedosis bei Kindern vom jeweiligen Alter bis zum Alter von 70 Jahren, vgl. StrlSchV Anlage VI, Teil D) ermittelt. Das bedeutet, dass bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. bis zum Alter von 70 Jahren) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Annahmen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z. B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z. B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

¹ Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart - New York, 1989, S. 25 ff

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde ($1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$). Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Organdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq).

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z. B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts $60 \mu\text{m}^2$ den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV . Erst bei wesentlich höheren Dosen – für Alphateilchen bei etwa 500 mGy – kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30 % aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa $8 \mu\text{m}$) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Verminderung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem linearem Energietransfer (LET) liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14-MeV -Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z. B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelt Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s. o.). Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Schwebstoffe) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

1.5 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung¹

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können. Oberhalb der Schwellendosis tritt der gesundheitliche Effekt auf und der Schweregrad dieses Effektes nimmt mit steigender Dosis zu. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zu Grunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, wie Hautrötung (Erythem), Haarverlust oder verminderte Blutbildung.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass es keine Schwellendosis gibt und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen. Auf Grund des Absterbens von Zellen oder des ganzen Organismus kommen stochastische Effekte, wie z. B. die Krebsentstehung, bei sehr hohen Dosen immer weniger zum Tragen. Daher nimmt die Kurve der stochastischen Effekte bei sehr hohen Dosen wieder ab.

Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d. h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet. Der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit der Krebsentstehung und Dosis wird durch den Risikoeffizienten ausgedrückt.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich bei den stochastischen Strahlenwirkungen um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung u. U. zu einer Manifestation der Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, dass bereits die maligne Transformation einer Zelle eine derartige Erkrankung verursachen kann.

¹ Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart - New York, 1989, S. 25 ff

1.6 Genetische Strahlenwirkungen

Wirken ionisierende Strahlen auf Keimdrüsen oder Keimzellen, können sie Schäden im Erbgut (Mutationen) verursachen, die zu genetisch bedingten Krankheiten (Erb Schäden) führen. Diese können sich bei den Kindern und Kindeskindern der bestrahlten Personen in Form von Fehlbildungen, Stoffwechselstörungen, Immunschäden etc. auswirken, aber auch erst nach vielen Generationen sichtbar werden. Wie Krebserkrankungen sind auch genetisch bedingte Krankheiten keine spezifischen Folgen einer Strahlenexposition, sondern treten mit dem gleichen klinischen Erscheinungsbild auch spontan oder infolge anderer Umwelteinflüsse auf.

Ein Zusammenhang zwischen einer Strahlenexposition und dem Auftreten von genetischen Effekten konnte beim Menschen bisher nicht beobachtet werden. Das größte Kollektiv bestrahlter Eltern stellen die Atombomben-Überlebenden dar. Die Kinder dieser Eltern sind registriert und werden bis heute immer wieder auf genetische Effekte untersucht. Bisher wurde unter den Kindern und Kindeskindern der Atombomben-Überlebenden aber keine statistisch signifikante Erhöhung in der Häufigkeit von Erbkrankheiten gegenüber der unbestrahlten japanischen Bevölkerung beobachtet. Daher ist man bei Risikoabschätzungen darauf angewiesen, die Wirkungen relativ starker Bestrahlungen im Tierexperiment zu untersuchen und von diesen Ergebnissen auf die statistisch bisher nicht erfassbaren Wirkungen niedriger Strahlendosen beim Menschen zu schließen.

Die Internationale Strahlenschutz-Kommission (ICRP) geht davon aus, dass das genetische Risiko für bis zu zwei Generationen nach Bestrahlung der Eltern mit einer einmaligen Gonaden-Dosis von 1 Gy bei 500 Geburten zu einer zusätzlichen schweren Erkrankung führt, die durch eine strahlenbedingte Mutation verursacht wird. Bei chronischer Strahlenbelastung über mehrere Generationen wird davon ausgegangen, dass durch eine Gonaden-Dosis von 1 Gy ein zusätzlicher Fall einer Mutation bei 100 Geburten ausgelöst wird, die die Ursache für eine schwere Erkrankung ist.

Bei den Abschätzungen des genetischen Strahlenrisikos geht man von einer Verdoppelungsdosis in Höhe von 1 Gy im Falle einer chronischen Bestrahlung aus. D. h. eine Dosis von 1 Gy verdoppelt die spontane Mutationshäufigkeit für die Gesamtheit aller klinisch dominanten Mutationen, die bei etwa 2 % pro Generation liegt. Für den Fall einer akuten Bestrahlung liegt die Verdopplungsdosis bei 0,3 Gy. Von den röntgendiagnostischen Maßnahmen verursacht die Computer-Tomographie (CT) die höchste Strahlenexposition. Eine CT des Unterleibs bedingt etwa eine Keimdrüsens dosis von 35 mSv (Ovarien) bis 40 mSv (Hoden). Dies erhöht das spontane genetische Risiko von etwa 2 bis 3 % (für monogenetische und chromosomale Erkrankungen) um 0,07 % bei der Frau und 0,08 % beim Mann.

1.7 Induktion bösartiger Neubildungen

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Risikos für bösartige Neubildungen, d. h. Leukämien und solide Tumoren, auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen,
- Personen mit hohen Radonexpositionen in Wohnungen,
- Personen mit signifikanten Strahlenbelastungen durch die Tschernobyl-Katastrophe.

Da sich eine strahlenbedingte Krebserkrankung nicht von einer „spontanen“ unterscheidet, kann diese im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Für die Risikoabschätzung beim Menschen sind daher epidemiologisch-statistische Untersuchungen von großer Bedeutung. Strahlenexponierte Personengruppen werden dabei vergleichbaren (etwa hinsichtlich Alter und Geschlecht) nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt. Dann kann untersucht werden, ob und in welchem Ausmaß sich die Raten an malignen Erkrankungen nach Bestrahlung in beiden exponierten Gruppen unterscheiden. Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (mindestens 2 Jahre bei Leukämien und Lymphomen, bis zu mehreren Jahrzehnten bei soliden Tumoren) auftreten können.

Es wurde in einer Reihe von Studien beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Hinweise auf eine strahlenbedingte Erhöhung des Risikos für chronisch-lymphatische Leukämien gibt es bisher nur aus wenigen Studien.

Neben der Frage, ob die Erkrankungsrate in einer exponierten Bevölkerungsgruppe höher liegt als in einer nicht exponierten, ist es besonders wichtig festzustellen, ob das Risiko von der Dosis abhängt, d. h. ob es eine Dosis-Wirkungs-Beziehung gibt. Bei Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, der für die Risikoabschätzung wichtigsten Bevölkerungsgruppe, zeigen sich signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehungen sowohl für Leukämien als auch für solide Tumoren. Für Kinder, die vorgeburtlich durch Röntgenstrahlen exponiert wurden, traten bei Expositionen über 10 mSv signifikant gehäuft kindliche Leukämien und in geringerem Maße auch solide Tumoren auf. Vergleichbare Beobachtungen konnten bei Kindern, die in Hiroshima und Nagasaki vorgeburtlich exponiert wurden, aber nicht gemacht werden. Die Abschätzungen zum Krebsrisiko von Kindern nach vorgeburtlicher Strahlenexposition müssen daher als unsicher bewertet werden. Nach unserem heutigen Verständnis über die Strahlenwirkungen auf Moleküle und Zellen ist davon auszugehen, dass auch geringe Strahlendosen bösartige Neubildungen hervorrufen können. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Zahl der Fälle dann so klein ist, dass das strahlenbedingte Risiko über-

lagert wird von Risikoschwankungen, die auf andere Faktoren zurückgehen wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die ebenfalls das Risiko für bösartige Neubildungen beeinflussen. Das strahlenbedingte Risiko hebt sich dann nicht mehr aus den Schwankungen der „spontanen“ Rate heraus.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch die Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt in der Luft tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko annähernd linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in Innenräumen ansteigt.

1.8 Risikoabschätzung

Weltweit liegen zahlreiche epidemiologische Studien vor, in denen bei Personengruppen, die einer erhöhten Exposition durch ionisierende Strahlung ausgesetzt waren, Jahre und Jahrzehnte nach Bestrahlung Leukämien oder Krebserkrankungen häufiger als bei Personen ohne Strahlenexposition auftraten. Zu den untersuchten Personengruppen gehören die Überlebenden der Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki sowie Patientengruppen, die wegen bestimmter Erkrankungen radiologisch oder nuklearmedizinisch untersucht bzw. behandelt wurden, und beruflich strahlenexponierte Personen wie die Uranbergarbeiter oder Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen.

Nationale und internationale wissenschaftliche Gremien, wie die japanische Radiation Effects Research Foundation (RERF), das Wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen zu den Auswirkungen der atomaren Strahlung (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR) und auch die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) schätzen auf Basis dieser epidemiologischen Studien das Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen ab. Da die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen nur für die untersuchten Personengruppen und die speziellen Bestrahlungssituationen gelten, müssen von diesen Ergebnissen unter Verwendung von Risikomodellen zur Krebsentstehung Aussagen zum allgemeinen Krebsrisiko abgeleitet werden. Die beobachteten Risiken müssen zum Beispiel von mittleren bis hohen Dosisbereichen auf den Bereich niedriger Dosen übertragen werden, von akuten Bestrahlungssituationen auf chronische, von einer begrenzten Beobachtungszeit auf die Lebenszeit der betroffenen Personen und von einer Bevölkerungsgruppe mit einer bestimmten spontanen Krebsrate auf eine andere Bevölkerungsgruppe mit einer unterschiedlichen spontanen Krebsrate.

Die genannten epidemiologischen Untersuchungen erlauben eine zuverlässige Abschätzung des strahlenbedingten Risikos bösartiger Erkrankungen für den Dosisbereich ab etwa 100 Millisievert. Es kann jedoch nicht geschlossen werden, dass unterhalb dieser Dosen keine Wirkung ionisierender Strahlung auftritt. Der Nachweis kleiner Risiken in epidemiologischen Studien ist sehr schwierig, da die Schwankungen des spontanen Krebsrisikos kleine strahlenbedingte Risikoerhöhungen möglicherweise überlagern. Für die Extrapolation von mittleren auf niedrige Dosen wird für das Risiko strahlenbedingter Krebserkrankungen aus Gründen der Vorsorge von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis ausgegangen. Grundsätzliche biophysikalische und strahlenbiologische Erkenntnisse stützen diese Annahme. Krebserkrankungen haben nach vorliegenden Erkenntnissen ihren Ursprung in einer einzelnen geschädigten Zelle. Da eine einzelne Energiedeposition durch die Strahlung in einer Zelle zur Krebsauslösung ausreicht und zelluläre Reparaturprozesse nicht immer vollkommen sind, muss auch im Dosisbereich unterhalb von 10 mSv von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ausgegangen werden.

Für einzelne Krebsarten kann die lineare Extrapolation zwar dazu führen, dass das Risiko überschätzt wird, es lässt sich jedoch nicht ausschließen, dass unter bestimmten Bedingungen das Risiko für andere Krebsarten auch unterschätzt wird. Unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten stellt die lineare Extrapolation das fachlich beste Abschätzverfahren dar. Für genetische Schäden wird auf Grund des gleichen Wirkmechanismus der Mutationsauslösung wie bei der Krebsinduktion ebenfalls eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis angenommen. Obwohl hierfür keine direkten Beobachtungen beim Menschen vorliegen, wird diese Annahme durch tier- und zellexperimentelle Befunde gestützt.

Es gibt zwei Risikomodelle, die bei Risikoprojektionen und -transfer zu Grunde gelegt werden können: das absolute und das relative Risikomodel. Das absolute Risikomodel geht davon aus, dass die Strahlung eine bestimmte zusätzliche Zahl von Krebsfällen in Abhängigkeit von der Dosis auslöst. Beim relativen Risikomodel wird angenommen, dass der Strahlungseffekt darin besteht, dass sich die spontane Krebshäufigkeit bei allen Altersgruppen um einen bestimmten Faktor, der dosisabhängig ist, erhöht. Da die spontane Krebshäufigkeit proportional mit dem Alter ansteigt, wird unter der Annahme eines relativen Risikomodells infolgedessen bei höherem Alter eine größere Zahl strahlenbedingter Krebsfälle abgeschätzt.

Laut dem UNSCEAR-Bericht von 2010 [1] liegt das durchschnittliche zusätzliche Lebenszeitrisko an einem malignen Tumor zu sterben bei einer akuten Dosis von 1 Gray bei 4,3 bis 7,2 % und bei 100 Milligray bei 0,36 bis 0,77 %. Das heißt, es ist zu erwarten, dass von 100 Personen, die einer akuten Strahlendosis von 1 Gray ausgesetzt waren, etwa 4 bis 7 Personen auf Grund dieser Strahlenbelastung an einem bösartigen Tumor sterben, bei 100 Milligray wäre mit

weniger als einem strahlenbedingten Krebstodesfall in dieser Gruppe zu rechnen. Das Risiko an Leukämie zu sterben liegt bei 1 Gray bei 0,6 bis 1,0 %. Im Gegensatz zu soliden Tumoren wird für Leukämien ein linear quadratischer anstelle eines linearen Zusammenhangs angenommen. Das Risiko bei 100 Milligray wird auf 0,03 bis 0,05 % geschätzt. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen zu unterscheiden. In Deutschland haben etwa 25 % aller Todesfälle Krebs als Ursache, d. h., dass normalerweise von 100 Menschen etwa 25 an einer Krebserkrankung sterben.

Literatur

- [1] United Nations, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010. Fifty-seventh session, includes Scientific Report: summary of low-dose radiation effects on health. S. 9.

RECHTLICHE GRUNDLAGEN

2. Historische Entwicklung der Überwachung

Die Auswirkungen der von 1945 bis 1980 durchgeführten oberirdischen Kernwaffentests sowie der großtechnische Einsatz der Kernenergie seit den 60er und 70er Jahren machten die Konzeption entsprechender Kontrollsysteme zur Umwelt- bzw. Umgebungsüberwachung notwendig. Dabei bezieht sich der Begriff „Umweltüberwachung“ auf die umfassende Überwachung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Umwelt, während der Begriff „Umgebungsüberwachung“ sich auf kerntechnische Anlagen bezieht. In der Bundesrepublik Deutschland regelte bis 2017 das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) die Zuständigkeiten, Überwachungssysteme und Messprogramme für die Kontrolle der Radioaktivität in der Umwelt. Durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und das Atomgesetz (AtG) wird dies in der Umgebung kerntechnischer Anlagen festgelegt. Das Strahlenschutzvorsorgegesetz wurde 2017 aufgehoben. Die Regelungen zum Notfallmanagementsystem von Bund und Ländern, den Schutz der Einsatzkräfte und die Überwachung der Umweltradioaktivität sind jetzt im Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) enthalten.

Durch dieses Gesetz wurden die in der Richtlinie 2013/59/Euratom (sog. Euratom-Grundnormen) enthaltenen neuen Regelungen zum Schutz der Bevölkerung und der Einsatzkräfte bei radiologischen Notfällen in nationales Recht umgesetzt. Mit diesem Gesetz wurde das deutsche Strahlenschutzrecht zugleich modernisiert und vollzugsfreundlicher gestaltet.

Durch das StrlSchG wurde das deutsche Strahlenschutzsystem entsprechend der von der Richtlinie 2013/59/Euratom vorgegebenen Unterscheidung zwischen geplanten, bestehenden und notfallbedingten Expositionssituationen neu strukturiert. Das StrlSchG enthält aber weiterhin auch expositionssituationsübergreifende Vorschriften.

Die Regelungen des StrlSchG zum Notfallschutz und zur Überwachung der Umweltradioaktivität sind am 1. Oktober 2017 in Kraft getreten, die Regelungen für geplante und für bestehende Expositionssituationen am 31. Dezember 2018. Im Kapitel zur Überwachung der Umweltradioaktivität wurden die bisherigen Regelungen der §§ 2 bis 5 StrVG im Wesentlichen unverändert übernommen. Die Zuständigkeiten von Bundesbehörden im Integrierten Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Umweltradioaktivität sind jetzt in der IMIS-Zuständigkeitsverordnung (IMIS-ZustV) geregelt. Weitere Regelungen zur Überwachung und Bewertung der Umweltradioaktivität sind im Teil 3 des StrlSchG über den Strahlenschutz bei Notfallexpositionssituationen enthalten. Gemäß der neuen Regelungen über das Notfallmanagementsystem des Bundes und der Länder, d. h. des rechtlichen und administrativen Rahmens für die Notfallvorsorge und -reaktion, ist bei überregionalen und regionalen Notfällen für die Bewertung der radiologischen Lage durch alle Bundes- und Landesbehörden immer nur ein radiologisches Lagebild maßgeblich. Dieses wird bei überregionalen Notfällen vom radiologischen Lagezentrum des Bundes erstellt, bei regionalen Notfällen in der Regel vom Land. Das radiologische Lagezentrum des Bundes wird beim BMUV als Netzwerk aus BMUV, BfS, BASE, GRS und BBK eingerichtet. Weitere Aufgaben des radiologischen Lagezentrums sind unter anderem die ressortübergreifende Koordinierung der Schutzmaßnahmen und der Information der Öffentlichkeit auf nationaler und internationaler Ebene sowie die Erstellung von Verhaltensempfehlungen und die Koordinierung der Messungen des Bundes und der Länder und anderer an der Notfallbewältigung beteiligter Organisationen zur Vervollständigung des radiologischen Lagebildes und der Datenbasis zur Dosisabschätzung.

2.1 Überwachung der Umwelt

Die Freisetzung radioaktiver Stoffe durch die oberirdischen Kernwaffenversuche ab 1945 lieferte einen nicht vernachlässigbaren Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung mit der Folge, dass schon in den 50er Jahren von der Bundesrepublik Deutschland Messsysteme zur Umweltüberwachung aufgebaut wurden:

- 1955 wurde der Deutsche Wetterdienst (DWD) gesetzlich verpflichtet, die Atmosphäre auf „radioaktive Beimengungen“ und deren Ausbreitung zu überwachen.
- Mit Artikel 35 des Vertrages zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) vom 25. März 1957 wurden die Mitgliedstaaten verpflichtet, die notwendigen Einrichtungen zur ständigen Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes von Luft, Wasser und Boden sowie zur Überwachung der Einhaltung der Strahlenschutz-Grundnormen zu schaffen. Artikel 36 des Euratom-Vertrages verpflichtet zur regelmäßigen Berichterstattung über die aktuelle Umweltradioaktivität. Die Verpflichtungen aus Artikel 35 und 36 des Euratom-Vertrages werden mittels der amtlichen Radioaktivitätsmessstellen des Bundes und der Länder erfüllt. Die Pflicht zur jährlichen Übermittlung der gemessenen Daten an die Europäische Kommission wird durch das BfS wahrgenommen.
- 1960 wurden in Vereinbarungen zwischen dem zuständigen Bundesressort (Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft) und den Ländern die Grundzüge der Überwachungsmaßnahmen festgelegt, die im Wesentlichen noch heute gültig sind.

Die Berichterstattung über die Exposition der Bevölkerung existiert ebenso lange. Einen Überblick über die berichtete Strahlenexposition und ihre Anteile gibt Abbildung [Abbildung G I 1](#). Bis 1985 wurde die natürliche Strahlenexposition durch Radon und seine Folgeprodukte nicht einbezogen. Ab 2000 wurden neue Dosisfaktoren der ICRP verwendet und die medizinische Exposition genauer erfasst. Diese Änderung spiegeln also keine tatsächliche Änderung der Exposition wider.

Der Reaktorunfall von Tschernobyl am 26. April 1986 war Anlass, die Zuständigkeiten für die Umweltüberwachung neu zu regeln und das rechtliche Instrumentarium zur Schadensbegrenzung zu ergänzen. Ziel des daraufhin verabschiedeten Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) vom 19. Dezember 1986 war es, zum Schutz der Bevölkerung die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen und im Falle von Ereignissen „mit möglichen nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen“ die radioaktive Kontamination in der Umwelt und die Strahlenexposition des Menschen durch angemessene Maßnahmen so gering wie möglich zu halten.

- Im Strahlenschutzgesetz wird die Überwachung der Umweltradioaktivität im ersten Kapitel von Teil 5 „Expositionssituationsübergreifende Vorschriften“, also in den §§ 161 bis 165 geregelt. Die §§ 161 und 162 grenzen dabei die Aufgabenzuständigkeit zwischen Bund und Ländern ab. Die großräumige Überwachung der Medien Luft, Wasser und Boden sowie die Ermittlung der Gamma-Ortsdosisleistung ist dem Bund zugewiesen. Die Überwachung der anderen Umweltmedien wird dagegen in Bundesauftragsverwaltung nach § 162 StrlSchG von den Messstellen der Länder wahrgenommen (Tabelle G 1).

Auf Grundlage des StrVG wurde in den Jahren nach 1986 das Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) geschaffen, in dem die nach den § 163 StrlSchG ermittelten Daten bundeseinheitlich zusammengeführt werden. Die Einzelheiten wurden 1995 in einer Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV-IMIS) geregelt, die an das neue Strahlenschutzgesetz anzupassen ist.

1988 wurde im Auftrag des BMU ein Routinemessprogramm zur Entnahme und Messung von Umweltproben zwischen den Bundes- und Länderbehörden abgestimmt und in den Folgejahren umgesetzt. Das Programm enthält verbindliche Vorgaben für die Durchführung der routinemäßigen Überwachungsmaßnahmen durch die zuständigen Behörden des Bundes und der Länder und stellt ein bundeseinheitliches Vorgehen sicher.

Ebenso wurde 1995 im Auftrag des BMU zwischen den Bundes- und Landesbehörden ein Intensivmessprogramm abgestimmt, das im Falle erhöhter Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt an die Stelle des Routinemessprogramms tritt. Hierin werden umfangreichere Aktivitätsmessungen in kürzeren zeitlichen Abständen vorgeschrieben, mit denen schnell die radiologische Lage erfasst und eventuell erforderliche Vorsorgemaßnahmen zur Minimierung der Strahlenexposition durch die jeweils zuständigen Bundes- bzw. Landesministerien empfohlen werden können.

Die Messprogramme für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) und den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm) sind Bestandteil der Neufassung der AVV-IMIS vom 13. Dezember 2006.

2.2 Überwachungsmaßnahmen auf europäischer Ebene - Höchstwertverordnung

Nach den Ereignissen im Kernkraftwerk Tschernobyl hat sich gezeigt, dass europaweit abgestimmte Höchstwerte für Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermitteln für den auch im Falle einer radiologischen Notfallsituation zu gewährleistenden Gesundheitsschutz unerlässlich sind. Es wurden deshalb die Euratom-Verordnung Nr. 3954/87 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermitteln, die Euratom-Verordnung Nr. 944/89 (Nahrungsmittel von geringerer Bedeutung) und die Euratom-Verordnung Nr. 770/90 (Futtermittel) erlassen.

Diese Verordnungen legten das Verfahren zur Bestimmung der Höchstwerte für Radioaktivität in Nahrungsmitteln und in Futtermitteln fest, die nach einem nuklearen Unfall oder einer anderen radiologischen Notfallsituation auf den Markt gelangen können.

Die Höchstwertverordnung (Euratom) Nr. 3954/87 selbst wurde nach dem Unfallablauf im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi 2011 von der EU nicht für den Erlass einer Durchführungsverordnung herangezogen. Bei der Festlegung der Werte war an einen kerntechnischen Unfall gedacht worden, durch den die Lebensmittelversorgung für Europa gefährdet sein könnte. Dieser Fall war durch die Lage im Kernkraftwerk Fukushima nicht gegeben.

Am 15. Januar 2016 wurde eine Neufassung der Höchstwertverordnung vom Rat der Europäischen Union beschlossen (siehe Verordnung (Euratom) 2016/52, siehe Nr. 74, Seite 22). Diese trat am 09. Februar 2016 in Kraft und ersetzt die o. g. Euratom-Verordnung Nr. 3954/87. Mit der auf das allgemeine EU-Lebensmittelrecht gestützten Durchführungsverordnung (EU) Nr. 961/2011 vom 26. März 2011 traten die ersten Sondervorschriften für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln aus Japan in Kraft, die die Werte aus der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 als Grenzwerte für das Inverkehrbringen japanischer Lebensmittel in der EU festlegte. Mit der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 351/2011 wurden im April 2011 die Werte inzwischen festgelegter niedrigerer japanischer Grenzwerte übernommen. Die Importbestimmungen wurden seit dem Jahr 2011 auf Grundlage der Auswertung von Messergebnissen nach mehreren Vegetationsperioden sowie von Kontrollmessungen überarbeitet und der jeweils aktuellen Situation angepasst. Mit Datum vom 24. Oktober 2019 regelt die Durchführungsverordnung (EU) Nr. 2019/1787 die besonderen Bedingungen für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln aus Japan.

Mit der Neufassung der Euratom-Höchstwerte-Verordnung wurde eine flexible Regelung geschaffen, auf deren Basis die Kommission unter Beteiligung der Mitgliedstaaten im Falle eines nuklearen Unfalls oder eines anderen radiologischen Notfalls mittels Durchführungsverordnung europaweit einheitliche Grenzwerte für Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermitteln in Kraft setzen kann. Die Möglichkeit, unter Berücksichtigung der spezifischen Umstände des Unfalls ggf. niedrigere Grenzwerte als die nach der Basisverordnung Nr. 2016/52 maximal zulässigen Höchstwerte festzulegen, stellt eine wesentliche Verbesserung gegenüber früher geltenden Regelungen in der Durchführungsverordnung dar.

2.3 Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität erwuchs durch die Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1957 und 1958 und den späteren großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung zusätzlich die Aufgabe der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Emission und Immission). Die rechtlichen Verpflichtungen dazu leiten sich aus dem Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung ab und werden sowohl von den Betreibern der Anlage selbst als auch von unabhängigen Messstellen der Länder umgesetzt. Die Messaufgaben sind seit 1993 in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) festgesetzt (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 07. Dezember 2005, GMBI 2006, S. 254).

Überwachung der Umgebung bei bergbaulichen und anderen Tätigkeiten in den neuen Bundesländern

In den neuen Bundesländern wurde gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radonzerfallsprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. Die Art der Überwachung änderte sich durch das Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (Seite 19) nur unwesentlich.

Tabelle G 1 Übersicht über die Verwaltungsbehörden des Bundes zur Überwachung der Umwelt- bzw. Umgebungsradioaktivität gemäß StrlSchG, IMIS-ZustV bzw. REI (Leitstellen)
(*Overview of the federal administrative authorities for the monitoring of environmental and ambient radioactivity in accordance with StrlSchG and REI*)

Deutscher Wetterdienst, Zentralamt Offenbach am Main	Messung von Luft und Niederschlag, Ausbreitungsprognose, Spurenanalyse
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig	Spurenanalyse, Bereitstellung von Aktivitätsnormalen
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz	Bundeswasserstraßen, oberirdische Gewässer Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg	Nord- und Ostsee einschließlich Küstengewässer Meerwasser, Schwebstoff und Sediment
Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven	Fische, Fischprodukte, Krusten- und Schalentiere, Wasserpflanzen, Plankton
Max Rubner-Institut, Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Kiel	Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft
Bundesamt für Strahlenschutz Salzgitter Neuherberg Berlin Freiburg Bonn Rendsburg (Cottbus)	mobile Ermittlung der Radioaktivität Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm und Abfälle Umweltradioaktivität, die aus bergbaulicher Tätigkeiten in Gegenwart natürlich radioaktiver Stoffe (besonders Radon und seine Folgeprodukte) stammt Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe Fortluftüberwachung kerntechnischer Anlagen Gamma-Ortsdosisleistung, Spurenanalyse, Zusammenfassung der vom Bund ermittelten Daten über Luft und Niederschlag Abwasserüberwachung kerntechnischer Anlagen

Im folgenden Abschnitt werden gesetzliche Grundlagen, die für die in diesem Bericht vorgestellten Daten relevant sind, in Auswahl vorgestellt.

2.4 Strahlenschutzmaßnahmen - Die Euratom-Grundnormen

Die Richtlinie 2013/59/Euratom des Europäischen Rates vom 5. Dezember 2013 ist am 06.02.2014 in Kraft getreten und ist die Grundlage des Strahlenschutzgesetzes und der neuen Strahlenschutzverordnung. In dieser Richtlinie werden einheitliche grundlegende Sicherheitsnormen für den Schutz von Personen, die beruflicher oder medizinischer Exposition oder der allgemeinen Exposition der Bevölkerung ausgesetzt sind, vor den Gefahren durch ionisierende Strahlung festgelegt.

Die Mitgliedstaaten verfügten über eine Frist von vier Jahren zur Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht. In Deutschland erfolgte die Umsetzung durch das Strahlenschutzgesetz vom 27.06.2017.

Die Euratom-Grundnormen zum Strahlenschutz erschließen neue Bereiche, zum Beispiel Schutzmaßnahmen gegen Radon oder die radiologische Bewertung von Baumaterialien. Andere Bereiche, zum Beispiel industrielle Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM), werden strahlenschutzrechtlich stärker als bisher erfasst.

Den Mitgliedstaaten wird aber auch in weiten Teilen Flexibilität gewährt, beispielsweise

- bei der Entscheidung, ob und welche Sachverhalte dem neu eingeführten vereinfachten Genehmigungsverfahren (registration) unterworfen werden;
- bei der Ausgestaltung des neuen behördlichen Verfahrens zur Identifizierung und Bewertung radiologisch relevanter Baumaterialien;
- bei der Erstellung des Radonaktionsplans;
- bei der Entscheidung, welche Anforderungen zum beruflichen Strahlenschutz auf Radonarbeitsplätze anwendbar sein sollen, bei denen die Strahlenexposition eine effektive Dosis von 6 Millisievert im Jahr überschreiten kann;
- im Zusammenhang mit der Erteilung von Ableitungsgenehmigungen: in welchen Fällen die Durchführung einer allgemeinen Untersuchung (generic screening assessment) gefordert wird, die aufzeigt, dass Umweltkriterien zum Langzeitgesundheitsschutz des Menschen eingehalten werden.

Die Bundesländer waren intensiv an der Erarbeitung des Entwurfs des Strahlenschutzgesetzes, mit dem die Euratom-Grundnormen in deutsches Recht umgesetzt worden sind, beteiligt.

2.5 Strahlenschutzmaßnahmen - Umsetzung in deutsches Recht (Überarbeitungsstand 2020)

Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der Summe der effektiven Dosen laut § 80 StrSchG 1 Millisievert im Kalenderjahr durch Expositionen aus

- genehmigungs- oder anzeigebedürftigen Tätigkeiten nach diesem Gesetz oder dem Atomgesetz,
- der staatlichen Verwahrung von Kernbrennstoffen nach § 5 Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes,
- der planfeststellungsbedürftigen Errichtung, dem planfeststellungsbedürftigen Betrieb oder der planfeststellungsbedürftigen Stilllegung der in § 9a Absatz 3 des Atomgesetzes genannten Anlagen des Bundes und
- dem Aufsuchen, Gewinnen oder Aufbereiten von radioaktiven Bodenschätzen, wenn dies der Betriebsplanpflicht nach § 51 des Bundesberggesetzes unterliegt.

Der Grenzwert der Summe der Organ-Äquivalentdosen für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und für die lokale Hautdosis 50 Millisievert im Kalenderjahr.

Expositionen auf Grund nichtmedizinischer Anwendung nach § 83 Absatz 1 Nummer 2 StrlSchG werden bei den Grenzwerten für Einzelpersonen der Bevölkerung nicht berücksichtigt.

Die zuständige Behörde hat darauf hinzuwirken, dass bei mehreren zu betrachtenden genehmigungs- oder anzeigebedürftigen Tätigkeiten die genannten Grenzwerte insgesamt eingehalten werden. Auch unterhalb der Grenzwerte ist die Exposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt so gering wie möglich zu halten und jede unnötige Exposition oder Kontamination zu vermeiden.

Nach Verkündung des StrlSchG im Jahr 2017 wurde eine neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) erarbeitet, die zusammen mit dem überwiegenden Teil des StrlSchG am 31.12.2018 in Kraft getreten ist. Von dieser handelt dieser Abschnitt. Wenn auf die vorher gültige Strahlenschutzverordnung Bezug genommen wird, so wird diese als StrlSchV 2001" bezeichnet.

Nach Begriffsbestimmungen in Teil 1 regelt die Strahlenschutzverordnung geplante Expositionssituationen (Teil 2), Notfallexpositionssituationen (Teil 3), bestehenden Expositionssituationen (Teil 4), übergreifenden Vorschriften (Teil 5) und Schlussbestimmungen (Teil 6).

Zu geplanten Expositionssituationen enthält die StrlSchV Vorgaben zum beruflichen und medizinischen Strahlenschutz sowie zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt. Diese betreffen u. a.

- die betriebliche Organisation des Strahlenschutzes,
- Fachkunde und Kenntnisse,
- Vorschriften zum Schutz beruflich exponierter Personen,
- die physikalische Strahlenschutzkontrolle und Strahlenschutzbereiche,
- die ärztliche Überwachung beruflich exponierter Personen,
- Anforderungen an Röntgen- und Bestrahlungsräume,
- die Sicherheit von Strahlenquellen,
- Bauartzulassungen,
- Anforderungen bzgl. der Anwendung ionisierender Strahlen am Menschen,
- den Strahlenschutz in Schulen,
- die Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe,
- Anforderungen an die Freigabe radioaktiver Stoffe.

Bzgl. *Notfallexpositionssituationen* ergänzt die StrlSchV Regelungen des StrlSchG zum radiologischen Notfallmanagement insbesondere hinsichtlich des Strahlenschutzes von Einsatzkräften.

Zu *bestehenden Expositionssituationen* enthält die StrlSchV u. a.

- Regelungen zum Schutz vor Radon,
- konkretisierende Vorgaben zur Bewältigung radioaktiver Altlasten,
- Verfahrensregelungen.

Übergreifend enthält die StrlSchV Bestimmungen insbesondere zu

- Dosis- und Messgrößen,
- Messstellen für die Ermittlung der beruflichen Strahlenexposition,
- Anforderungen an ermächtigte Ärzte,
- Sachverständigen.

In den *Schlussbestimmungen* werden Ordnungswidrigkeiten im Rahmen des Strahlenschutzes aufgezählt und die Übergangsvorschriften genannt.

Anlage 18 zu den Dosis- und Messgrößen enthält detaillierte Vorgaben zur Messung und der Berechnung von Strahlungsdosen sowie die zu verwendenden Gewebe- bzw. Strahlungs-Wichtungsfaktoren und Qualitätsfaktoren. Diese sind hier in den Abschnitten 2.2 bis 2.4 dargestellt.

2.6 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Stand 31.12.2020

Gesetze

Anm.: Hier aus historischen Gründen angeführt:

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I Seite 2610), zuletzt geändert durch Artikel 91 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I Seite 1474), ist durch Artikel 4 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I Seite 1966) mit Wirkung vom 1. Oktober 2017 aufgehoben worden

1. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - **AtG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Art. 3 des Gesetzes vom 07. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760)
2. Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – **StrlSchG**) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), geändert durch Artikel 5 Absatz 1 des Gesetzes vom 23. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2237)
3. Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln (Arzneimittelgesetz - **AMG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005 (BGBl. I S. 3394), geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 09. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2870)
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz (**BAStrlSchG**) vom 9. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1830), zuletzt geändert durch Artikel 116 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328)
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes (**BAusfAmtG**) vom 28. Februar 1992, (BGBl. I S. 376), zuletzt geändert durch Artikel 250 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - **ENeuOG**) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, (1994, 2439)), zuletzt geändert durch Artikel 107 des Gesetzes vom 8. Juli 2016 (BGBl. I S. 1594)
7. Umweltinformationsgesetz (**UIG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Oktober 2014 (BGBl. I S. 1643), geändert durch Artikel 2 Absatz 17 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808)
8. Gefahrgutbeförderungsgesetz (**GGBefG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. Juli 2009 (BGBl. I S. 1774, 3975), zuletzt geändert durch Artikel 13 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510)
9. Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (**NiSG**) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2433), zuletzt geändert durch Artikel 9a des Gesetzes vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 960)

Verordnungen

Anm.: Hier aus historischen Gründen angeführt:

*Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - **RöV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604), zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010), gemäß Artikel 20 Absatz 1 der Verordnung vom 29.11.2018 (BGBl. I S. 2034, 2036) außer Kraft getreten am 31. Dezember 2018*

*Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - **StrlSchV 2001**) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, 2002, S. 1459), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114, 1222), gemäß Artikel 20 Absatz 1 der Verordnung vom 29.11.2018 (BGBl. I S. 2034, 2036) außer Kraft getreten am 31. Dezember 2018*

10. Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung **StrlSchV**) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. November 2020 (BGBl. I S. 2502)
11. Verordnung über die Zuständigkeiten von Bundesbehörden im integrierten Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Umweltradioaktivität nach dem Strahlenschutzgesetz (IMIS-Zuständigkeitsverordnung - **IMIS-ZustV**) vom 5. Oktober 2017 (BGBl. I, S. 3536)
12. Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (**GGVSEB**) vom in der Fassung vom 11. März 2019 (BGBl. I S. 258), geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510)
13. Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensordnung - **AtVfV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. Februar 1995 (BGBl. I S. 180), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 11. November 2020 (BGBl. I S. 2428)
14. Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - **AtDeckV**) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch Artikel 13 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034)
15. Kostenverordnung zum Atomgesetz und zum Strahlenschutzgesetz (**AtSKostV**) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510)
16. Verordnung über Vorausleistungen für die Einrichtung von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (Endlagervorausleistungsverordnung - **EndlagerVfV**) vom 28. April 1982 (BGBl. I S. 562), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 7. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760)
17. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen, Neutronen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittelbestrahlungsverordnung - **LMBestrV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Februar 2019 (BGBl. I S. 116)
18. Verordnung über radioaktive oder mit ionisierenden Strahlen behandelte Arzneimittel (**AMRadV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Januar 2007 (BGBl. I S. 48), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034)
19. Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldung von Störfällen und sonstigen Ereignissen (atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - **AtSMV**) vom 14. Oktober 1992 (BGBl. I S. 1766), zuletzt geändert durch Artikel 18 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034)
20. Die Verordnungen zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz wurden durch Artikel 3 Absatz 2 des Gesetzes vom 8. April 2008 (BGBl. I S. 686) aufgehoben. Die Regelungen wurden in den durch Artikel 1 Nr. 13 des Gesetzes vom 08. April 2008 neugefassten § 11 StrVG aufgenommen.
21. Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266)
22. Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (**AtAV**) vom 30. April 2009 (BGBl. I S. 1000), zuletzt geändert durch Artikel 241 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328)
23. Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (**BEMFV**) vom 20. August 2002 (BGBl. I, S. 3366), zuletzt geändert durch Artikel 3 Absatz 3 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I, S. 1947)
24. Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung (UV-Schutz-Verordnung **UVSV**) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412)
25. Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch Trinkwasserverordnung (**TrinkwV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), zuletzt geändert durch Artikel 99 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328)
26. Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (**NiSV**) vom 5. Dezember 2018 (BGBl. I, S. 2034)
27. Verordnung zur Festlegung von Dosiswerten für frühe Notfallschutzmaßnahmen (Notfall-Dosiswerte-Verordnung - NDWW) vom 29. November 2018 (BGBl. I. S. 2034, 2172)

Allgemeine Verwaltungsvorschriften

28. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (**AVV-IMIS**) vom 13. Dezember 2006 (BAnz.

2006, Nr. 244a vom 29. Dezember 2006)

http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_13122006_RSII5114349.htm

- Anhang 1: Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm)
- Anhang 2: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm)
- Anhang 3: Bundeseinheitliche Deskriptorenliste (BEDL)

29. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - **AVV-StrahLe**) vom 28. Juni 2000 (GMBI. 2000, Nr. 25, S. 490)
30. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen) vom 28. August 2012 (BAnz AT 05.09.2012B1)
31. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (**AVV Tätigkeiten**) vom 8. Juni 2020 (BAnz AT 16.06.2020 B3)

Richtlinien

32. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor. Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge vom 10. Juli 1978 (GMBI. 1978, S. 418)
33. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen: Teil 2: Die Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung - IWRS II vom 17. Januar 2005 (GMBI. 2005, Nr. 13, S. 258)
34. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom 15. Februar 1992 (GMBI. 1992, S. 150)
35. Richtlinie zu Dichtheitsprüfungen von umschlossenen Strahlenquellen vom 04. Februar 2004 (GMBI. 2004, S. 530, geändert am 7. September 2012 (GMBI. 2012, Nr. 47/48, S.919))
36. Richtlinie nach StrlSchV: „Strahlenschutz in der Medizin“ vom 26. Mai 2011 (GMBI. 2011, Nr. 44-47, S. 867), geändert durch Rundschreiben des BMUB vom 11. Juli 2014 (GMBI. 2014, Nr. 49, S. 1020)
37. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 07. Dezember 2005 (GMBI. 2006, S. 254)
38. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Strahlenschutzverordnung) vom 21. Juni 2004 (GMBI. 2004, Nr. 40/41, S. 799), geändert am 19. April 2006 (GMBI. 2006, Nr. 38, S. 735)
39. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und Kenntnisse beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen zur technischen Anwendung und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Röntgenverordnung) vom 21. November 2011 (GMBI. 2011, Nr. 52/53, S.1039), geändert am 23. Juni 2014 (GMBI. 2014, Nr. 44/45, S. 918)
40. Richtlinie für die Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten in Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen vom 20. Februar 2014 (GMBI. 2014, Nr. 13, S. 289)
41. Richtlinie für die Fachkunde von verantwortlichen Personen in Anlagen zur Herstellung von Brennelementen für Kernkraftwerke vom 30. November 1995 (GMBI. 1996, Nr. 2, S. 29)
42. Durchführung der Röntgenverordnung; Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin vom 22. Dezember 2005 (GMBI. 2006, Nr. 22, S. 414), geändert am 27. Juni 2012 (GMBI. 2012, Nr. 40, S. 724), korrigiert am 28. November 2012 (GMBI. 2012, Nr. 61, S. 1204)
43. Vollzug der Röntgenverordnung hier: Qualitätssicherungs-Richtlinie (QS-RL) vom 23. Juni 2014 (GMBI. 2014, Nr. 44/45, S. 918)
44. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Strahlenschutz in der Tierheilkunde“ vom 25. September 2014 (GMBI. 2014, Nr. 76/77, S. 1581)
45. Durchführung der Röntgenverordnung: Richtlinie für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern - Richtlinie für Sachverständigenprüfungen nach der Röntgenverordnung (SV-RL) - vom 9. Januar 2009, geändert am 1. August 2011 (GMBI. 2012, Nr. 6, S. 98)
46. Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV); Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 66 Abs. 2 StrlSchV vom 11. Juni 2002 (GMBI. 2002, Nr. 30, S. 620)
47. Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV); Prüfungen nach § 66 Abs. 2 StrlSchV an Anlagen und Bestrahlungsvorrichtungen gemäß Nr. 3.3 und 4.1 der Rahmenrichtlinie zur Überprüfung nach § 66 Abs. 2 StrlSchV vom 11. Juni 2002 (GMBI. 2002, S. 620) vom 13. Oktober 2004 (GMBI. 2004, Nr. 55-57, S. 1089), geändert am 7. Juli 2014 (GMBI. 2014, Nr. 49, S. 1006)

48. Richtlinie für die Physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 1: Ermittlung der Körperdosis bei äußerer Strahlenexposition (§§ 40, 41, 42 StrlSchV; § 35 RöV) vom 8. Dezember 2003 (GMBI. 2004, Nr. 22, S. 410)
49. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV) vom 12. Januar 2007 (GMBI. 2007, Nr. 31/32, S. 623), Anhänge 1 bis 6, Anhang 7.1, Anhang 7.2, Anhang 7.3, Anhang 7.4
50. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte“ vom 18. Dezember 2003 (GMBI. 2004, S. 350), zuletzt geändert mit Wirkung vom 1. März 2004 durch Beschluss der Bund-Länderausschlüsse
51. Richtlinie zur Begrenzung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen bei Arbeiten vom 15. Dezember 2003 (GMBI. 2004, Nr. 22, S. 418)
52. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Qualitätssicherung durch ärztliche und zahnärztliche Stellen“ vom 23. Juni 2015 (GMBI. 2015, Nr. 51, S. 1026)
53. Richtlinie zur Durchführung der StrlSchV und der RöV über „Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung“ vom 10. Dezember 2001; (GMBI. 2002, S. 136)
54. Richtlinie zur Emissions- und Immisionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) vom 11. August 1997

Empfehlungen, Erläuterungen

55. Merkposten zu Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 Abs. 1 und 2 StrlSchV (GMBI. 2004 S. 9)
56. Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK), Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden vom 30. Juni 1994 (BAnz. Nr. 155, S. 8766 vom 18. August 1994)
57. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken vom 10. Mai 1978 (GMBI. 1978, S. 313) und vom 5. Februar 1996 (GMBI. 1996, S. 247)
58. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 12. August 2005 (GMBI. 2005, Nr. 51, S. 1049 - RdSchr. d. BMU v. 12.8.2005 - RS II 5 - 17031 - 3/4)
59. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 163)
60. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
61. Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung: Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 30. März 2015 (GMBI. 2015, Nr. 16, S. 306)
62. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 21. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
63. Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes vom 21. März 1983 (GMBI. 1983, S. 176)
64. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 71), Neufassung v. 19./20.02.2015 nach Empfehlung der SSK v. 19.02.2015 (BAnz AT 04.01.2016 B4)
65. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzung von Radionukliden, Neufassung v.13.02.2014 (BAnz AT 18.11.2014 B5)
66. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBl 2/90, S.137)

Sicherheitsregeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA-Regeln)

67. KTA-Regel 1503.1: Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb (Fassung 2016-11; (BAnz. AT vom 10.03.2018 B5)
68. KTA-Regel 1504: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (Fassung 2017-11)
69. KTA-Regel 1507: Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren; Fassung 2017-11
70. KTA Regel 1508: Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre (Fassung 2017-11)

EURATOM- und EU-Verordnungen und Richtlinien

71. Verordnung (Euratom) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. 1993, L 148 S. 1)
72. Verordnung (EG) Nr. 733/2008 des Rates vom 15. Juli 2008 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (L 201/1-7)
73. Verordnung (EG) Nr. 1048/2009 des Rates vom 23. Oktober 2009 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 733/2008 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (L 290/4)
74. Verordnung (Euratom) 2016/52 des Rates vom 15. Januar 2016 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Lebens- und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder eines anderen radiologischen Notfalls und zur Aufhebung der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates und der Verordnungen (Euratom) Nr. 944/89 und (Euratom) Nr. 770/90 der Kommission
75. Richtlinie 2003/4/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2003 über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen und zur Aufhebung der Richtlinie 90/313/EWG des Rates (ABl. 2003 L 41 S. 26)
76. Richtlinie 2008/68/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. September 2008 über die Beförderung gefährlicher Güter im Binnenland (ABl. L 260 vom 30.9.2008, S. 13), zuletzt geändert durch Durchführungsbeschluss (EU) 2020/1241 der Kommission vom 28. August 2020
77. Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung (ABl.Nr. L 13/1)
78. Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 09. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, zuletzt geändert durch Durchführungsbeschluss (EU) 2019/451 der Kommission vom 19. März 2019
79. Richtlinie 2013/51/Euratom des Rates vom 22. Oktober 2013 zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch (ABl.Nr. L 296/12)
80. Durchführungsverordnung (EU) 2017/2058 der Kommission vom 10. November 2017 zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2016/6 mit besonderen Bedingungen für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln, deren Ursprung oder Herkunft Japan ist, nach dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima (ABl.Nr. L 294/29)

I GRUNDLAGEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt

Natürlich radioaktive Stoffe - natürliche Radionuklide - sind seit jeher Bestandteil unserer Umwelt. Ihrem Ursprung nach unterscheidet man drei Gruppen natürlich radioaktiver Stoffe:

- Radionuklide ohne Zerfallsreihen,
- Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen,
- Radionuklide, die ständig durch kosmische Strahlung erzeugt werden.

Die Radionuklide der ersten Gruppe haben ebenso wie die Ausgangsradioklide der zweiten Gruppe (primordiale Radionuklide) Halbwertszeiten (HWZ) in der Größenordnung von Milliarden Jahren. Das wichtigste Radionuklid in dieser Gruppe ist Kalium-40, es kommt zu 0,0117 % als Bestandteil des Elementes Kalium in der Natur vor. Darüber hinaus sind mehr als 10 weitere Radionuklide ohne Zerfallsreihe bekannt, z. B. Rb-87, die aber keinen wesentlichen Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition liefern.

Die für den Strahlenschutz wichtigen Radionuklide stammen aus den natürlichen Zerfallsreihen:

- Uran-Radium-Zerfallsreihe, ausgehend von U-238 mit einer HWZ von 4,5 Milliarden Jahren,
- Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von U-235 mit einer HWZ von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von Th-232 mit einer HWZ von 14 Milliarden Jahren.

Von diesen drei Zerfallsreihen liefern die Uran-Radium- und die Thorium-Zerfallsreihe den größten Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition.

Zur dritten Gruppe gehören Radionuklide, die ständig durch die primäre kosmische Strahlung in der Atmosphäre erzeugt werden, z. B. H-3 (HWZ 12,3 Jahre), Be-7 (HWZ 53,3 Tage), Kohlenstoff-14 (HWZ 5 730 Jahre) und Na-22 (HWZ 2,6 Jahre).

Überall dort, wo Uran und Thorium im Erdboden vorhanden sind, entstehen als radioaktive Zerfallsprodukte Isotope des Edelgases Radon, die besonders mobil sind. Aus U-238 entsteht über Ra-226 das Rn-222 (HWZ 3,8 Tage); aus Th-232 über die Zwischenprodukte Ra-228 und Ra-224 das Rn-220 (HWZ 55,6 Sekunden) und aus dem U-235 das Rn-219 (HWZ 3,96 Sekunden). Auf Grund der längeren HWZ sind im Normalfall das Rn-222 und hierbei seine kurzlebigen Zerfallsprodukte (Po-218, Pb-214, Bi-214 und Po-214) für die Strahlenexposition von besonderer Bedeutung.

Abbildung G I 1-1 zeigt die Entstehung des Rn-222 und seiner Zerfallsprodukte in der bodennahen Luft.

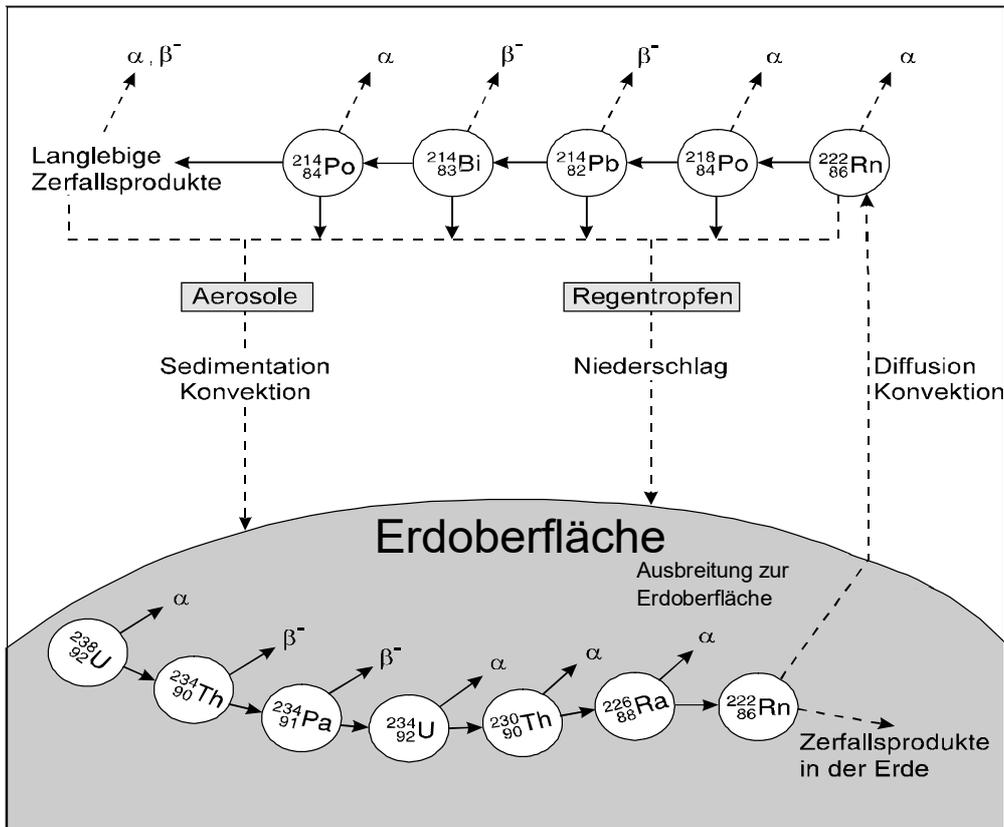


Abbildung G I 1-1 Entstehung des Rn-222 und seiner Zerfallsprodukte aus U-238
(Production of Rn-222 and its decay products from U-238)

1.1 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden

Die Radioaktivität in Böden wird häufig durch den Gehalt an natürlichen Radionukliden im Ursprungsgestein bestimmt. Da in kieselsäurereichen Magmagessteinen die spezifische Aktivität primordialer Radionuklide gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagessteine auch höhere Werte dieser Radionuklide. Das radioaktive Gleichgewicht in den Böden kann durch verschiedene Prozesse, z. B. durch unterschiedliche Löslichkeit der Radionuklide, gestört werden. [Tabelle G I 1.1-1](#) zeigt typische Werte der spezifischen Aktivität in Becquerel pro Kilogramm Trockenmasse (Bq/kg TM) für einige Bodenarten (Messungen des BFS).

Tabelle G I 1.1-1 Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten
(*Typical values for the specific activity of different soil consistencies*)

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

In [Tabelle G I 1.1-2](#) sind Ergebnisse von Messungen der spezifischen Ra-226-Aktivität von Bodenproben aus den Regionen des Uran- und Kupferschieferbergbaus in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt Messergebnissen aus dem norddeutschen Raum und anderen Gebieten Deutschlands gegenübergestellt. Auf Grund des Urangehaltes in den Gesteinen sind in den Böden der genannten Bergbauregionen die mittleren Werte der spezifischen Aktivität höher als in anderen Regionen. So beträgt die mittlere spezifische Ra-226-Aktivität in den Böden im Bergbauggebiet etwa 70 Bq/kg, während als mittlerer Wert für das gesamte Bundesgebiet 40 Bq/kg ermittelt worden sind.

Tabelle G I 1.1-2 Typische Bereiche der spezifischen Aktivität von Ra-226 in Böden
(*Typical areas for specific Ra-226 activity in soil*)

Gebiet	Wertebereich spez. Ra-226-Aktivität (Bq/kg TM)
Raum Mansfeld (Sachsen-Anhalt)	17 – 64
Raum Aue (Sachsen)	27 – 80*
Erzgebirgisches Becken	18 – 130
Thüringer Bergbauggebiet	21 – 170**
Mecklenburg-Vorpommern	8 – 12
Brandenburg	9 – 15
übriges Bundesgebiet	10 – 200

* Einzelwerte bis 300 Bq/kg

** Einzelwerte bis 400 Bq/kg

1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser

Natürliche Radionuklide in Oberflächenwässern (einschließlich Meereswässern), Grund-, Quell- und Stollenwässern und insbesondere in Trinkwässern wurden im Rahmen von verschiedenen Umweltüberwachungsprogrammen und Forschungsvorhaben ermittelt. Typische Werte sind in [Tabelle G I 1.2-1](#) zusammengefasst.

Im Oberflächenwasser der Binnengewässer sind von den primordialen Radionukliden insbesondere K-40, U-238 mit Tochternukliden (TN), U-235 mit TN und Th-232 mit TN relevant. Bezüglich ihrer Aktivitätskonzentrationen weisen diese Radionuklide praktisch keine zeitliche Abhängigkeit auf. Ausgeprägt und typisch sind jedoch die regionalen Schwankungen, die mit den unterschiedlichen geologischen Verhältnissen in Deutschland zu erklären sind. Hinzu kommen noch die kosmogenen Radionuklide H-3 und Be-7 (siehe [Tabelle G I 1.2-1](#)).

Tabelle G I 1.2-1 Natürliche radioaktive Stoffe in Wässern und Sedimenten
(Natural radioactive substances in bodies of water and sediments)

Kompartiment	Radionuklid	Wertebereich
		Aktivitätskonzentration (mBq/l)
Grundwasser	H-3	<40 - 400
	K-40	11 - 15 000
	U-238	1 - 200
	Ra-226	<4 - 400
	Rn-222 und kurzlebige Folgeprodukte	2000 - 1 500 000
	Th-232	0,4 - 70
Oberflächenwasser der Binnengewässer (Daten aus Routinemessprogramm zum StrVG)	H-3	- 1000*
	Be-7	- 500
	K-40	30 - 1000
	Th-232	<10 - 100
	U-235	< 10
	U-238	<10 - 100
		spez. Aktivität (mBq/g)
Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer (Daten aus Routinemessprogramm zum StrVG)	Be-7	- 1000
	K-40	50 - 1000
	Th-232	<10 - 100
	U-235	<1 - 10
	U-238	<10 - 100
		Aktivitätskonzentration (mBq/l)
Meerwasser (Daten des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie und aus der Literatur)	H-3	20 - 100**
	Be-7	1,1 - 3,4
	C-14	5,5 - 6,7
	Si-32	0,0002 - 0,0033
	K-40	11 800 - 12 300
	Rb-87	104 - 105 [2]
	U-238	40 - 41 [3]
	Th-234	0,6 - 6,8
	U-234	41 - 43 [3]
	Th-230	0,001 - 0,0038 [4]
	Ra-226	0,8 - 8
	Pb-210	0,4 - 2
	Po-210	0,6 - 1,9
	Th-232	0,0004 - 0,029
	Ra-228	0,8 - 8
Th-228	0,004 - 0,3	
U-235	1,87 - 1,93 [3]	
		spez. Aktivität (mBq/g)
Sediment der Nord- und Ostsee (Werte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, für Th-234, U-234 und Th-230 wurde weitgehend radioaktives Gleichgewicht mit U-238 in den Sedimenten der Nordsee angenommen)	K-40	100 - 1000
	U-238	2,5 - 186
	Th-234	-
	U-234	-
	Th-230	-
	Ra-226	20 - 80
	Pb-210	100 - 300***
	Po-210	100 - 300***
Th-232	12 - 50	

* kosmogener Anteil

** Diese Konzentrationen sind nur in ozeanischem Tiefenwasser (Wasser ohne anthropogenen Einfluss) zu finden.

*** Dieser Wert gilt für Oberflächensedimente. Durch Eintrag von Rn-222-Folgeprodukten aus der Atmosphäre in das Meer ergibt sich ein Überschuss an Pb-210 bzw. Po-210 in Oberflächensedimenten gegenüber dem möglichen Zerfall aus Ra-226. Das Alter einer Sedimentablagerung kann damit über den Zerfall des Pb-210 in ungestörten Sedimenten ermittelt werden.

In Schwebstoffen und Sedimenten aus Binnengewässern sind K-40, U-238 mit TN, U-235 mit TN und Th-232 mit TN von Bedeutung. Auch hier weisen die spezifischen Aktivitäten die typischen regionalen Schwankungen auf. Das kosmogene Be-7 ist vor allem in Schwebstoffen und in jungen Sedimenten nachzuweisen; die Gehalte variieren stark und sind abhängig von der Entstehung in der Atmosphäre und der Art des Eintrages in die Gewässer.

Unter den natürlichen Radionukliden im Meerwasser sind vor allem K-40, Rb-87 sowie die Radionuklide der U-238-, U-235- und Th-232-Zerfallsreihen zu nennen. Meerwasser enthält eine relativ hohe natürliche U-238-Konzentration von etwa 3,3 µg/l. Die kosmogenen Nuklide H-3 und Be-7 werden über die Atmosphäre in das Meer eingetragen. [Tabelle G I 1.2-1](#) gibt die Hintergrundkonzentrationen der wichtigsten natürlichen Radionuklide wieder. Für eine Strahlenexposition des Menschen durch Verzehr von Meerestieren spielt der α-Strahler Po-210 die größte Rolle.

[Tabelle G I 1.2-2](#) gibt einen Überblick über die aus den vorliegenden Messdaten ermittelten Mediane und Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen relevanter natürlicher Radionuklide in Trinkwässern. Berücksichtigt wurden nur aufbereitete Wässer, sogenannte Reinwässer und Wässer, die ohne weitere Behandlung als Trinkwasser genutzt werden. Die zu Grunde liegenden Daten stammen aus dem BfS-Trinkwasser-Messprogramm von 2003-2007 [1] sowie früheren speziellen Untersuchungen der Leitstelle Trinkwasser im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene seit 1975, ab 1995 im BfS [5-8]. Für einige Isotope des Thoriums liegen überwiegend nur Werte aus Gebieten erhöhter natürlicher Radioaktivität (Erzgebirge/Vogtland) vor. Diese sind daher nur eingeschränkt repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet. Neben den errechneten Medianwerten (50 %-Perzentilen) werden in diesen Fällen für das Gesamtgebiet geschätzte Medianwerte (in Klammern) angegeben. Die oberen Grenzen für die angegebenen Wertebereiche werden durch die 95 %-Perzentile gebildet, d. h. in 5 % der Fälle treten definitionsgemäß höhere Werte auf, die in Extremfällen um ein bis zwei Größenordnungen darüber liegen können.

Tabelle G I 1.2-2 Konzentrationen wichtiger natürlicher Radionuklide im Trinkwasser
(Concentrations of the main natural radionuclides in drinking water)

Radionuklid	Medianwert	Wertebereich**
	spez. Aktivität (mBq/l)	
U-238	3,2	< 0,5 - 100
U-234	5,3	< 0,5 - 170
U-235	0,15	< 0,2 - 4,6
Ra-226	4,8	< 0,5 - 33
Ra-226 (Mineralwasser)	23	< 0,5 - 310
Th-232	0,5 (0,1)*	< 0,1 - 4
Th-228	1 (0,2)*	< 0,2 - 6
Ra-228	4,6	< 0,5 - 26
Rn-222	5900	<1000 - 122 000
Pb-210	2,3	< 0,2 - 24
Po-210	1,4	< 0,1 - 10
Kalium-40	70	3 - 800
Kalium-40 (Mineralwasser)	1500	30 - 16 000

* Bei den in Klammern angegebenen Werten handelt es sich um Schätzwerte, die sich aus dem Verhältnis der Werte aus Gebieten erhöhter Radioaktivität (Erzgebirge/Vogtland) zum Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland ergeben für Ra-226 beträgt der Faktor etwa 4).

** Die oberen Grenzen für die angegebenen Wertebereiche werden durch die 95 %-Perzentile gebildet.

Aus den Messungen der Rn-222-Konzentrationen in Trinkwässern Deutschlands (Gesamtbestand der vorliegenden 2476 Daten) ergibt sich ein Median von 5,9 Becquerel pro Liter (Bq/l) bei einem 95 %-Perzentil von etwa 120 Bq/l. Etwa 10 % der Werte liegen oberhalb von 50 Bq/l; der höchste Wert betrug 1850 Bq/l. Die Messungen der Radon-222-Konzentrationen erfolgten zum größten Teil bei Endverbrauchern, z. B. in Privathaushalten, zum kleineren Teil in Wasserversorgungsanlagen; bei letzteren ergab sich ein Median von 7,5 Bq/l [1].

Das ozeanische Meerwasser besitzt einen Salzgehalt von etwa 35 Promille. Im Salz des Meeres sind auch natürliche Radionuklide enthalten, deren Konzentrationen zum Teil proportional zum Salzgehalt in den Küstengewässern abnehmen oder auch durch geochemische Prozesse aus der Wassersäule angereichert werden.

Literatur

[1] Beyermann M, Bünger T, Gehrcke K, Obrikat D (2009): Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland, BfS-SW-Bericht, BfS-SW-06/09, urn:nbn:de:0221-20100319945, Salzgitter, 2009

[2] Riley JP, Tongudai M; Caesium and Rubidium in Sea Water, Chem Geol 1966,1:291-294

[3] Owens SA, Buesseler KO, Sims KWW: Re-evaluating the ²³⁸U-salinity relationship in seawater; Implications for the ²³⁸U-²³⁴Th disequilibrium method, Marine Chemistry 2011, 127:31-39

- [4] Hsieh YT, Henderson GM, Thomas AL: Combining seawater ²³²Th and ²³⁰Th concentrations to determine dust fluxes to the surface ocean, Earth and Planetary Science Letters (2011), 312:280–290
doi: 10.1016/j.epsl.2011.10.022
- [5] Gans I, Fusban, HU, Wollenhaupt H, Kiefer J, Glöbel B, Berlich J, Porstendorfer J (1987): Radium 226 und andere natürliche Radionuklide im Trinkwasser und in Getränken in der Bundesrepublik Deutschland, WaBoLu-Hefte 4/1987, Bundesgesundheitsamt, ISSN 0175-4211, ISBN 3-89254-020-9, Berlin, 1987
- [6] Büniger T, Rühle H: Natürlich radioaktive Stoffe im Trinkwasser ausgewählter Gebiete in Sachsen und Thüringen, in: Winter M, Wicke A (Hrsg.): Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkungen, 25. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz, Binz/Rügen 28. - 30. September 1993, Tagungsband I, S. 85-92, Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1993
- [7] Büniger T: Der Gehalt natürlicher Radionuklide (Uran, Radium, Thorium u. a.) im Trinkwasser. In: Aurand K, Rühle H (Hrsg.): Radon in Trinkwasser. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Band 101, S.125, Eigenverlag WaBoLu, Berlin, 1997
- [8] Rühle H, Büniger T, Viertel H: Flächendeckende Untersuchungen über den Radongehalt des Trinkwassers in der Bundesrepublik Deutschland, in: BfS-Jahresbericht 1998, ISSN 0940-7650, Salzgitter, 1999

1.3 Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre

In der bodennahen Luft befinden sich die für die Strahlenexposition wichtigen radioaktiven Isotope des Edelgases Radon (siehe Abschnitt 1) und deren Zerfallsprodukte. Die übrigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen sind bei den natürlicherweise auftretenden Staubkonzentrationen für die Strahlenexposition von untergeordneter Bedeutung. Dasselbe gilt für die kosmogenen Radionuklide (z. B. H-3, Be-7, C-14, Na-22).

Die Konzentrationen der beim Zerfall der Isotope des Ra-226 und des Ra-224 in den Gesteinen und Böden entstehenden Edelgasisotope Rn-222 und Rn-220 in der Luft sind abhängig von der Exhalationsrate des Untergrundes, von meteorologischen und orographischen Bedingungen sowie von der Höhe über dem Erdboden. Wegen der kurzen Halbwertszeit von etwa 4 Sekunden spielt das Rn-219 für die Strahlenexposition keine Rolle.

Für den größten Teil Deutschlands liegt die Konzentration des Rn-222 in der Luft im Freien im Bereich von 5 - 30 Bq/m³. In Gebieten mit besonderen geologischen Bedingungen und bei orographischen Bedingungen, die den Luftaustausch erschweren (z. B. in Tallagen) können auch höhere Konzentrationen auftreten. Ein Wert von 50 Bq/m³ markiert den oberen Bereich der natürlich vorkommenden Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre. Bedingt durch Freisetzungen aus speziellen bergbaulichen Hinterlassenschaften sind auch höhere Konzentrationen möglich (siehe Teil III, 2.2).

Die Konzentrationen des entsprechenden Radonisotops der Th-232-Zerfallsreihe, Rn-220, sind in Deutschland deutlich niedriger als die des Rn-222. Als durchschnittliche Konzentration wird der Wert 0,15 Bq/m³ geschätzt. Auf die Radonkonzentration in Gebäuden wird im nachfolgenden Abschnitt 2.2 näher eingegangen.

Einen Überblick über die Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen, die für die Strahlenexposition von Bedeutung sind, gibt die [Tabelle G I 1.3-1](#). Sie fasst die Ergebnisse zusammen, die in den Jahren 1974 bis 1992 von der PTB in Braunschweig und Berlin sowie der GSF in München (heute Helmholtz Zentrum München; Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (HMGU)) in der bodennahen Luft gemessen wurden. Der angegebene Wertebereich für die Pb-210-Aktivitätskonzentration resultiert aus Messungen der GSF in München von 1976 bis 1999 sowie der PTB von 1976 bis 2003 in Braunschweig und von 1983 bis 1991 in Berlin.

Tabelle G I 1.3-1 Aktivitätskonzentrationen der langlebigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen in der bodennahen Luft (Jahresmittelwerte)
(*Activity concentrations of the long-lived radionuclides of the uranium and thorium decay series in air close to ground level - annual mean values*)

U-238	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-232	Ra-228	Th-228
$\mu\text{Bq/m}^3$								
0,8 - 2,0	1,4 - 2,0	0,6 - 1,7	<1,3 - 6,3	200 - 670	26 - 48	0,4 - 1,2	0,6	1,0 - 1,2

1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung

Die Aufnahme der natürlichen Radionuklide hängt von deren Gehalt in der Nahrung und ihrem metabolischen Verhalten ab. Das mit der Nahrung aufgenommene K-40 führt zu einer mittleren spezifischen Aktivität von 40 - 60 Bq/kg Körpergewicht. Aus der Uran- und Thorium-Zerfallsreihe tragen vor allem Pb-210 und Po-210 mit einer mittleren altersgewichteten jährlichen Zufuhr von 30 Bq bzw. 58 Bq (Zahlenwerte nach UNSCEAR 2000 [1]) zur Strahlenexposition bei.

In den Jahren 2000 bis 2003 sind umfangreiche Untersuchungen der natürlichen Radioaktivität in Nahrungsmitteln in der gesamten Bundesrepublik vom Bundesamt für Strahlenschutz durchgeführt worden. [Tabelle G I 1.4-1](#) gibt einen Überblick über die Mittelwerte und die Wertebereiche in Deutschland gemessener Gehalte natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmittelgruppen.

Tabelle G I 1.4-1 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln (Median-Werte)
(*Specific activity of natural radioactive substances in foodstuffs - median values*)

Produkt	U-238	U-234	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-230	Th-232	Ra-228
	spezifische Aktivität (Bq/kg) bzw. (Bq/l)							
Milch	0,002	0,005	0,004	0,011		0,001	0,001	
Fische (Süßwasser)	0,004	0,006	0,007	0,032				
Fleisch (Rind)	0,001	0,001	0,008	0,018	0,100			
Getreide	0,011	0,011	0,160	0,365		0,010	0,009	0,190
Obst	0,002	0,005	0,014	0,040		0,001	0,001	0,018
Blattgemüse	0,012	0,011	0,037	0,130		0,006	0,004	0,056
Wurzelgemüse	0,005	0,002	0,030	0,022		0,006	0,004	0,045
sonstiges Gemüse	0,002	0,004	0,010	0,028		0,001	0,001	0,020

Die spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung des Menschen (feste und flüssige Form), die in der gemischten Kost unterschiedlicher Gemeinschaftseinrichtungen über einen längeren Zeitraum bestimmt wurde, zeigt [Tabelle G I 1.4-2](#). Die durchschnittliche jährliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung kann aus diesen repräsentativen Daten abgeschätzt werden.

Tabelle G I 1.4-2 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung (gemischte Kost aus Gemeinschaftseinrichtungen)
(*Specific activity of natural radioactive substances in the general diet (mixed diet from public institutions)*)

Radionuklid	Mittelwert	Wertebereich
	spezifische Aktivität (Bq/kg FM)	
U-238	0,008	0,001 - 0,020
U-234	0,012	0,004 - 0,036
Th-230	0,002	0,001 - 0,004
Th-232	0,001	0,001 - 0,004
Pb-210	0,029	0,010 - 0,115
Ra-226	0,021	0,006 - 0,042
Ra-228	0,030	0,019 - 0,069

Die natürliche Radioaktivität in Nahrungsmitteln ist vor allem durch das radioaktive Kaliumisotop K-40 bedingt. Das Element Kalium enthält von Natur aus 0,0117 Prozent K-40 mit einer spezifischen Aktivität von 30,92 Bq/g Kalium. Dieser Anteil bleibt immer gleich. Damit der Stoffwechsel funktionieren kann, muss im menschlichen Körper ständig ein konstanter Anteil Kalium vorhanden sein. Dieser Bedarf wird vollständig durch die Ernährung gedeckt. Je nach Alter, Geschlecht und anderen Faktoren liegt die K-40-Aktivität des menschlichen Körpers etwa zwischen 40 und 60 Becquerel pro Kilogramm Körpergewicht. [Tabelle G I 1.4-3](#) gibt einen Überblick über die mittlere Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe im Menschen.

Tabelle G I 1.4-3 Natürlich radioaktive Stoffe im Menschen (nach UNSCEAR [1,2])
(Natural radioactive substances in man - (UNSCEAR)[1,2])

Radionuklide	Aktivität (Bq)
H-3	20
C-14	3500
K-40	4000
Rb-87	600
U-238	0,5
Ra-226	1,2
Pb-210	18
Po-210	15
Th-232	0,2
Th-228	0,4
Ra-228	0,4

1.5 Natürliche Strahlenexposition

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei zwischen der äußeren Strahlenexposition terrestrischen und kosmischen Ursprungs und der inneren Strahlenexposition durch die Aufnahme radioaktiver Stoffe über Inhalation und Ingestion unterschieden wird.

Äußere Strahlenexposition

Ein wesentlicher Beitrag zur äußeren Strahlenexposition stammt von der terrestrischen Komponente der γ -Strahlung, die auf den Gehalt der Böden an Radionukliden der Thorium- und der Uran-Radium-Reihe sowie an K-40 zurückzuführen ist.

Im Freien ist die Strahlenexposition von der spezifischen Aktivität in der obersten Bodenschicht bis zu 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden für die terrestrische Komponente der γ -Ortsdosisleistung im Freien 57 Nanosievert pro Stunde (nSv/h) in der damals verwendeten Messgröße „Photonenäquivalenzdosis“ bestimmt. Dies entspricht etwa 0,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a) als mittlerer effektiver Dosis in Deutschland. Höhere γ -Ortsdosisleistungen, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere über an der Oberfläche anstehenden Granitmassiven und über natürlichen Böden dieser Regionen, z. B. in Sachsen und Thüringen, im Bayerischen Wald, im Schwarzwald, Odenwald, Harz und im Rheinischen Schiefergebirge gemessen.

In Gebäuden wird die externe Strahlenexposition vorwiegend von der spezifischen Aktivität der verwendeten Baustoffe und nur zu einem geringen Teil durch die Beschaffenheit des Untergrundes bestimmt (Mittelwert der γ -Ortsdosisleistung: 80 nSv/h, Wertebereich von 20 - 700 nSv/h).

Die durch die terrestrische Strahlung verursachte effektive Dosis der Bevölkerung beträgt im Bundesgebiet im Mittel etwa 0,4 Millisievert pro Jahr (mSv/a), davon entfallen auf den Aufenthalt im Freien ca. 0,1 mSv/a und auf den Aufenthalt in Gebäuden etwa 0,3 mSv/a, wobei die höhere Dosis hauptsächlich der längeren Aufenthaltsdauer geschuldet ist.

Zur externen Strahlenexposition trägt weiterhin die kosmische Strahlung bei. Sie besteht primär aus der hochenergetischen Teilchenstrahlung der Galaxis und einer solaren Komponente, die in den äußeren Luftschichten der Erde die sekundäre kosmische Strahlung erzeugen. Den wesentlichen Anteil zur Strahlenexposition liefert die direkt ionisierende Komponente der sekundären kosmischen Strahlung, die in Meereshöhe eine γ -Ortsdosisleistung von 32 nSv/h erzeugt; sie nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Die effektive Dosisleistung der Neutronenkomponente beträgt demgegenüber nur 3,6 nSv/h, sie steigt mit zunehmender Höhe stark an und beträgt in üblichen Reiseflughöhen das Tausendfache. Insgesamt ergibt sich für die kosmische Strahlenexposition in Meereshöhe eine mittlere effektive Dosis von ca. 0,3 mSv/a.

Innere Strahlenexposition

Wesentlich zur inneren Strahlenexposition trägt die Inhalation des Rn-222 und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte bei. Das Radon selbst verursacht eine vergleichsweise geringe Strahlenexposition. Den weitaus größten Beitrag (90 - 95 %) liefern seine kurzlebigen Zerfallsprodukte, die meist an Aerosole angelagert oder in nicht angelagerter Form beim Einatmen im Atemtrakt und in der Lunge abgeschieden werden und dort durch α -Strahlung die Strahlenexposition hervorrufen. Der wesentlichste Teil der gesamten effektiven Dosis, die der Mensch durch natürliche Strahlenquellen erhält, resultiert aus der Strahlenexposition durch Radon-Zerfallsprodukte.

Unter durchschnittlichen Bedingungen beträgt die jährliche effektive Dosis aus der Radonexposition in Gebäuden im Mittel bei der Verwendung der derzeit geltenden Dosiskonversionskoeffizienten etwa 0,9 mSv und im Freien etwa 0,2 mSv. Allerdings muss auf den großen Variationsbereich der Radonkonzentrationen verwiesen werden.

Die effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur 5 $\mu\text{Sv/a}$ und wird vor allem durch Pb-210 verursacht. Für die Exposition durch Rn-220 wird im UNSCEAR Report 2000 eine jährliche effektive Dosis von 0,1 mSv angegeben [1].

Die innere Strahlenexposition durch Kalium-40 wird durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt, da 0,0117 % des natürlichen Isotopengemisches von Kalium auf das radioaktive Isotop K-40 entfallen. Der Kalium-Gehalt im Körper eines Erwachsenen mit 73 kg beträgt 132 g. Das entspricht einer Aktivität von 4000 Bq (s. [Tabelle G I 1.4-3](#)). Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv. Eine entsprechende Berechnung für Kinder ergibt 0,185 mSv pro Jahr. Dieser Wert ist wenig beeinflussbar, da er durch die biologischen und chemischen Prozesse sowie die natürliche relative Häufigkeit von K-40 bedingt ist.

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen liegen die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln in einem großen Wertebereich. Für die Radionuklidzufuhr ergibt sich deshalb auch ein großer Bereich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2008 abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit Nahrung und Trinkwasser ein altersgewichteter Mittelwert für die jährliche effektive Dosis von 0,3 mSv ergibt.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe ergibt sich im Mittel ein Wert von etwa 1,4 mSv pro Jahr. Für die Summe aus äußerer und innerer Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide erhält man einen mittleren Wert von ca. 1,8 mSv pro Jahr. Die externe kosmische Strahlung trägt zusätzlich mit 0,3 mSv pro Jahr zur Gesamt-Strahlenexposition bei. Bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten in Deutschland ergibt sich unter Verwendung der in den Euratom-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren für eine Person der Bevölkerung rechnerisch eine jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. In Anbetracht der Variationsbereiche der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch Radon und den nach der Direktive 96/29 Euratom zu betrachtenden sechs Altersgruppen ergibt sich für die durchschnittlichen Verhältnisse eine effektive Dosis im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR Report von 2008 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ein vergleichbarer Zahlenwert von 2,4 mSv angegeben. Die sich nach dem UNSCEAR Report für die einzelnen Komponenten ergebenden Anteile an der Gesamtexposition sind in [Abbildung G I 1.5-1](#) graphisch dargestellt [1,2].

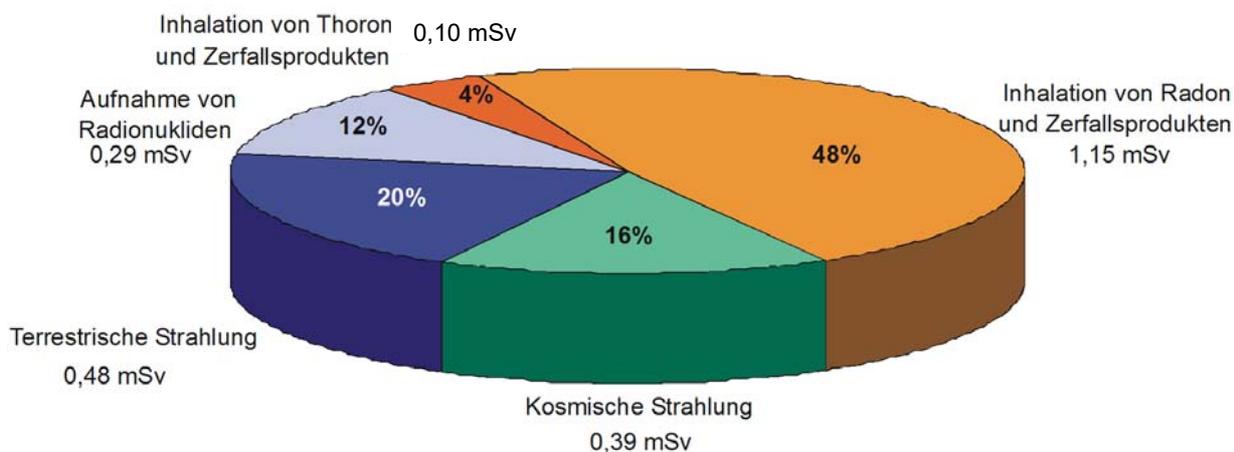


Abbildung G I 1.5-1 Mittlere jährliche effektive Dosis der Bevölkerung der nördlichen Hemisphäre durch natürliche Strahlenquellen (UNSCEAR 2008)
(Mean annual effective dose of the population from natural radiation sources in the northern hemisphere - UNSCEAR 2008)

Literatur

- [1] United Nations: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1982, 1988, 1993, 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York 1982, 1988, 1993, 2000
- [2] United Nations, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with 2 Scientific Annexes. Volume I <http://www.unscear.org/unscear/en/publications.html>

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität

2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie

Mineralische Rohstoffe und Kohlen können Uran- und Thoriumgehalte aufweisen, die über denen liegen, die in oberflächennahen Gesteinen und Böden vorkommen. Bei der Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung dieser Stoffe wird die natürliche Radioaktivität oft in den Rückständen angereichert. So sind über Jahrhunderte im Bergbau und in der Industrie zahlreiche Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität entstanden, die in großen Mengen in der Umwelt abgelagert wurden. Aspekte des Umwelt- und Strahlenschutzes wurden dabei meist nicht beachtet.

Aus diesen Ablagerungen, wie Halden und Absetzbecken, können die natürlichen Radionuklide in die Umweltmedien freigesetzt werden und in Abhängigkeit von den Standortbedingungen zu erhöhten Strahlenexpositionen der Bevölkerung führen. Auch andere Hinterlassenschaften (z. B. Schächte, Stollen sowie ehemalige Betriebsflächen) können Ursache einer erhöhten Strahlenexposition der Bevölkerung sein.

Infolge der geologischen Situation in Deutschland liegt der Schwerpunkt der aus der Sicht des Strahlenschutzes zu berücksichtigenden Hinterlassenschaften in den Bundesländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, wo sowohl der historische Bergbau (Silber, Kupfer, Zinn u. a. Nichteisenmetalle) als auch der Uranbergbau betrieben wurde und zu zahlreichen Halden, Schächten und anderen Hinterlassenschaften geführt hat.

Hinterlassenschaften der Uranproduktion in Sachsen und Thüringen

Viele der Hinterlassenschaften der Uranproduktion, die nach Ende des 2. Weltkrieges in Sachsen und Thüringen begann, befanden sich zum Zeitpunkt der Wiederherstellung der deutschen Einheit in der Zuständigkeit der SDAG Wismut. Ende 1990 wurde die Uranproduktion auch aus Gründen des Umwelt- und des Strahlenschutzes eingestellt. Mit der Verwahrung und Sanierung der Hinterlassenschaften wurde die Wismut GmbH beauftragt, die eigens zu diesem Zweck gegründet wurde und deren alleiniger Gesellschafter die Bundesrepublik ist. Die Wismut GmbH hat ihren Sitz in Chemnitz und gliedert sich in die folgenden Bereiche:

- Aue/Königstein (Standorte Schlema – Alberoda, Pöhla, Königstein und Gittersee in Sachsen) und
- Ronneburg (Standorte Ronneburg und Seelingstädt in Thüringen sowie Crossen in Sachsen).

Die untertägigen Verwahrungs- und Sanierungsarbeiten sind nahezu abgeschlossen. Derzeit befindet sich die Flutung der Grubenfelder in Schlema / Alberoda und in Ronneburg in der letzten Phase. Zur ausstehenden Genehmigung der finalen Flutung der Grube im ostsächsischen Königstein sind die Wismut GmbH und die zuständigen Behörden in intensiven Gesprächen. Die aufwändige Wasserbehandlung gehobener und austretender Grubenwässer wird in den nächsten Jahrzehnten aber weiterhin notwendig sein.

Schwerpunkt der übertägigen Arbeiten ist die Sanierung von Halden und Absetzanlagen, wobei die Gestaltung der Landschaft um Ronneburg und den Kurort Bad Schlema beispielhaft die Rekultivierung und Einbindung der ehemaligen Bergbauflächen in die Landschaft dokumentieren. Die Verwahrung der ehemaligen Absetzanlagen der Erzaufbereitung (Konturierung, Endabdeckung und Behandlung der Sickerwässer) schreitet kontinuierlich voran.

Die bei den Verwahrungs- und Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH zwangsläufig anfallenden Ableitungen von Radionukliden der Uran-/Radiumzerfallsreihe mit der Fortluft (im Wesentlichen Abwetter von Untertage) und mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt werden von den zuständigen Behörden genehmigt. Die Genehmigungen enthalten sowohl Festlegungen über die bei den Ableitungen einzuhaltenden jährlichen Ableitungsmengen als auch einzuhaltende Maximalkonzentrationen für einzelne Radionuklide.

Die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser sowie die Überwachung der Konzentration dieser radioaktiven Stoffe in den Umweltmedien Luft, Boden, Lebens- und Futtermittel, Wasser und Sedimente erfolgt seit 1997 nach den Vorgaben der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI Bergbau). Die Kontrolle der Emissions- und Immissionsüberwachung des Sanierungsunternehmens, der Wismut GmbH, wird von unabhängigen Messstellen vorgenommen, die von den zuständigen Landesbehörden beauftragt werden.

In Teil B - I - 2.1.1 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ werden die Werte der jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser (Genehmigungswerte und Werte der Ableitungen) angegeben und vor dem Hintergrund der langjährigen Entwicklung diskutiert.

Um einen Überblick über die Immissionssituation in den betroffenen Regionen zu geben, werden darüber hinaus auch Daten von Messstellen zur Überwachung

- der Luft (Werte der Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre) und
- der Oberflächengewässer (Werte der Urankonzentration und Ra-226-Aktivitätskonzentration in Vorflutern mit regionaler und überregionaler Bedeutung)

angegeben und bewertet. Die Bewertung dieser Daten orientiert sich jeweils am geogen bedingten Konzentrationsniveau der natürlichen Radioaktivität und berücksichtigt ebenfalls den langjährigen Trend.

Über die Emissions- und Immissionsüberwachung hinaus führt die Wismut GmbH ein umfangreiches Monitoring durch, das an den jeweiligen Stand der Sanierungsarbeiten angepasst wird. Aufgaben dieses Monitorings sind sowohl die

Überwachung der Schutzgüter Boden, Wasser und Luft als auch die Überwachung geotechnischer, bergschadens-kundlicher und seismischer Besonderheiten in den betroffenen Regionen.

Hinterlassenschaften des historischen Bergbaus in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

Als einigungsbedingte Sonderaufgabe beauftragte die Bundesregierung das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) mit den erforderlichen Untersuchungen, um die radiologische Situation in den betroffenen Regionen insgesamt zu klären. In den Jahren 1991 – 1999 wurde das Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten - Altlastenkataster“ durchgeführt [1]. Im Ergebnis dieses Projektes zeigte sich, dass in diesen Ländern infolge des Bergbaus insgesamt etwa 130 Mio. m³ Haldenmaterial, etwa 20 Mio. m³ Schlacken und etwa 30 Mio. m³ Aufbereitungsrückstände abgelagert wurden, die Ursache erhöhter Strahlenexpositionen sein können und deshalb für den Strahlenschutz relevant sind („radiologisch relevante“ Hinterlassenschaften).

Die im Projekt erhobenen Daten und Informationen zu den bergbaulichen Hinterlassenschaften stehen den für den Vollzug des Strahlenschutzrechtes zuständigen Landesbehörden als Grundlage für die nur fall- und standortbezogen zu treffende Entscheidung über Nutzungsmöglichkeiten oder Sanierungsnotwendigkeit zur Verfügung. In Sachsen werden die wichtigsten Altstandorte im Rahmen eines zwischen Bund und Freistaat abgeschlossenen Verwaltungsabkommens saniert.

Hinterlassenschaften aus der Industrie

Im Ergebnis der intensiven industriellen Entwicklung, die sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts in Deutschland vollzog, entstand eine Vielzahl von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität, für die keine Verwendungsmöglichkeiten bestanden und die auf kostengünstigste Weise durch Deponierung in der Umwelt beseitigt wurden. Gesichtspunkte des Umweltschutzes, des Grundwasserschutzes, aber auch des Strahlenschutzes waren nicht bekannt oder/und wurden nicht berücksichtigt. Es entstanden Deponien mit ganz unterschiedlichen Ausmaßen, in denen diese Rückstände teilweise mit anderen Materialien (z. B. Hausmüll) vermischt wurden.

Tabelle G I 2.1-1 Abschätzung der Menge von industriellen Hinterlassenschaften mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g) 2003
(*Estimation of the amount of industrial relics with increased natural radioactivity (> 0,2 Bq/g) 2003*)

Industriebereich / Prozess	Art der Rückstände				
	Schlämme	Schlacken	Scales ¹	Flugaschen	Gips
Primärförderung von Rohöl und Erdgas	-	-	500 – 12 000 m ³	-	-
Verarbeitung von Rohphosphat zur Herstellung von Phosphorsäure und Düngemitteln	-	-	-	-	4 – 25 Mio. m ³
Roheisenmetallurgie einschließlich Rauchgasreinigung	2 – 3 Mio. m ³	2 – 3 Mio. m ³	-	-	-
Aufbereitung von Bauxit zur Aluminiumgewinnung (Bayer-Verfahren)	14 – 35 Mio. m ³	-	-	-	-
Rauchgasreinigung bei der Verbrennung von Steinkohle	-	-	-	2 – 20 Mio. m ³	-
Aufbereitung von Grundwasser zu Trinkwasser (Eisen- und Manganfällung)	2 – 7 Mio. m ³	-	12 000 – 25 000 m ³	-	-
Summe	18 – 45 Mio. m³	2 – 3 Mio. m³	12 500 – 37 000 m³	2 – 20 Mio. m³	4 – 25 Mio. m³
Gesamt	ca. 25 – 100 Mio. m³				

¹Reinigungsschlämme und Ablagerungen an Pumpen, Rohren und Filtern

Zu den möglichen Mengen solcher Rückstände gibt es nur eine grobe Schätzung des BfS, die auf industriegeschichtlichen Recherchen aufbaut. Danach wird das Gesamtvolumen der in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung abgelagerten Rückstände von sechs Industriebereichen dominiert und kann eine Größenordnung von 100 Mio. m³ erreichen. Da nur wenige Standorte mit Ablagerungen solcher Rückstände bekannt und ausreichend untersucht sind, sind kaum zuverlässige Aussagen über deren radiologische Bedeutung möglich. [Tabelle G I 1.2-1](#) gibt einen Überblick über die Industriebereiche und die jeweils abgeschätzte Menge der deponierten Rückstände.

Aktuelle Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

Im Bergbau und bei industriellen Prozessen, die Erze oder mineralische Rohstoffe verarbeiten, können Rückstände anfallen, die Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in Konzentrationen enthalten, die über denen in oberflächennahen Gesteinen und Böden liegen. Häufig reichern sich die Radionuklide prozessbedingt in bestimmten Rückständen (z.B. Stäube und Schlämme der Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung in der Eisen- und Nichteisenmetallurgie) oder in technischen Geräten und Einrichtungen (z.B. Verkrustungen der Rohre und Pumpen in der Erdgas- und Erdölförderung) besonders an. Da solche Rückstände entweder in andere Wirtschaftsprozesse gelangen (z.B. Verwertung von Schlacken im Haus- und Straßenbau) oder beseitigt werden (z.B. Verbringung auf Deponien), können sich erhöhte Strahlenexpositionen der allgemeinen Bevölkerung oder der mit der Verwertung bzw. Beseitigung befassten Arbeitnehmer ergeben. In Abhängigkeit von den Eigenschaften der Rückstände, den Verwertungs- und Beseitigungsprozessen und den Standortgegebenheiten können diese Strahlenexpositionen in der Größenordnung der mittleren natürlichen Strahlenexposition und auch deutlich darüber liegen. Die Rückstände und die von ihnen ausgehenden Strahlenexpositionen müssen daher im Hinblick auf den vorsorgenden Gesundheitsschutz im System des Strahlenschutzes angemessen berücksichtigt werden.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden mit der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 2001 weitreichende und detaillierte strahlenschutzrechtliche Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität gestellt (StrlSchV 2001 Teil 3 Kapitel 3). Grundsätzlicher Maßstab der Regelungen ist die Einhaltung eines Richtwerts für den Bevölkerungsschutz in Höhe von 1 mSv/a. Die Regelungen stehen im Einklang mit den diesbezüglichen europäischen Vorgaben in der Richtlinie 96/29/Euratom zu den Grundnormen im Strahlenschutz und setzen diese in deutsches Recht um. Sie gelten bisher ausschließlich für im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung angefallene Rückstände. Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung von 2011 fielen auch aus dem Ausland bezogene Rückstände unter die Regelungen des Teils 3. Mit Inkrafttreten des neuen Strahlenschutzgesetzes zur Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom Ende 2018 wurde die Liste der relevanten Rückstände im deutschen Recht aktualisiert. Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität die nicht aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen werden können, werden grundsätzlich durch die zuständigen Landesbehörden, denen der Vollzug der Strahlenschutzaufsicht obliegt, erfasst.

Im Auftrag des BfS wurden Schätzungen der jährlich in der Bundesrepublik Deutschland zu erwartenden Rückstandsmengen durchgeführt. [Tabelle G I 2.1-2](#) gibt hierzu eine Übersicht.

Tabelle G I 2.1-2 Abschätzung der jährlichen Mengen industrieller Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g, 2003)
(Estimation of the annual amount of industrial residues with enhanced natural radioactivity, > 0.2 Bq/g, 2003)

Zuordnung der Rückstände gemäß Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)	Masse [t/a]
Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	20 – 60
Anlagenteile mit Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	20 – 400
Schlämme aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	50 – 250
Rückstände aus der Aufbereitung von Phosphorgipsen	100
Rotschlämme aus der Bauxitverarbeitung	600000
Rückstände aus der Tantal-Produktion	unbekannt
Pyrochlorschlacken	30
Sinterstäube aus der Roheisenmetallurgie	5000
Hochofenschlämme aus der Roheisenmetallurgie	30000
Stäube aus der Nichteisen-Primärmetallurgie	30000
Sonstige uran- und thoriumhaltige Rückstände	100

Insbesondere bei der Förderung und Verarbeitung von Erdöl und Erdgas können Rückstände mit vergleichsweise hohen Konzentrationen an natürlichen Radionukliden anfallen. Es handelt sich um Inkrustierungen in Aggregaten und Rohrleitungen, die sich über lange Betriebszeiträume absetzen und die die im geförderten Erdgas bzw. Erdöl mitgeführte Radioaktivität aufnehmen. Die Rückstände werden - ggf. nach Gewinnung noch enthaltener Wertstoffe - beseitigt, d.h. deponiert. Hierfür wird geprüft, ob die in der Strahlenschutzverordnung für den betreffenden Beseitigungsweg (z.B. Deponierung unter Tage) angegebenen Überwachungsgrenzen (spezifische Aktivität in Bq/g) und sonstigen Anforderungen eingehalten sind. Ist dies der Fall, können die Rückstände ohne weitere Strahlenschutzmaßnahmen beseitigt werden. Der vorgeschriebene Dosisrichtwert wird dann eingehalten.

Allerdings liegen die spezifischen Aktivitäten bei Rückständen aus der Erdgas- und Erdölverarbeitung meist erheblich über den Überwachungsgrenzen. Sie können einige 10 bis mehrere 100 Bq/g (Radium-226, Radium-228), in Ausnahmefällen sogar um 1000 Bq/g betragen. Soweit jedoch der Inhaber der Rückstände für den vorgesehenen Beseitigungsweg nachweisen kann, dass der Richtwert für die Bevölkerungsexposition in Höhe von 1 mSv/a eingehalten wird und hierfür keine fortgesetzten Strahlenschutzmaßnahmen nach den üblichen abfallrechtlichen Randbedingungen erforderlich sind, entlässt die zuständige Strahlenschutzbehörde auf Antrag die Rückstände aus der Strahlenschutzüberwa-

chung. Ist die Entlassung aus der Überwachung nicht möglich, verbleiben die Rückstände im Regime des Strahlenschutzes. Die zuständige Landesbehörde kann in diesen Fällen anordnen, wie die Rückstände zu beseitigen sind und welche Schutzmaßnahmen Anwendung finden müssen. Auch bei anderen neuen Bereichen zur Nutzung natürlicher Ressourcen, deren Rückstände in der Strahlenschutzverordnung noch nicht aufgeführt werden, laufen vergleichbare Prozesse ab wie bei der Erdöl-/Erdgasförderung. Dazu gehört die Nutzung der tiefen Geothermie, bei der in den Rohren und Anlagen ebenfalls Ablagerungen entstehen. Wie erste Erfahrungen zeigen, weisen diese hinsichtlich der möglichen Radionuklidanreicherungen erhebliche Unterschiede auf, die durch die jeweils genutzten geologischen Formationen in Deutschland bedingt sind.

Literatur

[1] Ettenhuber E, Gehrcke K.: „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten“, Abschlussbericht, BfS-SCHR-22/2001

2.2 Radon in Gebäuden

Radon und seine Zerfallsprodukte werden vom Menschen mit der Atemluft im Freien und in Gebäuden aufgenommen. Während das Edelgas Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet wird, werden seine Zerfallsprodukte (von Bedeutung sind hier die radioaktiven Schwermetalle Po-218, Bi-214, Pb-214 und Po-214) im Atemtrakt angelagert. Die dort beim radioaktiven Zerfall auftretende Strahlung führt zu einer Exposition, die in Deutschland - bei Anwendung der derzeitigen Dosisumrechnungsfaktoren - zu einer mittleren effektiven Dosis von insgesamt 1,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a) führt. Davon werden der Strahlenexposition durch Radon in Gebäuden 0,9 mSv/a zugerechnet. Andere Organe werden durch Radon und seine Zerfallsprodukte nach derzeitiger Kenntnis weitaus weniger belastet.

In einer Reihe internationaler Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs untersucht. Auf der Grundlage zusammenfassender Auswertungen dieser Studien in Europa und Nordamerika kommt die deutsche Strahlenschutzkommission [1] zu folgender Bewertung:

- Es zeigt sich ein klarer Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration,
- dieser Zusammenhang ist auch für lebenslange Nichtraucher nachweisbar,
- es wird von einer linearen Expositions-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert ausgegangen.

Radon gilt als einer der wichtigsten kanzerogenen Innenraumschadstoffe. Regionale Unterschiede der Radonkonzentration in Gebäuden werden vor allem durch das Radonangebot des Baugrundes bestimmt, das von der Geologie des Grundgebirges, der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und tektonischen Störungen abhängig ist. Ein Maß für das Radonangebot ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Radonfreisetzungen aus den Baustoffen spielen demgegenüber eine untergeordnete Rolle. Die letztendlich im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt von der Bauweise, vor allem von der Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Struktur des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsverhalten ab.

Durch Bergbau kann über vermehrte Wegsamkeiten in Form von Schächten und Stollen sowie Rissbildungen im Deckgebirge das Radonangebot aus dem Untergrund erhöht werden. Wenn in einem Gebäude in diesem Gebiet Undichtigkeiten entstehen, muss zusätzlich noch mit einem höheren Radoneintritt gerechnet werden.

Generell sollte die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen möglichst niedrig sein. Diesem Bestreben sind jedoch im Allgemeinen praktische Grenzen dadurch gesetzt, dass der Beitrag des in der Außenluft vorkommenden Radons zur Innenraumkonzentration und die Radonfreisetzungen aus den Baustoffen der bestehenden Häuser kaum beeinflussbar sind. Die Summe beider Komponenten liefert für Aufenthaltsräume einen Anteil, der üblicherweise nicht über dem gesetzlichen Referenzwert für Innenraumluft liegt. Höhere Radonkonzentrationen in Gebäuden werden in Deutschland vor allem durch das in der Bodenluft des Baugrundes vorhandene und in das Gebäude eindringende Radon bestimmt. Bei einem Neubau kann mit vertretbaren baulichen Mitteln erreicht werden, dass Konzentrationen in Aufenthaltsräumen den gesetzlichen Referenzwert nicht überschreiten. Dies gilt auch in der Mehrzahl der Fälle bei bestehenden Häusern. Unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit ist aus dem Spektrum der verfügbaren Maßnahmen die für den Einzelfall geeignete auszuwählen.

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben werden seit vielen Jahren Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden durchgeführt. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen liegt in Deutschland bei 50 Bq/m^3 . Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit in den Räumen von ca. 19 Stunden pro Tag einer mittleren jährlichen effektiven Dosis von ca. 0,9 mSv. In Einzelfällen wurden Höchstwerte von bis zu $10\,000 \text{ Bq/m}^3$ festgestellt. Statistisch zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 16 % pro 100 Bq/m^3 . Welche Radonkonzentrationen in einzelnen Gebäuden anzutreffen sind, hängt vom geologischen Untergrund am Gebäudestandort und der Radondichtheit der Gebäudehülle ab, da in den überwiegenden Fällen das in der Bodenluft vorkommende und durch erdberührende Wände und die Bodenplatte in das Haus eindringende geogene Radon die Ursache für eine erhöhte Radoninnenraumkonzentration ist. Sie kann durch Lüftung beeinflusst werden.

Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse an insgesamt 2346 Messpunkten wurde eine bundesweite Übersichtskarte der regionalen Verteilung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft erstellt (siehe [Abbildung G I 2.2-1](#)).

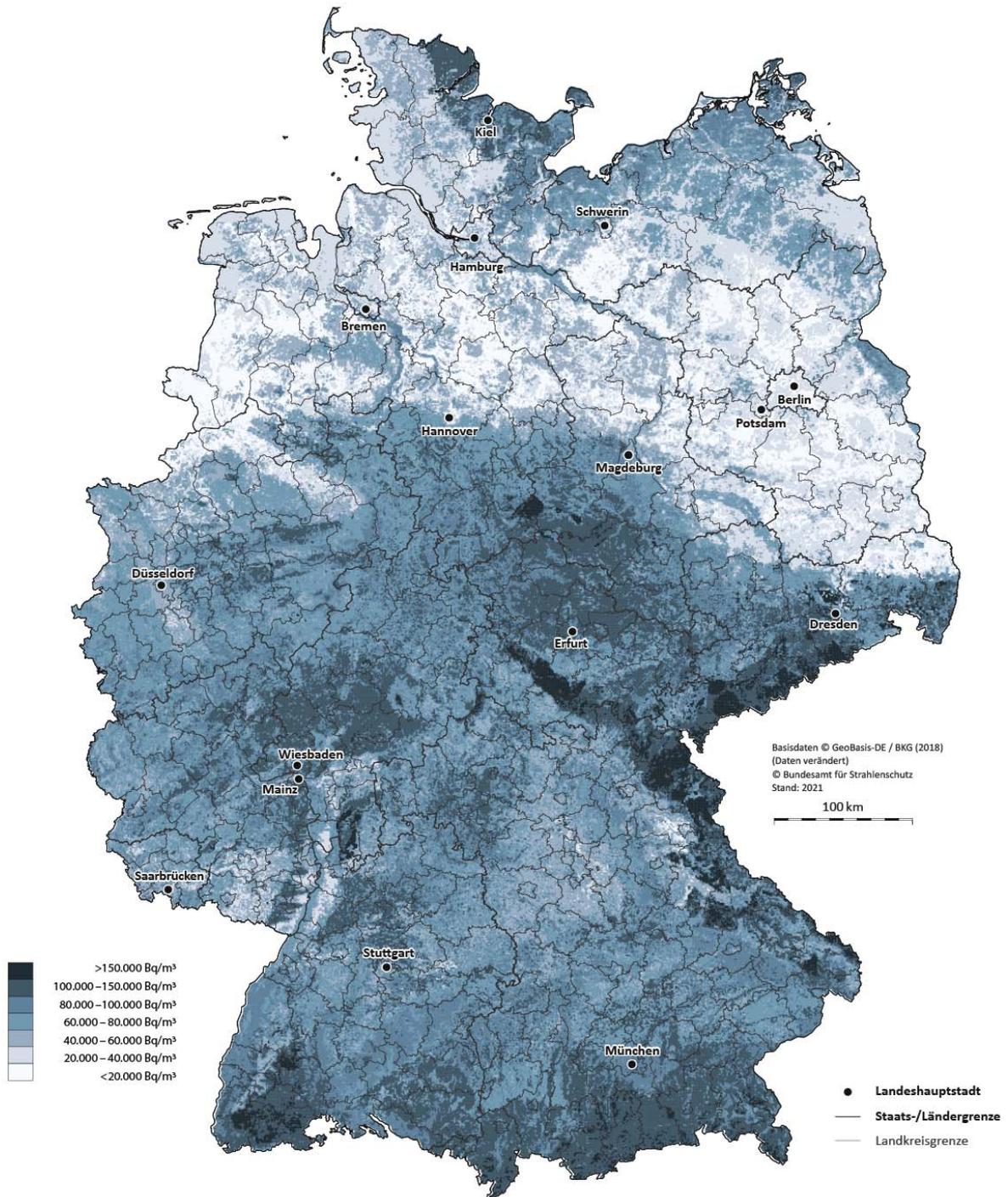


Abbildung G I 2.2-1 Schätzung der Radonkonzentration im Boden für ein Raster von 1 x 1 km
 (Estimate of Radon concentration in soil air for a grid of 1 x 1 km)

Im Ergebnis ist festzustellen, dass die gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft einen Bereich von ca. 5 kBq/m^3 bis 1000 kBq/m^3 umfassen. Lokal hängt die Höhe vom jeweiligen geologischen Untergrund ab. In ca. 30 % der Fläche Deutschlands und davon überwiegend in Gebieten der Norddeutschen Tiefebene liegt die Bodenluftkonzentration im Bereich unterhalb von 20 kBq/m^3 . Werte über 100 kBq/m^3 sind nur in einigen eng begrenzten Gebieten zu erwarten. Diese sind in der Regel durch das Vorkommen von Graniten oder granitähnlichen Gesteinen nahe der Erdoberfläche gekennzeichnet.

In Gebieten mit Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft bis 20 kBq/m^3 sind Radonaktivitätskonzentrationen in Aufenthaltsräumen über 300 Bq/m^3 sehr selten. Grundsätzlich kann in diesen Gebieten davon ausgegangen werden, dass ein fachgerechter Schutz der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte nach dem Stand der Technik ausreichend Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen im Gebäude bietet.

Bei Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft von mehr als 20 kBq/m^3 und in Abhängigkeit von der Bodenpermeabilität sowie von der Bauweise und dem Bauzustand sind erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden häufiger zu erwarten. Überdurchschnittlich häufig werden erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern älteren Baujahres gefunden, insbesondere dann, wenn die Häuser keine Fundamentplatte oder Undichtigkeiten der Gebäudehülle im erdberührenden Bereich aufweisen. Infolge der Geologie des Bauuntergrundes können in einzelnen Gebäuden Jahresmittelwerte von einigen Tausend Bq/m^3 auftreten. In den Regionen mit einer Bodenluftkonzentration von mehr als 20 kBq/m^3 sind Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Innenraumluft zu empfehlen, um die tatsächliche Strahlenexposition betroffener Personen durch Radon bewerten und gegebenenfalls angemessene Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. Bei der Planung neuer Gebäude sind die Vorgaben des Strahlenschutzgesetzes zu beachten. Bei der Bauausführung ist besonderes Augenmerk auf die konvektionsdichte Verbindung der einzelnen Elemente des Feuchteschutzes sowie die fachgerechte Abdichtung von Rohr- und Leitungsdurchführungen zu legen.

Einen Sonderfall stellen Bergbaugebiete dar. In diesen Gebieten können über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen von Stollen oder Schächten Grubenwetter in die Gebäude gelangen. In diesen Fällen werden die eindringende Radonmenge und die daraus resultierende Radonkonzentration meist von der Bewitterung der untertägigen Hohlräume beeinflusst. In Häusern in Bergbaugebieten mit Uranvererzungen wurden in Einzelfällen kurzzeitig deutlich über $100\,000 \text{ Bq/m}^3$ gemessen.

Insgesamt gilt, dass es gibt keinen Hinweis auf einen Schwellenwert gibt, unterhalb dessen Radon ungefährlich wäre. Daher sollte in allen Wohnungen die Radonkonzentration reduziert werden, soweit dies mit vertretbarem Aufwand erreichbar ist. Dabei sollen die Höhe der Radonkonzentration, d. h. das damit verbundene Gesundheitsrisiko, und der Aufwand der Sanierungsmaßnahmen in einem angemessenen Verhältnis stehen.

Sowohl die bisher in über 60 000 Häusern durchgeführten Radonmessungen als auch die Untersuchungen der Bodenluft zeigen, dass es große Gebiete gibt, in denen auf Grund der geologischen Verhältnisse keine erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden vorkommen und in denen deshalb keine besonderen Maßnahmen gegen den Eintritt von Bodenradon erforderlich sind.

Im Zuge einer Diskussion um eine mögliche Einbeziehung der Radonabgabe eines Baustoffes als Zulassungskriterium in der Bauprodukttrichtlinie und um die vorhandene Datenbasis zu aktualisieren, wurde die Radonabgabe von in Deutschland aktuell üblichen Produkten in einem Projekt untersucht. Im Ergebnis wird der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien im Vergleich zum geogenen Radon allgemein als gering angesehen.

Generell von untergeordneter Bedeutung für die Radonkonzentration in Innenräumen ist in Deutschland das in Wasser gelöste Radon, welches bei dessen Verwendung in die Raumluft freigesetzt wird.

Das aus den epidemiologischen Studien abgeleitete zusätzliche Lebenszeitrisko in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, beträgt im Alter von 75 Jahren $0,6 \times 10^{-5}$ pro Bq/m^3 Radonkonzentration, d. h. sechs Fälle pro einer Million Betroffener für lebenslange Nichtraucher bzw. 15×10^{-5} pro Bq/m^3 für Raucher. Das Risiko für Ex-Raucher in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit bis zum 75. Lebensjahr an Lungenkrebs zu erkranken liegt dazwischen und verringert sich mit zunehmender Abstinenzdauer. Die Radonkonzentration, die mit einem zusätzlichen Lebenszeitrisko von 1 pro 100 oder 1 pro 1000 einhergeht, beträgt für kontinuierliche Raucher (1 Schachtel Zigaretten pro Tag) dementsprechend 67 Bq/m^3 bzw. $6,7 \text{ Bq/m}^3$ und 1670 Bq/m^3 bzw. 167 Bq/m^3 für lebenslange Nichtraucher.

Aktuelle Daten zu Radon in Gebäuden sind in Teil B - I - 2.2 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ dargestellt.

Literatur

- [1] Lungenkrebsrisiko durch Radonexposition in Wohnungen, verabschiedet auf der 199. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22. April 2005
In: Gumprecht D, Heller H (Hrsg): Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2005. Veröffentlichung der Strahlenschutzkommission, Band 59, Bonn, 2007

2.3 Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten

Zur vollständigen Bewertung der Strahlenexposition, die in Gebäuden auftreten kann, werden seit mehr als 25 Jahren in Deutschland Untersuchungen über den Gehalt natürlicher Radionuklide in Baustoffen und industriellen Rückständen durchgeführt. Es wurden die spezifischen Aktivitäten des Ra-226, Th-232 und K-40 in mehr als 1500 Proben von Natursteinen, Baustoffen und Industrieprodukten bestimmt.

Wie die [Tabelle G I 2.3-1](#) zeigt, variiert die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide auch innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmageseine vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Von den natürlichen Radionukliden in Baustoffen geht im Wesentlichen eine äußere Exposition durch Gammastrahlung und eine innere Strahlenexposition durch Inhalation von in die Raumluft freigesetztem Radon und den daraus entstehenden Zerfallsprodukten aus.

In Deutschland erfolgt auf Grund der Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zunehmend eine Verwendung von Rückständen in der Baustoffindustrie.

Bestimmte Rückstände aus industriellen Verarbeitungsprozessen können jedoch erhöhte Gehalte natürlicher Radionuklide aufweisen. Bei Verwendung dieser Rückstände, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, wird im Abschnitt 4 der neuen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV §§ 27 bis 29 und Anlagen 5 bis 7) die Überwachungsbedürftigkeit, die Ermittlung der verursachten Expositionen und die Verfahrensweise bei der Entlassung aus der Überwachung geregelt. Durch die ebenfalls in der StrlSchV festgelegten Überwachungsgrenzen (Anlage 5) für die Verwertung dieser Materialien wird sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv/a hierdurch nicht überschritten wird.

Mit den Festlegungen der StrlSchV wird ein wichtiges Instrumentarium zum Vollzug des Strahlenschutzes im Rahmen der Baugesetzgebung zur Verfügung gestellt. Gemäß EU-Bauprodukteverordnung (siehe [Seite 22](#)) darf ein Bauprodukt in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die Grundanforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt. Auf der Grundlage der Landesbauordnungen ist die Verwendbarkeit der Bauprodukte geregelt. Mit dem Mandat M/366 [1] hat die Europäische Kommission die europäischen Normungsinstitute CEN und CENELEC mit der Entwicklung harmonisierter Untersuchungsmethoden von gefährlichen Substanzen im Sinne der oben genannten Richtlinie beauftragt.

Tabelle G I 2.3-1 Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten
(Specific activity of natural radionuclides in building materials and industrial products)

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
spezifische Aktivität (Bq/kg TM)						
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Granit	100	(30 - 500)	120	(17 - 311)	1000	(600 - 4000)
Granodiorit	56	(40 - 73)	44	(37 - 104)	850	(380 - 990)
Syenit	30		31		670	
Dolerit	20	(10 - 29)	30	(8 - 44)	290	(22 - 380)
Gneis	75	(50 - 157)	43	(22 - 50)	900	(830 - 1500)
Diabas	16	(10 - 25)	8	(4 - 12)	170	(100 - 210)
Basalt	26	(6 - 36)	29	(9 - 37)	270	(190 - 380)
Granulit	10	(4 - 16)	6	(2 - 11)	360	(9 - 730)
Grauwacke	41	(26 - 51)	35	(13 - 46)	760	(700 - 780)
Phonolit	56		104		1270	
Amphibolit	8		9	(8 - 9)	260	(180 - 310)
Serpentinit	3		7		180	
Quarzporphyr	54	(15 - 86)	77	(53 - 98)	1300	(1000 - 2100)
Porphyrtuff	47	(44 - 52)	206	(130 - 240)	720	(22 - 1700)
Orthophyr	17		22		1300	
Lamprophyr	17	(6 - 30)	12	(7 - 21)	270	(130 - 330)
Augitporphyr	55	(46 - 61)	67	(57 - 79)	1100	(1000 - 1300)
Hornblendeschiefer	13		14		380	
Frucht-/Phycodenschiefer	38	(34 - 45)	59	(56 - 73)	780	(760 - 930)
Oolit	19		31		580	
Augit	65		51		970	
Kalkstein/Marmor	24	(4 - 41)	5	(2 - 20)	90	(< 40 - 240)
Travertin	4		19		20	
Sandstein, Quarzit	20	(13 - 70)	25	(15 - 70)	500	(< 40 - 1100)
Kies, Sand, Kiessand	15	(1 - 39)	16	(1 - 64)	380	(3 - 1200)
Gips, Anhydrit	10	(2 - 70)	7	(1 - 100)	70	(6 - 380)
Flintstein	6		1		1	
Kaolin	90	(30 - 200)	100	(70 - 200)	600	(200 - 1000)
Lava	42	(20 - 70)	42	(25 - 60)	720	(490 - 890)
Tuff, Bims	100	(<20 - 200)	100	(30 - 300)	1000	(500 - 2000)
Ton, Lehm	40	(<20 - 90)	60	(18 - 200)	1000	(300 - 2000)
Finalbaustoffe, Bindemittel						
Ziegel/Klinker	50	(10 - 200)	52	(12 - 200)	700	(100 - 2000)
Beton	30	(7 - 92)	23	(4 - 71)	450	(50 - 1300)
Kalksandstein, Porenbeton	15	(6 - 80)	10	(1 - 60)	200	(40 - 800)
Leichtbeton (nicht spezifiziert)	30	(<20 - 90)	30	(< 20 - 80)	1100	(700 - 1600)
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:						
Bims	80	(20 - 200)	90	(30 - 300)	900	(500 - 2000)
Blähton, Blähschiefer	30	(< 20 - 80)	30	(< 20 - 60)	400	(40 - 700)
Schlacke	100	(20 - 700)	100	(20 - 200)	500	(300 - 1000)
Ziegelsplitt	40	(30 - 70)	60	(30 - 100)	500	(400 - 600)
Hohlblocksteine	40	(15 - 59)	25	(4 - 52)	320	(60 - 800)
Holzwohle-Leichtbauplatten	21	(19 - 25)	12	(11 - 14)	210	(50 - 360)
Wandfliesen	50	(15 - 100)	55	(25 - 130)	560	(250 - 1000)
Asbestzement	20	(< 20 - 40)	20	(11 - 40)	100	(< 40 - 300)

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
	spezifische Aktivität (Bq/kg TM)					
Schamotte	60	(20 - 100)	70	(40 - 200)	400	(200 - 600)
Ofenkacheln	74		70		310	
Schlackenwolle	94		31		110	
Schlämmerkreide	9		2		26	
Zement (nicht spezifiziert)	97	(23 - 330)	20	(11 - 37)	320	(110 - 500)
Portlandzement	30	(10 - 50)	20	(10 - 40)	200	(100 - 700)
Hüttenzement	60	(20 - 100)	80	(30 - 200)	100	(< 40 - 200)
Tonerdenschmelzzement	150	(100 - 200)	150	(100 - 200)	40	
Kalk, Kalkhydrat	30	(13 - 60)	41	(2 - 93)	150	(20 - 600)
Fertigmörtel, Fertigputz	30	(< 20 - 100)	30	(< 20 - 100)	300	(< 40 - 500)
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
Schlacken						
Cu-Schlacke, alte Produktion	1500	(860 - 2100)	48	(18 - 78)	520	(300 - 730)
Cu-Schlacke, neue Produktion	770	(490 - 940)	52	(41 - 60)	650	(530 - 760)
P-Schlacke	53	(32 - 86)	74	(65 - 82)	170	(58 - 270)
Ni-Schlacke	52		78		76	
Ni-Mn-Schlacke	311		37		710	
Al-Schlacke	14	(12 - 16)	8	(6 - 9)	750	(360 - 960)
Fe-Cr-Si-Schlacke	9		6		10	
Sn-Schlacke	1100	(1000 - 1200)	300	(230 - 340)	330	
Siemens-Martin-Schlacke	20		7		22	
Pb-Schlacke	270		36		200	
S-Schlacke	12	(8 - 15)	< 10		58	(30 - 85)
Frischschlacke	19	(17 - 23)	6	(5 - 8)	20	(10 - 34)
Thomasschlacke (Belgien)	19		-		-	
Stahlschlacke	10	(6 - 13)	4	(1 - 7)	11	(1 - 21)
Kupolofenschlacke	110		47		210	
Verblasofenschlacke	1000	(980 - 1100)	286	(260 - 310)	-	
Kesselschlacke	68	(24 - 110)	54	(7 - 120)	200	(20 - 330)
Hochofenschlacke	100	(40 - 200)	100	(30 - 300)	500	(200 - 1000)
Bergbauabraum	700	(36 - 5900)	70	(27 - 100)	700	(40 - 1200)
Aufbereitungsrückstände (Nichturanindustrie)	170	(9 - 310)	84	(3 - 250)	130	(1 - 280)
Braunkohlenfilterasche (Ostdeutschland)	82	(4 - 200)	51	(6 - 150)	147	(12 - 610)
Flugasche (nicht spezifiziert)	200	(26 - 1110)	100	(14 - 300)	700	(170 - 1450)
Chemiegips aus:						
Apatit	60	(40 - 70)	< 20		-	
Phosphorit	550	(300 - 1100)	20	(< 4 - 160)	110	(< 40 - 300)
Rauchgasentschwefelung	8	(3 - 70)	6	(4 - 20)	50	(< 20 - 80)
Flussspat	35		8		280	
Schwerspat	180		17		350	
Feldspat	60	(40 - 100)	100	(70 - 200)	3000	(2000 - 4000)
Bauxit (Ungarn)	170		100		< 20	
Bauxit (Zaire)	240		120		< 30	
Bauxit (Guayana)	33		170		66	
Bauxit (Rotschlamm)	200	(< 20 - 800)	400	(50 - 1000)	400	(< 20 - 1000)
Eisenerz (Brasilien)	22		4		-	
Eisenerz (Indien)	21		2		27	
Rohphosphat (nicht spezifiziert)	1000	(100 - 2000)	40	(< 20 - 100)	500	(< 40 - 900)

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
spezifische Aktivität (Bq/kg TM)						
Apatit (GUS)	30		60		100	
Phosphorit (GUS)	390		25		230	
Phosphat (Marokko)	1800		26		-	
Phosphat (GUS - Kola)	59		64		-	
Magnetit (Erzgebirge)	44		3		52	
Mikrolithkonzentrat (Mosambique)	120 000		11 000		-	
Tantalitkonzentrat (Mosambique)	14 000		3900		-	
Monazitsand (Indien, Sri Lanka)	600	(30 - 1000)	2000	(50 - 300)	40	(< 40 - 70)
Monazitkonzentrat (Mosambique)	36 000		84 000		-	
Silberkonzentrat (Erzgebirge)	140		150		5200	
Blähton und Blähschiefer	40	(< 20 - 70)	70	(30 - 90)	600	(70 - 800)
Hüttenbims	170	(110 - 230)	43	(24 - 62)	190	(180 - 190)
Porensinter	37		51		690	
Düngemittel (nicht spezifiziert)	400	(< 20 - 1000)	20	(< 20 - 30)	4000	(< 40 - 8000)
Superphosphate						
(Deutschland)	375	(230 - 520)	30	(15 - 44)	96	(52 - 140)
(USA)	785	(780 - 790)	34	(20 - 48)	-	
(GUS)	110		44		120	
(Belgien)	910		< 25		< 180	
PK-Dünger (Deutschland)	370		15		5900	
PN-Dünger						
(Deutschland)	310		30		41	
(GUS)	460	(100 - 820)	29	(10 - 48)	-	
(USA)	115	(20 - 210)	39	(15 - 63)	-	
NPK-Dünger						
(Deutschland)	270		15		5200	
(GUS)	9		54		1200	
(Belgien)	210		< 15		5900	
Koks	30	(20 - 30)	< 20		70	(40 - 80)
Steinkohle	32	(5 - 150)	21	(5 - 63)	225	(7 - 700)
Braunkohle	10	(< 1 - 51)	8	(< 1 - 58)	22	(< 4 - 220)
Bitumen, Teer	< 20		< 20		110	(37 - 260)

Literatur

- [1] Europäische Kommission, Mandat M/366 EN concerning the execution of the standardisation work for the development of horizontal standardised assessment methods for harmonised approaches relating to dangerous substances under the construction products directive, Brüssel, 16. März 2005

II GRUNDLAGEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, vom Deutschen Wetterdienst, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, vom Johann Heinrich von Thünen-Institut und vom Max Rubner-Institut

1. Quellen künstlicher Radioaktivität

1.1 Kernwaffenversuche

Die Umweltradioaktivität bedingt durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Sr-90 und Cs-137 auch heute noch in der Umwelt vorhanden. [Tabelle G II 1.1-1](#) und [Abbildung G II 1.1-1](#) geben einen Überblick aller bekannt gewordenen Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2016. Die Zahl der Kernwaffenversuche kann bei Verwendung unterschiedlicher Informationsquellen differieren.

Nach langjährigen Bemühungen der internationalen Staatengemeinschaft wurde am 24. September 1996 der Vertrag über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) zur Unterzeichnung aufgelegt. Er verbietet nukleare Versuchsexplosionen und soll die Weiterentwicklung und Verbreitung dieser Waffen verhindern. Die Vertragsorganisation mit Sitz in Wien (CTBTO) baut zurzeit mit Hilfe der Signatarstaaten ein weltweites Überwachungssystem mit einem Netz von 321 Messstationen (Internationales Messnetz, IMS) auf. Es ist in der Lage, eine nukleare Explosion von einer Kilotonne TNT-Äquivalent an jedem Ort der Erde mit hoher Wahrscheinlichkeit zu entdecken, zu identifizieren und auch zu lokalisieren. Dieses System beinhaltet 170 seismographische Stationen, 11 Hydroakustik- und 60 Infraschallstationen sowie 80 Spurenmessstationen für Radioaktivität in Luft. Das Radioaktivitätsmessnetz wird ergänzt durch 16 Radionuklidlaboratorien, deren wichtigste Aufgaben die Qualitätssicherung und die unabhängige Nachmessung von Proben bei außergewöhnlichen Messergebnissen der Radionuklidstationen sind. Das BFS ist im Auftrag des Auswärtigen Amtes für die Radionuklidmesstechnik und Bewertung von Radionukliddaten der CTBTO auf nationaler Ebene zuständig. Es ist für den Betrieb der deutschen Radionuklidstation auf dem Schauinsland bei Freiburg verantwortlich und in Zusammenarbeit mit der Vertragsorganisation an der Weiterentwicklung der Messtechnik und Optimierung des Verifikationssystems beteiligt. Mit seinem Edelgaslabor unterstützt es die CTBTO bei dem Aufbau eines Qualitätssicherungsprogramms für das Edelgasmessnetz.

Die einzige Radionuklidstation in Mitteleuropa befindet sich an der Station Schauinsland des BFS (Radionuklidstation 33, RN 33) in der Nähe von Freiburg. Dort sind seit 2003 automatische Messsysteme mit hoher Empfindlichkeit sowohl für den Nachweis von schwebstoffgebundener Radioaktivität als auch für den Nachweis der radioaktiven Xenonisotope Xe-135, Xe-133m, Xe-133 und Xe-131m in Betrieb. Der Probenentnahmezeitraum dieser kontinuierlichen Überwachungssysteme beträgt jeweils 24 Stunden. Die Daten beider Messsysteme der Radionuklidstation werden über Satellitenverbindung alle 2 Stunden an das internationale Datenzentrum der Vertragsorganisation in Wien geschickt. Das Messsystem für den Nachweis der aerosolpartikelgebundenen Radioaktivität (RASA) wurde im Dezember 2004 und das Edelgasmesssystem im November 2013 von der CTBTO zertifiziert. Beide sind seitdem offizieller Bestandteil des IMS.

Seit 2006 hat nur noch Nordkorea (DPRK) unterirdische Kernwaffenversuche durchgeführt (2006, 2009, 2013, 2016, 2017), diese Tests wurden mit den seismischen Stationen des IMS registriert. Der Nachweis einer Freisetzung von Radionukliden in die Atmosphäre konnte dabei in zwei Fällen erbracht werden (2006, 2013). Dieser Nachweis gelingt jedoch nicht in allen Fällen, da bei unterirdischen Kernwaffenversuchen eine Freisetzung ggf. stark verzögert und auch nur in sehr geringem Ausmaß erfolgen kann.

Zivile und wissenschaftliche Nutzung des internationalen Messnetzes

Neben den im März 2011 durch die Erdbeben und den Tsunami bei den Wellentechnologien verursachten Signalen wurden in der Folge des Reaktorunfalls in Fukushima an allen auf der Nordhalbkugel gelegenen Radionuklidmessstationen des IMS künstliche Radionuklide nachgewiesen. Die Messergebnisse an den Stationen des IMS trugen in den ersten Wochen nach dem Unglück sowohl zu einer Bewertung des Unfalls als auch zur Information über die Ausbreitung der radioaktiven Wolke, deren Zusammensetzung und Verdünnung bei. Das Verifikationsmessnetz zeigte in diesem Stresstest sehr deutlich seine Wichtigkeit für eine zivile (z. B. Notfallschutz) und wissenschaftliche Nutzung der Daten auf.

Tabelle G II 1.1-1 Anzahl der Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2017
(Number of nuclear weapons tests in the years 1945 - 2017)

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in												
	USA		UdSSR/ Russland		Großbritannien		Frankreich		China		Indien	Pakis- tan	Nord- korea
	atmo- sph.	unter- ird.	atmo- sph.	unter- ird.	atmo- sph.	unter- ird.	atmo- sph.	unter- ird.	atmo- sph.	unter- ird.	unter- ird.	unter- ird.	unter- ird.
1945	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	16	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	11	-	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
1954	6	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1955	14	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	17	-	9	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	23	5	16	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	52	14	34	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
1961	-	10	58	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-
1962	40	57	78	1	-	2	-	1	-	-	-	-	-
1963	-	45	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
1964	-	48	-	9	-	2	-	3	1	-	-	-	-
1965	-	39	-	15	-	1	-	4	1	-	-	-	-
1966	-	49	-	19	-	-	5	1	3	-	-	-	-
1967	-	42	-	23	-	-	3	-	2	-	-	-	-
1968	-	72	-	23	-	-	5	-	1	-	-	-	-
1969	-	61	-	24	-	-	-	-	1	1	-	-	-
1970	-	60	-	21	-	-	8	-	1	-	-	-	-
1971	-	28	-	29	-	-	5	-	1	-	-	-	-
1972	-	32	-	31	-	-	3	-	2	-	-	-	-
1973	-	27	-	22	-	-	5	-	1	-	-	-	-
1974	-	25	-	27	-	1	7	-	1	-	1	-	-
1975	-	23	-	35	-	-	-	2	-	1	-	-	-
1976	-	20	-	27	-	1	-	5	3	1	-	-	-
1977	-	23	-	36	-	-	-	9	1	-	-	-	-
1978	-	20	-	55	-	2	-	11	2	1	-	-	-
1979	-	15	-	52	-	1	-	10	-	-	-	-	-
1980	-	14	-	43	-	3	-	12	1	-	-	-	-
1981	-	16	-	37	-	1	-	12	-	-	-	-	-
1982	-	18	-	34	-	1	-	10	-	1	-	-	-
1983	-	19	-	37	-	1	-	9	-	2	-	-	-
1984	-	18	-	52	-	2	-	8	-	2	-	-	-
1985	-	17	-	10	-	1	-	8	-	-	-	-	-
1986	-	14	-	-	-	1	-	8	-	-	-	-	-
1987	-	16	-	39	-	1	-	8	-	1	-	-	-
1988	-	18	-	29	-	-	-	8	-	1	-	-	-
1989	-	15	-	11	-	1	-	9	-	-	-	-	-
1990	-	10	-	8	-	1	-	6	-	2	-	-	-
1991	-	9	-	-	-	1	-	6	-	-	-	-	-
1992	-	8	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	5	-	2	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Summe	197	908	219	750	21	24	45	160	22	22	6	6	6

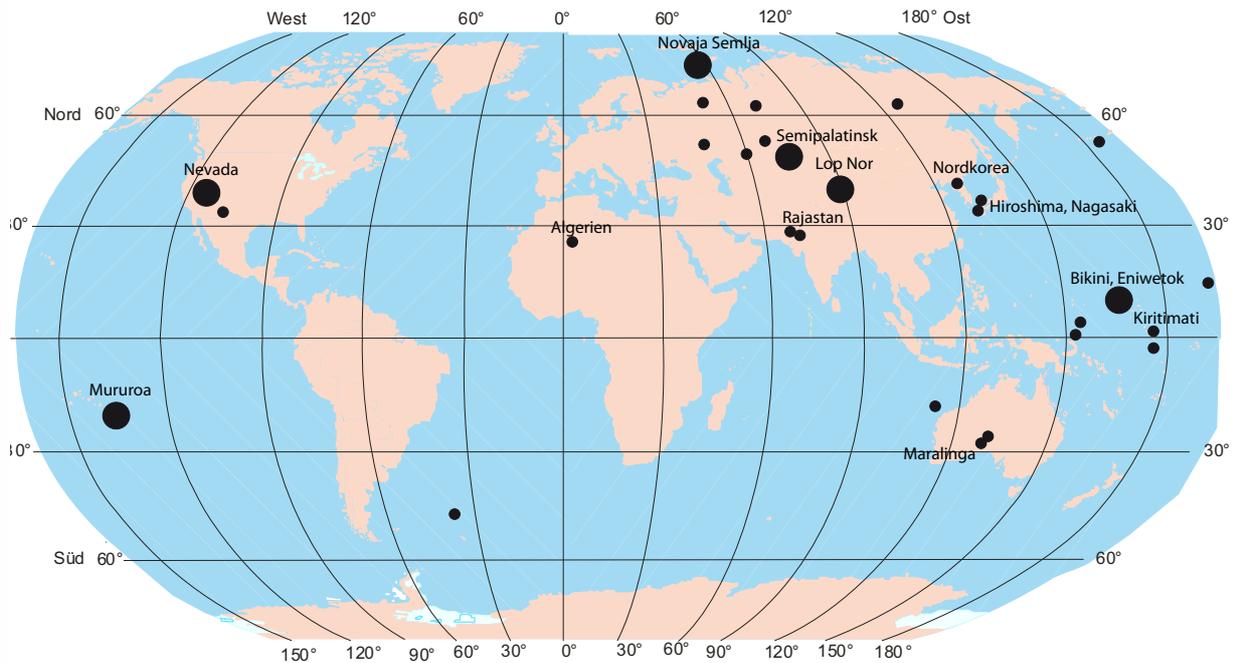


Abbildung G II 1.1-1 Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (verändert nach UNSCEAR)
(Locations of nuclear explosions to date - modified according to data of UNSCEAR)

1.2 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall

Tschernobyl

Seit der Jahrtausendwende trägt nur noch Cs-137 mit 30 Jahren Halbwertszeit nennenswert zur Strahlenexposition durch den Reaktorunfall in Tschernobyl bei. Dieser Beitrag von gut 10 Mikrosievert pro Jahr ($\mu\text{Sv/a}$) ist hauptsächlich auf die Bodenstrahlung zurück zu führen. Der Beitrag zur inneren Strahlenbelastung ist dagegen mit weniger als $1 \mu\text{Sv/a}$ gering. Bei einer mittleren Bodenbelastung von z. B. 3000 Becquerel pro Quadratmeter (Bq/m^2) beträgt die Strahlenexposition durch Bodenstrahlung im Freien etwa $10 \mu\text{Sv}$, in Gebäuden etwa $2 \mu\text{Sv}$ pro Jahr. Dem liegt ein Abschirmfaktor in Gebäuden von 0,15 zu Grunde. Bei einer Aufenthaltsdauer von täglich 5 Stunden im Freien ergibt sich daraus eine durchschnittliche Strahlenbelastung von $5 \mu\text{Sv/a}$ (zum Vergleich: 1986 ca. $70 \mu\text{Sv}$, siehe [Tabelle G II 1.2-1](#)). In Gebieten, die eine höhere Ablagerung aufweisen, z. B. in höher kontaminierten Gebieten im Bayerischen Wald, kann die Jahresdosis bei einer Bodenbelegung von $70\,000 \text{ Bq/m}^2$ [1] nach wie vor $90 \mu\text{Sv}$ pro Jahr erreichen. Die durch externe Strahlung natürlicher Radionuklide verursachte effektive Dosis (siehe Grundlagenteil I 1.1, "[Natürlich radioaktive Stoffe im Boden](#)") beträgt im Vergleich dazu im Mittel $400 \mu\text{Sv}$ pro Jahr (ohne kosmische Strahlung).

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland eine durch Radionuklide aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl verursachte mittlere effektive Dosis, die schon seit einigen Jahren unter $15 \mu\text{Sv}$ liegt. Diese Strahlenexposition wird zu mehr als 90 % durch die Bodenstrahlung von abgelagertem Cs-137 verursacht und wird entsprechend der Halbwertszeit dieses Radionuklids von ca. 30 Jahren in den folgenden Jahren um etwa 2,3 % pro Jahr zurückgehen. Im Vergleich zur mittleren effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von $2100 \mu\text{Sv}$ pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl in Deutschland sehr gering.

Literatur

- [1] Fielitz U: „Untersuchungen zum Verhalten von Radiocäsium in Wildschweinen und anderen Biomedien des Waldes“, In: BMUB, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMUB-2005-675
www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/strahlenschutz/schriftenreihe_reaktorsicherheit_strahlenschutz/application/pdf/schriftenreihe_rs675.pdf

Tabelle G II 1.2-1 Mittlere effektive Dosis durch den Reaktorunfall in Tschernobyl für Erwachsene in Deutschland
(Mean effective dose to adults in Germany from the Chernobyl accident)

Jahr	externe Strahlenexposition (mSv/a)	interne Strahlenexposition (mSv/a)	gesamte Strahlenexposition (mSv/a)
1986	ca. 0,07 ^a	ca. 0,04 ^b	ca. 0,11
1987	ca. 0,03	ca. 0,04 ^c	ca. 0,07
1988	ca. 0,025	ca. 0,015 ^d	ca. 0,04
1989	ca. 0,02	ca. 0,01	ca. 0,03
1990	ca. 0,02	< 0,01	ca. 0,025
1991-1993	< 0,02	< 0,01	ca. 0,02 ^e
1994	< 0,02	< 0,01	< 0,02
1995-1999	< 0,015	< 0,001	< 0,02
ab 2000	< 0,012	< 0,001	< 0,015

- a) im Münchener Raum um etwa den Faktor 4, im Berchtesgadener Raum und anderen hoch belasteten Gebieten um etwa den Faktor 10 höher; dies gilt in etwa auch für die folgenden Jahre
- b) in Bayern um etwa den Faktor 4, in Südbayern um etwa den Faktor 6 höher
- c) in Bayern um etwa den Faktor 3, in Südbayern um etwa den Faktor 6 höher
- d) die regionalen Unterschiede sind nicht mehr so stark ausgeprägt wie in den Vorjahren
- e) die mittlere effektive Dosis wird ab 1991 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des deponierten Cs-137 verursacht

1.3 Fukushima

Ausführliche Darstellungen zur Auswirkung des Unfalls in Fukushima im Jahr 2011 enthalten die Berichtsteile der Jahresberichte über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMUB für die Jahre 2011 und 2012. Im Folgenden wird eine aktualisierte Übersicht gegeben.

Am 11. März 2011 um 14:46 Ortszeit wurde Japan von einem Erdbeben der Stufe 9,0 mit Epizentrum vor der Küste der Präfektur Miyagi erschüttert. Als Folge des dadurch ausgelösten Tsunamis wurde die Küstenregion verwüstet. Hierbei wurde auch die Strom- und Notstromzufuhr für die Blöcke 1 - 3 des Kernkraftwerks unterbrochen, so dass in der Folge die Reaktorkerne dieser Blöcke zerstört wurden. Durch den Unfall wurden große Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt und teilweise durch den Wind in Richtung Pazifik, teilweise aber auch ins Landesinnere transportiert. Weiterhin wurden radioaktive Stoffe in großem Maße in den Pazifik abgeleitet. Der Unfall wurde auf der Internationalen Bewertungsskala für Nukleare Ereignisse INES in Stufe 7, der höchsten Stufe, eingeordnet [1].

Die Auswirkungen des Ereignisses waren in Deutschland mit Mitteln der Spurenanalytik kurzzeitig messbar, die Aktivitätswerte in Luft, Niederschlag und Nahrungsmitteln fielen aber schon im Laufe des Jahres 2011 wieder unter die Nachweisgrenzen. Die Kontamination durch den Unfall in Fukushima lag drei bis vier Größenordnungen (d. h. um den Faktor tausend bis zehntausend) unter den als Folge des Unfalls in Tschernobyl gemessenen Werten [2]. In Deutschland waren seit der zweiten Jahreshälfte 2011 keine erhöhten Radionuklidaktivitäten aus der Fukushima-Katastrophe mehr nachweisbar. In Zeitreihen ist der Einfluss des Fukushima-Ereignisses erkennbar, z. B. in Abbildung B II 2.1-1 und Abbildung B II 2.1-4 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“. Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Spurenmessstellen im Rahmen der Ereignisse von Fukushima befindet sich in Teil III im „Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz“ [3] und [4]. Weiterführende aktuelle Informationen sind auf der Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz veröffentlicht (www.bfs.de/DE/themen/ion/notfallschutz/notfall/fukushima/fukushima_node.html).

Radionuklide in der Luft

Um Messergebnisse mit hoher zeitlicher Auflösung zu erhalten, wurde der Zeittakt für die Probenentnahme der aerosolgebundenen Radionuklide an den vier Spurenmessstellen, die auch Bestandteil des EU-Sparse Network sind (Abbildung G II 1.3-1, s.a. Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz Teil II, Kapitel 5 [3]), ab dem 23.03.11 von wöchentlicher auf tägliche Probenentnahme umgestellt. Die PTB (Braunschweig) und das BfS (Schauinsland/Freiburg) verfügen über einen zweiten Hochvolumensammler am jeweiligen Probenentnahmeort, der DWD (Potsdam und Offenbach) an seiner Station in Offenbach. Diese zusätzlichen Sammler wurden weiterhin im wöchentlichen Rhythmus betrieben. Dies hatte den Vorteil, dass neben Messungen mit einer hohen zeitlichen Auflösung und entsprechend höheren Nachweisgrenzen (NWG bezogen auf Co-60: ca. 20 µBq/m³ bis 30 µBq/m³) auch zusätzlich solche mit der gewohnten Empfindlichkeit (NGW bezogen auf Co-60: ca. 0,3 µBq/m³) durchgeführt werden konnten.

Als Ergebnis der Messungen sind in Abbildung G II 1.3-1 der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von I-131 und Cs-137 an den Spurenmessstellen in Braunschweig, Potsdam, Offenbach und auf dem Schauinsland dargestellt.

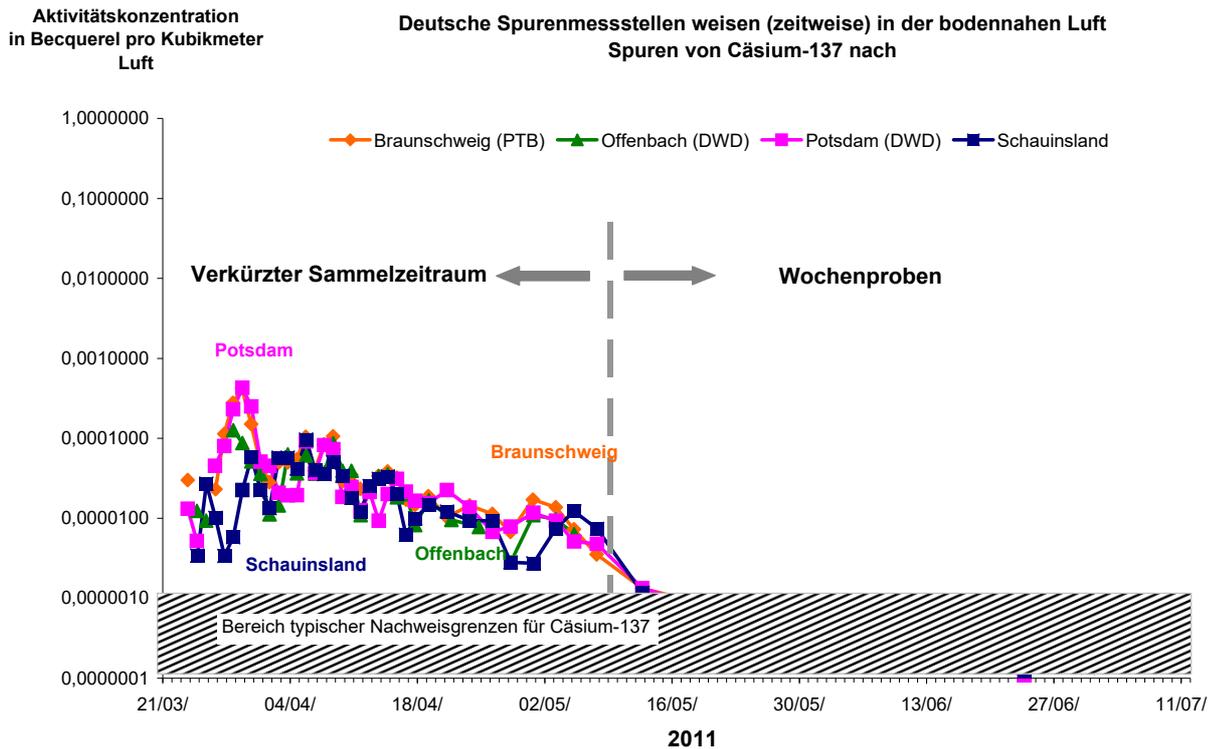
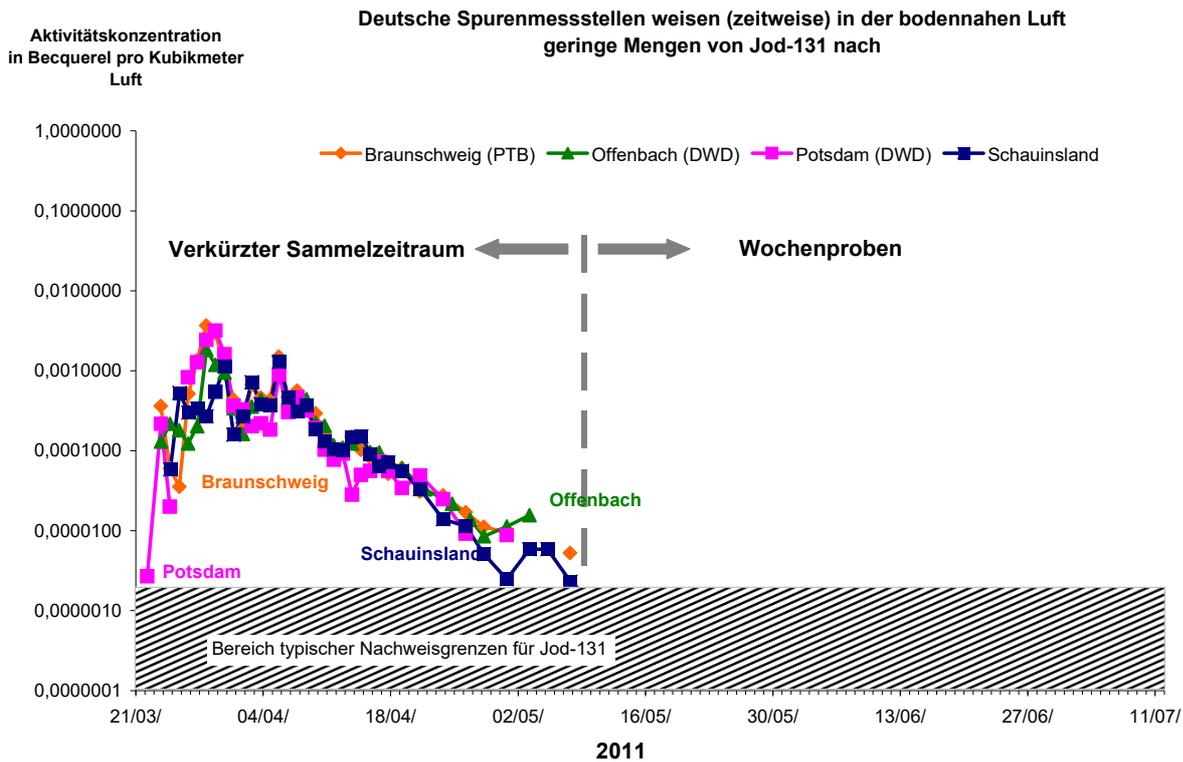


Abbildung G II 1.3-1 Aktivitätskonzentrationen von I-131 und Cs-137 an den deutschen Spurenmessstellen, die Bestandteil des EU-Sparse Network sind
(Activity concentrations of I-131 and Cs-137 in ground-level air at those German sampling sites, which are part of the EU-Sparse Network)

In Ergänzung zu den Messungen der aerosolgebundenen Radionuklide wurden, ebenfalls auf der Basis verkürzter Probenentnahmezeiträume, an der Messstationen Offenbach (DWD) und auf dem Schauinsland (BfS) die Aktivitätskonzentrationen des Edelgases Xenon bestimmt. Hier zeigte sich ebenfalls im Zeitraum vom 23.03.11 bis zum 01.04.11 eine signifikante Erhöhung, in den folgenden Wochen sanken die Aktivitätskonzentrationen wieder auf das Niveau vor dem Unfall in Fukushima.

Neben den Messungen der bodennahen Luft wurden auf der Basis der meteorologischen Prognosen am 23. und am 30.03.11 im deutschen Luftraum Messflüge durch den DWD durchgeführt. Der erste Messflug ergab keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen. Während des zweiten Messfluges am 30.03.11 wurden für I-131 Aktivitätskonzentrationen von 1,7 mBq/m³ in einer Flughöhe von 10 000 m und 2,6 mBq/m³ in einer Flughöhe von 6000 m festgestellt, also ähnliche Werte wie in der bodennahen Luft (s. o.).

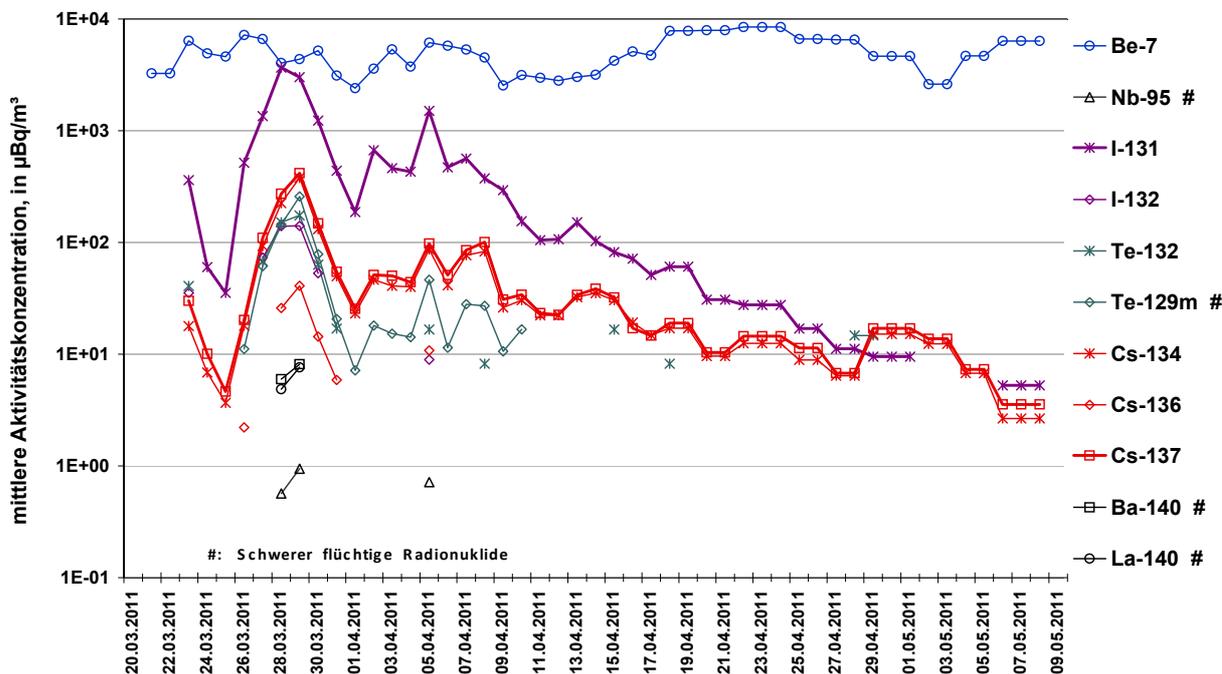


Abbildung G II 1.3-2 Aktivitätskonzentrationen verschiedener Radionuklide aus Fukushima in der bodennahen Luft im Zeitraum März 2011 bis Mai 2011 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations of several radionuclides from Fukushima in ground-level air at the sampling site Braunschweig in the period March 2011 to May 2011)

Ergänzend zu den täglichen direkten Messungen der Luftfilter wurden in der PTB ausgewählte Tagesproben aus den beiden Maxima der Luftkontamination in Braunschweig von Ende März und Anfang April 2011 zusätzlich der nach Routine-Messprogramm (RMP) vorgesehenen, zeitaufwändigen Probenbearbeitung unterzogen. Dieses zeitaufwändige Verfahren ermöglicht auch die Bestimmung von schwerer flüchtigen Radionukliden, deren Aktivitätskonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenzen liegen, die bei der direkten Messung einer frischen Luftstaubprobe erreichbar sind. Die Ergebnisse dieser ergänzenden Messungen zeigt die [Abbildung G II 1.3-2](#). In dieser sind die schwerer flüchtigen künstlichen Radionuklide, die nur mit diesem Verfahren nachgewiesen werden konnten, durch ein nachgestelltes „#“ gekennzeichnet. Im Vergleich zu den Aktivitätskonzentrationen der im Luftstaub enthaltenen natürlichen Radionuklide sind diese radiologisch bedeutungslos.

Auch an der Messstation Schauinsland des BfS wurden im Rahmen der Ereignisse von Fukushima neben den Tagesproben zusätzlich Wochenproben mit einem zweiten Hochvolumensammler entnommen. Auf Grund des - gegenüber den Tagesproben - höheren Luftvolumens und längeren Messzeiten wurde für diese Proben eine höhere Nachweisempfindlichkeit erreicht. Mit diesem Verfahren konnten so, wie bei den zusätzlichen Messungen der PTB, weitere Radionuklide nachgewiesen werden (z. B. Te-129m, Cs-136), die in den „Schnellmessungen“ für tagesaktuelle Messwerte nicht zugänglich waren.

Radionuklide im Niederschlag

Ein Einfluss auf den Jahresmittelwert durch deponierte Radionuklide resultierend aus der Freisetzung in Fukushima/Japan zeigte sich in Niederschlagsproben nicht.

Radionuklide im Meerwasser

Bei den Untersuchungen im Jahr 2011 konnte kein Eintrag aus dem Fukushima-Unfall in Nord- und Ostsee nachgewiesen werden. Der Eintrag aus den Emissionen aus Fukushima in Nord- und Ostsee war sehr gering, so dass ein Nachweis im Meerwasser, Schwebstoff oder Sediment von vornherein sehr unwahrscheinlich war.

Radionuklide in Binnengewässern

Wie im Jahr 2011 waren auch in den Folgejahren relevante Auswirkungen des Reaktorunfalls von Fukushima nicht zu verzeichnen. Lediglich in einer Sedimentprobe wurde im RMP Cs-134 mit unter 0,5 Bq/kg TM nachgewiesen, was auf einen geringfügigen früheren Eintrag hindeuten könnte. Bei anderen Radionukliden, insbesondere I-131 und Cs-137, ist ein diesbezüglicher Einfluss wegen der anderweitigen Einträge bzw. Vorbelastungen nicht explizit darstellbar.

Radionuklide in Blattgemüse, Milch und Weidenbewuchs

Nach den ersten Meldungen von Spuren der künstlichen Radionuklide I-131 und Cs-137 in Luftfilterproben der BFS-Messstation Schauinsland, begann die Leitstelle in Kiel repräsentative Umweltmedien aus der Umgebung regelmäßig zu untersuchen. Die repräsentativen Umweltmedien waren Rohmilch (stellvertretend für Nahrungsmittel tierischer Herkunft), Winterlauch (stellvertretend für pflanzliche Nahrungsmittel) bzw. Weidebewuchs (stellvertretend für Futtermittel). Nach dem Erscheinen des ersten Berichts [2] zum Sonderthema Fukushima im Jahr 2011 wurden im weiteren Verlauf des Jahres 2011 23 Werte für I-131 und 24 Werte für Cs-134 in verschiedenen Umweltbereichen im IMIS erfasst, die wahrscheinlich Folge des Reaktorunfalls in Fukushima sind. Die Mehrzahl der Werte wurde in Weide- und Wiesenbewuchs bestimmt. 17 Werte wurden für I-131 und 11 Werte für Cs-134 abgegeben. Sie lagen zwischen 0,07 und 1,94 Bq I-131/kg FM (Mittelwert 0,55 Bq/kg FM) und zwischen 0,04 und 0,08 Bq Cs-134/kg FM. Die Proben wurden im Zeitraum 05. bis 26.04.2011 genommen. In zwei Grasproben (als Indikatoren) vom 05.04.2011 und 18.05.2011 wurden 5,9 bzw. 0,32 Bq I-131/kg TM bestimmt. In diesem Umweltmedium variierten die Cs-134-Werte im Bereich 0,13 und 0,62 Bq/kg TM mit einem Mittelwert von 0,29 Bq/kg TM bei 8 Proben. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Massenbezüge (FM/TM ca. 5) stimmen die Werte aus beiden Umweltbereichen überein.

Vereinzelte Messwerte für I-131 und Cs-134 bei anderen Probenarten sind auch wahrscheinlich durch den Fukushima-Unfall zu erklären: Blattgemüse mit 0,9 Bq I-131/kg FM (eine Probe), Wildpilze mit 0,2 Bq Cs-134/kg FM (eine Probe), sowie eine Ackerbodenprobe mit 0,12 Bq I-131/kg TM und eine andere mit 0,9 Bq Cs-134/kg TM. In Nadeln (2 Proben) wurden 0,1 Bq Cs-134/kg TM und in Blättern (1 Probe) 0,34 Bq Cs-134/kg TM gefunden.

Im Jahr 2012 war bei lediglich 2 Maronenproben ein möglicher Beitrag aus dem Fukushima-Unfall erkennbar. Bei diesen Proben lagen die Cs-137/Cs-134-Aktivitätsverhältnisse bei 600 bzw. 5500, d. h. geringer als der Erwartungswert für das Jahr 2012 von ca. 6100 bis 6500.

Radionuklide in importierten Fischereierzeugnissen

Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 wurde ein europaweites Schnellwarnsystem zur Überwachung der Radioaktivität in importierten Lebensmitteln aus dem pazifischen Raum eingerichtet. Danach werden in die EU eingeführte Waren aus Japan stichprobenartig auf die Aktivitäten von Cs-134 und Cs-137 kontrolliert und die ermittelten Werte mit denen verglichen, die vor dem Export aus den betroffenen Regionen Japans erhoben und für jede Sendung dokumentiert werden müssen. Die Ergebnisse der Untersuchungen der deutschen Landesmessstellen auf Cs-137 sind im Berichtsteil jeweils im Abschnitt „Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer“ zusammengestellt, während die Werte für Cs-134 an denselben Proben alle unterhalb der Nachweisgrenze lagen und nicht berichtet werden. Die im Jahr 2014 in Seefischen aus dem Pazifik nachgewiesenen Aktivitäten von Cs-137 waren mit einem Median von 0,09 Bq/kg (27 Messungen, Wertebereich 0,07 bis 0,21 Bq/kg FM) in derselben Größenordnung wie die von Seefischen in der Nordsee, allerdings sind die Maximalwerte der Proben aus der Nordsee höher (z. B. 6,8 Bq/kg FM im Jahr 2014). Auch in Fischereierzeugnissen aus dem Pazifik war die ermittelte spezifische Cs-137-Aktivität im Jahr 2014 mit 0,11 Bq/kg auf diesem Niveau. In Krusten- und Schalentieren konnten keine Cs-137-Aktivitäten oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt werden.

Bewertung des in Deutschland beobachteten Einflusses der Freisetzungen in Fukushima

Die Messergebnisse künstlicher Radionuklide aus den Freisetzungen der zerstörten Reaktoren des Kraftwerks Fukushima stellten keine gesundheitliche Gefährdung für die Menschen und die Umwelt in Deutschland und Europa dar, da sie ein Vielfaches unterhalb der Strahlenbelastung durch natürliche Radionuklide lagen. Auch in Importproben von Krusten- und Schalentieren aus Japan konnten keine Cs-137-Aktivitäten oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt werden. Japanischer Seefisch wies Cs-137-Aktivitäten in der gleichen Größenordnung wie Seefisch aus der Nordsee auf.

Konsequenzen aus dem Reaktorunglück in Fukushima

Der Reaktorunfall im Jahr 2011 im japanischen Fukushima gab sowohl national als auch international Anlass, die Bewältigung dieser Krise und die damit verbundenen radiologischen Konsequenzen eingehend zu analysieren. Von verschiedenen Seiten wurden Fragen nach entsprechenden Konsequenzen für den Notfallschutz gestellt.

Internationale Gremien und Organisationen wie ICRP und IAEA haben ihre Empfehlungen und Standards weiterentwickelt und dabei neue Erkenntnisse aus dem Reaktorunfall einfließen lassen.

Eine der wichtigsten Erkenntnisse ist es, dass die Gesundheit der Bevölkerung in Japan nicht so sehr durch die radiologischen Folgen, sondern vor allem durch die sozialen und mentalen Konsequenzen (z. B. Stigmatisierung, Traumatisierung und psychische Schäden) beeinträchtigt wird. Die existierenden Schutzkonzepte waren zu wenig auf die Vermeidung oder Minimierung dieser nicht-radiologischen Folgen ausgelegt.

Auch die Rechtfertigung von einschneidenden Schutzmaßnahmen wie „Evakuierung“ wird international intensiv diskutiert. Diese Maßnahme dient der Vermeidung von hohen Strahlenexpositionen der Bevölkerung, kann aber auch mit erheblichen Gefahren verbunden sein. In Japan starben infolge von Evakuierungen mehr als 50 Personen (insbesondere bei der Evakuierung von Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen), während keine Todesfälle auf Grund akuter Strahlenexposition aufgetreten sind.

Bei der Planung der Bewältigung einer Notfallsituation muss in viel stärkerem Maße als bisher die Nachunfallphase und die Rückkehr zu normalem Leben berücksichtigt werden. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass im Notfall der Umgang mit Langzeitfolgen leichter möglich ist, wenn bereits die Planungen auch Fragen der medizinischen Nachsorge, der Rückführung von evakuierten Bevölkerungsgruppen und der Behandlung von radioaktiven Abfällen berücksichtigen. In einigen Ländern, z. B. Frankreich (CODIRPA), existieren hier schon fortgeschrittene Konzepte.

Programme zur Gesundheitsüberwachung nach kerntechnischen Unfällen mit großräumigen Auswirkungen müssen vorgeplant werden. Schnelle Screening-Programme - insbesondere zur Erfassung der Schilddrüsenexposition bei Kindern - sind wichtig, zum einen um die exponierten Personen zu identifizieren und einer angemessenen Nachsorge zuzukommen zu lassen, zum anderen um den nicht-kontaminierten Personen die Sorge vor Langzeit-Schäden zu nehmen. Allerdings muss bei diesen Programmen die umfassende Beratung der Untersuchten einen wesentlich höheren Stellenwert als bisher einnehmen. Eine langfristige Gesundheitsüberwachung sollte nur für die Personen durchgeführt werden, die dies entweder explizit wünschen oder die eine Strahlenexposition erhalten haben, bei der radiologische Gesundheitsfolgen zu erwarten sind.

Die Kommunikation radiologischer Risiken und die Begründung angemessener Notfallschutzmaßnahmen für die Bevölkerung muss in der Zukunft deutlich verbessert werden. In Japan hat sich gezeigt, dass die Kommunikation in vielen Fällen nicht zielführend war und die Bevölkerung sich oftmals nicht ausreichend informiert fühlte. Grundlegende Strahlenschutzkonzepte und Begründungen für das Ergreifen - oder auch Nicht-Ergreifen - von Schutzmaßnahmen müssen in klarer und einfacher Sprache so adressiert werden, dass die Informations-Bedürfnisse der Bevölkerung erfüllt werden. Dazu muss auch - zusammen mit der Bevölkerung - die Frage „Was ist sicher?“ geklärt werden.

Die Europäische Kommission hat Ende 2012 eine Studie zur Überprüfung des anlagenexternen kerntechnischen Notfallschutzes in der Europäischen Union (EU) und in einigen Nachbarländern in Auftrag gegeben. Wichtigste Schlussfolgerungen waren:

- Die europäischen Länder erfüllen im Allgemeinen internationale Standards und Anforderungen.
- Allerdings weist der Notfallschutz in Europa trotzdem eine Reihe von Defiziten auf, insbesondere das Fehlen von Strategien für langfristige Notfallschutz-Maßnahmen, sowie die mangelnde Übereinstimmung von Notfallschutz-Regelungen bei grenzüberschreitenden Unfallfolgen.
- Obwohl der Notfallschutz in allen Ländern im Wesentlichen dieselben Ziele verfolgt, gibt es zahlreiche Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern in der praktischen Umsetzung, die das Vertrauen der Bevölkerung in den Notfallschutz untergraben können.
- Die für den Notfallschutz benötigten Ressourcen sind erheblich, insbesondere für kleinere Länder. Es gibt aber Möglichkeiten zur verbesserten gemeinsamen Nutzung von Ressourcen (wie z. B. von Hubschrauber-Messsystemen).

Die 2014 veröffentlichten neuen Euratom-Grundnormen berücksichtigen auch schon neue internationale Erkenntnisse aus dem Unfall in Fukushima und formulieren entsprechende Anforderungen, wie z. B.:

- Katalog von Unfallszenarien für den Notfallschutz als Planungsgrundlage,
- nachträgliche Rekonstruktion der Dosis von betroffenen Einzelpersonen der Bevölkerung und von Einsatzkräften,
- vorgeplante Strategie zur Bewältigung der Nachunfallphase.

Eine Arbeitsgruppe der europäischen Organisationen WENRA (Western European Nuclear Regulators' Association) und HERCA (Heads of the European Radiological protection Competent Authorities) hat einen gemeinsamen europäischen Ansatz für das Notfallmanagement bei Kernkraftwerksunfällen entwickelt. Dieser Ansatz behandelt insbesondere die Harmonisierung von Maßnahmen in Nachbarländern bei grenzüberschreitenden Unfällen. Außerdem sind Empfehlungen enthalten für den speziellen Fall, dass schnelle Entscheidungen über Schutzmaßnahmen getroffen werden müssen und nur wenige Informationen verfügbar sind. Der Ansatz soll die vorhandenen Konzepte für das Notfallmanagement in den europäischen Ländern ergänzen.

In Deutschland hat die Strahlenschutzkommission (SSK) die Erkenntnisse aus dem Reaktorunfall analysiert und Empfehlungen für die Weiterentwicklung des Notfallschutzes erarbeitet. Dabei sind auch viele Empfehlungen und Erkenntnisse aus der internationalen und europäischen Diskussion aufgegriffen und weitergeführt worden. Die Planung des Notfallschutzes in Deutschland soll künftig verschiedene Szenarien explizit berücksichtigen. Dazu gehören Unfälle in Kernkraftwerken im Inland und im Ausland, aber auch weitere Unfälle und Ereignisse wie z. B. radiologische Notfälle, Transportunfälle und Unfälle in kerntechnischen Anlagen, die keine Kernkraftwerke sind. Am meisten Beachtung erfahren hat dabei die Empfehlung, bei der Planung auch schwerste Unfälle nach Kategorie 7 der INES Skala der IAEA zu berücksichtigen. Die bisherige Sichtweise, dass solche Ereignisse zu unwahrscheinlich sind, um sie zwingend in der Planung zu berücksichtigen, wurde revidiert. Das BfS hat dann auf der Basis dieser Vorgaben umfangreiche repräsentative Ausbreitungsrechnungen durchgeführt und kam zu dem Ergebnis, dass die bisherigen Planungsradien erheblich auszuweiten sind. [Tabelle G I.3-1](#) gibt dies wieder.

Tabelle G I.3-1 Änderungen der Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken (Änderungen gegenüber dem Stand von 2008 sind hervorgehoben)
Changes in planning areas around NPPs for emergency protection

Planungsgebiet	bisheriger Stand (2008)	neuer Stand (2014)
Zentralzone	bis etwa 2 km: – Aufenthalt in Gebäuden – Einnahme von Iodtabletten – sofortige Evakuierung	bis etwa 5 km : – Aufenthalt in Gebäuden – Einnahme von Iodtabletten – sofortige Evakuierung
Mittelzone	bis etwa 10 km: – Aufenthalt in Gebäuden – Einnahme von Iodtabletten – Evakuierung	bis etwa 20 km : – Aufenthalt in Gebäuden – Einnahme von Iodtabletten – Evakuierung
Außenzone	bis etwa 25 km: – Einnahme von Iodtabletten	bis etwa 100 km : – Einnahme von Iodtabletten – Aufenthalt in Gebäuden
Fernzone	bis etwa 100 km: – Einnahme Iodtabletten nur Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren sowie Schwangere	gesamtes Staatsgebiet : – Versorgung von Kindern und Jugendlichen unter 18 Jahren sowie Schwangeren mit Iodtabletten

Der Arbeitskreis V der Ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder (IMK) hat ebenfalls Empfehlungen aus den Erfahrungen mit dem Unfall in Fukushima abgeleitet. Besondere Bedeutung hat die Forderung der IMK nach einem einheitlichen radiologischen Lagebild. Wegen der unausweichlichen länderübergreifenden Auswirkungen bei den meisten Szenarien sehen sowohl Bund wie auch die Länder ein gesamtstaatlich konsistentes Handeln nur dann gegeben, wenn Schutzmaßnahmen auf der Basis einer Lagedarstellung erfolgen, die für alle Behörden gleichermaßen gilt. Die Einrichtung eines radiologischen Lagezentrums des Bundes stellte in den folgenden Jahren einen wichtigen Meilenstein in der Neuordnung des Notfallschutzes dar.

Literatur

- [1] Bejdakic E et al: Die Katastrophe im Kernkraftwerk Fukushima nach dem Seebeben vom 11. März 2011, BfS-SK-Bericht BfS-SK-18/12, urn:nbn:de:0221-20120302761, Salzgitter, März 2012
- [2] Masson O, Baeza A, Bieringer J, Brudecki K, Bucci S, Cappai M, Carvalho FP, Connan O, Cosma C, Dalheimer A, Depuydt G, De Geer L.E, De Vismes A, Gini L., Groppi F, Guðnason K., Gurriaran R, Hainz D, Halldórsson O, Hammond D, Holý K, Homoki ZS, Ioannidou A, Isajenko K, Katzlberger C, Kettunen M, Kierepko R, Kontro R, Kwakman PJM, Lecomte M, Leppäne, AP. Lind B, Lujanienne G, Mc Ginnity P, Mc Mahon C, Malá H, Manenti S, Manolopoulou M, Mattila A, Mairing A, Mietelski JW, Møller B, Nielsen SP, Overwater R.M.W., Pálsson S.E., Papastefanou C., Penev I., Pham, M., Povinec P.P., Ramebäck H., Reis M.C., Ringer W, Rodriguez A, Rulík P, Saey PRJ, Samsonov V, Schlosser C, Sgorbati G, Silobritiene BV, Söderström C, Sogni R, Solier L., Sonck M, Steinhauser G, Steinkopff T, Steinmann P, Stoulos S, Šýkora I, Tooloutalaie N, Tositti L., Tschiersch J, Ugron A, Vagena E, Vargas A, Wershofen H, Zhukova O: Tracking of airborne radionuclides from the damaged Fukushima Dai-Ichi nuclear reactors by European networks. Environ. Sci. Technol., 45 (18), pp 7670-7677, 2011 (DOI: 10.1021/es2017158)
- [3] BMUB (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland, Stand 2011. Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz ISSN 1864-2810 urn:nbn:de:0221-201204188048, Bonn 2012
- [4] BMUB (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland : Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz; Stand 2014, urn:nbn:de:0221-2015103013753, Bonn, April 2015

1.4 Anlagen nach Atomgesetz - Allgemeine Angaben

Der aktuelle Bestand kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland ist in Teil B - II -1.4 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ dargestellt. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und die daraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung gelten die Vorschriften der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe ist in § 99 StrlSchV geregelt. Für die Planung, die Errichtung, den Betrieb, die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau von kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen sind hier jeweils Grenzwerte für die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen bedingte Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr festgelegt. Für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert jeweils 300 µSv über Luft bzw. Wasser pro Jahr.

Bei kerntechnischen Anlagen werden von der zuständigen Genehmigungsbehörde im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zusätzlich Höchstwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser festgelegt. In einem radioökologischen Gutachten ist dabei nachzuweisen, dass auch bei voller Ausschöpfung dieser Genehmigungswerte die Dosisgrenzwerte nach § 99 StrlSchV nicht überschritten werden. Darüber hinaus besteht nach § 4 StrlSchV die Verpflichtung, jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Die Ableitungen aus Anlagen oder Einrichtungen sind nach § 103 StrlSchV zu überwachen und nach Art und Aktivität spezifiziert der zuständigen Aufsichtsbehörde mindestens jährlich mitzuteilen. Die Anforderungen der Emissions- und Immissionsüberwachung sind in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) aufgeführt. Ziel dieser Richtlinie ist es, eine Beurteilung der aus der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen zu ermöglichen und die Kontrolle der Einhaltung der Emissions- und Dosisgrenzwerte zu gewährleisten.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung bei Kernkraftwerken erforderlichen Messungen, die Dokumentation der Messergebnisse und die Berichterstattung an die jeweils zuständige Aufsichtsbehörde sind gemäß den sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) 1503.1 (Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb) und 1504 (Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser) durchzuführen. Die Überwachung der Emissionen der Forschungsreaktoren erfolgt gemäß der KTA-Regel 1507 (Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren).

Die Messprogramme gliedern sich in die Teile „Überwachungs- und Bilanzierungsmessungen des Betreibers“ und „Kontrolle der Bilanzierungsmessungen des Betreibers durch einen unabhängigen Sachverständigen“. Dabei hat der Betreiber einer kerntechnischen Anlage sämtliche Ableitungen von Radionukliden zu erfassen und zu bilanzieren, um eine Grundlage für die Beurteilung der Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage zu schaffen. Die von den Betreibern vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich eingeschalteter Sachverständiger (Landesmessstellen, Bundesamt für Strahlenschutz) entsprechend der Richtlinie zur „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ überprüft. Betreiber und Sachverständige sind gehalten, zur internen Kontrolle der Messqualität an vom Bundesamt für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt durchgeführten Ringvergleichen teilzunehmen. Beim Ringvergleich werden identische Proben von verschiedenen Laboratorien untersucht. Ein Vergleich der Ergebnisse ermöglicht Aussagen über Messqualität und -genauigkeit der verschiedenen Labore.

Die Überwachung der Emissionen wird ergänzt durch die Überwachung der Immissionen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Auch bei der Umgebungsüberwachung ist ein Messprogramm vom Betreiber der Anlage und ein ergänzendes und kontrollierendes Programm von unabhängigen Messstellen durchzuführen. Diese Überwachungsprogramme sind für die jeweilige kerntechnische Anlage unter Berücksichtigung örtlicher und anlagenspezifischer Gegebenheiten zu erstellen. Für die Beurteilung der Immissionsverhältnisse in der Umgebung von Kernkraftwerken sind die für die Ausbreitung radioaktiver Stoffe bedeutsamen meteorologischen Einflussgrößen gemäß der KTA-Regel 1508 (Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre) zu messen und zu registrieren. Die Ergebnisse der Immissionsüberwachung dienen der Beweissicherung, der Beurteilung der Einhaltung der Dosisgrenzwerte im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie zur Beurteilung von Störfallauswirkungen.

Über diese Überwachungsprogramme hinaus verfügen die atomrechtlichen Aufsichtsbehörden mit der Kernreaktor-Fernüberwachung über Systeme zur laufenden Kontrolle sicherheitsrelevanter Betriebs-, Emissions- und Immissionsdaten, um sich von der Einhaltung der den Strahlenschutz betreffenden rechtlichen Verpflichtungen der Betreiber zu überzeugen.

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen, dem Endlager Morsleben und der Schachanlage Asse II sind in Teil B - II - 1.5 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zusammengefasst.

Die Messwerte aus der Schachanlage Asse II (Daten der Betreiber) werden hier seit dem Berichtsjahr 2007 auch dargestellt. In der Schachanlage Asse II wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts Kali- und Steinsalze abgebaut. Von 1965 bis zum 31.12.2008 betrieb das Helmholtz Zentrum München (vormals GSF) das Bergwerk im Auftrag des Bundesforschungsministeriums nach Bergrecht und nutzte es, um die Handhabung von radioaktiven Abfällen in einem Endlager zu erproben. Zwischen 1967 und 1978 wurden etwa 47 000 m³ radioaktive Abfälle in der Schachanlage Asse II eingelagert.

Im September 2008 hat das Bundeskabinett entschieden, die Schachanlage Asse II zukünftig verfahrensrechtlich wie ein Endlager zu behandeln und den Betrieb einschließlich der Stilllegung dem BfS zu übertragen.

Der Betrieb und damit der Übergang der Gesamtverantwortung auf das BfS erfolgte zum 1.1.2009.

2. Aktivitätsmessungen und Messnetze

Die Notwendigkeit zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt ergab sich ursprünglich als Folge der erforderlichen Untersuchungen des radioaktiven Fallout der Kernwaffenversuche in den 50er und 60er Jahren. Zur Umsetzung der Verpflichtungen des Euratomvertrags von 1957 und im Zuge der großtechnischen friedlichen Nutzung der Kernenergie wurde die Überwachung ausgeweitet und zunehmend gesetzlich geregelt, zusätzlich wurde ab 1990 - nach der Wiedervereinigung - die Überwachung der bergbaulichen Altlasten in den neuen Bundesländern integriert.

Nach Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren und dem großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung in Deutschland in den 60er Jahren wurde zusätzlich zur Überwachung der Umweltradioaktivität die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen bezüglich Emissionen und Immissionen von Radionukliden erforderlich. Die einzelnen Messaufgaben für die Betreiber und die behördlichen Messstellen sind in der „Richtlinie zur Emissions-

und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) festgesetzt. Diese im Jahr 1993 verabschiedete Richtlinie wurde nach der Novellierung der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 überarbeitet und gilt seit dem 01.01.2006 in der neuen Fassung.

Die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt erfolgt zum Schutz der Bevölkerung und soll eine Beurteilung ermöglichen, in welchem Maße der Mensch und die Umwelt ionisierender Strahlung durch Kontaminationen ausgesetzt sind.

Überwachung der Umweltradioaktivität

Gegenstand der in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (AVV-IMIS) festgelegten Messprogramme zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt sind radioaktive Stoffe künstlichen und natürlichen Ursprungs, die infolge von Tätigkeiten des Menschen in die Umwelt gelangen und so zu einer erhöhten Strahlenexposition führen können. Insbesondere müssen die Programme für die Überwachung der Aktivitätskonzentration bzw. der spezifischen Aktivitäten von Radionukliden in Umweltmedien die langfristigen Auswirkungen von Kernwaffenexplosionen und die großräumigen und globalen Folgen des Betriebes von Anlagen des Kernbrennstoff-Kreislaufes im In- und Ausland berücksichtigen. Die Überwachung dieser Kontaminationen erfolgt großräumig; in Teilbereichen werden auch entsprechende Veränderungen des Pegels der Umweltradioaktivität durch Anwendung von Radioisotopen in Medizin, Forschung und Industrie mit erfasst. Zur Gewinnung von Referenzwerten für die Beurteilung von Ereignissen mit möglichen, nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen ist die routinemäßige Durchführung der Überwachung der Aktivitätskonzentrationen bzw. der spezifischen Aktivitäten von Radionukliden in Umweltmedien erforderlich. Diese Messaufgabe wird von Verwaltungsbehörden des Bundes und der Länder erfüllt. Diese Messungen decken auch die Anforderungen des engmaschigen Überwachungsnetzes (dense network) der EU in der „Empfehlung der Kommission zur Anwendung des Artikels 36 Euratom-Vertrag betreffend die Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes der Umwelt zur Ermittlung der Exposition der Gesamtbevölkerung“ [1] ab.

Dabei ist Aufgabe des Bundes die großräumige Ermittlung der Radioaktivität in den Umweltbereichen, in denen sich der Transport radioaktiver Stoffe vollzieht, sowie des daraus resultierenden integralen und nuklidspezifischen Strahlenpegels im Bundesgebiet. Dies erfolgt insbesondere durch die Ermittlung der Radioaktivität in Luft und Niederschlag, auf dem Boden, in den Bundeswasserstraßen, in Nord- und Ostsee einschließlich der Küstengewässer sowie durch Messung der externen Strahlenbelastung. Zur kontinuierlichen Ermittlung von Aktivitätskonzentrationen in der Luft und im aquatischen Bereich bzw. der Gamma-Ortsdosisleistung werden von den zuständigen Bundesbehörden eigene, automatische Messnetze betrieben, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte eine Frühwarnung absetzen können und eine ständig eingerichtete Rufbereitschaft aktivieren. Somit ist ein frühzeitiges und schnelles Erkennen des Eintrags von künstlicher Radioaktivität in die Umwelt möglich. In Ergänzung zu den Messungen, die der Erhebung der Referenzwerte dienen, werden im Bereich Luft Messungen im Rahmen der Spurenanalyse durchgeführt. Diese Messungen mit Hilfe empfindlichster Methoden dienen der Ermittlung der Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der Luft, um kurz- und langfristige Änderungen auf niedrigstem Aktivitätsniveau verfolgen zu können.

Die Länder ermitteln in ihren ca. 50 Messlabors die Radioaktivität

- in Lebensmitteln,
- in Futtermitteln,
- in Trinkwasser, Grundwasser und in oberirdischen Gewässern,
- in Abwässern, im Klärschlamm, in Abfällen,
- in und auf dem Boden sowie
- in Pflanzen.

Die Probenentnahmen erfolgen in regelmäßigen Zeitabständen an festgelegten Orten, die möglichst repräsentativ für einen größeren Bereich sind.

Zur Erfüllung der Anforderungen des „weitmaschigen Überwachungsnetzes“ (sparse network) der EU[1] ist ein ergänzendes Messprogramm ausgewiesen. Dazu wird Deutschland für die Probenentnahme in vier geographische Regionen (Nord, Mitte, Süd und Ost) eingeteilt. Das „weitmaschige Überwachungsnetz“ soll für jede Region und für jedes Probenmedium zumindest eine für diese Region repräsentative Messstelle oder Probenentnahmestelle umfassen. An diesen Orten sollen hoch empfindliche Messungen durchgeführt werden, die ein klares Bild über die tatsächlichen Niveaus und Trends der Aktivitätswerte vermitteln. Die zu untersuchenden Umweltmedien sind Luft (Aerosolpartikel) und Oberflächenwasser, Trinkwasser, Milch und Gesamtnahrung.

Die Emissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen nach der REI dient der Erfassung der aus Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen und einer Kontrolle der Einhaltung von maximal zulässigen Aktivitätsabgaben sowie von Dosisgrenzwerten. Die Emissionsüberwachung wird durch Messungen der Immissionsüberwachung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ergänzt. Die Messungen im Rahmen der Emissions- und Immissionsüberwachung werden vom Genehmigungsinhaber durchgeführt; zusätzlich erfolgen als Kontrolle Messungen durch unabhängige Messstellen.

Nach § 103 StrlSchV ist u. a. dafür zu sorgen, dass die Ableitung radioaktiver Stoffe überwacht und nach Art und Aktivität spezifiziert wird (Emissionsüberwachung). Zu diesem Zweck werden die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser erfasst. Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition in der Umgebung

des Emittenten ermittelt. Die Überwachung von Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Spezifikation nach Art und Aktivität ist Grundlage für die Beurteilung der Einhaltung der maximal zulässigen Aktivitätsabgaben. Die Emissionsüberwachung muss sowohl für den bestimmungsgemäßen Betrieb als auch für den Störfall/Unfall eine Beurteilung erlauben, ob die Dosiswerte des radiologischen Notfallschutzes überschritten werden. Für eine schnelle Verfügbarkeit von Messwerten zur Abschätzung radiologischer Auswirkungen werden auch hier automatisch arbeitende Messeinrichtungen eingesetzt.

Ergänzend zu den Messungen zur Überwachung der Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen werden Messungen in der Umgebung durchgeführt (Immissionsüberwachung). Sie dienen als zusätzliche Kontrolle der Einhaltung von Dosisgrenzwerten und damit indirekt auch der Ableitungen. Die hierzu erforderlichen Nachweisgrenzen für Dosisleistungsmessungen und Radionuklidbestimmungen sind abhängig von den Dosisbeiträgen durch äußere und innere Bestrahlung zur Gesamtdosis festzulegen. Bei der Immissionsüberwachung werden die Umweltmedien Luft, Niederschlag, Boden, Bewuchs, Milch, Oberflächenwasser der Binnengewässer, Fische, Wasserpflanzen, Grund- und Trinkwasser und pflanzliche Nahrungsmittel beprobt und gemessen.

Messungen im bestimmungsgemäßen Betrieb sollen langfristige Veränderungen infolge von betrieblichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser an den Stellen aufzeigen, die für die verschiedenen Expositionspfade relevant sind. Daher werden primär die radioaktiven Stoffe in den Transportmedien Luft und Wasser regelmäßig erfasst. Darüber hinaus werden Untersuchungen in den Ernährungsketten und in einzelnen Bereichen der Umwelt an Stellen, an denen sich langfristig bevorzugt radioaktive Stoffe ansammeln können (z. B. im Sediment von Gewässern), sowie an Referenzorten (z. B. außerhalb des Nahbereichs von Anlagen) durchgeführt. Die zu überwachenden Nahrungsmittel pflanzlicher oder tierischer Herkunft sollen für die Umgebung des Standortes typisch sein und einen wesentlichen Beitrag zu der gesamten Ingestionsdosis erwarten lassen.

In den Transportmedien Luft und Wasser sind die Gamma-Ortsdosis und die Gamma-Ortsdosisleistung zu messen; ferner sind Messungen von gasförmigen Stoffen (z. B. elementares Radioiod) und von Aerosolen zur Bestimmung der Radioaktivitätskonzentration in Luft sowie der Radioaktivität im Niederschlag durchzuführen. Weiterhin werden Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser überwacht, wobei die Überwachung des Oberflächenwassers in der Regel durch die Bestimmung der Radioaktivität im Sediment, in Wasserpflanzen und in Fisch ergänzt wird.

Die Probenentnahme- und Messorte sind anlagenspezifisch. Sie befinden sich bevorzugt dort, wo auf Grund der Verteilung der emittierten radioaktiven Stoffe in der Umwelt durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel ein maßgeblicher Dosisbeitrag zu erwarten ist. Zum Vergleich werden Probenentnahme- und Messorte berücksichtigt, an denen keine Beeinflussung der Messwerte durch den Betrieb der Anlage zu erwarten ist (Referenzorte).

Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren

Die Nachweisgrenze ist ein auf der Basis statistischer Verfahren festgelegter Kennwert zur Beurteilung der Nachweismöglichkeit eines Messverfahrens. Der Wert der Nachweisgrenze gibt an, welcher kleinste Beitrag einer Größe bei dem gewählten Messverfahren bei vorgegebener Fehlerwahrscheinlichkeit noch nachgewiesen werden kann.

In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Nachweisgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), der mit einem vorgegebenen Richtwert (bisweilen als geforderte Nachweisgrenze bezeichnet) verglichen wird, um zu entscheiden, ob ein Messverfahren für einen bestimmten Messzweck geeignet ist.

Die Nachweisgrenze einer Größe ist somit ein Charakteristikum des Messverfahrens für diese Größe, einschließlich der Messeinrichtung. Sie hängt von verschiedenen Parametern des Messverfahrens ab. Dazu gehören das Ansprechvermögen des Detektors, die räumliche Anordnung von Messpräparat und Detektor (Messgeometrie), die Messdauer, die Strahlungsart und das Vorgehen, wie z. B. Menge oder Anteil der Probe im Messpräparat. Sie ist auch abhängig von den Unsicherheiten anderer einzelner Beiträge, wie etwa dem Volumen bei der Aktivitätskonzentration, zum Wert der Messgröße.

Die geforderte Nachweisgrenze einer Messgröße, wie sie im gesetzlichen und untergesetzlichem Regelwerk vorgeschrieben ist, gibt den zulässigen Höchstwert der Nachweisgrenze der relevanten Messgröße bei dem verwendeten Verfahren an. Die wirkliche Nachweisgrenze bei dem verwendeten Verfahren ist meist wesentlich kleiner als die gesetzlich geforderte Nachweisgrenze. Letztere wird in vielen Fällen von vorgegebenen Grenz- bzw. Richtwerten anderer Größen, z. B. des Grenzwertes der Dosisleistung, der Dosis oder einer Aktivitätskonzentration, abgeleitet.

Die geforderten Nachweisgrenzen sind abhängig vom Überwachungsziel des jeweiligen Messprogramms. So sind z. B. für die Erfassung von Referenzwerten im Rahmen der Umweltüberwachung niedrigere Nachweisgrenzen erforderlich als zur Kontrolle von Eingreifrichtwerten bei einem möglichen Ereignisfall. Darüber hinaus sind die Nachweisgrenzen innerhalb einzelner Messprogramme abhängig vom untersuchten Umweltmedium bzw. der Probenmatrix und der Strahlungsart des nachzuweisenden Radionuklids [2].

Literatur

- [1] Empfehlung der Kommission vom 08. Juni 2000 zur Anwendung des Artikels 36 Euratom-Vertrag betreffend die Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes der Umwelt zur Ermittlung der Exposition der Gesamtbevölkerung, Amtsblatt Nr. L 191 vom 27.07.2000, S.0037- 0040

- [2] Glossar der Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung; ISSN 1865-8725, www.bmub.bund.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/radioaktivitaet-in-der-umwelt/messanleitungen/

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), der Deutsche Wetterdienst (DWD) und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) sind mit der Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre gesetzlich beauftragt.

Die Bundesmessnetze des BfS und des DWD sowie dessen radiochemisches Zentrallabor in Offenbach sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) in Deutschland. Das IMIS wird vom BfS im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit fachlich und technisch betreut. In der Routine werden dort täglich Messergebnisse hinsichtlich ihrer Plausibilität geprüft bzw. die auf Plausibilität geprüften Messergebnisse aus den Messnetzen des BfS und des DWD bereitgestellt. Diese werden im Internet allen Bürgern und Bürgerinnen zugänglich gemacht (www.bfs.de/DE/themen/ion/notfallschutz/bfs/umwelt/imis.html).

Zur kontinuierlichen Überwachung der Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) betreibt das BfS ein automatisches Messnetz mit ca. 1800 Messstellen odlinfo.bfs.de. Zusätzlich werden an der Messstation Schauinsland kontinuierlich die Aktivitätskonzentrationen von alpha- und beta-Strahlern sowie gasförmiger radioaktiver Iodisotope in der bodennahen Luft überwacht (ABI-Station, **Alpha-Beta-Iod**). Weiterhin verfügt das BfS über 6 Messfahrzeuge, die mit Messsystemen zur In-situ-Gamma-Spektrometrie ausgerüstet sind. Diese werden zur nuklidspezifischen Bestimmung der Beiträge der Bodenaktivität (natürlichen und insbesondere künstlichen Ursprungs) zur Gamma-Ortsdosisleistung an den Messstellen (Sondenstandorte) des ODL-Messnetzes eingesetzt. Im Ereignisfall dienen sie zur schnellen Ermittlung der Aktivität frisch auf dem Boden deponierter Radionuklide.

Das Radioaktivitätsmessnetz des DWD umfasst 41 Messstationen mit nuklidspezifisch messenden Gamma-Schrittfilteranlagen zur kontinuierlichen Überwachung der partikelgebundenen Radionuklide und Messgeräte zur Erfassung der Aktivitätskonzentrationen partikelgebundener künstlicher Alpha- und Beta-Strahler sowie Probenentnahmesysteme für gasförmiges Iod, Aerosolpartikel und Niederschlag. An zusätzlich 7 Messstationen werden Messgeräte zur Erfassung der Aktivitätskonzentrationen partikelgebundener künstlicher Alpha- und Beta-Strahler sowie Probenentnahmesysteme für gasförmiges Iod betrieben. Zur Bestimmung der nuklidspezifischen Deposition sind 38 Stationen dieses Messnetzes mit stationären Messsystemen zur In-situ-Gamma-Spektrometrie ausgerüstet. Die Betaaktivität im Niederschlag wird täglich an 40 Messstellen gemessen. An 20 dieser Messstationen werden gamma-spektrometrisch die Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Iods, der partikelgebundenen Radionuklide und der Radionuklide im Niederschlag ermittelt. Im Bedarfsfall stehen Niederschlagsproben von 7 weiteren Messorten zur Verfügung. Detaillierte Angaben zu den in Deutschland betriebenen Messnetzen und Messdaten finden sich im Internet unter www.bfs.de/DE/themen/ion/notfallschutz/bfs/umwelt/imis.html bzw. www.dwd.de/radioaktivitaet.

Die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischer Aktivitäten und die Beobachtung von Langzeittrends sind Ziele der Spurenanalyse. Derartige Untersuchungen werden gemäß AVV IMIS in der bodennahen Luft und im Niederschlag vom BfS, dem DWD und der PTB durchgeführt. Hierzu werden die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der bodennahen Luft und im Niederschlag mittels Alpha-Spektrometrie, Gamma-Spektrometrie und integraler Messung der Beta-Aktivität bestimmt, wobei den Messungen teilweise sehr aufwändige radiochemische Aufbereitungsschritte vorangehen. Die erhobenen Daten werden nicht nur in IMIS verwendet, sondern auch im Rahmen der europaweiten Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt für die EU-Berichterstattung der Europäischen Kommission bereitgestellt.

Gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) werden in der bodennahen Luft in der Umgebung von Kernkraftwerken die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem I-131 und schwebstoffgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch bestimmt. Darüber hinaus erfolgt die kontinuierliche Erfassung der Gamma-Ortsdosisleistung, die durch Messungen der γ -Ortsdosis mit integrierenden Dosimetern ergänzt wird. Für Brennelementfabriken, Zwischen- und Endlager ist im bestimmungsgemäßen Betrieb neben der Überwachung der γ -Ortsdosis die Überwachung der Aktivitätskonzentration von Alphastrahlern (integral bzw. nuklidspezifisch) in der bodennahen Luft und im Niederschlag vorgesehen. Zusätzlich wird die Neutronenstrahlung in der Umgebung erfasst. Bei der Umgebungsüberwachung von Endlagern wird, abhängig von den mittleren integralen Aktivitätskonzentrationen im Fortluftstrom, ggf. eine gammaspektrometrische Bestimmung der Aktivitätskonzentration schwebstoffgebundener Radionuklide durchgeführt.

Die Emissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen nach der REI dient der Erfassung der aus Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen und einer Kontrolle der Einhaltung von maximal zulässigen Aktivitätsabgaben sowie von Dosisgrenzwerten. Auf die Bestimmung der Strahlenexposition aus Emissionsdaten muss deshalb zurückgegriffen werden, weil die Aktivitätskonzentrationen der aus kerntechnischen Anlagen abgeleiteten Radionuklide in den Umweltmedien Luft und Wasser sowie in den Nahrungsmitteln im Allgemeinen so gering sind, dass sie messtechnisch nicht nachgewiesen werden können. Die Aktivitätsableitungen sind dagegen genügend genau erfassbar.

Die bilanzierten Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft werden in verschiedene Nuklidgruppen zusammengefasst. Dies sind die Gruppen radioaktive Edelgase, an Schwebstoffe gebundene Radionuklide (mit einer Halbwertszeit

> 8 Tage), I-131, C-14 (C-14-Dioxid-Anteil) und H-3. Auf Grund der unterschiedlichen Beiträge der einzelnen Radionuklide zur Strahlendosis ist die Kenntnis der Nuklidzusammensetzung innerhalb der einzelnen Gruppen erforderlich. Hierzu werden Einzelnuklidbestimmungen für die Edelgase und die an Schwebstoff gebundenen Radionuklide durchgeführt. Letztere beinhalten neben den gammaspektrometrisch erfassbaren Radionukliden auch die Betastrahler Sr-89 und Sr-90 sowie die Alphastrahler Pu-238, Pu-(239+240), Am-241 sowie Cm-242 und Cm-244.

Die Messungen im Rahmen der Emissions- und Immissionsüberwachung werden vom Genehmigungsinhaber durchgeführt; zusätzlich erfolgen als Kontrolle Messungen durch unabhängige Messstellen.

Die aktuellen Messdaten der γ -Ortsdosisleistung, die an ca. 1800 Messstellen kontinuierlich beobachtet werden, sind auf der Internetseite www.imis.bfs.de/geoportal/ abrufbar. Eine Übersicht über die Messergebnisse im Berichtszeitraum sowie die in diesem Zeitraum ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind in Teil B - II - 2.1 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zusammengestellt. Ebenfalls werden dort die aktuellen Daten bezüglich der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft kerntechnischer Anlagen berichtet.

2.2 Nord- und Ostsee

Meerwasser

Die Kontamination von Nord- und Ostsee durch künstliche Radionuklide unterscheidet sich vom terrestrischen Bereich hinsichtlich der Quellen, der langen Transportwege und der besonderen Mechanismen ihres Verhaltens im marinen Milieu.

Grundlage der Bewertung sind jährlich mehrere Überwachungsfahrten mit Forschungsschiffen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Schwerpunktmäßig werden die Radionuklide Cs-137 bzw. Cs-134, Sr-90, H-3, Pu-(239+240), Pu-238 und Am-241 untersucht.

Auf Grund der sehr geringen Konzentrationen im Meerwasser müssen die Radionuklide vor der Messung teils sehr aufwändig aus großvolumigen Proben durch chemische Verfahren von der Matrix abgetrennt und von begleitenden verhältnismäßig hohen Konzentrationen natürlicher Radionuklide gereinigt werden.

In Nord- und Ostsee können grundsätzlich künstliche Radionuklide aus folgenden Quellen nachgewiesen werden:

- Globaler Fallout aus den atmosphärischen Kernwaffentests der 50er und 60er Jahre,
- Ableitungen aus den Wiederaufarbeitungsanlagen in Sellafield (UK) und La Hague (F),
- Fallout aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 und
- Ableitungen aus kerntechnischen Einrichtungen wie Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren.

Seit Beginn der siebziger Jahre bestimmen die kontrollierten und genehmigten Einleitungen radioaktiver Abwässer aus den europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen für Kernbrennstoffe La Hague (Frankreich) in den Englischen Kanal und Sellafield (Großbritannien) in die Irische See die Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in der Nordsee. Diese Kontaminationen werden von Meeresströmungen in andere Meeresgebiete verfrachtet und konnten dort auch über Entfernungen von mehreren Tausend Kilometern nachgewiesen werden. Entsprechend der langen Transportzeiten sind nur langlebige Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als ein Jahr von Interesse. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Wesentlichen durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffentests der sechziger Jahre sowie den Einstrom kontaminierten Nordseewassers aus dem Skagerrak und Kattegat durch die Beltsee bestimmt.

Einleitungen aus Kernkraftwerken oder anderen kerntechnischen Einrichtungen spielen für das Aktivitätsinventar des Meeres kaum eine Rolle. Sie sind nur in unmittelbarer Umgebung dieser Anlagen nachzuweisen. Dies gilt auch für die bis 1982 durchgeführte Versenkung schwach-radioaktiver Abfälle in mehr als 4000 m Tiefe im Nordostatlantik [1]. Auch die früheren Versenkungen radioaktiver Abfälle durch die ehemalige UdSSR in der Barents- und Karasee sowie das 1989 gesunkene russische Atom-U-Boot „Komsomolets“ in etwa 1700 m Tiefe in der Norwegensee führen zu keiner erhöhten Belastung dieser Meeresgebiete oder gar der Nordsee.

Die Einleitungen aus den Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague und Sellafield lagen in den 70er Jahren um mehrere Größenordnungen höher als in den letzten Jahren. Erhebliche Anstrengungen der Betreiber auf internationalen Druck hin führten dazu, dass die Einleitungen beider Wiederaufarbeitungsanlagen für fast alle Radionuklide extrem stark reduziert wurden. Dies führt auch im Wasser der Nordsee zu deutlich geringeren Konzentrationen der meisten künstlichen Radionuklide. So nahm bis Ende der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der mittleren Nordsee mit einer durch den Transport bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab und hat heutzutage nahezu die Hintergrundkonzentration des globalen Fallouts im Wasser des Nordatlantiks erreicht.

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch den Tschernobyl-Unfall eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegat ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen und den Ein- und Ausstromereignissen durch die Beltsee. Der zeitliche Verlauf schwankt weniger stark im Bereich der Arkonasee,

wo der Ein- und Auström weniger deutlich zum Ausdruck kommt. Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen. Inzwischen nimmt folglich auch in der Ostsee die Cs-137-Aktivitätskonzentration deutlich ab. Es wird geschätzt, dass der Vor-Tschernobylzustand in der zentralen Ostsee mit einer Aktivitätskonzentration von 15 Bq/m^3 frühestens im Jahr 2030 erreicht werden wird.

Der in Europa sehr geringe radioaktive Niederschlag aus dem Unfall des Kernkraftwerkes Fukushima Daiichi war in Nord- und Ostsee weder im Wasser noch im Sediment nachweisbar.

Sedimente

Sedimente reichern Stoffe aus der Wassersäule an. Sie sind damit eine wesentliche Senke für den Verbleib der in das Meer eingetragenen Schadstoffe. Je nach chemischen Eigenschaften der Elemente und je nach Schwebstoffbeschaffenheit reichern sich auch radioaktive Stoffe durch Sedimentation am Meeresboden an. Für eine Reihe von Nukliden bedeutet diese Anreicherung einen nur langsam reversiblen Prozess, durch den die Radioaktivität der Wassersäule vermindert und in der Meeresbodenoberfläche konzentriert wird. Je nach chemischen und physikalischen Gegebenheiten können die abgelagerten Radionuklide aber auch resuspendiert werden und somit in die Wassersäule zurückgelangen.

Das Sediment vor allem der Irischen See, aber auch in geringerem Maße der kontinentalen Küste, ist durch Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen von La Hague und Sellafield in den siebziger Jahren stark kontaminiert worden. Durch natürliche Vorgänge wie Stürme und Bioturbation, aber auch durch menschliche Einflüsse wie Grundnetz- und Baumkurrenfischerei werden abgelagerte Radionuklide wieder in die Wasserphase und anschließend wieder in Lösung gebracht. Diesen Vorgang bezeichnet man als Resuspension. Der Eintrag resuspendierter Sedimente der Irischen See in die Nordsee ist seit Ende der 90er Jahre eine deutlich stärkere Quelle für Cs-137 und Transurannuklide als die vergleichbaren Einleitungen der Anlage Sellafield und stellt für Transurannuklide mit Abstand die stärkste Quelle im Welt-ozean dar.

Die Oberflächensedimente der Ostsee weisen mehrfach höhere spezifische Aktivitäten als diejenigen der Nordsee auf. Diese Aussage gilt in den meisten Fällen auch für natürliche Radionuklide. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass sich Radionuklide eher an feinkörnigen Sedimenten, die in der Ostsee häufiger sind als in der Nordsee, anlagern, zum anderen liegt dies auch darin begründet, dass die geringere Turbulenz im Wasser der Ostsee zur Sedimentation dieser feineren Partikel führt. Auch die höhere Flächendeposition des Tschernobyl-Eintrags auf das Gebiet der westlichen Ostsee spiegelt sich in den erhöhten Aktivitäten wider (aktuelle Messdaten siehe Teil B - II - 2.2 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“).

Literatur

- [1] Aust MO, Herrmann J, Strobl Ch: Radioaktive Abfälle im Nordostatlantik, Radioactive Waste in the North-East Atlantic Ocean. BfS-SCHR-65/19, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019061718601>, Salzgitter 2019

2.3 Binnengewässer

Die deutschen Binnengewässer werden nach den Vorgaben des StrlSchG großräumig auf radioaktive Stoffe hin überwacht. Zuständig hierfür sind die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) für die Bundeswasserstraßen und die Länder für die übrigen Binnengewässer. Darüber hinaus wird die aquatische Umgebung kerntechnischer Anlagen von den amtlichen Messstellen der Länder speziell nach den Bestimmungen der StrlSchV mit der REI überwacht.

Der radiologische Gütezustand der Gewässer wird von den Radionuklidgehalten in den Kompartimenten Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment geprägt, von denen auch die Wasserflora und -fauna beeinflusst werden. Mit der Überwachung der dynamischen Kompartimente Oberflächenwasser und Schwebstoff können Einträge und Veränderungen radioaktiver Kontaminationen in Gewässern relativ kurzzeitig und empfindlich erfasst und verfolgt werden. Bei Fließgewässern ist zu beachten, dass Radionuklide - in gelöster Form oder partikular gebunden - mit Wasser bzw. Schwebstoffen über weite Strecken verfrachtet werden können. Schwebstoffe sedimentieren bevorzugt in Stillwasserbereichen, wie sie z. B. Häfen, Bühnenfelder, Altarme, Stauhaltungen und Uferböschungen darstellen, und können dort zu einer Kontamination des Sediments führen. Sedimente sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium (Senke) für radioaktive und andere Kontaminationen in den Gewässern zu betrachten. Zur Darstellung der langfristigen Kontamination von Gewässern sind Untersuchungen von Sedimenten daher besonders angezeigt. Durch Resuspension oder Remobilisierung von Sedimenten - beispielsweise bei Hochwasserereignissen - ist eine spätere Weiterverfrachtung bereits abgelagerter Radionuklide in andere Gewässerbereiche möglich. Diese Umlagerung kann wiederum über Schwebstoffmessungen verfolgt werden (s. [Abbildung G II 2.2-1](#)).

Bei den Radionukliden in Binnengewässern handelt es sich zum einen um Radionuklide natürlichen, d. h. kosmogenen, primordialen und radiogenen Ursprungs: H-3, Be-7, K-40 sowie die Nuklide der Thorium- und Uran-Zerfallsreihen. Zum anderen werden künstliche Radionuklide nachgewiesen: H-3 stammt neben dem natürlichen Anteil aus dem Fallout der Kernwaffenversuche der 50er und 60er Jahre sowie aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen und Isotope verarbeitender Betriebe. Die langlebigen Spaltprodukte Sr-90 und Cs-137 wurden hauptsächlich durch den Fallout der atmo-

sphärischen Kernwaffenversuche und als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl 1986 in die Gewässer eingetragen. Eine relevante Beeinflussung durch das Fukushima-Ereignis war nicht aufzeigbar. In geringem Ausmaß treten weiterhin die Aktivierungsprodukte Co-58 und Co-60 aus kerntechnischen Anlagen auf. Das vergleichsweise kurzlebige I-131 stammt meist aus nuklearmedizinischen Anwendungen.

Die Konzentration der natürlichen Radionuklide unterliegt im Allgemeinen keinen kurzfristigen Veränderungen und bedarf daher nicht der ständigen Überwachung, obwohl diese derzeit den Hauptanteil an der Strahlenexposition durch Radionuklide in der Umwelt beiträgt. Im Rahmen der o. g. Überwachungsaufgaben werden daher besonders die künstlichen Radionuklide regelmäßig überwacht, um ihre zeitlichen Veränderungen und ihre möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu verfolgen. Die diesbezüglichen Ergebnisse für die jährliche Berichterstattung sind in Teil B - II - 2.3 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ jeweils für Überwachung nach dem StrlSchG bzw. der REI zusammengefasst und erläutert.

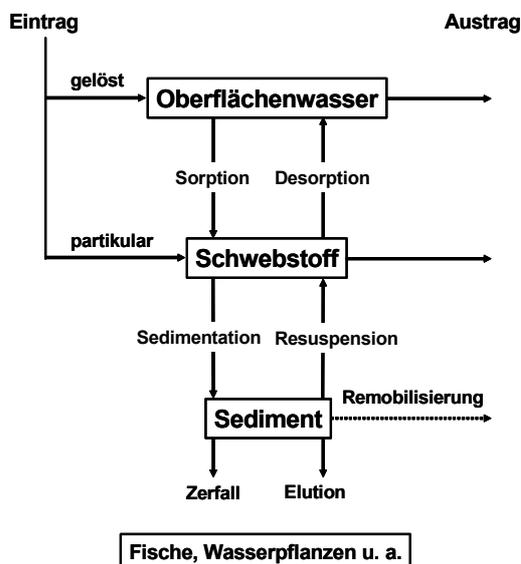


Abbildung G II 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten
radioaktiver (und anderer) Stoffe in Fließgewässern
(Simplified model to evaluate the exchange and transport behavior of radioactive and other substances in rivers)

2.4 Böden

Die Wanderung der Radionuklide Cs-137 und Sr-90 in den Boden hinein erfolgt nur langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden gegenwärtig nur geringfügig. Gelegentliche stärkere Schwankungen der Messwerte an einem Ort gehen auf Probenentnahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 ist durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

In Teil B - II - 2.4.1 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ werden Messwerte von als Weiden oder Wiesen genutzte Böden, von Ackerböden und Waldböden erhoben und dargestellt.

In der Vegetationsperiode werden verschiedene Pflanzenproben gamma-spektrometrisch gemessen. Im Vordergrund stehen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination des pflanzlichen Materials geht leicht zurück, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

Auch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die radioökologische Situation nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall 1986 geprägt. Die aktuellen Messwerte aus der Umgebung kerntechnischer Anlagen sind in Teil B - II - 2.4.2 zusammengefasst.

2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser

Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser werden in Deutschland im Rahmen der routinemäßigen Überwachung der Umweltradioaktivität nach Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und entsprechend der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung (REI) untersucht.

Grundwasser und Trinkwasser

Gemäß dem Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzgesetz und der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen nach REI werden von den amtlichen Messstellen der Bundesländer radioaktivitätsbezogene Messdaten zu Grund- und Trinkwasser erhoben und über das Integrierte Mess- und Informationssystem (IMIS) dem Bund übermittelt. Vorwiegend erfolgen gammaspektrometrische Untersuchungen (z. B. Cs-137, Co-60, K-40), des Weiteren werden über radiochemische Verfahren die Aktivitätskonzentrationen für H-3 und Sr-90 sowie - entsprechend des

RMP - der Uran- und Plutoniumisotope ermittelt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres sind in Teil B - II - 2.5.1 (RMP) und Teil B - II - 2.5.2 (REI) des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ dokumentiert.

Die Überwachung von Grundwasser wird im RMP an ca. 50 Probenentnahmestellen (Wasserwerke und Notbrunnen) und im Rahmen der REI an ca. 150 Probenentnahmeorten vorgenommen. Untersucht werden vorrangig Grundwässer aus Notbrunnen oder Grundwassermessstellen, die in der Regel nicht für die Trinkwassergewinnung herangezogen werden. Die Auswahl der Probenentnahmeorte berücksichtigt geologische Gegebenheiten und insbesondere die unterschiedliche Beeinflussung der Grundwässer durch Niederschlag und Oberflächenwasser.

Die Trinkwasserüberwachung wird an Reinwässern sowie an ungeschützten und geschützten Rohwässern aus Wasserwerken vorgenommen. Reinwasser ist das vom Wasserwerk an den Verbraucher abgegebene Trinkwasser, das aus der Reinigung von Rohwasser resultiert. Ungeschütztes Rohwasser ist Oberflächenwasser aus Flüssen, Seen und Talsperren. Geschützte Rohwässer umfassen Karst- und Kluftgrundwässer einschließlich Stollenwässer, Porengrundwässer und mit aufbereitetem oder nicht aufbereitetem Oberflächenwasser künstlich angereicherte Grundwässer. Das RMP sieht die Überwachung von etwa 80 Reinwässern vor, die aus der Aufbereitung von jeweils ca. 40 ungeschützten und geschützten Rohwässern stammen. Zusätzlich werden bei der Umgebungsüberwachung von ca. 50 Probenentnahmeorten Rein- bzw. Rohwasserproben analysiert.

Die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden sind im Grund- und Trinkwasser wesentlich niedriger als in pflanzlichen Nahrungsmitteln und im Boden.

Fische und Fischereiprodukte aus Meeren und Binnengewässern

Die Ermittlung der Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in aquatischen Organismen ist eine Gemeinschaftsaufgabe des Bundes und der Bundesländer. Die Messstellen der Bundesländer ermitteln unter dem Aspekt der Lebensmittelüberwachung im Rahmen des Routinemessprogramms (RMP) spezifische Aktivitäten in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus den Bereichen der Binnengewässer, der Meere sowie in entsprechender importierter Ware. Zusätzlich werden durch die Leitstelle des Bundes im Nordatlantik und seinen Randmeeren, insbesondere der Nord- und Ostsee, jährlich mindestens zwei Beprobungskampagnen zur Bewertung der großräumigen Verteilung von Radionukliden durchgeführt.

Im Normalbetrieb werden die Fischproben in der Leitstelle nach Veraschung auf die gammaspektrometrisch detektierbaren natürlichen Radionuklide sowie auf künstliche wie Cs-137 und Cs-134 untersucht. Aschen ausgewählter Proben werden aufwändig radiochemisch aufbereitet, um in ihnen die Aktivitätskonzentrationen von Sr-90, Pu-(239+240), Pu-238 und Am-241 zu ermitteln.

Radioaktive Stoffe in der aquatischen Umwelt werden, vergleichbar mit terrestrischen Ökosystemen, entlang von Nahrungsketten, also z. B. aus dem Wasser über Algen und wirbellose Tiere bis zu Fisch und Top-Prädatoren wie Meeressäugern angereichert. Die Quellen künstlicher Radionuklide in Fisch sind dabei dieselben wie für Meerwasser und Binnengewässer (Teil - B - II - 2.2 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“). Die in den Fischen ermittelten Aktivitätskonzentrationen richten sich neben Eigenheiten der betrachteten Fische (z. B. nach deren Lebensgewohnheiten, Wachstumsstadium, etc.) auch nach den Eigenschaften des jeweiligen Gewässers (z. B. Eintragsmenge von Radionukliden, Größe, Wasseraustausch). So sind beispielsweise die höheren Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 in Fisch aus der Ostsee im Vergleich zu denen aus der Nordsee (siehe [Tabelle G II 2.4-1](#)) die Folge des höheren Eintrages durch die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl verbunden mit einem geringen Wasseraustausch. Durch Letztere reduziert sich die Kontamination des Wassers langsamer als in anderen Meeren ([Teil - B - II - 2.2](#)), was sich auch bei den Organismen widerspiegelt. Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 in Fischen sind allerdings nicht über die ganze Ostsee konstant, sondern nehmen von West nach Ost zu. So liegen die aktuellen Messwerte von Fischen aus der Kieler Bucht im Bereich der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessenen Werte [1]

Aus dem Vergleich der Medianwerte des Zeitraumes 1995 bis 2010 ist zudem erkennbar, dass die spezifischen Aktivitäten von Cs-137 aus dem Fallout der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl in den Fischen der meisten Binnenseen und Fischteiche mit effektiven Halbwertszeiten von etwa acht Jahren abnehmen ([Tabelle G II 2.4-1](#)). Detaillierte Angaben dazu sind in [2] zu finden.

Tabelle G II 2.4-1 Cs-137-Aktivitätskonzentration in Fischen unterschiedlicher Habitate im Zeitraum von 1995 bis 2014
(Activity concentrations of Cs-137 in fish of different habitats between 1995 and 2014)

Gewässer	Region	Median der spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM			
		1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014
Binnenseen	Norddeutschland	5,55	2,92	2,13	1,72
	Mitteldeutschland	0,26	0,16	0,23	0,12
	Süddeutschland	7,48	2,13	0,96	1,65
Fischteiche	Norddeutschland	0,73	0,63	0,26	0,20
	Mitteldeutschland	0,40	0,21	0,15	0,14

Gewässer	Region	Median der spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM			
		1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014
Fließgewässer	Süddeutschland	0,35	0,20	0,18	0,14
	Norddeutschland	0,55	0,89	0,33	0,21
	Mitteldeutschland	0,27	0,24	0,15	0,09
Meer	Süddeutschland	0,30	0,14	0,19	0,15
	Nordsee	0,45	0,29	0,18	0,14
	Ostsee	6,58	4,16	4,13	3,86

Zur Umgebungsüberwachung kerntechnischer und klinischer Anlagen (nach REI) dienen neben Fischen auch Algen und höhere Wasserpflanzen als Indikatoren. Die Daten werden von den Messstellen der Länder und den Betreibern der jeweiligen Anlage jährlich, nach Fließgewässer, kerntechnischer Anlage und Radionuklid gruppiert, zusammengefasst und übermittelt; die entsprechenden Daten sind in Teil B - II - 2.5.6 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu finden.

Lebensmittel

Für Lebensmittel liegen die nach dem Tschernobylunfall deponierten Cs-137-Kontaminationen auf einem sehr niedrigen Niveau. Über die Jahre betrachtet verändern sich die Aktivitätskonzentrationen nur noch äußerst geringfügig. Wegen der kürzeren Halbwertszeit ist Cs-134 nicht mehr in Lebensmitteln nachweisbar. Auf einem sehr niedrigen Niveau befinden sich ebenfalls die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen.

Eine Ausnahme bilden die meisten Wildfleischarten, Wildspeisepilze, Wildbeeren und Blütenhonig. Hier liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln. Die Ursache hierfür liegt in der höheren Verfügbarkeit des Cs-137 in Waldböden, da es sich um organisches Material mit einem geringen Gehalt an Tonmineralien handelt und der Waldboden auch nicht umgepflügt wird.

Zusätzliche Messungen der Leitstelle für Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich das gesamte Jahr über durchgeführt werden, fließen ebenfalls in die Berichterstattung über Umweltradioaktivität ein.

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung werden in diesem Bericht nur in komprimierter Form wiedergegeben. Die aktuellen Daten hierzu finden Sie in Teil B - II - 2.5.7 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“.

Messwerte von Aktivitätskonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln in der Umgebung kerntechnischer Anlagen sind in Teil B - II - 2.5.8 dargestellt.

Literatur

- [1] Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland - Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz, Stand 2014: Daten und Bewertung, Kap. 10, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015103013753>
- [2] Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 2004 und 2005: Daten und Bewertung; Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz, Kap. 12, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201004061288>

2.6 Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe

Das BfS als Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände ist nach § 1 Abs. 2 Nr. 2 IMIS-ZustV (bis 2017: nach § 11 Abs. 9 Nr. 5 StrVG) unter anderem für die Zusammenfassung, Aufbereitung und Dokumentation der Radioaktivitätsmessdaten der genannten Produktgruppen zuständig. Die Leitstelle überwacht routinemäßig in größerem Umfang vor allem Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel dienen. Der Schwerpunkt der Überwachung liegt bei gammastrahlenden Radionukliden, insbesondere Cs-137. Die untersuchten Ausgangsstoffe für Arzneimittel pflanzlicher Herkunft stammen mehrheitlich aus verschiedenen europäischen Ländern.

Die Jahresmittelwerte der Konzentrationen von Cs-137, K-40 und gegebenenfalls weiterer Radionuklide in den untersuchten Proben werden jährlich tabellarisch zusammengefasst (siehe Teil B - II - 2.6 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“). Die gemessenen Aktivitäten des Radionuklids Cs-137 weisen je nach Art und lokalen Gegebenheiten, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaugebieten, erhebliche Variabilitäten auf. Hohe spezifische Aktivitäten werden etwa in Islandmoos aus den vom Tschernobyl-Fallout betroffenen Gebieten Europas gemessen. In der Regel werden in den gammaspektrometrisch untersuchten Pflanzenproben außer Cs-137 keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen, d. h. die Messwerte liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Die Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 schwanken im Wesentlichen entsprechend dem Kaliumgehalt der untersuchten Proben, da der Gehalt dieses Elements in Lebewesen geregelt wird.

Die Strahlenexposition, die aus der Anwendung der untersuchten Proben resultiert, ist im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition (in Deutschland durchschnittlich 2,1 mSv pro Jahr) als sehr gering ($<10 \mu\text{Sv/a}$) einzuschätzen.

Bei konkretem Verdacht werden Bedarfsgegenstände untersucht, die unmittelbar mit dem menschlichen Körper oder mit Lebensmitteln in Kontakt kommen können.

2.7 Abwasser und Klärschlamm

Im Rahmen der Überwachung der Umweltradioaktivität durch die amtlichen Messstellen der Länder nach dem Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) sind auch kommunale bzw. häusliche Abwässer und die bei der biologischen Abwasserreinigung in Kläranlagen anfallenden Klärschlämme zu untersuchen. Beide Umweltmedien sind im aquatischen Bereich neben Oberflächengewässern sowie Grund- und Trinkwässern von Bedeutung, da zwischen ihnen intensive Wechselwirkungen bestehen. Beispielsweise werden die in den Kläranlagen gereinigten Abwässer in natürliche Gewässer als Vorfluter abgeleitet, wobei diese Wässer ggf. als Uferfiltrat wiederum als Trinkwasser genutzt werden.

Das Routinemessprogramm (RMP) sieht die Überwachung von etwa 90 Abwasserreinigungsanlagen in Deutschland vor. Untersucht werden gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und Klärschlämme, vorzugsweise konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen (teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme). Vorwiegend erfolgen gammaspektrometrische Untersuchungen (Cs-137, I-131, Co-60, K-40, Tc-99m). Darüber hinaus werden über radiochemische Verfahren die Aktivitäten von Sr-90 sowie Plutonium- und Uranisotopen bestimmt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres werden in Teil B - II - 2.7 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ dokumentiert.

Abwässer und Klärschlämme sind radioökologisch von besonderer Bedeutung, da sich in der Umwelt befindliche künstliche und natürliche Radionuklide dort sehr stark anreichern können. Dies zeigte sich nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl im Jahr 1986. Unmittelbar nach dem Unfall wurde das gesamte Spektrum der freigesetzten, mit der Luft nach Mitteleuropa verfrachteten und mit dem Fallout bzw. Washout infolge von starken Niederschlägen auf der Erdoberfläche abgelagerten Spalt- und Aktivierungsprodukte nachgewiesen (z. B. I-131, Ru-103, Ru-106, Ce-139, Te-132, Cs-134, Cs-137, Sr-90, Co-60, Co-57). Die festgestellten Aktivitätskonzentrationen (z. B. in Berlin) in der Größenordnung von mehreren 10^5 Bq/kg im Klärschlamm variierten je nach dem elementaren (chemischen) Charakter und der Halbwertszeit der Radionuklide in weiten Grenzen, vgl. [1-5].

Literatur

- [1] Gans I, Rühle H, Bünger Th und Beckmann D: Radioaktivitätsüberwachung von Abwasser und Klärschlamm unter besonderer Berücksichtigung des Reaktorunfalls in Tschernobyl, Bundesgesundheitsblatt 29, 305-314, 1986
- [2] Gans I, Abelmann S, Bünger Th, Fusban H-U, Rühle H, Rughöft S, Viertel H: Langfristige Auswirkung des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf Abwasser und Klärschlamm in der Bundesrepublik Deutschland, Korrespondenz Abwasser 38, 711-721, 1991
- [3] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission - Band 7, Gustav Fischer Verlag Stuttgart New York, 1998
- [4] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Radionuklide in Wasser-Schwefstoff-Sediment-Systemen und Abschätzung der Strahlenexposition, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission - Band 9, Gustav Fischer Verlag Stuttgart New York, 1988
- [5] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (Hrsg.): Radioaktivität in Abwasser und Klärschlamm, ATV-Merkblatt M 267 vom August 1995, Kapitel 4 – 6, Hennef, 1995

2.8 Abfälle

Bei vielen häuslichen, kommunalen und gewerblichen Tätigkeiten, industriellen und sonstigen technischen Prozessen einschließlich Verbrennungsvorgängen fallen Abfälle an. Letztere sind durch Ablagerung auf Deponien schadlos zu beseitigen, jedoch ist auf Grund der abfallrechtlichen Vorschriften in der Regel eine vorherige Behandlung (z. B. thermische Verwertung von Hausmüll oder Klärschlamm, Kompostierung organischer Abfälle) vorzunehmen oder zu prüfen, inwieweit diese Stoffe (z. B. Bauschutt, Glas, Metallschrott, Papier) oder einzelne Bestandteile wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Abfälle (und Reststoffe) sind daher stets im Zusammenhang zu betrachten, weil nahezu alle Abfälle wieder verwertbare Reststoffe enthalten.

In der Überwachung der Umweltradioaktivität durch die amtlichen Messstellen der Länder nach dem StrlSchG werden nur solche Abfälle untersucht, die von radioökologischer Bedeutung sein können. In diesem Zusammenhang sind insbesondere Flugaschen / Filterstäube aus Klärschlamm- und Müllverbrennungsanlagen sowie die in diesen Anlagen bei der Rauchgasreinigung anfallenden Schlämme zu berücksichtigen. In den bei der Verbrennung von Klärschlamm anfallenden Flugaschen findet eine weitere sehr starke Aufkonzentrierung fast aller im Klärschlamm enthaltenen Radionuklide statt. Dies zeigten die Messergebnisse an Filterstäuben in Berliner Klärschlammverbrennungsanlagen nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl im Jahr 1986, vgl. hierzu Kap. 2.7 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ und die dort zitierte Literatur.

Entsprechend des Routinemessprogramms werden in Deutschland Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll (Umweltbereiche: Filterasche/Filterstaub, Schlacke, feste Rückstände und Abwässer aus der Rauchgaswäsche) überwacht. Da auf Grund veränderter Technologien kaum noch Abwässer aus Rauchgasreinigungsanlagen anfallen, werden von den Messstellen stattdessen jetzt vorwiegend Prozesswässer beprobt. Weiterhin werden oberflächennahe Grund- und Sickerwässer von Hausmülldeponien sowie aus Kompostierungsanlagen der als Produkt abgegebene Kompost untersucht. Im Wesentlichen erfolgen nur gammaspektrometrische Untersuchungen (Cs-137, I-131, K-40). Im Sickerwasser von Deponien wird darüber hinaus auch H-3 bestimmt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres werden in Teil B - II - 2.8 dokumentiert.

2.9 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Cs-137- und Cs-134-Aktivität durchgeführt. Ab den 1990er-Jahren konnte bei den Messungen kein Cs-134 mehr nachgewiesen werden.

Dargestellt sind die Mittelwerte der Körperaktivitäten, die in der Inkorporationsmessstelle des BfS am Standort München (Neuherberg) sowie der Messstelle des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) gemessen wurden (Abbildungen G II 2.9-1 bis G II 2.9-4). Die Ergebnisse des BfS sind bis 1998 dargestellt, weil danach auf Grund einer Änderung des Messverfahrens und anschließender geringerer Messempfindlichkeit bei einem Großteil der gemessenen Personen kein Cs-137 mehr nachgewiesen werden konnte. Das KIT hat die Messungen seiner Referenzgruppe im Jahr 2018 eingestellt, die Messungen der Referenzgruppen der anderen Messstellen wurden bereits früher beendet.

In den Abbildungen G II 2.9-5 und G II 2.9-6 sind die bisher vorliegenden Ergebnisse von Referenzgruppenmessungen (getrennt für Frauen und Männer) an verschiedenen Orten in Deutschland zusammengefasst dargestellt. Es ist die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichte kumulierte Dosis aus inkorporiertem Cs-137 angegeben. Dieser Dosiswert ergibt sich aus der fortlaufenden Summierung der monatlichen Beiträge zur effektiven Dosis. Allerdings lagen die Messergebnisse in den letzten Jahren überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der Messanlagen, weshalb für die jeweiligen Orte der weitere Verlauf der kumulierten Dosis nicht dargestellt ist. Die größten Beiträge zur kumulierten Dosis ergaben sich in den ersten Jahren nach dem Unfall, so dass die Dosis nach dem dargestellten Ende der Messreihen nur noch wenig anstieg.

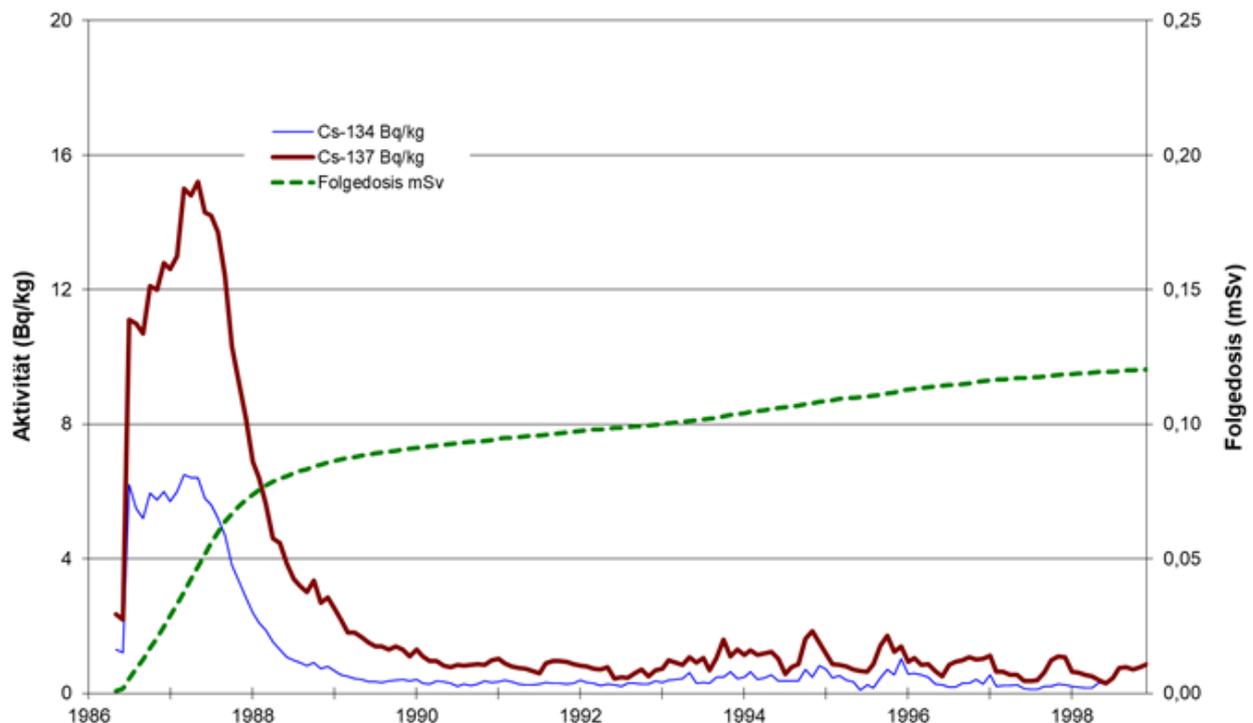


Abbildung G II 2.9-1 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: BfS-München, Frauen
(*Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: BfS Munich, women*)

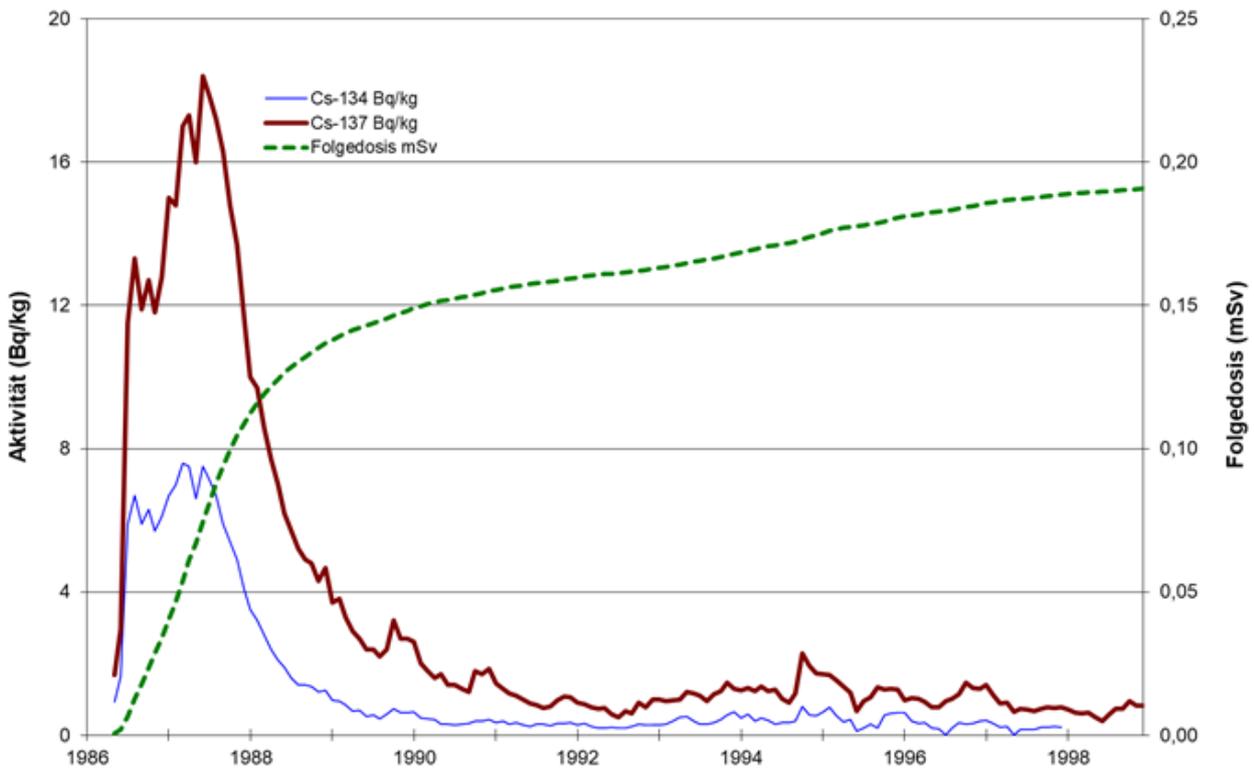


Abbildung G II 2.9-2 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: BfS-München, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: BfS Munich, men)*

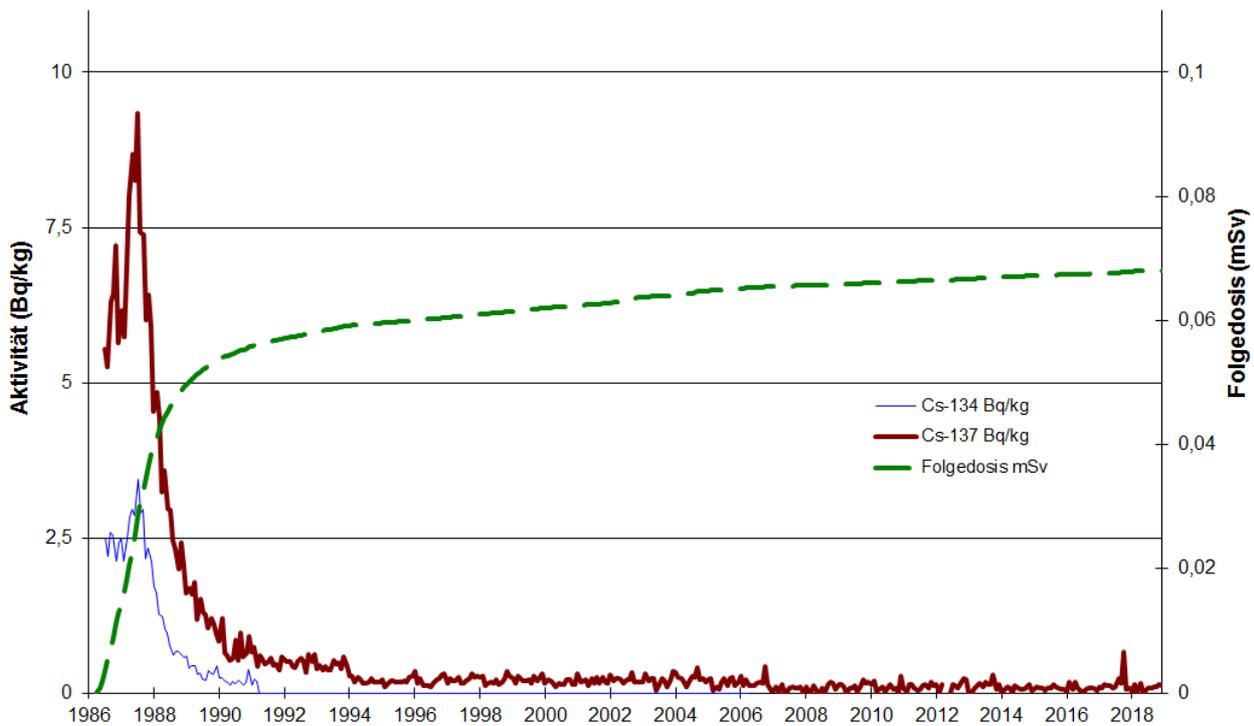


Abbildung G II 2.9-3 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: Karlsruhe, women)*

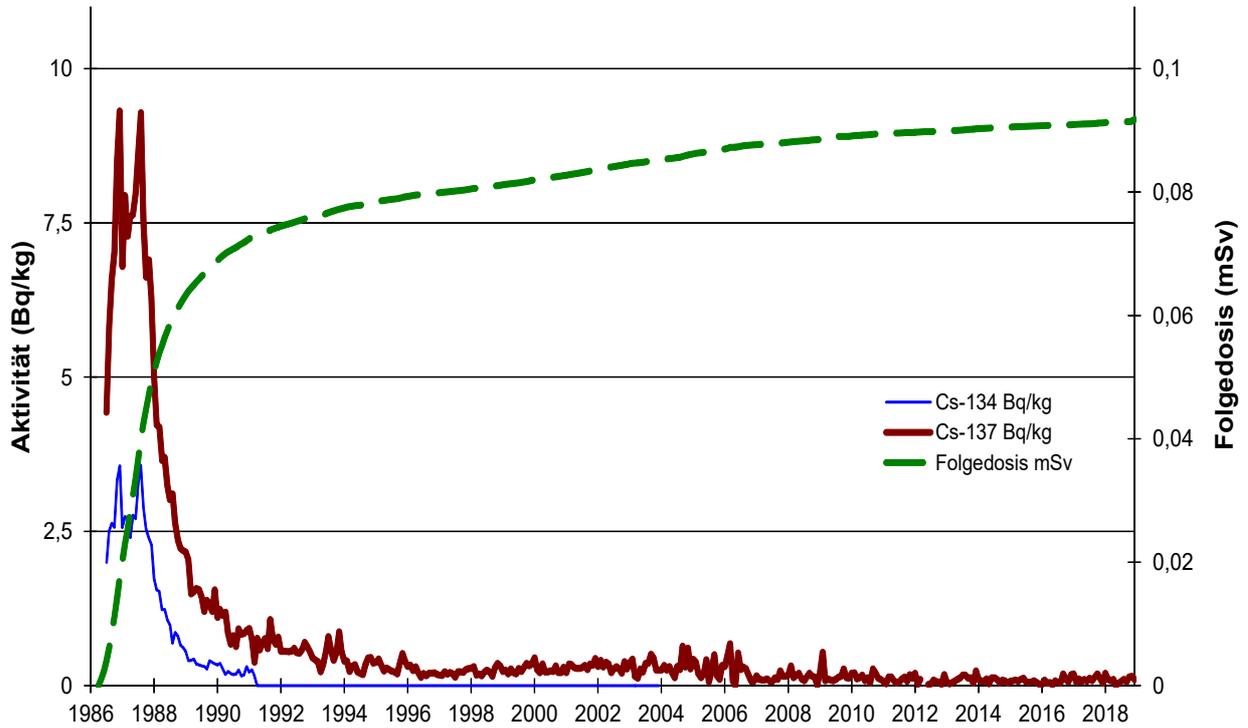


Abbildung G II 2.9-4 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: Karlsruhe, men)*

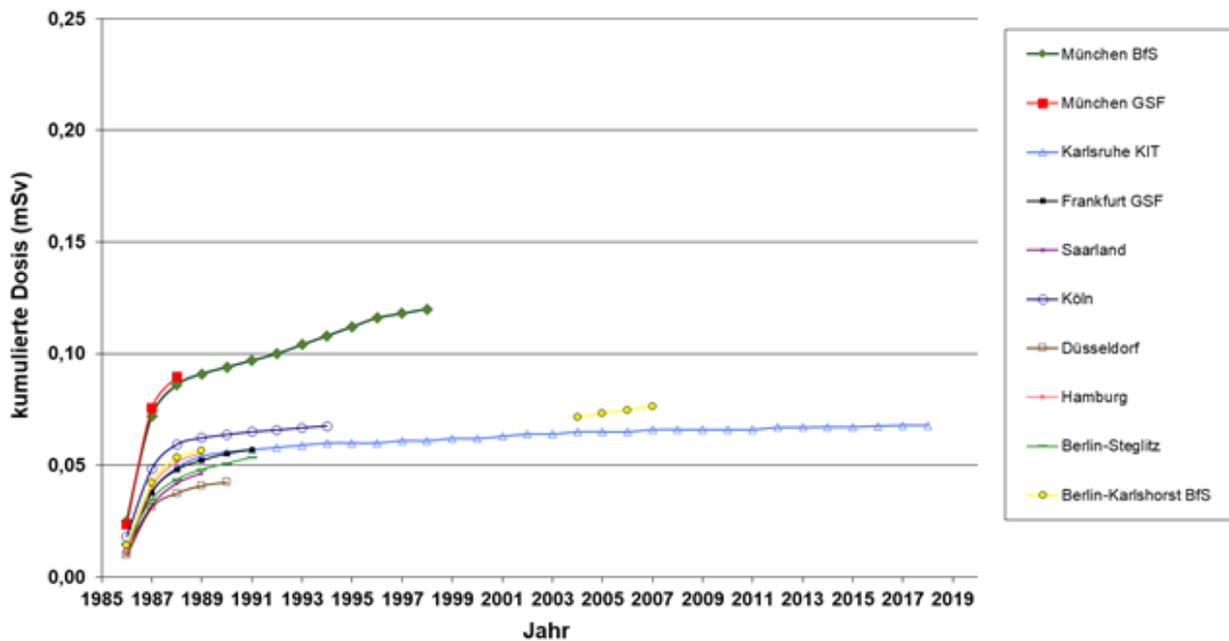


Abbildung G II 2.9-5 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
 Vergleich der Referenzgruppen: Frauen
*(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
 Comparison of reference groups: women)*

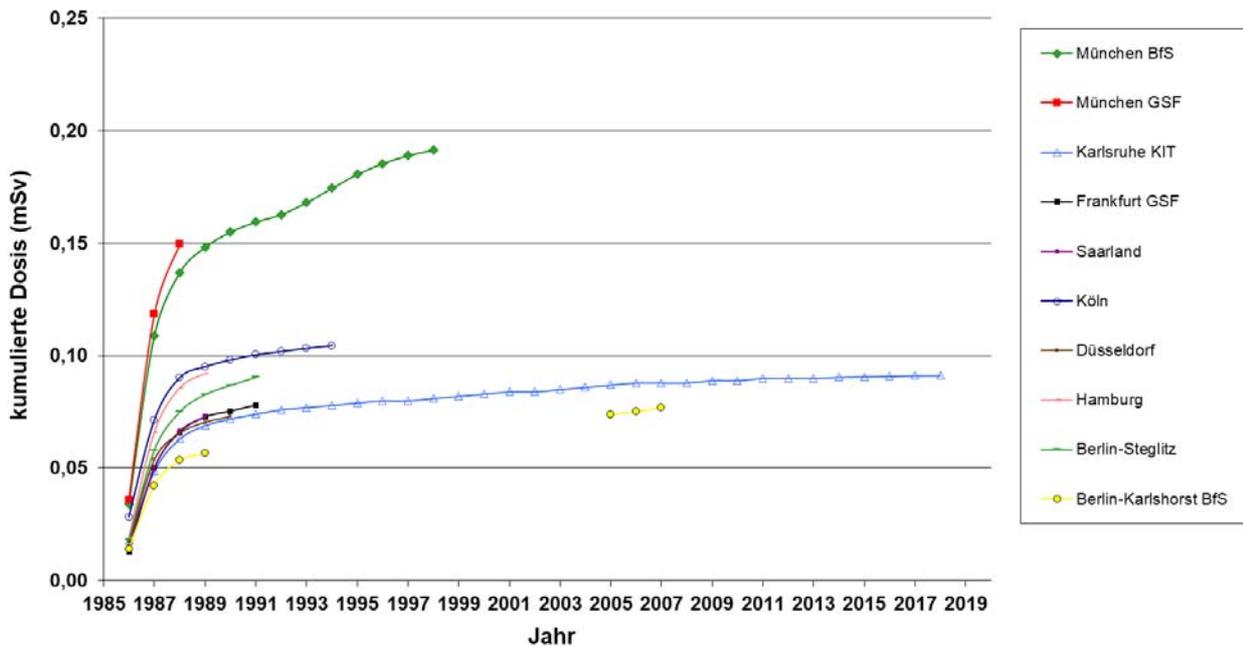


Abbildung G II 2.9-6 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Männer
(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
Comparison of reference groups: men)

III GRUNDLAGEN ZUR BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

In der Bundesrepublik Deutschland begann die gesetzlich geregelte Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen Ende der 60er Jahre. In der ehemaligen DDR begann die gesetzliche Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen im Jahr 1957. Nach der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten wurden etwas über 300 000 Personen überwacht.

Eine Ausdehnung des überwachten Personenkreises erfolgte mit der Umsetzung der Richtlinie 96/29/Euratom in nationales Recht durch Novellierung der Strahlenschutzverordnung mit Wirkung zum 1. August 2001 und der Änderung der Röntgenverordnung zum 1. August 2002. Durch die Novellierungen ist auch die Überwachung von Personen vorgeschrieben, die am Arbeitsplatz einer erhöhten Exposition durch kosmische oder natürliche terrestrische Strahlung oder Radon ausgesetzt sind, z. B. des fliegenden Personals sowie von Arbeitskräften in Wasserwerken oder im Bergbau. Hierdurch nahm die Anzahl der überwachten Personen um weitere 40 000 zu.

Die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland gliedert sich im Wesentlichen in vier Bereiche: Personendosisüberwachung mit Dosimetern, Überwachung des fliegenden Personals, Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition und Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen.

Die Meldungen aus diesen vier Bereichen werden zentral im Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz zusammengeführt und dort u. a. auf Einhaltung der Dosisgrenzwerte personenbezogen ausgewertet. Der gesetzlich festgelegte Grenzwert der Jahresdosis beträgt einheitlich für die Summe aus allen Bereichen 20 mSv pro Jahr.

Ausführliches Datenmaterial zum beruflichen Strahlenschutz findet sich u. a. im jährlichen BfS-Bericht „Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland: Bericht des Strahlenschutzregisters“ (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015100213555>).

1. Personendosisüberwachung mit Dosimetern

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Aktuelle Daten über die berufliche Strahlenexposition sind im Teil B - III - 1 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ enthalten.

2. Überwachung des fliegenden Personals

Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis des Flugpersonals und geben diese Werte über das Luftfahrt-Bundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. Das Strahlenschutzregister führt für fliegendes Personal regelmäßig detaillierte Auswertungen durch, die separat veröffentlicht werden.

Die aktuellen Daten zur Überwachung des fliegenden Personals sind in Teil B - III - 2 dargestellt.

3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition

Nach § 95 der alten StrlSchV 2001 hatte derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübte oder ausüben ließ, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen war, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen (§ 95 Abs. 1). Im neuen StrlSchG regelt Abschnitt 3, „Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen in Innenräumen“ (§§ 126 bis 132), die Verantwortlichkeiten der Überwachung und ggf. Reduzierung in diesem Bereich. In Anlage 8 sind zusätzliche Arbeitsfelder einbezogen.

Die aktuellen Daten zur Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition sind in Teil B - III - 3 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ dargestellt.

4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2002 begannen zuständige Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister.

Diese jährlich gemessenen Daten der Inkorporationsmessstellen sind im Teil B - III - 4 dieses Berichts dargestellt.

IV GRUNDLAGEN ZUR STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Diagnostische Strahlenanwendungen

In der diagnostischen Medizin werden bei der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe sowohl hinsichtlich der Indikationsstellung einer Untersuchung als auch bezüglich der Qualität ihrer Durchführung hohe Anforderungen gestellt. Nach § 83 des StrlSchG muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein, d. h. der Nutzen muss das mit der Anwendung verbundene Strahlenrisiko für den Patienten überwiegen („rechtfertigende Indikation“). Dabei ist auch zu prüfen, ob durch diagnostische Maßnahmen ohne Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe („alternative“ Diagnoseverfahren wie Ultraschalluntersuchungen oder die Magnet-Resonanz-Tomographie) die medizinische Fragestellung nicht ebenso beantwortet werden kann. Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte medizinische Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist.

Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patienten hat die Europäische Union in der Richtlinie 97/43/Euratom die Mitgliedstaaten verpflichtet, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen regelmäßig zu erfassen. In der StrlSchV wird diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) übertragen. Dadurch wird eine wichtige Möglichkeit geschaffen, um sowohl den Status quo als auch zeitliche Veränderungen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung zu erfassen. Nach Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM in nationales Recht muss die regelmäßige Ermittlung der Bevölkerungsdosis als Amtsaufgabe des BfS mindestens alle zwei Jahre erfolgen (§ 125 Abs. 3 StrlSchV).

Die aktuellen Daten zu Häufigkeit und Dosis von Röntgen- und nuklearmedizinischen Untersuchungen sind in Teil B - IV - 1.1 bzw. 1.2 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ dargestellt. In Teil B - IV - 1.3 erfolgt eine strahlenhygienische Bewertung der Daten. In Teil B - IV - 1.4 wird abschließend eine Abschätzung der Häufigkeit alternativer bildgebender Diagnoseverfahren gegeben.

1.1 Röntgendiagnostik

Untersuchungsarten und Strahlenexposition

Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur Röntgenaufnahmen angefertigt werden („konventionelle Röntgenaufnahmen“). Dabei wird für den Bruchteil einer Sekunde Röntgenstrahlung auf den zu untersuchenden Körperteil gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem digitalen Speichermedium oder - nur noch in seltenen Fällen - mit einem Film-Folien-System sichtbar gemacht. Dichte Strukturen wie Knochen werden hierbei hell dargestellt, weniger dichte Gewebe wie Fettgewebe dagegen dunkel.

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen (z. B. Herzbewegung) oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen (z. B. des Magen-Darm-Traktes) ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt Röntgenstrahlung den Körper und erzeugt auf einem Leuchtschirm eine Bilderreihe, die mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Monitor übertragen wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehört auch beispielsweise die Angiographie (d. h. die Darstellung von Gefäßen nach Gabe eines Röntgenkontrastmittels). Speziell mit Angiographien können interventionelle Maßnahmen einhergehen, d. h. Verfahren, bei denen unter Durchleuchtungskontrolle z. B. die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße durchgeführt werden. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass oftmals risikoreiche Operationen – insbesondere bei älteren Patienten – vermieden werden können. Bei Röntgendurchleuchtungen ist die Strahlendosis für den Patienten im Vergleich zu einer konventionellen Röntgenaufnahme zum Teil deutlich höher.

Die Computertomographie (CT) ist ein Schnittbildverfahren der Röntgendiagnostik, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten fahren und eine Vielzahl von Röntgenaufnahmen aus unterschiedlichen Richtungen (Projektionen) erzeugen. Die erzeugten Messdaten werden mit Hilfe eines Computerprogramms zu sehr aussagekräftigen überlagerungsfreien Schichtbildern zusammengesetzt. Die CT hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit keinem anderen Röntgenverfahren erreicht wird. Auf Grund der vergleichsweise hohen Strahlenexposition ist jedoch eine besonders strenge Stellung der rechtfertigenden Indikation durch den anwendenden Arzt erforderlich. Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die komplexeren Verfahren sind in Tabelle T IV.1 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zusammengestellt.

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

Das BfS erhebt bereits seit Anfang der 1990er Jahre Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus.

Ärztliche Leistungen werden über spezielle Gebührensätze abgerechnet, die die ärztlichen Maßnahmen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschreiben. Da ca. 98 % der deutschen Bevölkerung gesetzlich oder privat krankenversichert sind, kann die Häufigkeit von radiologischen Untersuchungen gut mit Hilfe dieser Gebührensätze abgeschätzt werden. Diese werden dem BfS von der Kassenärztlichen und Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KBV, KZBV) und durch den Verband der privaten Krankenversicherung (PKV) zur Verfügung gestellt (KBV bzw. KZBV: Ziffern nach dem Einheitlichen Bewertungsmaßstab EBM, ab 2. Quartal 2005 EBM 2000plus, bzw. BEMA; PKV: Ziffern nach der Gebührenordnung für Ärzte GOÄ). Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und struk-

turierter Datentransfer eingespielt. In Deutschland finden die weitaus meisten radiologischen Untersuchungen im ambulanten Bereich statt (ca. 80 %). Mithilfe der vollständigen Häufigkeitsstatistiken der KBV und KZBV kann somit bereits der größte Teil der Röntgendiagnostik abgeschätzt werden. Die PKV-Daten umfassen nur eine Stichprobe in der Größenordnung von etwa einem Promille aller in einem Jahr abgerechneten Röntgenleistungen. Schätzungen für den ambulanten Bereich sind für Privatversicherte daher mit größeren Unsicherheiten behaftet. Hochgerechnet entfällt etwa ein Achtel der insgesamt in Deutschland erbrachten ambulanten Röntgenleistungen auf die PKV.

Für den stationären Bereich stehen ab dem Jahr 2007 Daten des statistischen Bundesamtes zur Verfügung (Statistiken der Operationen- und Prozedurenschlüssel OPS). Darüber hinaus fließen die Resultate eines Ressortforschungsvorhabens ein (bundesweite Erhebungen zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für 2012).

Häufigkeiten und kollektive Dosen von Röntgenuntersuchungen, die durch Unfallversicherungsträger abgerechnet oder im Auftrag der Bundeswehr durchgeführt wurden, können lediglich grob abgeschätzt werden; eine konservative Schätzung für diesen Bereich fließt jedoch ebenfalls bei den in Teil B - IV - 1.1 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ präsentierten Gesamtzahlen zur Häufigkeit und effektiven Dosis ein.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis werden für die verschiedenen Untersuchungsarten - wie Untersuchungen des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule etc. - jeweils das Produkt von Häufigkeit und effektiver Dosis pro Untersuchung ermittelt und anschließend aufsummiert.

Insgesamt wurde für die Analyse der Daten ein standardisiertes Verfahren entwickelt, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit Trendanalysen möglich sind. Im Bewusstsein, dass systematische Fehler unvermeidbar sind, wird durch die Standardisierung angestrebt, diese Fehler zumindest möglichst konstant zu halten, um dadurch insbesondere Trends möglichst frühzeitig und sicher erfassen zu können.

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten radioaktiv markierte Stoffe (Radiopharmaka) verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen vorübergehend anreichern. Sie sind auf Grund ihrer radioaktiven Markierung mit geeigneten Messgeräten, in der Regel mit einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten darstellbar. Die diagnostische Anwendung von radioaktiven Arzneimitteln ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion interessierender Organsysteme sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen. Daher ist sie eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten Bildgebung, die die Form und Struktur untersuchter Organe oder Gewebe darstellt (z. B. Röntgendiagnostik). Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit wird für eine Vielzahl von diagnostischen Anwendungen in der Nuklearmedizin das Nuklid Technetium-99m (Tc-99m) als radioaktiver Marker verwendet. Die häufigsten nuklearmedizinischen Verfahren sind klassische Szintigraphien, z. B. der Schilddrüse und des Skeletts.

Mit der Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit speziell entwickelten radioaktiven Substanzen, wie z. B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers mit hoher räumlicher Auflösung bildlich darzustellen. Die PET ist ein innovatives Schnittbildverfahren, das – gegebenenfalls in Kombination mit der Computertomographie (PET/CT) – die Leistungsfähigkeit der Diagnostik in der Neurologie, Kardiologie und vor allem in der Onkologie deutlich verbessert hat.

Die aktuelle Vorgehensweise bei der Erhebung der medizinischen Strahlenexposition in der Nuklearmedizin sowie aktuelle Daten zur Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen sind in Teil B - IV - 1.2 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ dargestellt.

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen

Die strahlenhygienische Bewertung aktueller Daten ist in Teil B - IV - 1.3 dargestellt.

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren

Bei den so genannten alternativen Untersuchungsverfahren – Untersuchungen ohne Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung – stehen neben der Endoskopie die Sonographie (Ultraschall) und die Magnetresonanztomographie (MRT) im Vordergrund.

Voraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder. Durch die Einstrahlung von elektromagnetischen Hochfrequenz-Feldern in Kombination mit niederfrequenten Magnetfeldern in der Größenordnung von einigen Millitesla werden Schnittbilder erzeugt, die im Vergleich zur CT einen hohen Weichteilkontrast besitzen. Das Verfahren eignet sich somit hervorragend zur bildlichen Unterscheidung von gesunden bzw. krankhaft veränderten Gewebestrukturen. Durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildgebungstechniken gelang es in den letzten Jahren weiterhin, die anfangs sehr lange Untersuchungsdauer auf wenige Minuten bzw. Sekunden zu reduzieren. Dadurch besteht die Möglichkeit, auch funktionelle Gewebefunktionen zu erhalten, wie z. B. über Angiogenese (Ausbildung neuer Gefäßstrukturen) und Mikrozirkulation. Gegenüber der Positronenemissionstomographie (PET), einem nuklearmedizinischen Schnittbildverfahren, s. o., das vergleichbare funktionelle Informationen liefert, ist die hohe räumliche Auflösung der MRT und die Tatsache, dass bei der MRT keine radioaktiven Stoffe oder ionisierenden Strahlen verwendet werden, ein großer Vorteil.

Letzteres gilt auch im Vergleich zu einer funktionellen Untersuchung mit der CT. Aus Sicht des Strahlenschutzes sollte nach Möglichkeit die MRT-Untersuchung einer CT-Untersuchung vorgezogen werden, wenn sich dadurch ähnlich zuverlässige Diagnosen stellen lassen.

Für die Abschätzung der Häufigkeiten von MRT-Untersuchungen wurden - analog zu den röntgendiagnostischen Verfahren - die Daten der KBV, PKV sowie des statistischen Bundesamtes verwendet. Dagegen wird die Abschätzung der Häufigkeit von Ultraschalluntersuchungen mithilfe von Leistungs-Positionen als nicht sinnvoll erachtet, da Sonographien häufig über Pauschalen abgerechnet werden. Entsprechend werden hierzu keine Ergebnisse vorgestellt.

Eine Abschätzung der MRT-Häufigkeit ist in Teil B - IV - 1.4 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ gegeben.

1.5 Qualitätssicherung

Im deutschen Strahlenschutzrecht sind verschiedene Maßnahmen festgelegt, die das Ziel haben, die medizinische Strahlenexposition zu reduzieren und den Strahlenschutz der Patienten zu verbessern.

So wird beispielsweise ausdrücklich gefordert, dass vor jeder Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen durch einen fachkundigen Arzt festzustellen ist, dass der gesundheitliche Nutzen der Anwendung das Strahlenrisiko überwiegt. Der Fachausdruck hierfür ist die „rechtfertigende Indikation“. Die korrekte Feststellung der rechtfertigenden Indikation wird in regelmäßigen Abständen von den ärztlichen Stellen überprüft.

Darüber hinaus sind – als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik – diagnostische Referenzwerte (DRW) zu beachten. Die DRW werden vom BfS für häufige oder dosisintensive Verfahren erstellt, um dem Arzt eine Orientierungshilfe zu geben, welche Dosiswerte – gemittelt über eine größere Anzahl von Untersuchungen – eingehalten bzw. nicht überschritten werden sollen. Die Einhaltung der DRW wird ebenfalls in regelmäßigen Abständen von den ärztlichen Stellen überprüft. Werden die DRW wiederholt und ungerechtfertigt nicht eingehalten bzw. überschritten, so ist es die Aufgabe der ärztlichen Stellen, zusammen mit dem verantwortlichen Arzt mögliche Fehlerquellen zu identifizieren. Ziel ist es, durch eine persönliche Beratung zu einer Verbesserung der Untersuchungsqualität zu gelangen. Mittel- und langfristig erwarten BMUV und BfS, dass durch die Einführung der DRW die medizinische Strahlenexposition reduziert werden kann.

Durch die Pflicht, Patienten nach früheren radiologischen Untersuchungen zu befragen sowie radiologische Bilder an nachbehandelnde Ärzte weiterzugeben, sollen Wiederholungsuntersuchungen vermieden werden.

CT und interventionelle Maßnahmen sind zwar dosisintensive radiologische Verfahren, stellen aber durch eine wesentlich genauere und umfangreichere Diagnosestellung bzw. durch den Ersatz risikoreicher alternativer Therapieformen einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die einzelnen Patienten dar. Die „Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomographie“ beschreiben, welche Bildqualität für bestimmte Untersuchungen erforderlich ist und wie diese mit möglichst geringer Dosis erreicht werden kann. Die ärztlichen Stellen überwachen deren Einhaltung und geben Hinweise zur Herabsetzung der Dosis und Verbesserung der Bildqualität. Aus den Jahresberichten mehrerer ärztlicher Stellen ist zu ersehen, dass sowohl leichte als auch schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung und der Beratung durch die ärztlichen Stellen kontinuierlich seltener geworden sind.

Auch bei Ausschöpfung aller Maßnahmen der technischen Qualitätssicherung ist die streng an der notwendigen diagnostischen Fragestellung orientierte rechtfertigende Indikation mit einer damit verbundenen möglichen Reduktion der Untersuchungshäufigkeit die wirksamste Methode, die Strahlenexposition der Patienten zu verringern.

2. Therapeutische Strahlenanwendungen

Die Strahlentherapie (Radiotherapie) stellt - neben Operation und Chemotherapie - die dritte Säule der modernen Krebstherapie dar. Häufig kommen sogenannte multimodale Therapiekonzepte zum Einsatz. Dabei werden verschiedene Behandlungsmöglichkeiten miteinander kombiniert. Beispielsweise kann einer operativen Tumorentfernung eine Radiochemotherapie folgen, also eine Strahlentherapie kombiniert mit einer Chemotherapie.

2.1 Strahlentherapie

Im Vergleich zur radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik betrifft die Anwendung der Strahlentherapie einen relativ kleinen, meist schwer erkrankten Teil der Bevölkerung, insbesondere Patienten mit einer Krebserkrankung. Zur Behandlung wird eine hohe Strahlendosis in einem definierten Körperbereich („Zielvolumen“) appliziert. Gleichzeitig soll das benachbarte gesunde Gewebe so weit wie möglich geschont werden. Typischerweise erfolgt die Bestrahlung perkutan, also von außen durch die Haut (Teletherapie).

Wichtige technische Entwicklungen der letzten Zeit, wie z. B. die individuell optimierte Bestrahlungsplanung auf Basis dreidimensionaler Bilddatensätze, erlauben es, die applizierte Strahlentherapiedosis immer besser auf das Zielvolumen zu konzentrieren. Dadurch ist inzwischen auch die hoch dosierte Bestrahlung irregulär geformter Tumoren in enger Nachbarschaft zu wichtigen gesunden Organen mit guter Verträglichkeit möglich.

Zu den wichtigen Techniken gehören u. a. die bildgeführte Radiotherapie (IGRT image guided radiotherapy), bei der beispielsweise vor jeder einzelnen strahlentherapeutischen Behandlung CT-ähnliche Kontrollen der korrekten Patienten-

positionierung erfolgen können, sowie die intensitätsmodulierte Radiotherapie (IMRT), bei der die Strahlendosis innerhalb eines jeden Bestrahlungsfeldes verändert (moduliert) werden kann. Eine mit diesen Techniken erreichbare bessere Konzentration der Strahlentherapie-Dosis auf das Zielvolumen („Konformität“) kann für den behandelten Patienten bedeuten, dass sich seine Heilungschancen erhöhen, während unerwünschte Nebenwirkungen seltener auftreten.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Bestrahlungsart ist die in sog. Linearbeschleunigern erzeugte Photonen- und Elektronenstrahlung. In zunehmendem Maße kommt an neu errichteten Zentren auch Teilchenstrahlung (Protonen, Schwerionen) zum Einsatz, deren grundsätzlich vorteilhafte physikalische Eigenschaften eine bessere Schonung gesunden Körpergewebes erwarten lassen. Hinsichtlich des resultierenden Nutzen-Risiko-Verhältnisses wird sie derzeit noch im Rahmen klinischer Studien bewertet.

Als weitere Alternative steht die sog. Brachytherapie zur Verfügung, bei der eine radioaktive Strahlenquelle in direkter räumlicher Nähe zum Zielvolumen platziert wird.

Unverzichtbar für die Strahlentherapie ist eine ständige Qualitätssicherung, die auch eine sorgfältige Überprüfung des Behandlungserfolges (Nachsorge) über einen ausreichend langen Zeitraum beinhaltet.

Leitlinien zu den Methoden der Strahlentherapie sowie die einzelnen Bestrahlungsindikationen werden u. a. von der Deutschen Gesellschaft für Radioonkologie e. V. DEGRO herausgegeben [1].

Aktuelle Daten sind in Teil B - IV - 2.1 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ dargestellt.

2.2 Nuklearmedizinische Therapie

Die Radionuklidtherapie nutzt die Möglichkeit, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Als bekanntestes Beispiel sei hier das Radionuklid I-131 angeführt, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z. B. Schilddrüsenzellen, die übermäßig Schilddrüsenhormone produzieren, oder Tumorzellen vernichtet. Weitere wichtige Anwendungen der nuklearmedizinischen Therapie sind:

- die Radiosynoviorthese, d. h. ein Therapieverfahren zur weitgehenden Wiederherstellung der ursprünglichen Gelenkinnenhaut durch lokale Strahlenanwendung (z. B. bei Gelenkerkrankungen mit wiederkehrenden Gelenkgüssen) sowie
- die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen (Ziel: Schmerzlinderung bei nicht heilbarer Erkrankung).

Zunehmende Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie, bei der spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert werden, um die Tumorzellen gezielt durch Strahlung zu zerstören (z. B. bei Lymphomen). Weitere neuere Anwendungsbereiche nuklearmedizinischer Therapie sind z. B. die MIBG- (Methyljodbenzylguanidin) und Radiopeptid-Therapie bei neuroendokrinen Tumoren sowie die minimal-invasive selektive interne Radiotherapie (SIRT) bei inoperablen bösartigen primären Lebertumoren und Lebermetastasen.

Die Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN) gibt Leitlinien heraus, die neben Empfehlungen zur klinischen Qualitätskontrolle in der Diagnostik auch Empfehlungen für die nuklearmedizinische Therapie beinhalten.

3. Medizinische Forschung

Sowohl für die Grundlagenforschung als auch die Erprobung neuer diagnostischer und therapeutischer Methoden bzw. Mittel sind Studien am Menschen unerlässlich. Studienteilnehmer, bei denen zum Zweck der medizinischen Forschung ionisierende Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) und radioaktive Stoffe angewendet werden sollen, werden in Deutschland in besonderer Weise geschützt. Für die Genehmigungen ist seit 2001 das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zuständig. Seit dem 31.12.2018 gibt es für bestimmte Anwendungen ein Anzeigeverfahren. Für die Verfahren der sogenannten Begleitdiagnostik sieht das StrlSchG eine Anzeigepflicht vor. Aktuelle Daten sind in Teil B - IV - 3 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ dargestellt.

4. Herzschrittmacher

Seit 1977 werden keine Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien mehr implantiert. Auf derartige Batterien kann verzichtet werden, nachdem nichtnukleare Batterien für Herzschrittmacher mit einer Funktionsdauer bis zu 10 Jahren entwickelt wurden.

Eine Notwendigkeit, derzeit noch im Patienten implantierte Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien (nur noch Plutonium-238) aus Gründen der Strahlenexposition vorzeitig zu explantieren, ist nicht gegeben.

Dem Bundesamt für Strahlenschutz sind alle Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidbatterien schriftlich zu melden. Fernerhin fordert das Bundesamt für Strahlenschutz mit Zustimmung der Genehmigungsbehörden der Länder Erfahrungsberichte bei allen Kliniken, die Explantationen von Schrittmachern mit Radionuklidbatterien durchführen, an.

Literatur

- [1] siehe „Das Leitlinienprogramm Onkologie“,
<https://www.krebsgesellschaft.de/deutsche-krebsgesellschaft-wtrl/deutsche-krebsgesellschaft/leitlinien/onkologische-leitlinien-im-ueberblick.html>

V GRUNDLAGEN ZUM UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe

Rechtsgrundlagen

Nach § 3 Abs. 1 des Gesetzes über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 2 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808), bedarf derjenige, der Kernbrennstoffe ein- oder ausführt, einer Genehmigung. Abschnitt 2 der StrlSchV (§§ 12-15) regelt die Genehmigungspflicht der Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe einschließlich hochradioaktiver Strahlenquellen. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung der Ein- und Ausfuhr von Kernbrennstoffen bzw. sonstiger radioaktiver Stoffe sind in § 3 Abs. 2 und 3 AtG bzw. § 15 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegt. § 13 StrlSchV normiert die unter bestimmten Voraussetzungen mögliche genehmigungsfreie, jedoch anmeldungspflichtige grenzüberschreitende Verbringung von sonstigen radioaktiven Stoffen oder kleinen Massen an Kernbrennstoffen. Ausnahmen von der Genehmigungs- bzw. Anmeldungspflicht werden in § 14 Abs. 1 StrlSchV geregelt. Zuständige Behörde für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhr genehmigungen und die Bearbeitung der Anmeldungen nach deren zollamtlicher Abfertigung (Nicht-EU-Staaten) ist nach § 22 Abs. 1 AtG das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Für die Genehmigung der Beförderung von Kernbrennstoffen und Großquellen ist nach § 23 Abs. 1 Nr. 3 AtG das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) zuständig. Großquellen im Sinne des Gesetzes sind gemäß § 23 Abs. 2 AtG radioaktive Stoffe, deren Aktivität je Beförderungs- oder Versandstück den Aktivitätswert von 1000 Terabequerel (10^{15} Bq) übersteigt.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) lässt sich im Rahmen seiner Fachaufsicht (§ 22 Abs. 3 AtG) u. a. jährlich über den Umfang und die Entwicklung der Ein- und Ausfuhr von Kernbrennstoffen, von sonstigen radioaktiven Stoffen und umschlossenen Strahlenquellen berichten.

Verfahren

Gemäß § 2 Abs. 1 S.1 AtG unterscheidet man im Hinblick auf radioaktive Stoffe zwischen Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen. Kleine Massen von Kernbrennstoffen gelten nach § 2 Abs. 3 S. 1 AtG als sonstige radioaktive Stoffe.

Kernbrennstoffe (ohne Kernbrennstoffe nach § 2 Abs. 3 AtG)

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Ausfuhr von Kernbrennstoffen gemäß § 3 Abs. 1 AtG immer genehmigungspflichtig. Die Einfuhr ist grundsätzlich genehmigungspflichtig, es sei denn, die Kernbrennstoffe werden nur in Kleinmengen (welche je nach Anteil des spaltbaren Materials gestaffelt sind) in das Bundesgebiet verbracht und es ist dafür Vorsorge getroffen, dass die zu verbringenden Kernbrennstoffe nach der Einfuhr erstmals an Personen/Institutionen abgegeben werden, denen eine Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG erteilt ist. In diesen Fällen besteht lediglich eine Anmeldepflicht (§ 13 StrlSchV).

Sonstige radioaktive Stoffe, Kernbrennstoffe nach § 2 Abs. 3 AtG (max. 15 g oder max. 15 g/100 kg spaltbar)

Aus § 12 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV ergibt sich die Genehmigungspflicht für die grenzüberschreitende Verbringung sonstiger radioaktiver Stoffe, deren Aktivität je Versandstück das 10^8 -fache der in dieser Norm festgeschriebenen Freigrenzen beträgt oder überschreitet und für Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG. Der Regelungsbereich von § 12 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV beschränkt sich auf die Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe und Kernbrennstoffe nach § 2 Abs. 3 AtG aus dem Geltungsbereich dieser Verordnung in einen Nicht-EU-Staat.

Aus § 13 Abs. 1 StrlSchV lassen sich die Konstellationen entnehmen, in denen lediglich eine Anmeldung der grenzüberschreitenden Verbringung erforderlich ist. So bedarf insbesondere die Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe oder von Kernbrennstoffen gemäß § 2 Abs. 3 AtG, die nicht von dem Genehmigungsvorbehalt von § 12 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV erfasst sind, in einen Staat, der nicht Mitgliedstaat der Europäischen Union ist, einer Anmeldung gegenüber dem BAFA. Ferner ist die Einfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe oder von Kernbrennstoffen nach § 2 Abs. 3 AtG aus einem Nicht-EU-Staat grundsätzlich anzeigepflichtig, siehe § 13 Abs. 1 Nr. 1 StrlSchV.

§ 14 Abs. 1 StrlSchV fasst die Fälle zusammen, in denen weder eine Genehmigungspflicht noch eine Anmeldepflicht für die grenzüberschreitende Verbringung von radioaktiven Stoffen besteht. So gelten die dargestellten Genehmigungs- und Anmeldevorbehalte nicht für Stoffe, die in der Anlage 3 (genehmigungsfreie Tätigkeiten) Teil B Nr. 1 bis 6 genannt sind, siehe § 14 Abs. 1 Nr. 1 StrlSchV. Ferner ist eine zollamtlich überwachte Durchfuhr von sonstigen radioaktiven Stoffen und Kernbrennstoffen nach § 2 Abs. 3 AtG anmelde- und genehmigungsfrei, siehe § 14 Abs. 1 Nr. 2 StrlSchV. Zudem entfällt die Genehmigungs- und Anmeldepflicht insbesondere dann, wenn sonstige radioaktive Stoffe oder Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG lediglich zur eigenen Nutzung im Rahmen eines genehmigten Umgangs vorübergehend grenzüberschreitend verbracht werden, siehe § 14 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchV. Schließlich ist die grenzüberschreitende Verbringung von Konsumgütern, denen radioaktive Stoffe zugesetzt oder die aktiviert worden sind, unter den in § 42 StrlSchG Abs. 2 genannten Voraussetzungen genehmigungsfrei, § 14 Abs. 1 Nr. 4 StrlSchV.

Hochradioaktive Strahlenquellen

Seit der Änderung der Strahlenschutzverordnung durch das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 18./19. August 2005 (BGBl. I S. 2365) werden bei den umschlossenen radioaktiven Stoffen zusätzlich solche unterschieden, die hochradioaktiv sind. Die Grenze für die Unterscheidung ist vom entsprechenden Radionuklid abhängig und wird in Spalte 4 in Tabelle 1 in Anlage 4 zur Strahlenschutzverordnung angegeben. Beispielsweise gilt eine Cobalt-60-Strahlenquelle ab einer Aktivität von 0,03 TBq als hochradioaktiv. Brennelemente und verfestigte hochradioaktive Spaltproduktlösungen aus der Aufarbeitung von Kernbrennstoffen sind keine hochradioaktiven Strahlenquellen. § 12 Abs. 1 und 2 StrlSchV regelt eine Genehmigungspflicht für die Einfuhr und die Ausfuhr hochradioaktiver Strahlenquellen aus bzw. in Staaten, die nicht Mitgliedsstaat der EU sind, sofern die Strahlenquelle die in § 12 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegte Aktivität überschreitet, der Schutzbehälter der Strahlenquelle nicht die nach § 94 StrlSchV erforderliche Kennzeichnung aufweist oder die nach § 69 Abs. 2 S. 4 StrlSchV vorgeschriebene Dokumentation nicht beigefügt ist.

Die, auch nur vorübergehende, Verbringung hochradioaktiver Strahlenquellen mit einer Aktivität unterhalb der in § 12 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegten bedarf stets einer Anmeldung, § 13 Abs. 1 S. 1 StrlSchV.

Anmeldeverfahren

Die nach § 13 Abs. 1 StrlSchV einer Anmeldepflicht unterliegende grenzüberschreitende Verbringung ist gegenüber dem BAFA anzuzeigen. Dabei ist für die Anmeldung das vom BAFA vorgegebene Formular zu verwenden. Die Anmeldung ist beim BAFA auf der dazu vorgesehenen Internetseite und spätestens im Zusammenhang mit der Zollabfertigung bei den zuständigen Zolldienststellen abzugeben. Die zuständige Zolldienststelle vergleicht die Anmeldung mit den Frachtpapieren und bestätigt ggf. die Übereinstimmung der Angaben. Werden grobe Unregelmäßigkeiten festgestellt, wird die Sendung zurückgewiesen. In allen Fällen werden Unregelmäßigkeiten auf der Anmeldung vermerkt, die dem BAFA auf elektronischem Wege übersandt wird.

Genehmigungsverfahren

Das BAFA prüft die Genehmigungsanträge auf Übereinstimmung mit den Bestimmungen des Atom- und des Strahlenschutzrechts und erteilt die entsprechenden Genehmigungen. Die Durchführung der Ein- und Ausfuhr wird vom Zollamt auf der mitgeführten Genehmigung bestätigt, Abweichungen werden vermerkt. Bei groben Verstößen werden die Sendungen zurückgewiesen. Das BAFA erhält eine Durchschrift mit dem entsprechenden Zollvermerk.

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

Das BAFA überprüft bei Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen sowohl Anmeldungen als auch Genehmigungen im Nachhinein auf Übereinstimmung mit den Bestandsänderungsberichten, die gemäß Euratom-Verordnung monatlich von den Betreibern für die Europäische Union (EU) zu erstellen und dem BAFA in Kopie zuzuleiten sind (Euratom Nr. 302/2005). Darüber hinaus gehen vom BAFA monatlich Meldungen mit den wesentlichen Angaben zu allen Ein- und Ausfuhr von radioaktiven Stoffen an die jeweils zuständigen atomrechtlichen- bzw. strahlenschutzrechtlichen Aufsichtsbehörden der Bundesländer.

Ferner übermittelt das BAFA Angaben über erteilte Genehmigungen nach § 3 Abs. 1 AtG oder § 12 Abs. 1 S. 1 StrlSchV für die Einfuhr hochradioaktiver Strahlenquellen aus einem Staat, der nicht Mitgliedstaat der EU ist, unverzüglich dem vom BfS zu führenden Register über hochradioaktive Strahlenquellen.

Zusätzlich unterrichtet das BAFA das BMUV, sobald im Rahmen eines Ein-, Aus- oder Durchfuhrvorgangs Staaten berührt sind, die das Übereinkommen über den physischen Schutz von Kernmaterial **nicht** unterzeichnet haben. Die Überwachung der grenzüberschreitenden Verbringungen obliegt dem Bundesministerium der Finanzen oder den von ihm bestimmten Zolldienststellen (§ 22 Abs. 2 AtG).

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht:

- Außenwirtschaftsgesetz (AWG) bzw. Außenwirtschaftsverordnung (AWV)
- EG-Dual-Use-Verordnung

Zuständiges Ressort ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); betroffen sind im Zusammenhang des vorliegenden Berichtes Waren der Kategorien 0 und 1 des Anhangs 1 der EG-Dual-UseVO. Die Anträge werden an das BAFA gerichtet und dort unter Beachtung aller relevanten Vorschriften und der internationalen Verträge bzw. Abkommen in einem abgestuften Verfahren unmittelbar oder nach Abstimmung mit den Ressorts entschieden.

Verordnung (Euratom) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. L 148/1)

Diese Verordnung ist direkt geltendes Gemeinschaftsrecht, das keiner Umsetzung in nationales Recht bedurfte. Der Rat beabsichtigte damit, den Wegfall der Grenzkontrollen innerhalb der EU zu kompensieren und die Aufsichtsmöglichkeiten der Mitgliedsstaaten zu verbessern. Diese Verordnung gilt für die Verbringung umschlossener und anderer Strahlenquellen von einem Mitgliedsstaat in einen anderen, wenn Menge und Konzentration die Werte nach Art. 3.2 Buchstaben a) und b) der Richtlinie 96/29/Euratom überschreiten. Die Verordnung gilt nicht für

- Ausgangsstoffe und Kernbrennstoffe, weil hier die Euratom-Kernmaterialüberwachung für ausreichend erachtet wird und (nicht mehr) für

- radioaktive Abfälle, weil diese seit dem 1.1.1994 durch die Richtlinie 92/3/Euratom, zwischenzeitlich durch die Richtlinie 2006/117/Euratom aufgehoben und ersetzt, erfasst werden.

Die Regelungen der Verordnung sind nicht so strikt wie die der Richtlinie 2006/117/Euratom mit ihrem lückenlosen Konsultationsverfahren. Der Besitzer von umschlossenen und anderen Strahlenquellen, der diese von einem Mitgliedstaat in einen anderen verbracht hat, muss der zuständigen Behörde des Bestimmungsmitgliedstaates binnen 21 Tagen nach jedem Quartalsende durch die Verordnung festgeschriebene Angaben über die im Quartal erfolgten Lieferungen übermitteln. In Deutschland liegt die Zuständigkeit beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Eine Verbringung von umschlossenen Strahlenquellen muss zudem der Empfänger seiner zuständigen Behörde zusätzlich vorher ankündigen, wobei sich diese Erklärung auch auf mehrere Verbringungen erstrecken kann. Die Verbringung darf in jedem Fall erst durchgeführt werden, wenn der Empfänger der radioaktiven Stoffe dem Besitzer die behördlich bestätigte Erklärung zugeleitet hat (Art. 4 der Verordnung).

Richtlinie 2003/122/Euratom zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener Strahlenquellen und herrenloser Strahlenquellen (ABl. L 346 v. 22. Dezember 2003)

Um eine bessere Kontrolle u. a. auch bei der Weitergabe von hochradioaktiven Strahlenquellen zu erreichen, hat der Rat der Europäischen Union am 22. Dezember 2003 die Richtlinie zur Kontrolle hochradioaktiver umschlossener und herrenloser Strahlenquellen (Richtlinie 2003/122/Euratom des Rates) erlassen. Die Richtlinie enthält über umfangreiche Buchführungs-, Kennzeichnungs- und Unterrichtungspflichten des Besitzers auch die Verpflichtung der Mitgliedstaaten zur Einrichtung eines Systems, das es ihnen ermöglicht, von einzelnen Weitergaben von Strahlenquellen angemessene Kenntnis zu erhalten.

Seit 18./19. August 2005 ist in Deutschland das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen in Kraft (BGBl. I S. 2365). Dieses Gesetz setzt die Richtlinie 2003/122/Euratom um. Kern des deutschen Gesetzes ist die Einrichtung eines bundesweiten Zentralregisters für hochradioaktive, umschlossene Strahlenquellen. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft, Einsatzort etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, deren Aktivität größer oder gleich den Aktivitätswerten der Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 4 der StrlSchV ist, zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

Richtlinie 2006/117/Euratom des Rates vom 20. November 2006 über die Überwachung und Kontrolle der Verbringungen radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente (ABl. L 337 vom 5. Dezember 2006, S. 21)

Das Europäische Parlament hat 1988 aus konkretem Anlass eine umfassende Gemeinschaftsregelung gefordert, um grenzüberschreitende Verbringungen radioaktiver Abfälle von ihrer Entstehung bis zur Lagerung einem System strenger Kontrolle und Genehmigungen zu unterwerfen. In der Bundesrepublik Deutschland ist gemäß § 9a AtG die inländische Endlagerung vorgeschrieben.

Am 3. Februar 1992 hat der Rat die Richtlinie 92/3/Euratom zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedstaat in einen anderen, in die Gemeinschaft und aus der Gemeinschaft (ABl. L 35 vom 12. Februar 1992, S. 24) erlassen, weil weder die Richtlinie 84/631/EWG über die in der Gemeinschaft vorzunehmende Überwachung und Kontrolle gefährlicher Abfälle, noch die Grundnormen für den Gesundheitsschutz Regelungen für radioaktive Abfälle enthielten.

Die Richtlinie 92/3/Euratom wurde durch die Richtlinie 2006/117/Euratom aufgehoben und ersetzt, um u. a. das Verfahren für die Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedstaat in einen anderen zu vereinfachen und die Übereinstimmung mit anderen Gemeinschaftsvorschriften und internationalen Rechtsvorschriften, insbesondere mit dem „Gemeinsamen Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle“ sicherzustellen. Zudem galt die Richtlinie 92/3/Euratom nicht für bestrahlte Brennelemente. Mit Erlass der Richtlinie 2006/117/Euratom wird der Anwendungsbereich dahingehend erweitert und zwar unabhängig davon, ob diese Brennelemente für die Rezyklierung (Wiederaufbereitung) vorgesehen sind oder nicht.

Die Mitgliedstaaten waren verpflichtet, die Richtlinie 2006/117/Euratom bis zum 25. Dezember 2008 in nationale Rechtsvorschriften umzusetzen.

Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) vom 31.07.1998 (BGBl. I, Seite 1918)

Die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung vom 31.07.1998 setzte die Richtlinie 92/3/Euratom vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle in nationales Recht um. Die Richtlinie diente der Kompensation des Wegfalls von Kontrollen an den Binnengrenzen der Europäischen Gemeinschaften und vereinheitlicht die Anforderungen für die Einfuhr aus Drittländern und Ausfuhr in Drittländer, die nicht Mitglied der Europäischen Gemeinschaft sind.

Für die formelle Umsetzung in eine nationale Rechtsverordnung war eine Änderung des Atomgesetzes erforderlich. Im Rahmen der am 1. Mai 1998 in Kraft getretenen Atomgesetznovelle wurde eine entsprechende Ermächtigungsvorschrift für die formelle Umsetzung dieser Richtlinie durch die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) in das Atomgesetz aufgenommen.

Zur Umsetzung der Richtlinie 2006/117/Euratom des Rates vom 20. November 2006 über die Überwachung und Kontrolle der Verbringungen radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente (ABl. L 337 vom 5. Dezember 2006, S. 21) wurde die AtAV vom 31.07.1998 im Jahre 2009 durch eine Neufassung abgelöst. Die Vielzahl der durch die Richtlinie 2006/117/Euratom vorgegebenen Änderungen kamen einer Neugestaltung der AtAV gleich, weshalb man sich für den Weg der Änderung der AtAV in Form einer Ablösungsverordnung entschieden hat.

Die Neufassung der AtAV, jetzt **Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverordnung (AtAV) vom 30. April 2009 (BGBl. I S. 1000))**, unterscheidet sich von der AtAV vom 31.07.1998 im Wesentlichen durch die Erweiterung des Anwendungsbereichs auf bestrahlte Brennelemente, die Vereinfachung/Präzisierung des Verfahrens und die Einführung fester Fristen zur Bearbeitung von Anträgen, die Einführung eines automatischen Zustimmungsverfahrens (erforderliche Zustimmungen von Mitgliedstaaten gelten als erteilt, wenn in Gang gesetzte Fristen abgelaufen sind), die Aktualisierung des einheitlichen Begleitscheins (Antrags-, Zustimmungs- und Genehmigungsformular etc.) sowie die Neufassung der Kriterien bei Verbringungen in Drittländer.

Der Antrag zur Verbringung radioaktiver Abfälle wird nach § 6 AtAV beim BAFA gestellt. Dieses konsultiert die entsprechenden Stellen der beteiligten Staaten.

Jahresstatistik der Ein- und Ausfuhr radioaktiver Stoffe

Die vom BAFA erstellten Ein- und Ausfuhrstatistiken radioaktiver Stoffe sind in Teil B - V - 1 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ tabellarisch dargestellt und kommentiert.

2. Beförderung radioaktiver Stoffe

Für den Transport radioaktiver Stoffe hat der Gesetzgeber im Rahmen des Atom- und Gefahrgutrechts umfassende Regelungen erlassen. Zweck der Vorschriften ist es, die mit der Beförderung radioaktiver Stoffe verbundenen Gefahren, insbesondere die schädliche Wirkung ionisierender Strahlung für Leben, Gesundheit und Sachgüter auszuschließen bzw. auf das zulässige Maß zu reduzieren.

Aktuelle Angaben über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe sind in Teil B - V - 2 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ enthalten.

3. Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler

Als Umgang mit radioaktiven Stoffen wird nach § 5 Abs. 39 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung bezeichnet. In Abschnitt 2 (§§ 12 bis 24) trifft das StrlSchG Regelungen zum „Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung“ und den „Umgang mit radioaktiven Stoffen“ sowie den „Betrieb von Röntgeneinrichtungen oder Störstrahlern“

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe

Die Zahl der Anwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland ist auf vier Bereiche aufgeschlüsselt:

- Medizin einschließlich medizinischer Forschung und Lehre,
- Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- Industrie und gewerbliche Wirtschaft und
- sonstige (z. B. Behörden).

Die Entwicklung der Anzahl der Anwender radioaktiver Stoffe ist in Teil B - V - 3.1 wiedergegeben.

3.2 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern und Industrieerzeugnissen

Zum Schutz des Verbrauchers ist nach dem StrlSchG § 39 bei einigen Produkten der Zusatz radioaktiver Stoffe unzulässig bzw. deren Aktivierung nur unter stark eingeschränkten Bedingungen (§§ 40-41 StrlSchG) zulässig. Dies betrifft z. B. Lebensmittel, Spielwaren, Schmuck, kosmetische Produkte und Futtermittel. Bei bestimmten Industrieerzeugnissen und Konsumgütern bedarf der Zusatz radioaktiver Stoffe, deren Aktivierung sowie der Import und Export dieser Produkte einer Genehmigung. Außer bei Gütern mit geringer Aktivität ist ein Rücknahmekonzept Voraussetzung. Die Strahlenschutzverordnung verpflichtet den Hersteller zur kostenlosen Rücknahme des Konsumgutes und den Verbraucher zur Rückführung der Produkte nach der Nutzung.

Nach dem StrlSchG können Vorrichtungen, in die radioaktive Stoffe eingefügt sind, auch genehmigungsfrei verwendet werden, wenn diese eine Bauartzulassung besitzen. Diese Möglichkeit ist allerdings an eine Reihe von Auflagen gebunden, z. B. hinsichtlich des Verwendungszwecks, der Art und Aktivität der Radionuklide, der Umhüllung radioaktiver Stoffe oder der Dosisleistung an der Oberfläche des Produkts. Bauartzugelassene Vorrichtungen sind keine Konsumgüter. Genehmigungsfrei verwendet werden demnach Geräte oder andere Vorrichtungen, die umschlossene radioaktive Stoffe enthalten, und deren Bauart das BfS nach Prüfung unter Beteiligung der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) zugelassen hat (z. B. Ionisationsrauchmelder).

Unter diese Regelungen fällt eine große Zahl von Erzeugnissen, die vorwiegend in Wissenschaft und Technik verwendet werden. Die in diesen Produkten eingesetzten radioaktiven Stoffe sind nach dem gegenwärtigen Stand der Technik Hilfsmittel, die erst eine bestimmte Leistung eines Gerätes ermöglichen. Es handelt sich z. B. um technische Speziallampen, die dazu beitragen, Energie zu sparen oder Ionisationsrauchmelder, die das Funktionieren lebensrettender Warnvorrichtungen garantieren.

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtemessungen

Nach dem StrlSchG muss im Allgemeinen die Verwendung von umschlossenen Strahlenquellen für Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtemessungen von der zuständigen Behörde genehmigt werden. Die in der Materialprüfung Beschäftigten gehören zum Kreis der beruflich strahlenexponierten Personen. Für Werkstoffprüfungen ist Ir-192 das weitaus am häufigsten verwendete Radionuklid. Es ist besonders geeignet für Prüfungen an 1 bis 7 cm dicken Eisenteilen und besitzt eine sehr hohe spezifische Aktivität, so dass die Strahlenquelle in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden kann. Das am zweithäufigsten verwendete Radionuklid Co-60 wird vorzugsweise bei Eisenteilen mit Dicken zwischen 5 und 15 cm eingesetzt. Die heute üblicherweise eingesetzten Aktivitäten liegen im Bereich von 0,1 bis 5 Terabecquerel.

Füllstandmessgeräte arbeiten in der Regel mit Gammastrahlern (Co-60 und Cs-137) mit einer Aktivität bis zu 300 Gigabecquerel. Die Messung beruht auf der von der Dichte abhängigen Absorption der ionisierenden Strahlung. Quelle und Detektor sind im Allgemeinen so gut abgeschirmt, dass kein Kontrollbereich definiert werden muss. Außerdem sind die Geräte meistens an schwer zugänglichen Stellen eingebaut, die von Arbeitsplätzen weit entfernt sind, so dass keine erhöhte Exposition der Arbeitskräfte auftreten kann.

Zur Dicken- und Dichtemessung werden im Wesentlichen die Radionuklide Kr-85, Sr-90 und Pm-147 als Betastrahler sowie Co-60 und Cs-137 als Gammastrahler benutzt. Die Aktivitäten können bis zu 50 Gigabecquerel betragen. Geräte mit Betastrahlung werden in der Papier-, Textil-, Gummi- und Kunststoffindustrie eingesetzt, solche mit Gammastrahlung in der Holz-, Schaumstoff- und Stahlindustrie zur Dickenmessung, in der Lebensmittelindustrie und in der chemischen Industrie zur Dichtemessung.

Strahlenexposition durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen

Ein mögliches Risiko für die Bevölkerung durch den Umgang mit Industrieerzeugnissen hängt nicht nur von der Art und Menge der verwendeten Radionuklide sowie deren Verarbeitung ab, sondern auch von der Verbreitung der Erzeugnisse. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen, d. h. die Herstellung, die Bearbeitung, die Lagerhaltung, der Gebrauch sowie der Handel und die Beseitigung wird daher in der Bundesrepublik Deutschland durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt. Unter bestimmten Voraussetzungen wird ein genehmigungsfreier Umgang ermöglicht, insbesondere für Geräte oder andere Vorrichtungen mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Bauart vom BfS zugelassen worden ist oder deren Aktivität festgelegte Freigrenzen nach Anlage III Tabelle 1 StrlSchV unterschreitet.

Neben den gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen ist der Grundsatz zu beachten, dass mit der Anwendung ein gerechtfertigter Vorteil verbunden sein muss.

3.3 Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ)

Mit dem Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen wurde 2005 die Richtlinie 2003/122/Euratom umgesetzt, in der für die Mitgliedstaaten der EU einheitliche Vorgaben zur Kontrolle dieser Strahlenquellen verbindlich festgelegt sind. Kern der deutschen Regelungen ist die Einrichtung eines bundesweiten Registers für hochradioaktive umschlossene Strahlenquellen.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird vom BfS betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland im Verkehr sind und deren Aktivität die jeweils durch die Strahlenschutzverordnung vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet zentral erfasst (Anlage 4 zur StrlSchV). Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind durch die o. g. Richtlinie der Euratom innerhalb der EU einheitlich festgelegt. Der aktuelle Erfassungsstand ist aus Teil B - V - 3.3 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen.

In Deutschland existiert für umschlossene Strahlenquellen ein breites Anwendungsfeld. Während hochradioaktive Strahlenquellen in der Medizin überwiegend in der Strahlentherapie eingesetzt werden, verwendet die Industrie sie häufig für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, z. B. für Schweißnahtprüfungen an Rohrleitungen mittels mobiler Strahlenquellen (Cs-137 oder zunehmend Ir-192 und Se-75). Andere Einsatzbereiche liegen in der Forschung. Hier wird u.

a. Co-60 für die Erzeugung von Gammastrahlungsfeldern und Cf-252 für die Erzeugung von Neutronenstrahlungsfeldern verwendet.

3.4 Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler

Im nichtmedizinischen Bereich werden eine Vielzahl unterschiedlicher Anlagen und Vorrichtungen eingesetzt, bei denen ionisierende Strahlung bzw. Röntgenstrahlung genutzt wird. Hierzu gehören u. a. Röntgenstrahler zur Grobstrukturanalyse (z. B. Gepäckdurchleuchtungsanlagen auf Flughäfen), Vorrichtungen zur Materialanalyse (Röntgenfluoreszenzanalysatoren) oder aber auch tiermedizinische Röntgeneinrichtungen.

Der Betrieb dieser Anlagen und Vorrichtungen ist genehmigungspflichtig, es sei denn, diese Geräte sind bauartzugelassen. Die Inbetriebnahme bauartzugelassener Vorrichtungen ist bei der zuständigen Genehmigungsbehörde anzuzeigen. Bei der Anzeige sind zusätzlich organisatorische Voraussetzungen für Strahlenschutzmaßnahmen nachzuweisen. Bei Röntgeneinrichtungen, deren Bauart zugelassen werden soll, ist der erforderliche Strahlenschutz durch die konstruktive Ausführung der Röntgeneinrichtung zu gewährleisten. Der Nachweis der Wirksamkeit des konstruktiven Strahlenschutzes erfolgt u. a. durch die Prüfung der Einhaltung festgelegter Werte der Ortsdosisleistung sowie durch Prüfung der eingesetzten Sicherheitsmaßnahmen.

Weitere Quellen ionisierender Strahlung sind die so genannten Störstrahler. Störstrahler sind Geräte oder Vorrichtungen, bei deren Betrieb ungewollt Röntgenstrahlung entsteht, die selbst nicht genutzt wird.

Zu diesen gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyratrons, Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernsehleinrichtungen, sofern diese Geräte mit einer Spannung zur Beschleunigung der Elektronen über 30 kV arbeiten und keine Bauartzulassung besitzen. Auch Radargeräte gehören zu den Störstrahlern im Sinne der Strahlenschutzverordnung.

Zu den Störstrahlern, die auch ohne Bauartzulassung genehmigungs- und anzeigefrei betrieben werden können, gehören die Kathodenstrahlröhren zur Wiedergabe von Bildern, z. B. in Fernseh- und Datensichtgeräten, wobei letztere in den vergangenen Jahren durch neuere Entwicklungen weitgehend vom Markt verdrängt wurden. Obwohl die Betrachtungsabstände bei Datensichtgeräten nur etwa 0,5 m (ca. 3 m bei Fernsehgeräten) betragen und die zu unterstellende Betrachtungszeit mit acht Stunden im Vergleich zu Fernsehgeräten sehr viel länger ist, verursachen diese Geräte eine Strahlenexposition, die für die betroffenen Personen nur wenige Prozent der natürlichen Strahlenexposition beträgt.

3.5 Bestand radioaktiver Abfälle

In der Bundesrepublik Deutschland fallen radioaktive Abfälle an:

- beim Betrieb von Kernkraftwerken,
- aus der Stilllegungsphase von Kernkraftwerken, von Forschungs-, Demonstrations- und Unterrichtsreaktoren sowie von weiteren kerntechnischen Einrichtungen,
- bei der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung,
- bei der Urananreicherung sowie bei der Herstellung von Brennelementen (kerntechnische Industrie),
- bei der Radioisotopenanwendung in sonstigen Forschungseinrichtungen, Universitäten, Gewerbe- und Industriebetrieben, Krankenhäusern oder Arztpraxen,
- bei sonstigen Abfallverursachern wie im militärischen Bereich.

Darüber hinaus sind auch abgebrannte Brennelemente - insbesondere aus Leichtwasserreaktoren - und solche Abfälle zu berücksichtigen, die bei einer eventuellen Konditionierung dieser Brennelemente für die direkte Endlagerung anfallen werden. Ebenso ist der bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente angefallene radioaktive Abfall, der zum Teil noch nach Deutschland zurückgeführt werden muss, zu berücksichtigen.

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen Abfallverursacherguppen wird sowohl für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als auch für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle jährlich ermittelt. Teil B - V - 3.6 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ enthält die zusammengefassten aktuellen Daten.

3.6 Freigabe geringfügig radioaktiver Stoffe

Beim Rückbau von Kernkraftwerken fallen große Materialmengen an, von denen der überwiegende Teil während des Betriebs und der Stilllegung nicht oder nur geringfügig radioaktiv kontaminiert oder aktiviert wurde. Den Hauptanteil bilden Baustoffe, die nach der Freigabe, d. h. der Entlassung aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung, wieder dem konventionellen Stoffkreislauf zugeführt werden können. Freigaben kann es aber auch beispielsweise in Medizin, Wissenschaft oder Industrie geben. Nach StrlSchV 2001 ist Freigabe definiert als Verwaltungsakt, durch den radioaktive Stoffe, bewegliche Gegenstände, Gebäude, Bodenflächen sowie Anlagen oder Anlagenteile, die aktiviert oder mit radioaktiven Stoffen kontaminiert sind, aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen werden.

Zur Frage, unter welchen Bedingungen geringfügig radioaktive Stoffe freigegeben werden können, hat sich international ein Konsens gebildet, wonach eine Freigabe solcher Stoffe dann verantwortet werden kann, wenn sie für Einzelpersonen der Bevölkerung nur zu geringfügigen Strahlenbelastungen, die allenfalls im Bereich von 10 Mikrosievert (μSv) im Kalenderjahr liegen, führt. Dieses Kriterium ist in der StrlSchV als Voraussetzung einer Freigabeentscheidung fixiert worden. Die zuständige Behörde kann davon ausgehen, dass das Freigabekriterium erfüllt ist, wenn die Höhe der Radioaktivität im freizugebenden Material (ausgedrückt z. B. in Becquerel pro Gramm Material, Bq/g) die entsprechenden radionuklidspezifischen Freigabewerte unterschreitet. Freigabewerte finden sich in Anlage III, Tabelle 1 der StrlSchV. Es kann somit direkt über eine Messung der Aktivität des freizugebenden Materials entschieden werden, ob durch eine Freigabe eine Überschreitung der Strahlenexposition von $10 \mu\text{Sv}$ pro Person im Kalenderjahr zu erwarten wäre oder nicht. Die Errechnung der tabellierten Freigabewerte geschieht mittels komplexer radioökologischer Modelle, die verschiedene Expositionsszenarien, beispielsweise solche, die einen Deponiearbeiter betreffen, beinhalten. Über den Wert entscheidet in der Regel das restriktivste Szenarium, so dass alle weiteren Szenarien hierdurch automatisch abgedeckt sind (konservativer Ansatz). Freigabewerte liegen oft nahe an der technischen Nachweisgrenze für ionisierende Strahlung. Typische Szenarienrechnungen sind beispielsweise im Bericht der Strahlenschutzkommission (SSK) [1] von 1998 beschrieben.

Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 wurde die Freigabe von geringfügig radioaktiven Stoffen zur Verwendung als nicht radioaktive Stoffe erstmals ausführlich und umfassend geregelt. Das der Freigabe zu Grunde liegende Konzept war im Hinblick auf die eingeschränkte Freigabe zur Deponierung unter anderem auf der Basis der im Jahr 2001 gültigen und prognostizierten Bedingungen der konventionellen Abfallwirtschaft aufgebaut. Zwischenzeitlich haben sich das europäische und das deutsche Abfallrecht im Hinblick auf die Eigenschaften des zu entsorgenden Abfalls bedeutend verändert. Diese veränderten Voraussetzungen für die Entsorgung konventioneller Abfälle machten es erforderlich, die Modellrechnungen zur Herleitung der Freigabewerte anzupassen [2]. Gleichzeitig konnten einige Unklarheiten der Freigaberegulungen beseitigt und Erfahrungen aus dem Vollzug positiv eingebracht werden. Hinsichtlich der Ausbreitung der Radionuklide über den Wasserpfad wurde der Einfluss der Oberflächen- und der Basisabdichtung der Deponie ausdrücklich im Modell berücksichtigt. Derartige Verbesserungen fanden im Jahr 2011 Eingang in die Änderungsverordnung zur StrlSchV. Die aktuellen Änderungen und Ergänzungen der Freigaberegulierung passen das bestehende Konzept den neuen Erfordernissen an und verbessern das Schutzniveau.

Die neue EU-Richtlinie 2013/59/Euratom enthält u. a. Aktivitätskonzentrationswerte für die Freistellung oder Freigabe von Materialien, die für jede Menge und jede Art von Feststoff als Standardwerte dienen können. Sie basieren auf den von der IAEA in der "Safety Reports Series No.44" [3] empfohlenen Werten. Diese Aktivitätskonzentrationswerte können z. B. für die uneingeschränkte Freigabe genutzt werden. Die Richtlinie muss in den kommenden Jahren in nationales Recht umgesetzt werden.

Literatur

- [1] SSK, Freigabe von Materialien, Gebäuden und Bodenflächen mit geringfügiger Radioaktivität aus anzeige- oder genehmigungspflichtigem Umgang. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Heft 16, Bonn 1998
- [2] SSK, Freigabe von Stoffen zur Beseitigung, Empfehlung der Strahlenschutzkommission 2006, Heft 54, Bonn 2007
- [3] Safety Reports Series No.44: "Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance", IAEA, Wien, 2005

4. Meldepflichtige bedeutsame Vorkommnisse

Die bedeutsamen Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen werden jährlich im Teil B - V - 4 des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zusammengestellt.

VI GRUNDLAGEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung

Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung zunehmend nichtionisierender Strahlung ausgesetzt. Dies sind vor allem niederfrequente elektrische und magnetische Felder, die durch die Elektrizitätsversorgung und –nutzung entstehen, sowie hochfrequente elektromagnetische Felder der drahtlosen Kommunikationsnetze. Weiterhin tragen in den Netzen betriebene Geräte, zum Beispiel Mobiltelefone und Tablet-Computer, maßgeblich zur Exposition bei. Der Ausbau der Mobilfunk- und Stromnetze in Deutschland sowie die Einführung und zunehmende Verbreitung neuer Technologien (Elektromobilität, Induktionsherde, Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung HGÜ, Ganzkörperscanner, kabellose Ladestationen, Smart Meter usw.) regt die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken durch die in den verschiedenen Frequenzbereichen emittierte Strahlung an. Eine vergleichsweise neue Entwicklung stellt die Anwendung nichtionisierender Strahlung am Menschen zu kosmetischen Zwecken dar. Optische Strahlungsquellen wie Laser oder IPL-Systeme (IPL = Intense Pulsed Light) werden zum Beispiel für die dauerhafte Entfernung von Haaren (Epilation) oder für die Entfernung von Tätowierungen eingesetzt.

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden

- statische elektrische und magnetische Felder,
- niederfrequente elektrische und magnetische Felder (Frequenzbereich über 0 bis 100 Kilohertz (kHz)) und
- hochfrequente elektromagnetische Felder (100 kHz bis 300 GHz) sowie die
- optische Strahlung, zu der
 - die ultraviolette (UV) Strahlung mit Wellenlängen zwischen 100 und 400 Nanometern (nm),
 - das sichtbare Licht (VIS) mit Wellenlängen zwischen 400 nm und 780 nm und
 - die infrarote (IR) Strahlung mit Wellenlängen zwischen 780 nm und 1 mm gehören (Abbildung G VI 1-1).

Weiterhin wird Ultraschall der nichtionisierenden Strahlung zugerechnet. Im Unterschied zu den vorgenannten Feld- und Strahlungsarten ist Ultraschall keine elektromagnetische sondern eine mechanische Erscheinung.

Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung fehlt der nichtionisierenden Strahlung die Energie, um in biologischen Systemen durch Ionisierungsvorgänge schädliche Radikale zu bilden. Die Wirkung niederfrequenter elektrischer und magnetischer sowie hochfrequenter elektromagnetischer Felder basiert auf Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Starke niederfrequente Felder können im Körper elektrische Felder induzieren, die zur Stimulation von Nerven und Muskelzellen führen. Hochfrequente Felder können oberhalb der Grenzwerte zu gesundheitlich relevanten Temperaturerhöhungen im Organismus führen. Die optische Strahlung liegt dagegen mit ihrem Frequenzspektrum bereits in einem deutlich höherenergetischen Bereich an der Grenze zur ionisierenden Strahlung. In diesem Bereich treten zunehmend auch molekularbiologische Wirkungen auf.

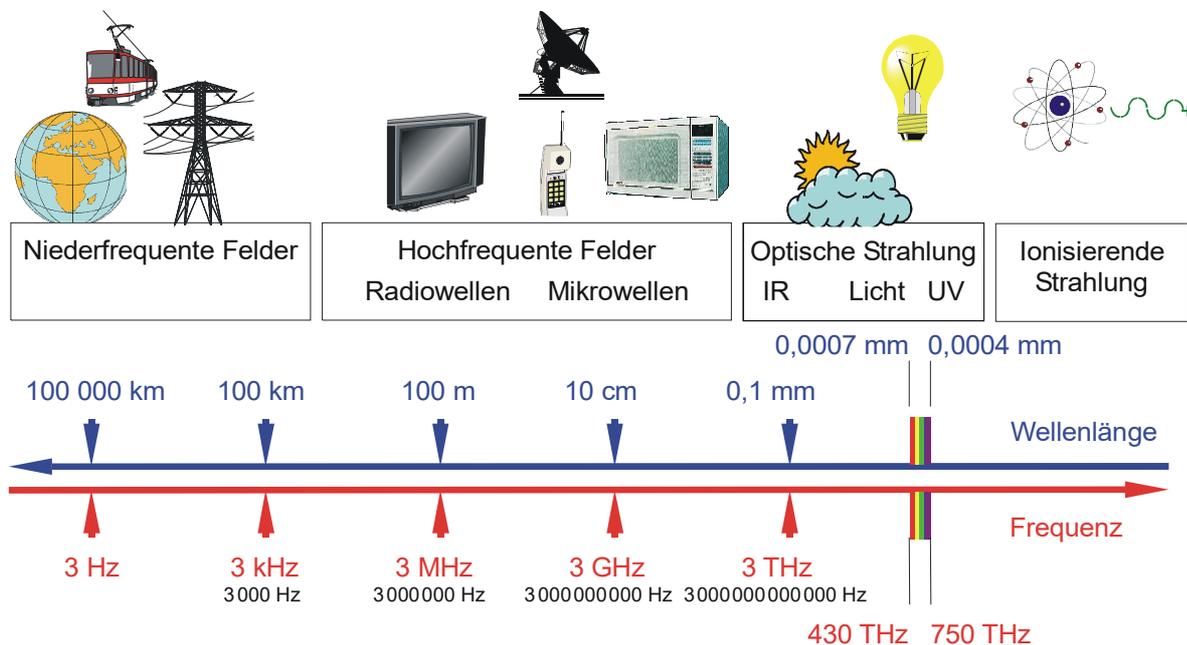


Abbildung G VI 1-1 Das elektromagnetische Spektrum (The electromagnetic spectrum)

2. Statische Felder

Der Begriff „Statische Felder“ umfasst elektrische Felder, die z. B. in Gleichspannungsanlagen auftreten, und Magnetfelder, wie z. B. das natürliche Erdmagnetfeld.

Ein statisches elektrisches Feld übt Kräfte auf elektrische Ladungen aus und führt damit zu einer Ladungsverteilung an der Körperoberfläche. Dadurch bewirkte Bewegungen von Körperhaaren oder Mikroentladungen treten bei elektrischen Feldstärken ab 20 Kilovolt pro Meter (kV/m) auf. Unangenehme Empfindungen werden ab 25 kV/m erzeugt. Statische elektrische Felder können zu elektrischen Aufladungen von nicht geerdeten Gegenständen führen. Als indirekte Wirkung kommt es beim Berühren eines solchen Gegenstands zu Ausgleichsströmen im Körper. Bei Feldstärken oberhalb von 5 bis 7 kV/m können solche Phänomene durch Funkenentladungen Schreckreaktionen auslösen. Im privaten wie beruflichen Alltag sind für derartige Funkenentladungen vor allem elektrostatische Aufladungen verantwortlich, nicht jedoch elektrische Gleichfelder von Gleichspannungsanlagen. Bisher konnten keine gesundheitlich relevanten Wirkungen statischer elektrischer Felder gefunden werden. Dies erklärt, weshalb keine Grenzwertregelungen für elektrische Gleichfelder vorliegen.

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände, z. B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind, und andererseits die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilen (z. B. Blutströmung). An der Aorta führt dieser Mechanismus z. B. zu einer Potenzialdifferenz von bis zu 16 Millivolt (mV) bei einem statischen Magnetfeld von 1 Tesla (T). Es ist auch abgeschätzt worden, dass die magnetohydrodynamische Interaktion in einem 5 T-Feld die Flussrate in der Aorta um bis zu 7 % verringern kann. Akute Schädigungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Konservative Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen legen nahe, dass auch eine langfristige Exposition durch Magnetflusssdichten von bis zu 400 Millitesla (mT) keine schädlichen Folgen für die Gesundheit hat.

Quellen statischer Felder sind z. B. Gleichspannungsanlagen, elektrifizierte Verkehrssysteme, die mit Gleichstrom betrieben werden (z. B. Straßenbahnen), Magnetschwebbahnen, Lautsprecheranlagen, Heizdecken, Dauermagneten wie z. B. an Namensschildern, und auch die sog. „Magnetheilmittel“ wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

Die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch manche Tierarten spielt für ihre Orientierung eine große Rolle und ist wissenschaftlich erwiesen. Sie tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 Mikrottesla (μT)) auf. Für den Menschen konnte eine derartige Wahrnehmung bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie - MRT, englisch: nuclear magnetic resonance – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Bis heute sind keine Schwellen für eine gesundheitliche Schädigung durch statische Magnetfelder bekannt. Bei Flusssdichten im Bereich von 2 bis 7 T sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand keine schädlichen Wirkungen zu erwarten, jedoch besteht bei Bewegungen im Feld die Möglichkeit von akut auftretenden Befindlichkeitsstörungen (Übelkeit, Schwindel,...). Nach dem heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand gelten die von der SSK empfohlenen Richtwerte für statische Magnetfelder als sicher [1]. Sie liegen bei Normalbetrieb der Geräte des magnetischen Resonanzverfahrens (MR) bei 2 T, für den kontrollierten Betrieb der Geräte bei 2 bis 4 T und beim Forschungsbetrieb ab 4 T.

Seit der Novellierung der 26. BImSchV sind auch Immissionen von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsanlagen (HGÜ) gesetzlich geregelt (Tabelle G VI 3.1 und Abbildung G VI 3.1). Die Begrenzung ist so gewählt, dass Störbeeinflussungen von implantierten Körperhilfen wie zum Beispiel Herzschrittmachern durch statische Magnetfelder vermieden werden.

Literatur

- [1] Grunst M: Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 36, Empfehlungen zur sicheren Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik, Bonn, 2003, ISBN 3-437-22177-9

3. Niederfrequente Felder

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hertz (Hz) bis 100 Kilohertz (kHz). Niederfrequente Felder der Stromversorgung werden derzeit im Zusammenhang mit dem im Rahmen der Energiewende notwendigen Aus- und Umbau der Stromnetze verstärkt diskutiert. An der Körperoberfläche bewirken hohe elektrische Feldstärken eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der Körperbehaarung, die einen relativ hohen elektrischen Widerstand hat. Dadurch wird bei entsprechend hohen elektrischen Feldstärken eine Vibration des Haarschafts angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung von bestimmten Schwellenwerten Nerven- und Muskelzellen erregen können.

Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch die Stromversorgung (50 Hz), mit Netzstrom elektrisch betriebene Geräte und elektrifizierte Verkehrssysteme wie Eisenbahnen (16,7 Hz) entstehen. Felder im Frequenzbereich einiger Kilohertz entstehen zum Beispiel durch die integrierten Vorschaltgeräte in Kompaktleuchtstofflampen.

In der 26. BImSchV (26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder; gültig seit 1. Januar 1997, neugefasst durch Bek. v. 14.8.2013) sind Grenzwerte für niederfrequente Felder von ortsfesten Niederfrequenzanlagen geregelt (Tabelle G VI 3.1 und Abbildung G VI 3.1). Sie sind abgeleitet von der Begrenzung der im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldstärke, zum Beispiel 20 mV/m für 50 Hz: Grundlage sind entsprechende Empfehlungen der ICNIRP im Dokument „Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz - 100 kHz)“. Für die Stromnetzfrequenz 50 Hz betragen die Grenzwerte 100 µT und 5 kV/m. Bisher gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis für gesundheitsschädigende Effekte auf Grund von Expositionen unterhalb der in der Verordnung festgelegten Grenzwerte.

Tabelle G VI 3.1 Grenzwerte für feststehende Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (26. BImSchV)
(Limit values for fixed low-frequency and DC installations - 26th BImSchV)

Frequenz f (Hertz)	elektrische Feldstärke E (Kilovolt pro Meter)	magnetische Flussdichte B (Mikrotesla)
0	-	500*
1-8	5	40.000/f ²
8 - 25	5**	5.000/f
25 - 50	5	200***
50 - 400	250/f	200
400 - 3.000	250/f	80.000/f
3.000 - 10.000.000	0,083	27

* Seit der Novelierung der 26. BImSchV sind auch Immissionen von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsanlagen (HGÜ) gesetzlich geregelt. Die Begrenzung ist so gewählt, dass Störbeeinflussungen von implantierten Körperhilfen wie zum Beispiel Herzschrittmachern durch statische Magnetfelder vermieden werden.

** Für Bahnstromanlagen (Frequenz 16,7 Hertz) bedeutet die Novellierung eine Absenkung der Grenzwerte für die elektrische Feldstärke von früher 10 Kilovolt pro Meter auf jetzt 5 Kilovolt pro Meter. Für Anlagen, die vor dem 22. August 2013 errichtet wurden, gilt für eine Übergangsfrist von 5 Jahren ab Inkrafttreten der Änderungsverordnung noch der alte Grenzwert

*** Niederfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz) (das heißt Anlagen der öffentlichen Elektrizitätsversorgung) dürfen die Hälfte des Grenzwerts der magnetischen Flussdichte nicht überschreiten. Für diese Anlagen gilt damit weiterhin der vor der Novellierung gültige Grenzwert von 100 Mikrotesla.

In Öffentlichkeit und Wissenschaft wird kontrovers diskutiert, ob niederfrequente Felder bei dauerhafter Exposition zu Erkrankungen wie Krebs führen können. So wurde in epidemiologischen Studien konsistent eine zwar geringe, aber statistisch signifikante Risikoerhöhung für eine spezielle Form der Leukämie im Kindesalter (ALL, Akute Lymphatische Leukämie) bei einer über einen längeren Zeitraum andauernden, zeitlich gemittelten Magnetfeldexposition von mehr als 0,3 – 0,4 µT beschrieben. Untersucht wurde vor allem die häusliche Magnetfeldexposition, zu der externe Quellen wie Hochspannungsleitungen einen unterschiedlich großen Beitrag leisten. Eine Ursache-Wirkungs-Beziehung ist durch den beobachteten statistischen Zusammenhang nicht nachgewiesen. Durch experimentelle Untersuchungen wie Tierstudien oder Zellkulturstudien werden die Ergebnisse der epidemiologischen Studien bisher nicht gestützt. Auf Basis dieser Datenlage hat die WHO niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B) eingestuft (Gruppe 1: krebserregend, Gruppe 2A: wahrscheinlich krebserregend, Gruppe 2B: möglicherweise krebserregend, Gruppe 3: nicht klassifizierbar, Gruppe 4: wahrscheinlich nicht krebserregend).

Wenn ein ursächlicher Zusammenhang gegeben wäre, könnten der in Deutschland durchgeführten Studie von Schüz et al. von 2001 [1] zufolge etwa 1 % der Leukämiefälle im Kindesalter durch eine erhöhte Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern erklärt werden. Bei der Entstehung von Leukämien im Kindesalter wird derzeit von einer Kombination genetischer und umweltbedingter Faktoren ausgegangen. Zur Aufklärung der Ursachen ist weitere Forschung erforderlich.

Ebenfalls diskutiert wird ein möglicher Zusammenhang von niederfrequenten Magnetfeldern und neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer und amyotrophe Lateralsklerose (ALS, eine Erkrankung des motorischen Nervensystems, die zu einer fortschreitenden Schädigung der Nervenzellen führt, die für die Muskelbewegungen verantwortlich sind). Einige epidemiologische Studien deuten auf ein erhöhtes Erkrankungsrisiko bei einer relativ hohen, überwiegend beruflich bedingten Exposition mit niederfrequenten magnetischen Feldern hin. Eine epidemiologische Studie an der allgemeinen Bevölkerung aus der Schweiz, der allerdings nur sehr geringe Fallzahlen zugrunde liegen, zeigte ein erhöhtes Risiko für die Alzheimer-Krankheit bei Personen, die in einer Entfernung von weniger als 50 m zu einer Hochspannungsleitung wohnen. Eine weitere epidemiologische Studie aus Dänemark findet ein erhöhtes Risiko für die

Kilovolt pro Meter bzw.
Mikrotesla

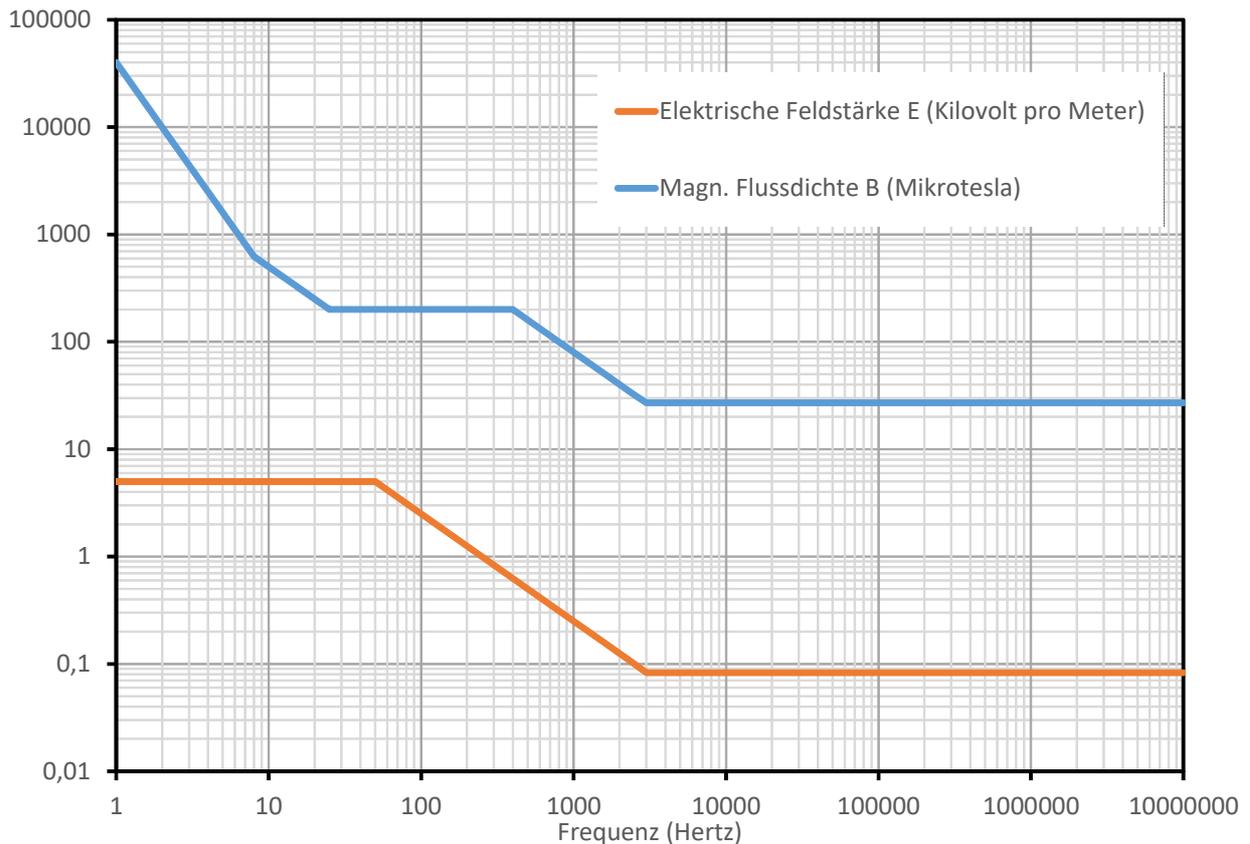


Abbildung G VI 3.1 Grenzwerte für feststehende Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (26. BImSchV)
(Limit values for fixed low-frequency and DC installations - 26th BImSchV)

Alzheimer-Krankheit nur bei Personen, die in einer Entfernung von weniger als 50 m zu einer Hochspannungsleitung wohnen und älter als 75 Jahre sind. Es ist nicht geklärt, ob es sich bei diesen statistischen Zusammenhängen um einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den niederfrequenten Feldern und dem Auftreten neurodegenerativer Erkrankungen handelt. Die Ergebnisse der epidemiologischen Studien lassen sich bisher nicht durch Laboruntersuchungen bestätigen. Auch ist bislang kein biologischer Wirkmechanismus bekannt, der die Studienergebnisse beziehungsweise wissenschaftlich untermauern könnte.

Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich auf Grund der vorhandenen wissenschaftlichen Unsicherheiten für Vorsorgemaßnahmen ein. Dazu gehört die Initiierung und Förderung weiterführender Forschung sowie die Bereitstellung verständlicher und verlässlicher Informationen. Die beste Vorsorge besteht darin, die Belastung durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder so gering wie möglich zu halten. Deshalb sollten z. B. neue Stromtrassen aus Sicht des Strahlenschutzes so geplant werden, dass sie möglichst nicht zu einer zusätzlichen Exposition führen. Ist das nicht möglich, sollte die Belastung so gering wie möglich gehalten werden.

4. Hochfrequente Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder (Frequenz >100 kHz – 300 GHz) kommen im Alltag hauptsächlich bei Anwendungen zur drahtlosen Informationsübertragung vor. Hierzu gehören zum Beispiel Mobilfunkanwendungen, terrestrische Radio- und Fernsehübertragungen oder drahtlose lokale Computernetzwerke (WLAN). Hochfrequente elektromagnetische Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen eine Gewebeerwärmung (thermischer Effekt). In der Medizin wird dieser Effekt zu Therapiezwecken genutzt (z. B. Diathermie, Hyperthermie).

Bei der in Abschnitt 2 erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kernspin-Systems genutzt.

Die Bewertung der wissenschaftlichen Forschungsergebnisse der letzten Jahrzehnte zeigt, dass ausschließlich die Gewebeerwärmung (thermischer Effekt) eine nachgewiesene Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder ist. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als 1 °C konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden. Somit ist der Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die Gewebeerwärmung.

Die Absorption hochfrequenter Felder wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Die SAR beschreibt die Energie, die in einer bestimmten Zeit aus einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld aufgenommen und vor allem in Wärme umgewandelt wird, bezogen auf die Masse des absorbierenden Körpers oder Gewebes. Die SAR korreliert mit dem zu erwartenden Temperaturanstieg im Gewebe. International wird für die allgemeine Bevölkerung eine Begrenzung auf max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper und 6 Minuten, empfohlen. Zum Beispiel beim Telefonieren mit einem Handy ist nur ein Teil des Körpers den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden für die lokale SAR zusätzliche Begrenzungen empfohlen. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperatúrausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Höchstwert für den Kopf und den Körperrumpf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 Minuten). Für die Extremitäten wird eine Begrenzung auf 4 W/kg empfohlen. Wenn die empfohlenen Höchstwerte eingehalten werden, sind die nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand nachgewiesenen gesundheitlichen Gefahren ausgeschlossen.

Aus dem empfohlenen Höchstwert für die über den ganzen Körper gemittelte SAR können Grenzwerte für Feldstärkewerte z. B. in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen abgeleitet werden. Solche Grenzwerte sind in Deutschland in der 26. BImSchV (Tabelle G VI 4.1 und Abbildung G VI 4.1) für Sendeanlagen an Standorten mit einer äquivalenten isotropen Gesamtstrahlungsleistung von 10 Watt (W) oder mehr verankert.

Volt pro Meter bzw.
Ampere pro Meter

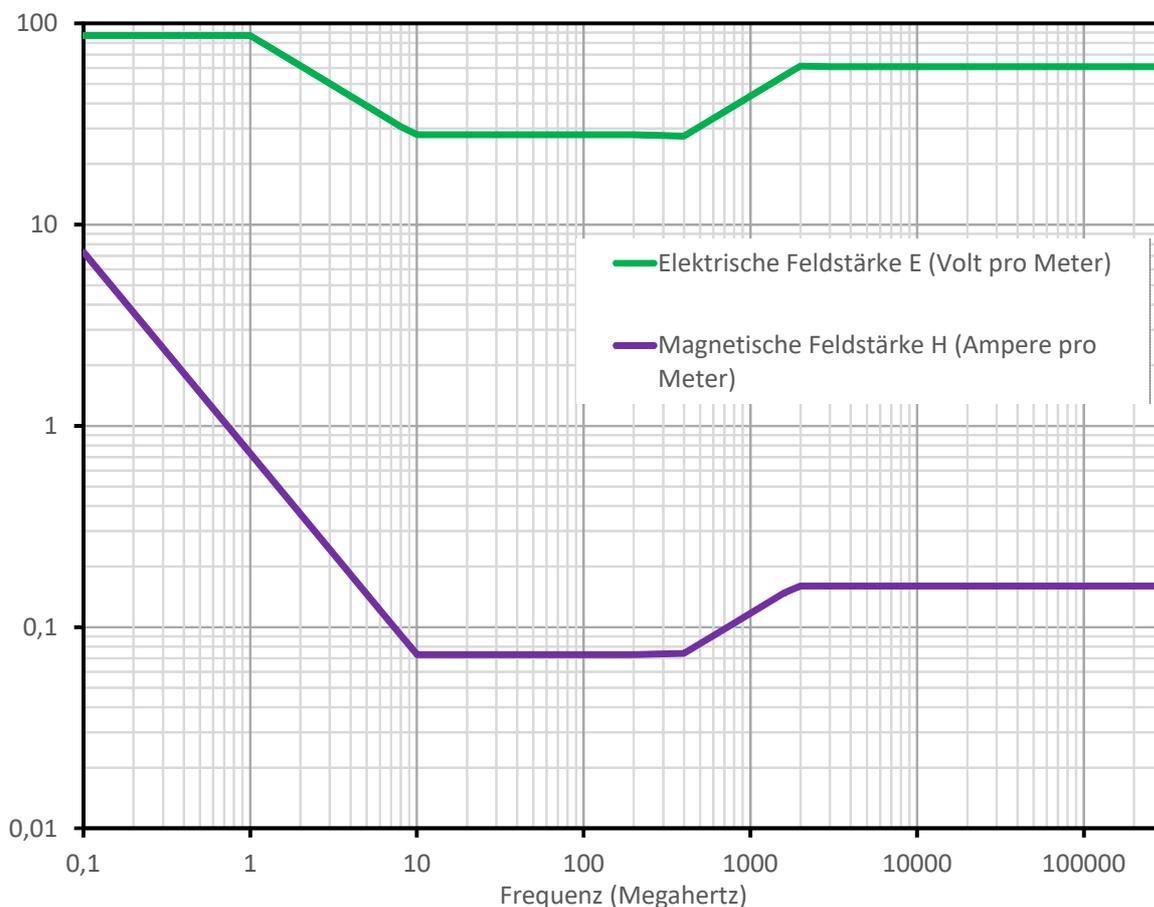


Abbildung G VI 4.1 Grenzwerte der 26. BImSchV für hochfrequente Felder von ortsfesten Anlagen
(Limit values of the 26th BImSchV for high-frequency fields of fixed installations)

Tabelle G VI 4.1 Grenzwerte der 26. BImSchV für hochfrequente Felder von ortsfesten Anlagen
(Limit values of the 26th BImSchV for high-frequency fields of fixed installations)

Frequenz f (MHz)	elektrische Feldstärke E (V/m) *	magnetische Feldstärke H (A/m)*
0,1 - 1	87	0,73/f
1 - 10	87/ \sqrt{f}	0,73/f
10 - 400	28	0,073
400 - 2000	1,375 \sqrt{f}	0,0037 \sqrt{f}
2000 - 300.000	61	0,16

* Effektivwerte, gemittelt über 6-Minuten-Intervalle

Zur Gewährleistung der Einhaltung der Grenzwerte dient das Verfahren zur Erteilung von Standortbescheinigungen durch die Bundesnetzagentur (BNetzA; www.bundesnetzagentur.de) auf der Grundlage der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV). Die BNetzA ermittelt für bescheinigungspflichtige Anlagen einen standortbezogenen Sicherheitsabstand. Wenn der standortbezogene Sicherheitsabstand innerhalb des Bereichs liegt, in dem der Anlagenbetreiber über den Zutritt und Aufenthalt von Personen bestimmen kann, erteilt die BNetzA eine Standortbescheinigung. Die Anlage darf nur betrieben werden, wenn sich im kontrollierbaren Bereich keine Personen befinden, es sei denn aus betriebstechnischen Gründen. Besondere Regelungen können zum Beispiel für Amateurfunkanlagen oder bestimmte Rundfunksender anwendbar sein.

Die Bundesnetzagentur stellt auf Ihren Internetseiten seit 2003 eine EMF-Datenbank zur Verfügung (<http://emf2.bundesnetzagentur.de/karte.html>). Der Öffentlichkeit ist damit eine Online-Recherche von Messorten der EMF-Messreihen und von Standorten mit Funkanlagen, für die die BNetzA eine Standortbescheinigung erteilt hat, möglich.

Während der thermische Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Felder unumstritten ist, werden die sogenannten nicht-thermischen Effekte von Hochfrequenzfeldern kontrovers diskutiert. Darunter versteht man biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Verschiedene nicht-thermische Effekte wie z. B. Veränderungen in der Ionendurchlässigkeit der Zellmembranen wurden an einzelnen Zellen und Zellkulturen beschrieben. Die Ergebnisse des 2008 abgeschlossenen Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms zeigten in Übereinstimmung mit dem internationalen wissenschaftlichen Kenntnisstand, dass die zu Beginn des Forschungsprogramms vorgelegenen einzelnen Hinweise auf biologische und gesundheitliche Effekte durch hochfrequente elektromagnetische Felder unterhalb der geltenden Grenzwerte wissenschaftlich nicht bestätigt werden konnten. Offen sind jedoch Fragen zu möglichen Langzeitwirkungen bei einer intensiven Handynutzung von über 15 Jahren, und ob bestimmte Bevölkerungsgruppen, z. B. in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht, empfindlicher auf hochfrequente elektromagnetische Felder reagieren.

Die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat den aktuellen Stand des Wissens über hochfrequente elektromagnetische Felder und Krebserkrankungen im Mai 2011 bewertet und diese Felder in die Gruppe 2B „möglicherweise krebserregend“ der IARC-Skala eingestuft. Die Klassifizierung basiert auf begrenzten Anhaltspunkten aus epidemiologischen Beobachtungsstudien am Menschen zu Hirntumoren und auf begrenzten Anhaltspunkten aus Laborstudien an Versuchstieren.

Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich aus diesem Grund für die Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen ein, die sich auf die Sicherstellung einer möglichst geringen Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder, auf Information der Bevölkerung und auf die Koordinierung weiterführender Forschung beziehen.

Literatur

- [1] Schüz J, Grigat JP, Brinkmann K, Michaelis J: Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: results from a German population-based case-control study. *Int J Cancer* 2001; 91: 728–735

5. Optische Strahlung

Die optische Strahlung umfasst den ultravioletten (UV), sichtbaren (VIS, Licht) und infraroten (IR) Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Spektrums mit Wellenlängen zwischen 100 nm und 1 mm.

Die ultraviolette (UV-) Strahlung ist der energiereichste Teil der optischen Strahlung. Sie umfasst den Wellenlängenbereich von 100 bis 400 Nanometer (nm). Sie grenzt im höherenergetischen Bereich unmittelbar an den Bereich der ionisierenden Strahlung, im niederenergetischen Bereich an das sichtbare Licht an. Die UV-Strahlung ist für den Menschen nicht sichtbar und kann auch nicht mit anderen Sinnesorganen wahrgenommen werden.

Als sichtbares Licht bezeichnet man den Bereich des elektromagnetischen Spektrums, den Menschen sehen können. Die Wellenlängen reichen nominell dabei von 400 bis 780 nm.

Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) wird auch als Wärmestrahlung bezeichnet. Sie schließt sich in Richtung größerer Wellenlängen – nominell von 780 nm bis 1 mm - an das sichtbare Licht an.

Optische Strahlung wirkt auf Mensch und Natur positiv und negativ. Hauptzielorgane für die Wirkung optischer Strahlung sind beim Menschen die Augen und die Haut.

Auf Grund nachgewiesener gesundheitlicher Risiken ist vor allem hinsichtlich der UV-Strahlung ein vernünftiger und umsichtiger Umgang mit optischer Strahlung notwendig.

5.1 UV-Strahlung

Gemäß der Klassifizierung der „International Commission on Illumination“ (<http://www.cie.co.at>) wird der Gesamtbereich der UV-Strahlung in Teilbereiche unterteilt (s. [Tabelle G VI 5.1-1](#)). Diese Einteilung orientiert sich an den in den verschiedenen Bereichen dominierenden unterschiedlichen Wirkungen der UV-Strahlung.

Geamtbereich	100 - 400 nm
UV-C-Bereich	100 - 280 nm
UV-B-Bereich	280 - 315 nm
UV-A-Bereich	315 - 400 nm

**Tabelle G VI 5.1-1 Teilbereiche des UV-Spektrums
(Sub-ranges of the UV radiation spectrum)**

UV- Quellen

Die wichtigste natürliche UV-Strahlenquelle ist die Sonne. Der UV-Anteil am Erdboden variiert in hohem Maße und ist vornehmlich vom Sonnenstand (geographische Breite, Tages- und Jahreszeit), vom atmosphärischen Gesamtzongehalt und der Bewölkung abhängig. Die UV-Strahlung wird im Wesentlichen durch das Ozon in der Stratosphäre und Troposphäre absorbiert. Diese Filterfunktion ist für die UV-Strahlung stark wellenlängenabhängig und setzt bei ca. 330 nm ein. Mit kleiner werdender Wellenlänge fällt die UV-Bestrahlungsstärke sehr stark ab (sogenannte UV-B-Kante). Unterhalb von ca. 290 nm ist in unseren Breitengraden selbst im Sommer keine UV-Bestrahlungsstärke an der Erdoberfläche mehr nachweisbar. Durch eine Verringerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre erhöht sich zum einen der Betrag der Bestrahlungsstärke und zum anderen der Anteil an UV-B-Strahlung, der den Erdboden erreicht. Da die biologische Wirkung dieses Strahlungsanteils sehr groß ist, haben auch kleine Änderungen des Ozongehaltes in der Stratosphäre ein durchaus ernst zu nehmendes Gefährdungspotenzial.

UV-Strahlung kann auch künstlich erzeugt werden. Hierzu können unterschiedliche technisch-physikalische Verfahren angewendet werden. Bedeutend sind die Erzeugung mittels Gasentladung und die Temperaturstrahler. Viele technische Strahler stellen eine Mischform aus beiden dar. Die Quellen künstlich erzeugter UV-Strahlung im Alltag sind vielfältig, da die UV-Strahlung in zahlreichen technischen und medizinischen Verfahren Anwendung findet.

UV-Monitoring / UV-Index

Nicht zuletzt wegen der Vorgänge in der Ozonschicht der Atmosphäre ist die solare UV-Strahlung ein wichtiger Umweltparameter, der weltweit ständig überwacht wird.

Seit den 1990er Jahren betreiben in Deutschland das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und das Umweltbundesamt (UBA) zusammen mit weiteren assoziierten Institutionen ein Messnetz zur Erfassung der solaren UV-Strahlung. In München-Neuherberg befindet sich die Messnetzzentrale, in der die gesamten Messdaten des Messnetzes gespeichert, qualitätsgesichert und gesundheitlich bewertet werden. Ziel des Messnetzes ist es, die sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärke an der Erdoberfläche kontinuierlich zu erfassen, die Bevölkerung darüber zu informieren und entsprechende Schutzempfehlungen zu geben (s. <http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/einfuehrung/einfuehrung.html>). Des Weiteren werden die spektral erfassten UV-Daten herangezogen, um Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen der stratosphärischen Ozonkonzentration und den an der Erdoberfläche in Deutschland erfassten UV-Bestrahlungsstärken zu gewinnen.

Das UBA betreibt drei Stationen in Zingst (Ostsee), Langen (Rheingraben bei Frankfurt) und Schauinsland (Schwarzwald). Das BfS betreibt neben seiner Messnetzzentrale in München-Neuherberg eine Station am Schneefernerhaus (Zugspitze), eine Station in Salzgitter (Niedersachsen) sowie in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) eine Station in Kulmbach. Weitere, dem UV-Messverbund assoziierte Institutionen sind: Deutscher Wetterdienst (DWD) mit einer Station in Lindenberg (Brandenburg), die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) in Dortmund, die Christian-Albrechts-Universität Kiel (CAU) mit einer Messstation in Westerland auf Sylt, das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (GAA-Hi) mit Stationen in Lüneburg und auf Norderney sowie das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. (TROPOS) mit einer Station in Melpitz (nordöstlich von Leipzig). Bei der Auswahl der Messstationen wurden insbesondere die in Deutschland vorhandenen Unterschiede hinsichtlich der geografischen Breite, der Höhenlagen, des Klimas und der Lufttrübung berücksichtigt. Die UV-Bestrahlungsstärke wird an diesen Stationen mit Spektralradiometern erfasst, die ein Vermessen der UV-Bestrahlungsstärke Wellenlänge für Wellenlänge ermöglichen.

Seit 2018 erweitert das Bundesamt für Strahlenschutz das Messnetz mit 20 Breitbandradiometern. Ziel ist, mit dem zusätzlichen Einsatz von Breitbandradiometern die Information über die herrschende sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärke engmaschiger und damit näher am Bürger zu erfassen.

Die Messung der solaren UV-Strahlung erfolgt an allen Stationen das ganze Jahr über zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang im Zeitabstand weniger Minuten. Aus den gemessenen Spektren wird der UV-Index (UVI) als Tages-

höchstwert der sonnenbrandwirksamen Bestrahlungsstärke gemittelt über 30 Minuten errechnet. Für die tägliche Berichterstattung werden in der Messnetzzentrale in München-Neuherberg jeweils zur Mittagszeit die UV-Daten aller Stationen ausgewertet und als Tagesspitzen unter https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/tagesspitzenwerte/tagesspitzenwerte_node.html der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Zusätzlich werden die Tagesverläufe des UV-Index aller Messstationen unter https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/aktuelle-tagesverlaeufe/aktuell_node.html veröffentlicht. Darüber hinaus werden von April bis September montags, mittwochs und freitags für zehn Vorhersagegebiete in Deutschland 3-Tages-UV-Prognosen erstellt, die unter www.bfs.de/uv-prognose präsentiert und über einen Newsletter (https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-newsletter/uv-newsletter_node.html) erhältlich sind. Den Prognosen liegen u. a. bisherige Messdaten des UV-Messnetzes und aktuelle Vorhersagen der Bewölkungssituation zugrunde. Im Winter werden von Oktober bis März nur Monatsprognosen veröffentlicht, da die UV-Belastung in dieser Zeit in Deutschland gering ist.

Anwendungen

Künstlich erzeugte UV-Strahlung findet in zahlreichen Verfahren Anwendung. In der Medizin wird UV-Strahlung zur Behandlung verschiedener Hautkrankheiten eingesetzt, wobei der Arzt den eigentlichen Nutzen für den Patienten gegenüber dem Risiko gesundheitlicher Schädigungen durch UV-Strahlung abwägt. In Solarien wird UV-Strahlung zu kosmetischen Zwecken angewendet. Auf Grund der gesundheitsschädigenden Wirkung wird aber von der Solariennutzung dringend abgeraten.

Energiereiche kurzwellige UV-C-Strahlung wird zur Desinfektion in biologischen und medizinischen Labors oder auch in Teichpumpen verwendet, da UV-C so energiereich ist, dass Viren und Bakterien sowie Kleinstlebewesen abgetötet werden.

In der biologischen Forschung nutzt man durch UV-Strahlung anregbare Farbstoffe, um biologische Stoffwechselläufe an lebenden Zellen zu beobachten oder um Bestandteile von Zellen, wie zum Beispiel das Erbgut, während biologischer Arbeitsschritte in der Forschung sichtbar zu machen.

In der Mineralogie wird künstlich erzeugte UV-Strahlung zur Analyse mineralischer Bestandteile von Proben angewendet. In der Forensik dient sie der Analyse von Indizien und Tatorten, indem mit UV-Strahlung biologische Spuren wie Blut, Sperma oder Speichel nachgewiesen werden. Künstlich erzeugte UV-Strahlung wird auch in der Materialprüfung, zur Aushärtung von Stoffen (unter UV-Licht härtende Materialien in der Zahnheilkunde), in der Elektronik, der Fotolithographie und zur chlorfreien Bleiche von Zellstoffen verwendet. Eine weitere Anwendung ist das Sichtbarmachen von Sicherheitsmerkmalen wie zum Beispiel auf Ausweispapieren oder Zahlungsmitteln.

In Schulungen wird künstlich erzeugte UV-Strahlung zur Visualisierung von mit Fluoreszenzfarbstoffen markierten Substanzen eingesetzt – zum Beispiel zur Kontrolle, ob Hautschutzmittel richtig aufgetragen wurden oder zur Demonstration von Kreuzkontamination (Keimübertragung) innerhalb von Hygiene-Schulungen.

Auch in der Kunst wird künstlich erzeugte UV-Strahlung gerne verwendet. UV-A-Strahlung, umgangssprachlich auch als „Schwarzlicht“ bekannt, ist vor allem in Diskotheken und für Showeffekte üblich.

Wirkungen

Natürliche wie künstlich erzeugte UV-Strahlung wirkt auf unseren Körper ein und ruft die gleichen akuten und langfristigen Wirkungen an Augen und Haut hervor. Daher wird die Verwendung von UV-Strahlung zu kosmetischen Zwecken, zum Beispiel in Solarien, aus Sicht des Strahlenschutzes als sehr bedenklich eingestuft. In Deutschland gelten für den gewerblichen Betrieb von Solarien gesetzliche Regelungen (https://www.bfs.de/DE/themen/opt/anwendung-medi-zin-wellness/solarien/recht/recht_node.html).

Wie UV-Strahlung auf Auge und Haut wirkt, hängt unter anderem davon ab, wie tief UV-Strahlung in das Gewebe eindringt. Dies ist zum einen von der Wellenlänge und zum anderen von den Gewebeeigenschaften abhängig.

UV-B-Strahlung mit Wellenlängen von 280 nm bis 315 nm dringt bis in die Oberschicht der Haut ein, UV-A mit Wellenlängen von 315 nm bis 400 nm dringt tiefer bis in die Lederhaut ein. Im Auge dringt UV-Strahlung hauptsächlich bis in die Linse vor. Nur 1 – 2 % der UV-A-Strahlung erreicht die Netzhaut (Retina). Die Durchlässigkeit des Auges für UV-Strahlung ist altersabhängig: von Geburt an bis zum 30. Lebensjahr kann zusätzlich zu den Verhältnissen im Erwachsenenauge auch UV-Strahlung mit Wellenlängen um 320 nm die Retina erreichen. (Abbildung G VI 5.1-1).

UV-Strahlung wird vom Gewebe aufgenommen (absorbiert) und bewirkt dort Veränderungen. Unter anderem schädigt UV-Strahlung die Erbsubstanz (DNS) - auch in geringer Dosis und lange bevor ein Sonnenbrand entsteht. Reparatursysteme in den Zellen beseitigen diese Schäden in aller Regel wieder. Aber häufige, lang anhaltende und intensive UV-Bestrahlungen sowie Sonnenbrände überlasten diese Systeme. Die Wahrscheinlichkeit, dass die gesetzten Schäden nicht vollständig beziehungsweise nicht fehlerfrei repariert und zu bleibenden Erbgutveränderungen (Mutationen) werden, steigt. Dermaßen geschädigte Zellen können zu Krebszellen entarten - das Hautkrebsrisiko steigt. Dass Hautkrebs durch UV-Strahlung induziert wird, zeigt sich durch so genannte „signature mutations“: In betroffenen Hautkrebszellen können DNS-Mutationen wie Cyclobutylthymindimere (CPD) nachgewiesen werden, die ausschließlich durch UV-Strahlung hervorgerufen werden. Die Internationale Krebsforschungsagentur der WHO (IARC, <https://www.iarc.fr/>) hat UV-Strahlung der Sonne und künstlich erzeugte UV-Strahlung in Solarien in die höchste Risikogruppe 1 „krebserregend für den Menschen“ eingestuft (Abbildung G VI 5.1-2).

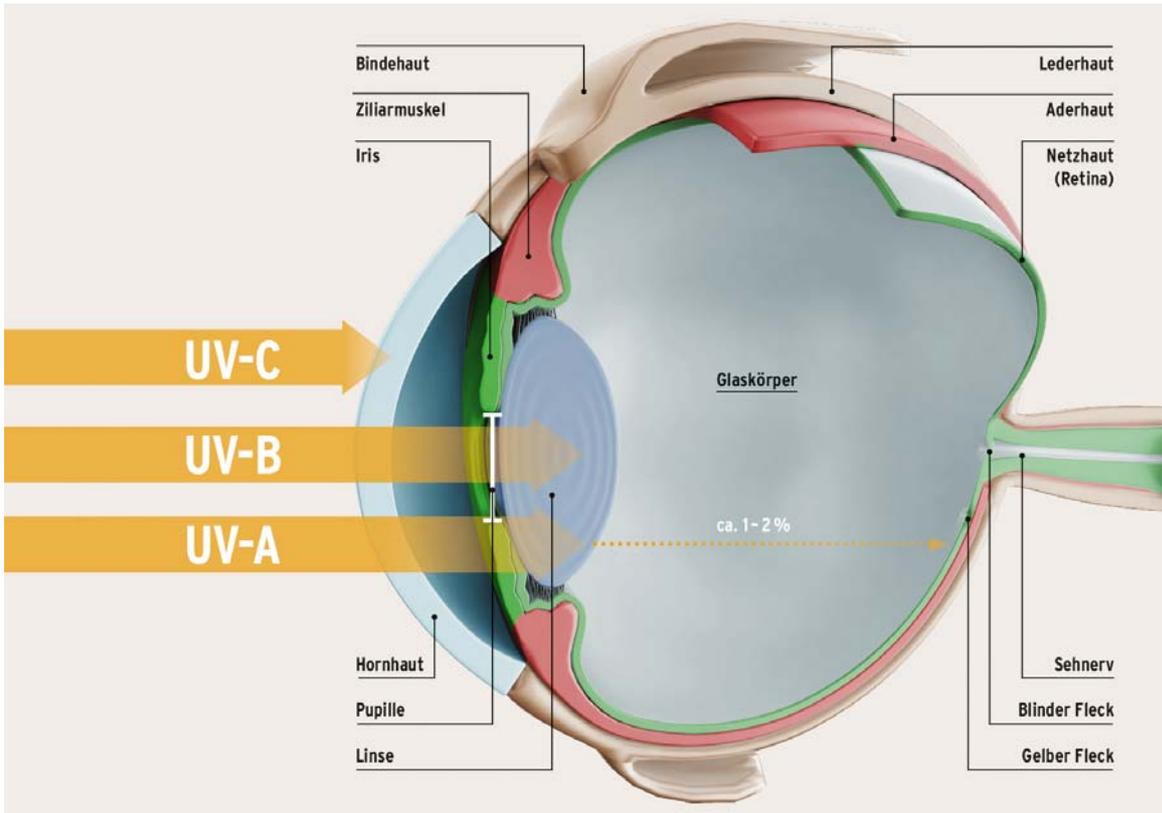


Abbildung G VI 5.1-1 Eindringtiefe von UV-Strahlung im menschlichen Auge
(Penetration depth of UV in the human eye)

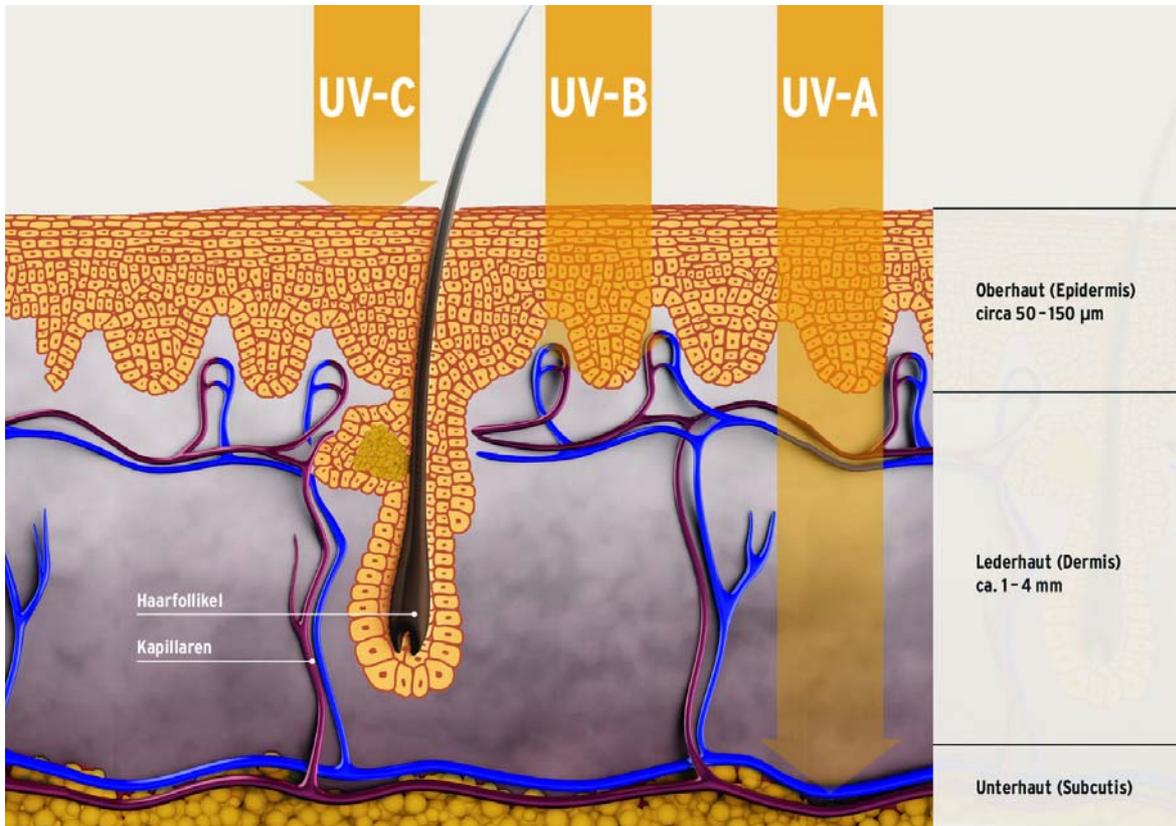


Abbildung G VI 5.1-2 Eindringtiefe von UV-Strahlung in der menschlichen Haut
(Penetration depth of UV radiation in the human skin)

UV-Strahlung hat kurzfristige (akute) und langfristige (chronische) Wirkungen. Erstere treten unmittelbar oder Minuten, Stunden und Tage nach UV-Belastung auf, während letztere als Spätfolgen nach Jahren beziehungsweise Jahrzehnten sichtbar werden.

Zu den akuten Effekten an den Augen gehören Hornhautentzündung (Photokeratitis), Bindehautentzündung (Photoconjunktivitis) sowie photochemische Netzhautschäden. An der Haut treten akut die Pigmentierung (Bräunung) der Haut mit Bildung einer Lichtschwiele, Hautrötung/Sonnenbrand (Erythem), Sonnenallergie sowie fototoxische Reaktionen auf. Die Unterdrückung des Immunsystems (Immunsuppression) ist eine akute, über die Haut vermittelte, systemische Wirkung.

Die einzig bekannte positive biologische Wirkung von UV-Strahlung ist die Bildung des körpereigenen Vitamin D durch UV-B-Strahlung. Hierfür genügt nach derzeitigen Erkenntnissen, Gesicht, Hände und Arme unbedeckt und ohne Sonnenschutz zwei- bis dreimal pro Woche der Hälfte der minimalen sonnenbrandwirksamen UV-Dosis, 0,5 MED, aussetzen, also der Hälfte der Zeit, in der man sonst ungeschützt einen Sonnenbrand bekommen würde. Für Menschen mit Hauttyp II bedeutet dies bei einem UV-Index von 7 (Abbildung G VI 5.1-3, http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-index_node.html) rein rechnerisch eine Bestrahlungszeit von nur ca. 12 Minuten. Längere Bestrahlungen führen laut wissenschaftlichen Studien nicht zu einem Mehr an Vitamin D, sondern erhöhen nur das Risiko für UV-bedingte Gesundheitsschäden.

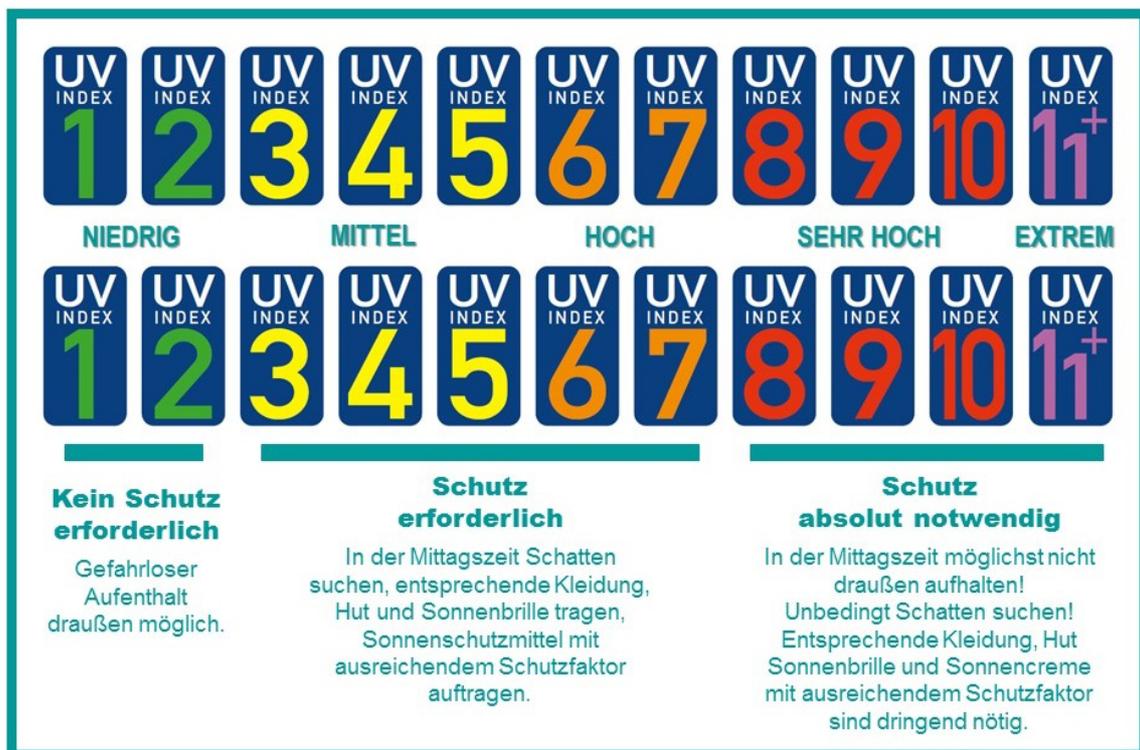


Abbildung G VI 5.1-3 Der UV-Index (The UV index)

Ob ein Sonnenbrand auftritt, hängt zum einen von der UV-Dosis (Bestrahlungszeit multipliziert mit der Bestrahlungsstärke) und zum anderen von der Empfindlichkeit der Haut gegenüber UV-Strahlung ab. Die Empfindlichkeit wiederum hängt von der Bräunungsfähigkeit und der daraus resultierenden Pigmentierung der Haut ab. Weltweit werden sechs Hauttypen unterschieden (Tabelle G VI 5.1-2). Die Hauttypen I bis IV nennt man die europäischen Hauttypen, da sie typisch für die europäische Bevölkerung sind. Hauttyp V ist typisch für Bewohner Arabiens, Nordafrikas, Indiens und für dunkle Asiaten, Hauttyp VI haben die Ureinwohner Zentralafrikas und Australiens.

Tabelle G VI 5.1-2 Beschreibung der Hauttypen nach UV-Schutzverordnung (UVSV)
(Definition of skin type according to UVSV)

Hauttyp*)	I**)	II**)	III	IV	V	VI
Beschreibung Natürliche Hautfarbe:	sehr hell	hell	hell bis hellbraun	hellbraun, oliv	dunkelbraun	dunkelbraun bis schwarz
Sommersprossen/ Sonnenbrandflecken	sehr häufig	häufig	selten	keine	keine	keine
Natürliche Haarfarbe:	rötlich bis rötlich-blond	blond bis braun	dunkelblond bis braun	dunkelbraun	dunkelbraun bis schwarz	schwarz
Augenfarbe:	blau, grau	blau, grün, grau, braun	grau, braun	braun bis dunkelbraun	dunkelbraun	dunkelbraun
Reaktion auf die Sonne						
Sonnenbrand:	immer und schmerzhaft	fast immer, schmerzhaft	selten bis mäßig	selten	sehr selten	extrem selten
Bräunung:	keine	kaum bis mäßig	fortschreitend	schnell und tief	keine	keine
Erythemwirksame Schwellenbestrahlung:	200 Jm ⁻²	250 Jm ⁻²	350 Jm ⁻²	450 Jm ⁻²	800 Jm ⁻²	>1 000 Jm ⁻²
*) In Zweifelsfällen soll der Nutzerin oder dem Nutzer empfohlen werden, den Hauttyp ärztlich bestimmen zu lassen						
**) Es wird davon abgeraten, UV-Bestrahlungsgeräte zu kosmetischen Zwecken und für sonstige Anwendungen außerhalb der Heil- oder Zahnheilkunde zu nutzen.						

Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale sonnenbrandwirksame (erythemwirksame) Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt beispielsweise für den Hauttyp II etwa 250 J/m². Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle MED etwas. Der damit maximal erreichbare Hauteigenschutz ist mit einem Lichtschutzfaktor 4 vergleichbar.

Fototoxische Reaktionen der Haut, die Hauterkrankungen zur Folge haben können, können durch eine Reihe von Substanzen, die in Medikamenten, aber auch in pflanzlichen Heilmitteln sowie in Kosmetika enthalten sein können, hervorgerufen werden (Tabelle G VI 5.1-3). Man spricht von einer fotosensibilisierenden Wirkung dieser Substanzen.

Tabelle G VI 5.1-3 Die Lichtempfindlichkeit steigernde Medikamente und chemische Stoffe
(Pharmaceuticals and chemical substances increasing sensitivity to light)

Substanz	Anwendungsform
Antiseptika	Seifen
optische Aufheller	Waschmittel
Chloroquin	Antimalariamittel/Antirheumatika
Chlorothiazide	Diuretika (Arzneimittel, die zur Wasserausschwemmung eingesetzt werden)
Furocumarine	Zitrusfrüchte, Sellerie, Herkulesstaude (Bärenklau)
Sulfonamide	Antibiotika/Chemotherapeutika
Tetracyclin	Antibiotika
Triacetyldiphenylsatin	Abführmittel

Auch bestimmte Pflanzen und Lebensmittel können fotosensibilisierende Stoffe enthalten. Beispiele hierfür sind Zitrusfrüchte, Sellerie und die Herkulesstaude (auch „Bärenklau“ genannt). Werden diese Pflanzen gegessen oder berührt, kann das bei anschließender Bestrahlung mit UV-Strahlung (Sonne oder Solarium) zu mehr oder weniger schwerwiegenden Hauterkrankungen führen. Bei dafür empfindlichen Personen können durch das Zusammenwirken von UV-A-Strahlung und fotosensibilisierenden Stoffen auch allergische Hautreaktionen ausgelöst werden.

Langfristige Effekte (Spätfolgen) an den Augen treten in erster Linie an der Augenlinse auf, die einen großen Anteil der in das Auge eindringenden UV-Strahlung absorbiert. Übermäßige UV-Bestrahlung ist einer der auslösenden Faktoren für den „Grauen Star“ (Katarakt). Ein geringer Anteil der UV-A-Strahlung dringt bis zur Netzhaut vor. Daher wird UV-Strahlung auch als Ursache für Netzhautveränderungen und Makuladegeneration (Makula = Gelber Fleck = Ort des schärfsten Sehens) diskutiert. Weitere Krankheitsbilder, bei denen eine Abhängigkeit von UV-Strahlung mit großer Wahrscheinlichkeit vorliegt oder vermutet wird, sind das Pterygium (conjunctivae), die Pinguekula (harmlose Degeneration der Bindehaut) und die Plattenepithelkarzinome der Augenlinse bzw. der Bindehaut sowie okuläre Melanome.

Bei der Haut kann übermäßige UV-Bestrahlung vorzeitige Hautalterung und im schlimmsten Fall Hautkrebs zur Folge haben. Im Fall der vorzeitigen Hautalterung verursacht UV-A-Strahlung unter anderem die Bildung sogenannter „freier Radikale“, die wiederum unter anderem eine Schädigung des Kollagens im Bindegewebe bewirken. Gleichzeitig wird

die Neubildung von Kollagen verhindert. In der Folge nimmt die Straffheit der Haut ab. Gleichzeitig quellen elastische Fasern auf, was zu einem Verlust der Dehnbarkeit der Haut führt. Es kommt zu dauerhaften Bindegewebsschädigungen und Faltenbildung. Ein Risikofaktor für vorzeitige Hautalterung sind unter anderem Sonnenbäder.

Die schwerwiegendste Spätfolge übermäßiger UV-Bestrahlung ist Hautkrebs. Unter dem Begriff „Hautkrebs“ wird eine Vielzahl verschiedener Krebserkrankungen, die an der Haut entstehen oder sichtbar sind, zusammengefasst. Man unterscheidet zwischen dem „hellen“ und dem „schwarzen“ Hautkrebs. Helle Hautkrebsarten sind das Basalzellkarzinom und das Plattenepithelkarzinom sowie dessen Vorstufen, die aktinischen Keratosen. Betroffen sind vor allem ältere Menschen. Beim Basalzellkarzinom (oder Basaliom) handelt es sich um einen langsam wachsenden Tumor, der nur sehr selten Metastasen (Tochtergeschwülste) bildet. Er tritt vorwiegend an Hautpartien wie Gesicht, Ohren und Kopfhaut auf, die der direkten UV-Strahlung ausgesetzt sind. Die Sterblichkeit ist sehr niedrig. Da der Tumor aber lokal Gewebe zerstört, stellt er häufig ein kosmetisches Problem dar. Das Plattenepithelkarzinom (auch als „Spinaliom“ oder „Stachelzellkrebs“ bezeichnet) ist ein in das umliegende Gewebe hineinwucherndes („invasiver“), lokal zerstörender Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch Metastasen bilden und zum Tode führen kann. Er tritt ebenfalls an Hautpartien wie Gesicht, Handrücken und Unterarmen auf, die der direkten UV-Strahlung ausgesetzt sind. Der schwarze Hautkrebs (malignes Melanom) betrifft alle Altersstufen und ist für die meisten Todesfälle unter allen Hautkrebsarten verantwortlich. Das Melanom ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braun gefärbter Tumor, der häufig und in einem ziemlich frühen Stadium Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich.

Die auf die Belastung mit UV-Strahlung zurückzuführende Hautkrebsinzidenz stieg in den letzten Jahrzehnten um ein Vielfaches. Insgesamt hat sich seit dem Jahr 2000 die Hautkrebsneuerkrankungszahl mehr als verdoppelt (GEKID, Datenstand Juli 2017 [1]).

Der nicht-melanozytäre (helle) Hautkrebs kommt in Deutschland ungefähr 6,5-mal häufiger vor als das maligne Melanom. Die tatsächliche Anzahl dürfte aber deutlich höher sein - Registrierungsdefizite lassen genaue Aussagen nur bedingt zu. Die bisherigen Zahlen lassen erkennen, dass mehr Männer am hellen Hautkrebs erkranken als Frauen. Bei den Männern entspricht die Inzidenz für den hellen Hautkrebs ungefähr der Prostatakarzinominzidenz, bei den Frauen liegt die Inzidenz zwischen der Brustkrebsinzidenz und der Darmkrebsinzidenz. Mit zunehmendem Alter steigt die Erkrankungshäufigkeit an. In der Altersgruppe ab 85 Jahre liegt die Neuerkrankungsrate bei den Männern doppelt so hoch wie bei den Frauen. Im zeitlichen Verlauf zeigt sich in den letzten 30 Jahren eine Vervierfachung (Männer) bis Verfünffachung (Frauen) der Inzidenz (Leitlinienprogramm Onkologie 2014 [2])

Der schwarze Hautkrebs (malignes Melanom) ist bei Männern die achthäufigste und bei Frauen die vierthäufigste Krebsneuerkrankung. Junge Frauen erkrankten häufiger als junge Männer am schwarzen Hautkrebs. 49 % Männer und 52 % Frauen mit schwarzem Hautkrebs sind nach Schätzungen des Robert-Koch-Institutes jünger als 60 Jahre (RKI 2010 [3]). Besonders betroffen sind junge Frauen. Bei diesen liegt die Melanominzidenz etwa um Faktor 2,5 (bis <30 Jahre) bzw. 1,7 (bis <50 Jahre) höher als bei Männern entsprechenden Alters. Im Vergleich mit anderen Malignomen ist das Melanom bei den Frauen bis <50 Jahre (nach Brustkrebs) die zweithäufigste Krebserkrankung (Datenbankabfrage ZfKD für 2014, https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/ZfKD/zfkd_node.html). Die Erkrankungshäufigkeit steigt mit zunehmendem Alter an. Ab dem Alter von 60 Jahren steigt die Inzidenz bei Männern auf das Zweifache der Inzidenz bei Frauen an. Im zeitlichen Verlauf zeigt sich in den letzten 30 Jahren eine Verdreifachung der Inzidenz von etwa 5 auf rund 15 Fälle pro 100 000 Einwohner. Im internationalen Vergleich gehört Deutschland gemeinsam mit den anderen europäischen Ländern, den USA und Australien zu den Ländern mit der höchsten Melanom-Inzidenz. Innerhalb von Europa liegt Deutschland im oberen Drittel der Melanom-Inzidenzen und Prävalenzen (Leitlinienprogramm Onkologie 2014 [2])

Die statistischen Hochrechnungen zeigen, dass in Deutschland die altersstandardisierte Mortalitätsrate 2015 für den schwarzen Hautkrebs (malignes Melanom; C43) bei 2,8 für Männer und bei 1,6 für Frauen pro 100 000 Einwohner und für helle Hautkrebskrankungen bei 0,7 für Männer und 0,3 für Frauen pro 100 000 Einwohner lag. Demnach versterben jährlich insgesamt knapp 4 000 Menschen in Deutschland an den Folgen UV-induzierter Hautkrebskrankungen (GEKID, Datenstand Juli 2017 [1]). Die altersstandardisierte Sterblichkeit hat in Deutschland nur bei den Männern zugenommen (RKI 2016 [3]).

Die Risikofaktoren sowie die Angabe der relativen Risiken beziehungsweise der Lebenszeitriskiken sind, basierend auf einer systematischen Literaturrecherche (Publikationen der Jahre 1995 bis April 2012) in der onkologischen S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ ausführliche beschrieben (Leitlinienprogramm Onkologie 2017 [2]).

Bei den Risikofaktoren wird für alle Hautkrebsarten zwischen konstitutionellen (angeborenen), erworbenen und Expositions-Risikofaktoren unterschieden. Der angeborene Risikofaktor für die hellen Hautkrebsarten ist der Hauttyp. Zu den erworbenen Risikofaktoren zählen die chronisch UV-geschädigte Haut, das Vorhandensein aktinischer Keratosen (rötliche, auch hautfarbene, fest haftende Rauigkeiten der Hautoberfläche; Vorstufen des Plattenepithelkarzinoms), die Erkrankung an einem hellen Hautkrebs in der eigenen Krankheitsvorgeschichte, Unterdrückung des Immunsystems zum Beispiel in Folge einer Organtransplantation oder eine durch Strahlentherapie geschädigte Haut. Expositions-Risikofaktor für das Basalzellkarzinom ist in erster Linie die intermittierende (wiederkehrende) UV-Belastung nicht an UV gewohnter Haut. Für das Plattenepithelkarzinom ist es die lebenslang erworbene UV-Dosis (kumulative Dosis). Für den schwarzen Hautkrebs (malignes Melanom) sind die angeborenen Risikofaktoren der Hauttyp und die Anzahl angeborener, insbesondere großer und sehr großer Pigmentmale. Zu den wichtigsten erworbenen Risikofaktoren für das maligne Melanom zählen die Anzahl erworbener Pigmentmale, die Anzahl klinisch atypischer Pigmentmale, eine vorange-

gangene Erkrankung an einem malignen Melanom und malignes Melanom bei Verwandten 1. Grades (Eltern, Kinder). Als Expositions-Risikofaktoren für das maligne Melanom gelten intermittierende UV-Expositionen (z. B. Urlaube mit hoher Sonnenexposition) und Sonnenbrände. Sonnenbrände in jedem Alter erhöhen das Risiko für ein malignes Melanom um das ca. 2-fache. Schwere Sonnenbrände in der Kindheit erhöhen das Risiko für das maligne Melanom um das 2 - 3-fache. Das Melanomrisiko erhöht sich durch die regelmäßige (einmal im Monat) Nutzung von Sonnenstudios vor dem 35. Lebensjahr um 60 % (Boniol et al 2012 [5]). Darüber hinaus geht jede zusätzliche Solarien-Nutzung pro Jahr mit einer Erhöhung des Melanom-Risikos um 1,8 % einher, und ca. 5 % aller Melanom-Neuerkrankungen in Europa können auf Solarien-Nutzung zurückgeführt werden (hauptsächlich auftretend bei Frauen).

Durch einen vernünftigen Umgang mit der Sonne und dem Vermeiden von Solarien kann das Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, vermindert werden. Geeignete Schutzmaßnahmen (http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/tipps/tipps_node.html) sollten darum bei jeder Tätigkeit im Freien und besonders auch im Urlaub angewendet werden. Eine Orientierungshilfe, ab wann welche Schutzmaßnahmen erforderlich sind, um sich vor zu viel UV-Strahlung zu schützen, bietet der UV-Index (UVI), s. Abbildung **G VI 5.1-3**: Je höher der UVI an einem Tag ist, desto schneller kann bei ungeschützter Haut ein Sonnenbrand auftreten, und desto eher und konsequenter sollten Sonnenschutzmaßnahmen ergriffen werden.

5.2 Sichtbares Licht

Als „Licht“ wird der vom Menschen visuell wahrnehmbare Teil des elektromagnetischen Spektrums bezeichnet. Er liegt zwischen UV-Strahlung und Infrarot und macht etwa 45-50 % der eingestrahnten Sonnenenergie aus. Die Pflanzen nutzen Wellenlängen des Lichts für die Photosynthese. Die meisten Menschen können Wellenlängen zwischen ca. 400 und ca.780 nm sehen, wobei die Grenzen nicht scharf zu ziehen sind. Insbesondere für den kurzwelligen Teil des sichtbaren Spektrums (Blaulicht) nimmt die Durchlässigkeit der Linse mit dem Alter ab. Licht ist nicht nur die Voraussetzung dafür, dass wir unsere Umwelt sehen können, es ist auch biologisch wirksam und beeinflusst so genannte circadiane Rhythmen wie den Schlaf-Wach-Rhythmus und die Stimmung. Im Auge dringen die Wellenlängen des sichtbaren Lichts bis zur Netzhaut (Retina) vor, in der Haut bis in die Lederhaut.

Lichtquellen

Die wichtigste natürliche Lichtquelle ist die Sonne. Zusätzlich prägt eine Vielzahl künstlicher Lichtquellen unseren Alltag. In der Allgemeinbeleuchtung ersetzen Licht emittierende Dioden (LEDs) zunehmend Leuchtstofflampen, Glühlampen und Halogenlampen.

Licht emittierende Dioden (LED) sind kleine Halbleiter-Bauelemente, die elektrische Energie in optische Strahlung umwandeln. Weißes Licht wird meist durch Photolumineszenz erzeugt. Dabei wird über einer blauen LED eine dünne Schicht aus Phosphorverbindungen aufgetragen. Das energiereiche blaue Licht regt die Phosphorschicht zum Leuchten an. Dabei wird ein Teil des blauen Lichts in energieärmeres Licht, z. B. Gelb, umgewandelt. Das entstehende Gemisch verschiedener Wellenlängen wird als weißes Licht wahrgenommen. Ein anderer Weg, weißes Licht zu erzeugen, ist die additive Farbmischung. Dabei entsteht weißes Licht durch die Kombination von roten, grünen und blauen LEDs. LED-Lampen zeichnen sich durch große Vielfalt aus. Der Blaulichtanteil im Spektrum von LED-Lampen kann sehr unterschiedlich sein. Zur Orientierung kann die Farbtemperatur in Kelvin herangezogen werden. Grundsätzlich gilt: Je höher die Kelvinzahl, desto höher der Blaulichtanteil und desto „kälter“ die Lichtfarbe.

Übliche Bezeichnungen für Farbtemperaturen in Kelvin (K) bei künstlichen Lichtquellen:

Bis ca. 3 300	Warmweiß
ca. 3 300 - 5 300	Neutralweiß
über 5 300	Tageslichtweiß oder Kaltweiß

Sowohl lineare als auch kompakte Leuchtstofflampen (Energiesparlampen) gehören zur Gruppe der (Gas-)Entladungslampen. Wenn Strom fließt, wird das Gas im Inneren der Lampe angeregt und erzeugt UV-Strahlung. Die energiereiche UV-Strahlung wiederum regt einen Leuchtstoff an der Innenseite der Röhre an, so dass energieärmeres sichtbares Licht entsteht. Ältere Leuchtstofflampen enthielten eine geringe Menge Quecksilber. Gemäß der EU-Quecksilberverordnung (EU 2017/852) sind solche Lampen seit dem 31.12.2018 mit einem Aus- und Einfuhrverbot belegt. Auch ihre Herstellung ist in der EU verboten.

Bei Glühlampen und Halogenlampen wird ein Glühdraht erhitzt, der Licht, vor allem aber Wärme abstrahlt. Letzteres ist der Grund für die vergleichsweise schlechte Energiebilanz. Glühlampen und Halogenlampen („Vollspektrum-Strahler“) geben ein kontinuierliches Strahlungsspektrum ab, das zum langwelligen (roten) Bereich hin ansteigt. Bei der Farbwiedergabe schneiden Glühlampen und Halogenlampen etwas besser ab als Energiesparlampen oder LEDs. Allerdings erreichen auch die neuen Leuchtmittel Farbwiedergabewerte von Ra = 80-90 (Glühlampen Ra = 100).

In Medizin und Kosmetik wird mit häufig Licht emittierenden Lasern, „Blitzlampen“ oder LEDs gearbeitet.

Laser (Abkürzung für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission) liefern kohärente, monochromatische Strahlung mit großer Energie- und Leistungsdichte sowie

ausgeprägter Richtungscharakteristik. Laserstrahlen können circa 100-mal besser fokussiert werden als die Strahlung anderer Strahlungsquellen. Das menschliche Auge fokussiert diesen Strahl zusätzlich um mehrere Größenordnungen. Es trifft also sehr viel Energie auf eine kleine Fläche.

Bei den vorwiegend zu kosmetischen Zwecken eingesetzten, auch als „Blitzlampen“ bezeichneten Quellen für intensives gepulstes Licht (IPL) handelt es sich meist um Hochdruck-Xenon-Kurzbogenlampen. Ihre Strahlung ist nicht-kohärent und breitbandig. Ihr Spektrum umfasst in der Regel Wellenlängen von 250 - 1400 nm. Dieser Bereich wird anwendungsbezogen durch Filter meist auf Wellenlängen des sichtbaren Lichts und anteiliges Infrarot eingeeengt.

Anwendung

Das Hauptanwendungsgebiet künstlicher Lichtquellen ist die Beleuchtung von Räumen. Die Innenbeleuchtung umfasst Wohnräume, Arbeitsstätten aller Art sowie öffentliche Räume. Zur Außenbeleuchtung gehören im Wesentlichen die Straßenbeleuchtung und die Beleuchtung von Sportstätten. Verschiedene Normen, die zum größten Teil auf europäischer Ebene harmonisiert sind, regeln die einzelnen Anwendungsgebiete und legen quantitative und qualitative Anforderungen für Beleuchtungsanlagen fest.

Eine Anwendung im Übergang zwischen Medizin und „Wellness“ bieten die so genannten Tageslichtlampen. Diese starken Lampen mit hohem Blaulichtanteil sollen negative Folgen von Lichtmangel mildern, z. B. die so genannte „Winterdepression“. Bei Vorliegen von Augenerkrankungen sollte vor der Anwendung mit einem Augenarzt/einer Augenärztin gesprochen werden. Vorsicht ist auch dann geboten, wenn die Haut besonders lichtempfindlich ist, sei es auf Grund von Erkrankungen oder auf Grund photosensibilisierender Inhaltsstoffe von verwendeten Medikamenten oder Kosmetikprodukten.

Einen weiteren für den Strahlenschutz relevanten Bereich stellt die zunehmende Anwendung starker optischer Strahlenquellen wie Laser der Klassen 3B und 4 oder Blitzlampen vor allem in der Kosmetik dar. Haarentfernung (Epilation), Entfernung von Tätowierungen, Entfernung von Altersflecken oder Gefäßveränderungen sowie Faltenreduktion sind typische Anwendungen, die oft von Personen ohne medizinische Ausbildung durchgeführt werden. Häufig sollen biologische Wirkungen erzielt werden, die eine Überschreitung von Grenzwerten erforderlich machen, d. h. es bestehen Risiken für die Augen und die Haut. Behandlungsfehler können zu Verbrennungen, Narbenbildung oder bleibenden Verfärbungen (Über- oder Unterpigmentierungen) der Haut führen. Werden pigmentierte Hautveränderungen oberflächlich verändert, kann die rechtzeitige Erkennung von Hautkrebs verzögert oder gar verhindert werden. Professionelle Anwenderinnen und Anwender, die starke optische Strahlenquellen am Menschen einsetzen, benötigen demzufolge umfassende Fach- und Sachkenntnisse. Mit der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV) werden erstmals Anforderungen an den Betrieb und die Fachkunde verbindlich geregelt. Die Verordnung tritt mit dem 31.12.2020 in Kraft. Unter die NiSV fallen professionelle Anwendungen mit Lasern, IPL-Geräten oder anderen optischen Strahlenquellen, aber auch Ultraschallanwendungen und Anwendungen mit Magnetfeldern und hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung, sofern sie zu kosmetischen und anderen nicht-medizinischen Zwecken erfolgen. Mit Inkrafttreten der Verordnung werden einige Anwendungen nur noch von approbierten Ärztinnen und Ärzten mit entsprechender Weiter- oder Fortbildung durchgeführt werden dürfen. Dazu gehören beispielsweise die Tattooentfernung, Gefäßbehandlungen und die Entfernung pigmentierter Hautveränderungen. Andere Anwendungen wie beispielsweise die Epilation dürfen auch weiterhin von Nicht-Ärzten ausgeführt werden, allerdings muss ab Ende 2021 die Fachkunde nachgewiesen werden. Der Text der NiSV ist unter Artikel 4 der Verordnung zur weiteren Modernisierung des Strahlenschutzes unter

https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl118s2034.pdf%27%5D__1580125672067 im Volltext abrufbar.

Auch für den Heimgebrauch steht eine breite Palette an Geräten zur Verfügung, in denen unter Umständen sogar starke Laser der Klassen 3B und 4 verbaut sein können. In den meisten Fällen handelt es sich allerdings um IPL-Systeme. Kontaktsensoren sollen bei diesen Geräten dafür sorgen, dass bei Verlust des Hautkontakts keine für die Augen gefährliche Strahlung mehr aus den Geräten austritt. Mögliche Schäden an der Haut bleiben davon jedoch unberührt. Die Verantwortung für die richtige Anwendung derartiger Strahlenquellen liegt in der Hand von Laien. Von der NiSV werden Heimgeräte nicht umfasst. Für die Sicherheit der Geräte sind die Hersteller verantwortlich, die in der Regel einschlägige Normen heranziehen. International befasst sich die Norm IEC 60335-2-113 (Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-113: Particular requirements for cosmetic and beauty care appliances incorporating lasers and intense light sources) mit der Sicherheit von Heimgeräten, die Laser oder intensive Lichtquellen enthalten. Die Europäische Fassung der Norm liegt noch nicht vor.

Wirkungen

Die visuelle Wirkung von Licht auf den Menschen entsteht durch Reizung spezieller Rezeptorzellen in der Netzhaut des Auges („Stäbchen“ und „Zapfen“). Die auf die Rezeptoren einwirkenden Reize werden über den Sehnerv in die für die Verarbeitung visueller Signale verantwortlichen Bereiche des Gehirns weitergeleitet. Die Zapfen dienen dem Farbsehen, die lichtempfindlicheren Stäbchen ermöglichen Nacht- oder Dämmerungssehen.

Für die Wirkung von Licht als „Zeitgeber“ (melanopische Wirkung) ist maßgeblich ein dritter, ebenfalls in der Retina lokalisierter Rezeptortyp verantwortlich, die photosensitiven retinalen Ganglienzellen (psRGC). Dieser Rezeptortyp reagiert vor allem (aber nicht nur) auf blaues Licht und vermittelt unter anderem die Unterdrückung der Ausschüttung des

„Schlafhormons“ Melatonin aus der Pinealdrüse. Tagsüber fördert Licht auf diese Weise Wachheit, wirkt sich positiv auf die Leistungsfähigkeit und die Stimmung aus und beeinflusst auch den Schlaf-Wach-Rhythmus positiv. Abends und nachts, wenn der steigende Melatoninspiegel den Schlaf fördert und der Körper sich auf eine Ruhephase einstellt, kann Licht, vor allem wenn es einen hohen Blaulichtanteil hat, dem entgegenwirken.

Übersteigt die Bestrahlungsstärke bestimmte Werte, kann Licht vor allem die Augen, bei entsprechender Bestrahlungsstärke auch die Haut, photochemisch oder thermisch schädigen. Im langwelligen Teil des sichtbaren Spektrums und im Infrarot stehen thermische Wirkungen im Vordergrund, d. h. die Schäden entstehen im Wesentlichen durch Erhitzung. Bei Anwendungen im kosmetischen Bereich wird die eingestrahlte Energie meist genutzt, um bestimmte Zielstrukturen thermisch zu schädigen bzw. zu zerstören („selektive Photothermolysen“). Im kurzwelligen Teil des sichtbaren Spektrums und bei UV-Strahlung dominieren photochemische Effekte. Die aufgenommene Energie wird in chemische Reaktionsenergie umgesetzt. Wird die Energie auf Sauerstoff übertragen, können chemisch reaktive Sauerstoff-Formen entstehen, die ihrerseits Zellstrukturen und auch die Erbsubstanz DNS schädigen können. Eine bleibende Netzhautschädigung kann z. B. die Folge sein, wenn zu lange ungeschützt in die Sonne gesehen wird ([Abbildung G VI 5.1-1](#)).

Angesichts neuer Leuchtmittel und der Nutzung von Bildschirmgeräten aller Art wird zunehmend diskutiert, ob lichtbedingte Schäden an der Retina oder am retinalen Pigmentepithel über die Lebenszeit akkumulieren und an Erkrankungen wie der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) beteiligt sein können. Die Frage, ob und inwieweit neben der wichtigsten natürlichen Lichtquelle, der Sonne, auch künstliche Lichtquellen eine Rolle spielen, ist derzeit nicht geklärt und Gegenstand der Forschung.

Blendung kommt durch eine Überforderung der Anpassungsmöglichkeiten des Auges bei zu hoher Lichtintensität oder zu großen Leuchtdichteunterschieden zustande. Die Sehfähigkeit wird für eine gewisse Zeit eingeschränkt. Auch wenn die Blendung vorübergehender Natur ist: Das Risiko für Unfälle kann dadurch deutlich erhöht werden. Die Blendung von Fahrzeugführern oder Piloten durch z. B. Laserpointer ist somit alles andere als ungefährlich.

5.3 Infrarotstrahlung

Infrarotstrahlung (IR) wird auch als Wärmestrahlung bezeichnet und bildet den energieärmsten Teil des optischen Spektrums. IR-Strahlung wird nach der International Commission of Illumination (CIE) und der Norm DIN 5031 in drei Bänder eingeteilt: IR-A mit Wellenlängen zwischen 780 und 1400 nm, IR-B mit Wellenlängen zwischen 1400 und 3000 nm und IR-C mit Wellenlängen zwischen 3000 und 1 000 000 nm.

Quellen

Die wichtigste natürliche Quelle für IR-Strahlung ist die Sonne. IR-Strahlung hat einen Anteil von ca. 50 % an der Sonnenstrahlung, die den Erdboden erreicht. Außerdem gibt die durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Erde IR-Strahlung ab. Die Absorption der Strahlung durch die in der Atmosphäre enthaltenen natürlichen und künstlichen Gase wie Wasser, Kohlendioxid, Ozon, Methan und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) führt zur zusätzlichen Erwärmung der Erde. Dieser Prozess ist für den Wärmehaushalt der Erde von entscheidender Bedeutung.

Die Entdeckung bzw. der Nachweis der IR-Strahlung gelang dem deutschen Astronomen William Herschel erstmalig im Jahre 1800, als er das Sonnenlicht mit einem Prisma spektral zerlegte und dabei jenseits des roten, d. h. langwelligsten Bereichs des sichtbaren Lichts eine nicht sichtbare aber wärmende Strahlung feststellte. Die Fähigkeit zur Erwärmung von Stoffen dient auch heute noch zum Nachweis der Infrarotstrahlung. Mit Hilfe von so genannten Infrarotkameras ist es möglich, Infrarotstrahlung sichtbar zu machen.

Anwendung der Infrarotstrahlung

Die Anwendung von Infrarotstrahlung ist vielfältiger Natur. Infrarotkameras können unter anderem zur berührungslosen Temperaturmessung verwendet werden. Bekannter ist ihr Einsatz in so genannten Nachtsichtgeräten. Infrarot-Leuchtdioden können beispielsweise in optischen Brandmeldern Wärme erkennen. Viele „Bewegungsmelder“ müssten eigentlich „Wärmemelder“ heißen. Sie reagieren auf die Körperwärme sich nähernder Personen, d. h. auf Infrarotstrahlung. Auch für Heizzwecke werden Infrarotstrahler verwendet, zunehmend auch als großflächige Systeme wie Wandpanels oder Heizfolien. Für Wärmebehandlungen in der Industrie werden Infrarotöfen eingesetzt, z. B. für Trocknungsprozesse oder zur Kunstharz-Polymerisation. In der Elektronik wird IR-Strahlung für die drahtlose Kommunikation eingesetzt. Infrarotfernbedienungen, Infrarotschnittstellen für Computer und Lichtschranken arbeiten im Wellenlängenbereich zwischen 880 und 950 nm, da in diesem Bereich Fotodioden und Fototransistoren die höchste Empfindlichkeit aufweisen. In der Medizin aber auch im Wellness-Bereich, z. B. in Infrarot-Wärmekabinen, werden zur Wärmebehandlung des menschlichen Körpers IR-Bestrahlungslampen eingesetzt.

Wirkungen

IR-Strahlung wird von der Körperoberfläche aufgenommen und dringt je nach Wellenlänge unterschiedlich tief in das Gewebe ein. IR-A dringt im Auge bis zur Netzhaut und in der Haut bis in die Unterhaut vor, während IR-B und IR-C weitestgehend in der Oberhaut (Epidermis) und der Hornhaut des Auges absorbiert werden. Durch Wärmeleitung kann jedoch auch eine Erwärmung tiefer gelegener Körperschichten erfolgen.

Infrarotstrahlung mit relativ niedriger Intensität wird als angenehm empfunden. Eine unbestritten positive Wirkung ist die Wärmewirkung, auf der der Einsatz der IR-Strahlung z. B. in der Medizin zur Förderung der Durchblutung und zum Lösen von Muskelverkrampfungen beruht.

Höhere Intensitäten der IR-Strahlung sind jedoch mit gesundheitlichen Gefahren verbunden. Die körpereigenen Thermo- und Schmerzrezeptoren stellen nur in begrenztem Umfang einen effektiven Schutzmechanismus dar. Hohe thermische Belastungen durch IR-Strahlung können zu Störungen im Wärmehaushalt des Gesamtorganismus führen. Die mildeste Folge einer thermischen Überbeanspruchung ist der Hitzekrampf, eine Muskelverkrampfung, die durch einen Verlust von Körpersalzen infolge verstärkten Schwitzens zustande kommt. Durch rechtzeitiges Trinken salzhaltiger Getränke kann ein Hitzekrampf vermieden werden. Häufigste Ursache für gesundheitliche Schäden durch IR-Strahlung im Alltag ist eine zu lange und intensive Sonnenbestrahlung. Ein Sonnenstich z. B. kann auftreten, wenn besonders der ungeschützte Kopf und der Nacken längere Zeit der Sonne ausgesetzt werden. Kinder sind besonders empfindlich. Ausgedehnte Sonnenbäder sind zusätzlich zum gesundheitlichen Risiko der UV-Strahlung deshalb auch aus diesem Grund nicht zu empfehlen. Bei längerem Aufenthalt in der Sonne sollte in jedem Fall auf leichte, luftige Kleidung und eine Kopfbedeckung geachtet werden, die Luftzirkulation ermöglichen.

Steigt die Temperatur im Körperinneren (Kerntemperatur) auf ca. 40° C, kommt es durch die Erweiterung oberflächennaher Blutgefäße zu einem Blutdruckabfall mit Mangel durchblutung des Gehirns und Bewusstlosigkeit (Hitzekollaps). Die gefährlichste Wirkung von IR-Strahlung ist der Hitzschlag. Dabei führt ein Anstieg der Kerntemperatur auf über 41° C zu einem Kreislaufkollaps. Auf Grund der hohen Temperatur können dabei alle Organe thermisch geschädigt werden.

Infrarot-Strahlung mit hoher Intensität (beispielsweise Laserstrahlung) ist gefährlich für Augen und Haut. Im Auge kann der kurzwellige IR-Anteil (IR-A) unbemerkt bis zur Netzhaut gelangen und dort irreversible Schäden verursachen. Bei chronischer Bestrahlung mit starken IR-Quellen kann die Linse getrübt werden. Ein Beispiel dafür ist der so genannte „Glasbläserstar“. Weiterhin wissenschaftlich untersucht wird das Zusammenwirken von Infrarot und UV-Strahlung, insbesondere im Zusammenhang mit Hautalterungsprozessen und der Frage, ob Infrarotstrahlung die Art und Weise beeinflusst, wie Hautzellen mit UV-Schäden umgehen. Zu diesem Thema fördert das BMBF das mehrjährige Forschungsprojekt „Kombination statt Addition: UV bis IR-Strahlung in der Krebsentstehung und Alterung“ (KAUVIR).

Literatur:

- [1] Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. Atlas der Krebsinzidenz und -mortalität in Deutschland (GEKID-Atlas). Datenstand Juli 2017, Lübeck, Verfügbar über: <http://www.gekid.de>
- [2] Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF); S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.0, 2014 AWMF Registernummer: 032/052OL, <http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Hautkrebs-Praevention.56.0.html>
- [3] Robert-Koch-Institut, Malignes Melanom der Haut - Ergebnisse zur Prävalenz, 2010 [cited 2012 11.10.]; Available from: <https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Praevalenzbroschuere/Lokalisationen/C43.html>
- [4] Bericht zum Krebsgeschehen in Deutschland 2016, Zentrum für Krebsregisterdaten im Robert-Koch-Institut (Hrsg). Berlin, 2016
- [5] Boniol M, Autier P, Boyle P, Gandini S. Cutaneous melanoma attributable to sunbed use: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2012 Jul 24; 345:e4757. doi: 10.1136/bmj.e4757; Boniol M, Autier P, Boyle P, Gandini S. Correction - Cutaneous melanoma attributable to sunbed use: systematic review

6. Grenzwerte

Immissionsgrenzwerte für ortsfeste Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen mit Nennspannungen über 1000 bzw. 2000 Volt sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgeschrieben. Weiterhin enthält die Verordnung Grenzwerte für Immissionen von ortsfesten Hochfrequenzanlagen, die an Standorten mit Gesamtstrahlungsleistungen von 10 W EIRP oder mehr betrieben werden. Die Grenzwerte schließen die wissenschaftlich nachgewiesenen Gesundheitswirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder, die von den Anlagen ausgehen, sicher aus. Die Grenzwerte beruhen auf Empfehlungen nationaler und internationaler Expertengremien. Andere feldemittierende Quellen, vor allem Verbraucherprodukte wie beispielsweise Mobiltelefone oder Induktionskochherde, unterliegen den Vorschriften des Produktsicherheitsrechts. Hierzu gehören auch Quellen, die optische Strahlung emittieren. Speziell für UV-Bestrahlungsgeräte, die zu kosmetischen Zwecken oder für sonstige Anwendungen am Menschen außerhalb der Heil- oder Zahnheilkunde gewerblich oder im Rahmen sonstiger wirtschaftlicher Unternehmungen eingesetzt werden, sind Grenzwerte in der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung festgelegt. Die Regelung betrifft in Sonnenstudios und vergleichbaren Einrichtungen betriebene Solarien (UV-Bestrahlungsgeräte).

Sowohl im niederfrequenten wie im hochfrequenten Bereich liegt die Exposition der Bevölkerung im Mittel weit unter den zum Schutz der Gesundheit empfohlenen Grenzwerten. Vergleichsweise hohe Expositionen können beim Betrieb von Geräten nahe am oder mit Kontakt zum Körper auftreten. Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern unterhalb der empfohlenen Grenzwerte wurden in einigen epidemiologischen Studien mit einem leicht erhöhten Risiko

für kindliche Leukämien in Verbindung gebracht. Im Hochfrequenzbereich bestehen noch Bewertungsunsicherheiten vor allem bei Langzeitwirkungen über einen Zeithorizont von mehr als fünfzehn Jahren hinaus. Nationale und internationale Organisationen, wie z. B. die SSK, empfehlen deshalb, dass weiterhin Forschung betrieben werden muss, um mögliche biologische Wirkungen zu untersuchen und deren gesundheitliche Relevanz abschätzen zu können. Aus Vorsorgegründen sollten unnötige Expositionen zudem vermieden und unvermeidbare Expositionen möglichst gering gehalten werden.

Für den Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch natürliche optische Strahlung gibt es keine Grenzwerte. Für die Exposition mit UV-Strahlung existieren Schwellenwerte für die UV-Dosis (Bestrahlung pro Zeiteinheit), bei deren Überschreitung mit einem Sonnenbrand zu rechnen ist (Tabelle G VI 6.1). Diese liegt beispielsweise bei Hauttyp II bei einem Wert von 250 J/m² (schädigende UV-Strahlendosis pro m² Haut, siehe Abschnitt 5.1, "UV-Strahlung").

Tabelle G VI 6.1 Schwellenwerte für die minimalen erythemwirksame Dosis (MED) für verschiedene Hauttypen in J/m²
(Thresholds of the minimal erythemal dose (MED) for different skin types in J / m²)

UV-Hauttyp	Minimale Erythemdosis in J/m ²
I	200
II	250
III	350
IV	450
V	800
VI	>1000

Die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) gibt Grenzwertempfehlungen für die unterschiedlichen Wellenlängen künstlich erzeugter optischer Strahlung und die gesundheitsrelevanten Endpunkte. Die empfohlenen Werte sollen sowohl beruflich exponierte Personen als auch die Allgemeinbevölkerung vor der Schädigung durch optische Strahlung aus künstlichen Quellen schützen. Für den beruflichen Bereich sind auf diesen Empfehlungen basierende Expositionsgrenzen durch die Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstlich erzeugte optische Strahlung) sowie durch die Arbeitsschutzverordnung zu optischer Strahlung aus künstlichen Quellen (OStrV) rechtlich geregelt.

Aktuelle Themen im Bereich Nichtionisierende Strahlung finden Sie in Teil B - VI des Jahresberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ .