



Stand: 15. März 2024

Radioaktivität und Strahlung

- Grenzwerte und Richtwerte -

Autoren: Thomas Steinkopff, Frank Becker, Klaus Flesch,
Thomas Haug, Alfred Hefner, Claudia Landstetter, Hans
Ruedi Völkle

Diese Zusammenstellung wurde erarbeitet von einer Arbeitsgruppe des „Arbeitskreises Umweltüberwachung“ (AKU) im Fachverband für Strahlenschutz mit Unterstützung der Arbeitskreise „Beförderung“ (AKB), „Dosimetrie“ (AKD), „Entsorgung“ (AKE) und „Natürliche Radioaktivität“ (AKNAT).

Disclaimer:

Diese hier vorliegende Broschüre wurde von einer Vielzahl an Autoren aus dem Fachverband für Strahlenschutz sorgfältig erstellt und vom Redaktionsausschuss des Arbeitskreises „Umweltüberwachung“ durchgearbeitet. Dennoch können Fehler in einzelnen Angaben nicht ausgeschlossen werden. Es gelten immer die Werte in den offiziellen Veröffentlichungen der gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerke.

Sollten Ihnen als aufmerksame Leserin oder aufmerksamer Leser in dieser Broschüre Unstimmigkeiten oder Fehler auffallen, bitten wir Sie herzlich Ihre Anmerkungen an aku@fs-ev.org zu senden.

Inhalt

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Vorbemerkung..... | 1 |
| 2 | Einführung..... | 1 |
| 3 | Grundlegende internationale Empfehlungen..... | 3 |
| 3.1 | ICRP | 3 |
| 3.2 | IAEA | 3 |
| 3.3 | WHO | 4 |
| 3.4 | Europäische Union | 4 |
| 4 | Strahlenschutzgesetzgebungen in Deutschland, Österreich und in der Schweiz | 5 |
| 4.1 | Gesetzliche Grundlagen | 5 |
| 4.1.1 | Deutschland..... | 5 |
| 4.1.2 | Österreich..... | 5 |
| 4.1.3 | Schweiz | 5 |
| 4.2 | Genehmigungen, Anzeigen, Anmeldungen..... | 6 |
| 4.2.1 | Genehmigungs- oder Anzeigenerfordernis gemäß EU-Recht | 6 |
| 4.2.2 | Genehmigungsfreie Tätigkeiten und genehmigungsfreie Beförderung..... | 7 |
| 4.3 | Freigabe | 9 |
| 4.3.1 | Deutschland..... | 9 |
| 4.3.2 | Österreich..... | 9 |
| 4.3.3 | Schweiz | 9 |
| 5 | Begriffsbestimmungen und Definitionen..... | 10 |
| 5.1 | Aktivitäts- und Dosisbegriffe..... | 10 |
| 5.2 | Begriffe zum Grenz-, Richt- und Referenzwert | 13 |
| 5.3 | Besondere Begrifflichkeiten | 14 |
| 5.4 | Spezifische Begriffe im Notfallplan des Bundes (D) bei Notfall-Expositionssituationen | 18 |
| 6 | Strahlenschutzkonzept..... | 19 |
| 6.1 | Grundsatz | 19 |
| 6.2 | Expositionssituationen..... | 19 |
| 6.3 | Expositionskategorien..... | 20 |
| 7 | Geplante Expositionssituation | 21 |
| 7.1 | ICRP | 21 |
| 7.2 | IAEA | 22 |
| 7.3 | EU-Recht | 22 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7.4 | Nationale Grenz- und Richtwerte - Deutschland | 24 |
| 7.4.1 | Tätigkeiten mit natürlich vorkommender Radioaktivität | 24 |
| 7.4.2 | Tätigkeiten mit Rückständen; Materialien..... | 24 |
| 7.5 | Nationale Grenz- und Richtwerte - Österreich..... | 25 |
| 7.5.1 | Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (A) | 25 |
| 7.5.2 | Exposition beim Fliegen, in der Raumfahrt und durch Radon..... | 26 |
| 7.6 | Nationale Grenz- und Richtwerte - Schweiz..... | 26 |
| 7.7 | Grenzwerte für die berufliche Exposition in Deutschland, die berufliche Strahlenexposition in Österreich und der Schweiz im bestimmungsgemäßen Betrieb kerntechnischer Anlagen und für den Umgang mit radioaktiven Stoffen | 26 |
| 8 | Bestehende Expositionssituationen | 30 |
| 8.1 | Natürliche Strahlenquellen - Radon-222 und seine Zerfallsprodukte | 30 |
| 8.1.1 | ICRP..... | 30 |
| 8.1.2 | UNSCEAR | 31 |
| 8.1.3 | EU-Recht..... | 31 |
| 8.1.4 | Deutschland..... | 31 |
| 8.1.5 | Österreich..... | 32 |
| 8.1.6 | Schweiz..... | 33 |
| 8.2 | Natürliche Strahlenquellen außer Radon | 33 |
| 8.2.1 | Deutschland..... | 33 |
| 8.2.2 | Österreich..... | 34 |
| 8.2.3 | Schweiz..... | 34 |
| 8.3 | Radioaktive Altlasten | 34 |
| 8.3.1 | Deutschland..... | 34 |
| 8.3.2 | Österreich..... | 35 |
| 8.3.3 | Schweiz..... | 35 |
| 9 | Notfall-Expositionssituationen | 36 |
| 9.1 | ICRP | 36 |
| 9.2 | IAEA/WHO..... | 36 |
| 9.3 | SSK Empfehlung* gemäß EU-Richtlinie [9]..... | 38 |
| 9.4 | Deutschland | 38 |
| 9.5 | Österreich | 42 |
| 9.6 | Schweiz..... | 43 |
| 10 | Abgeleitete Grenz- und Richtwerte | 45 |
| 10.1 | Freigrenzen und Freigabewerte | 45 |
| 10.1.1 | Freigrenzen und Freigabewerte in Deutschland | 45 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 10.1.2 | Freigrenzen und Freigabewerte in Österreich..... | 45 |
| 10.1.3 | Befreiungsgrenzen (LL) und Bewilligungsgrenzen (LA) in der Schweiz | 46 |
| 10.2 | Emissionen | 47 |
| 10.2.1 | Deutschland..... | 47 |
| 10.2.2 | Österreich..... | 47 |
| 10.2.3 | Schweiz | 49 |
| 10.3 | Immission | 50 |
| 10.3.1 | Deutschland..... | 50 |
| 10.3.2 | Österreich..... | 50 |
| 10.3.3 | Schweiz | 50 |
| 10.4 | Oberflächenkontaminationen | 50 |
| 10.4.1 | Deutschland und Schweiz | 50 |
| 10.4.2 | Österreich..... | 51 |
| 10.5 | Richtwerte und Einteilungen zum Schutz des beruflich (strahlen)exponierten Personals: | 52 |
| 10.5.1 | Deutschland..... | 52 |
| 10.5.2 | Österreich..... | 53 |
| 10.5.3 | Schweiz | 53 |
| 10.6 | Lebensmittel und Futtermittel | 55 |
| 10.6.1 | FAO/WHO-Richtwerte für Radionuklide in Lebensmitteln..... | 55 |
| 10.6.2 | EU-Höchstwerte an Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermittel in radiologischen Notstandssituationen | 55 |
| 10.6.3 | EU-Grenzwerte für Trinkwasser..... | 57 |
| 10.6.4 | EU-Höchstwerte beim Import landwirtschaftlicher Erzeugnisse in Mitgliedsländer | 57 |
| 10.6.5 | Regelungen in Deutschland | 57 |
| 10.6.6 | Regelungen in Österreich..... | 57 |
| 10.6.7 | Regelungen in der Schweiz | 58 |
| 10.7 | Grenzwerte für Radionuklide in Mineralwasser..... | 58 |
| 10.7.1 | Deutschland..... | 58 |
| 10.7.2 | Österreich..... | 58 |
| 10.7.3 | Schweiz | 58 |
| 11 | Regelungen für die Beförderung | 59 |
| 11.1 | IAEA-Empfehlungen als Grundlage für internationale Rechtsvorschriften | 59 |
| 11.2 | Gefahrgutrechtliche Vorschriften für verschiedene Verkehrsträger..... | 59 |
| 11.3 | Schutzziele und Umsetzung..... | 60 |
| 11.3.1 | Versandstück | 60 |
| 11.3.2 | Aktivitätswerte | 60 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 11.3.3 | Aktivitätsgrenzwerte in Abhängigkeit der A_1/A_2 -Werte | 61 |
| 11.3.4 | Grenzwerte für die Oberflächenkontamination | 62 |
| 11.3.5 | Grenzwerte der Dosisleistung an Versandstücken und Fahrzeugen..... | 63 |
| 12 | Referenzen | 66 |
| 13 | Anhang | 70 |
| 13.1 | Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen | 70 |
| 13.2 | Größen und Einheiten..... | 72 |
| 13.3 | Umrechnungsfaktoren für die Einheiten der Aktivität und der potenziellen Alphaenergie bei Radon und Radonzerfallsprodukten | 72 |
| 13.4 | Umrechnungsfaktoren der bis zum 1. August 2011 verwendbaren Messgröße auf die Messgrößen $H^*(10)$ bzw. $H'(0,07)$ | 74 |
| 13.5 | Beispiele für nuklidspezifische Grenz- und Richtwerte ausgewählter Radionuklide..... | 75 |
| 13.6 | Übersicht und Hierarchie der Strahlenschutzgesetzgebung in der Schweiz | 80 |
| 13.7 | Stufenkonzept für die Maßnahmen zum Radon-Schutz am Arbeitsplatz..... | 81 |
| 13.8 | Tabellenverzeichnis..... | 82 |
| 13.9 | Abbildungsverzeichnis | 84 |

1 Vorbemerkung

Die vorliegende Broschüre aus dem Jahr 2003 wurde wegen der Änderungen in den nationalen Strahlenschutzregelungen in Deutschland, in der Schweiz und in Österreich durch eine Arbeitsgruppe des Arbeitskreises Umweltüberwachung (AKU) angepasst und umstrukturiert. Mitglieder der Arbeitsgruppe waren:

Dr. Frank Becker
Dr. Klaus Flesch
Dr. Thomas Haug
Dr. Alfred Hefner
Dr. Claudia Landstetter
Dr. Thomas Steinkopff
Dr. Hansruedi Völkle

Die Arbeitsgruppe wurde unterstützt durch die Arbeitskreise „Beförderung“ (AKB), „Dosimetrie“ (AKD) und „Entsorgung“ (AKE).

Die Broschüre war erstmals im Jahr 2003 von einer Arbeitsgruppe des „Arbeitskreises Umweltüberwachung“ (AKU) im Fachverband für Strahlenschutz erstellt worden. Diese setzte sich wie folgt zusammen:

Dr. K. Burkart (Karlsruhe)
Dr. Th. Haug (Tübingen)
Dr. A. Hefner (Wien)
Dr. S.-G. Jahn (HSK/ENSI, Schweiz)
Dr. H. Korn (Salzgitter)
Dipl.-Phys. A. Neu (Karlsruhe)
Dipl.-Chem. R. Otto (Kiel)

Außerdem wurde diese Arbeitsgruppe von den Arbeitskreisen „Beförderung“ (AKB) und „Natürliche Radioaktivität“ (AKNAT) unterstützt. Des Weiteren wurde eine Reihe von Informationen von Dr. H.-R. Völkle, (Fribourg, Schweiz) und Dipl.-Ing. K. Fink, (Graz, Österreich) zugearbeitet.

2 Einführung

Diese Arbeitsunterlage dient als ein Wegweiser, um

- Grenz- oder Richtwerte richtig anzuwenden und um anhand vorliegender Messwerte eine Entscheidung zu treffen,
- einen Überblick zu geben, wie sich die einzelnen nationalen Grenz- und Richtwerte aus internationalen Empfehlungen abgeleitet haben und
- zu zeigen, wie Grenz- und Richtwerte in den deutschsprachigen Ländern gehandhabt werden.

Das nationale und internationale Strahlenschutzrecht nennt zum Schutz des Menschen bei der Verwendung radioaktiver Stoffe und anderer Strahlungsquellen Grenzwerte für Strahlendosen. Dabei wird zwischen beruflich exponierten Personen und Personen der Bevölkerung unterschieden. Die Betonung liegt auf der Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiven Stoffen. Demzufolge gibt es keine Grenzwerte für Komponenten der natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten Exposition, allenfalls für die Exposition Einzelner bei der Handhabung von natürlichen radioaktiven Stoffen oder dann, wenn sie natürlichen Expositionen besonders ausgesetzt sind (z.B. Flugpersonal, Beschäftigte, Bewohner in radonbelasteten Gebäuden). Im Rahmen der Vorschriften für den beruflichen Bereich sind auch Dosisgrenzwerte für das in der Diagnostik und Therapie arbeitende medizinische Personal sowie - über die schwangere Frau - für den im Mutterleib heranreifenden Embryo bzw. Fötus festgelegt.

Aus Dosiswerten können unter Verwendung von Annahmen (z.B. Lebensgewohnheiten) und Modellen (z.B. der Expositionspfade und -szenarien) abgeleitete Werte (z.B. der spezifischen Aktivität) berechnet werden. Die meisten

abgeleiteten Werte betreffen die Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper mit der Atemluft und mit Nahrungsmitteln und Wasser, die auch als Inhalation und Ingestion bezeichnet werden.

In den nationalen Vorschriften gibt es relativ wenige Grenz- oder Richtwerte der Dosisleistung, da die Dosisleistung eine Kenngröße des Strahlungsfeldes ist (Ortsdosisleistung), die Exposition des Menschen aber noch von weiteren Bedingungen wie der Aufenthaltsdauer, persönlichen Schutzmaßnahmen usw. abhängt.

Auf der Grundlage der Prinzipien der Rechtfertigung, Optimierung und Begrenzung einer Exposition haben internationale Organisationen primäre und abgeleitete Grenz- und Richtwerte empfohlen:

- die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP)
- die Internationale Atomenergieorganisation (IAEA)
- die Weltgesundheitsorganisation (WHO)
- die Landwirtschafts- und Nahrungsmittel-Organisation der UNO (FAO)

Die Europäische Union (EU) sowie die Schweiz orientieren sich bei ihren Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen im Allgemeinen an den Empfehlungen der ICRP. Die genannten Verordnungen sind in den EU-Mitgliedstaaten direkt geltendes Recht, die Richtlinien müssen innerhalb einer vorgegebenen Frist in nationales Recht umgesetzt werden. Empfehlungen sind nicht verbindlich.

Die vorliegende Zusammenstellung von Grenz-, Richt- und Referenzwerten orientiert sich an den drei ausgewiesenen Expositionsszenarien und ist grundsätzlich nachfolgenden Kriterien gegliedert:

- „international vor national“
- „primär vor abgeleitet“
- „Grenzwert vor Richtwert“
- nationale Gesetzgebungen und Regelungen in Deutschland (D), Österreich (A), Schweiz (CH) (alphabetisch)

Es sind Unterkapitel zur Definition von verwendeten Begriffen vorangestellt.

Die Exposition durch natürliche Radionuklide und durch kosmische Strahlenquellen wird besonders hervorgehoben.

Die beträchtliche Anzahl von Beförderungen (in der Schweiz: Transport) radioaktiver Stoffe erfordern grenzüberschreitende Regelungen, denen ebenfalls ein gesondertes, zusammenfassendes Kapitel gewidmet ist. Im Anhang sind die verwendeten Abkürzungen alphabetisch zusammengestellt und in einer gesonderten Tabelle die gesetzlich vorgeschriebenen, international normierten Maßeinheiten für die jeweiligen physikalischen Messgrößen aufgeführt. Darüber hinaus werden zu denjenigen Regelungen, für die nuklidspezifische Grenz- bzw. Richtwerte existieren, beispielhaft Werte für einige ausgewählte Radionuklide genannt.

Bei der Beurteilung der Einhaltung von Grenz- und Richtwerten ist zusätzlich zum Messwert auch die zugehörige Messunsicherheit zu berücksichtigen. Bei einigen Grenz- und Richtwerten wurde eine typische Messunsicherheit bereits bei der Festlegung der Werte berücksichtigt. Dies trifft z. B. auf die Werte für Trink- und Mineralwasser zu. Hier kann der Messwert direkt mit dem Grenz- oder Richtwert verglichen werden. Wenn die Grenz- und Richtwerte ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit festgelegt wurden, muss die Messunsicherheit der Messung ermittelt und beim Vergleich der Messwerte mit den Grenz- und Richtwerten mit herangezogen werden. In diesen Fällen wird dann die untere oder obere Grenze des Überdeckungsintervalls nach der ISO-Reihe 11929 [1], [2], [3], [4] (bzw. die jeweilige nationale Fassung) berechnet und mit dem Grenz- oder Richtwert verglichen. Für den Nachweis der Unterschreitung eines Grenz- oder Richtwertes ist dabei die obere Grenze des Überdeckungsintervalls und für den Nachweis der Überschreitung eines Grenz- oder Richtwertes die untere Grenze des Überdeckungsintervalls heranzuziehen. Für Deutschland gibt zu diesem Vorgehen eine Empfehlung der Strahlenschutzkommission [5].

Einer von mehreren möglichen Konventionen folgend, wird bei der Schreibweise von Radionukliden ein Bindestrich verwendet, Zahlen mit Angaben höherer Potenzen werden in der Exponentialschreibweise (z.B. 10^7) geschrieben.

3 Grundlegende internationale Empfehlungen

3.1 ICRP

In den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission aus dem Jahr 2007 (ICRP No°103) [6] werden umfassend die Größen im Strahlenschutz und ihre Einheiten, die biologischen Aspekte und der konzeptionelle Rahmen des Strahlenschutzes abgehandelt. Dabei werden drei Arten von Expositionssituationen definiert:

- Geplante Expositionssituationen
- Notfall-Expositionssituationen
- Bestehende Expositionssituationen

Durch die in der ICRP 103 formulierten Empfehlungen für ein System des Strahlenschutzes werden die früheren Empfehlungen der Kommission von 1990 formell ersetzt und die nach 1990 herausgegebenen zusätzlichen Empfehlungen zur Kontrolle der Exposition durch Strahlenquellen aktualisiert, konsolidiert und weiterentwickelt. Diese Empfehlungen bringen damit sowohl die Strahlungs- (w_R) und Gewebe-Wichtungsfaktoren (w_T) in den Größen Organ-Äquivalentdosis, Organdosis und effektive Dosis als auch den Begriff des Schadensmaßes (von der ICRP Detriment genannt) auf den Stand der neuesten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Biologie und Physik der Strahlenwirkung. Die drei wesentlichen Strahlenschutz-Grundsätze der Kommission bleiben erhalten:

- Rechtfertigung
- Optimierung
- Dosisbegrenzung

Es wird klargestellt, wie diese auf Strahlenquellen, die Expositionen verursachen, und auf Personen, die exponiert werden, anzuwenden sind.

Bei allen regulierten Strahlenquellen bleiben die aktuellen Grenzwerte der Organ-Äquivalentdosis, der Organdosis und der effektiven Dosis für geplante Expositionssituationen bestehen. Der Grundsatz der Optimierung des Schutzes wird bekräftigt. Er soll auf alle Expositionssituationen in ähnlicher Weise angewendet werden. Als Beschränkungen für individuelle Dosen und Risiken gelten Dosis- und Risikoricthwerte für geplante Expositionssituationen sowie Referenzwerte für Notfall- und bestehende Expositionssituationen. Die Empfehlungen enthalten auch einen Ansatz, um einen Rahmen für den Strahlenschutz der Umwelt zu entwickeln.

3.2 IAEA

Die IAEA hat 2014 ihre „Basic Safety Standards“ (BSS) veröffentlicht [7]. Die BSS wurden von den folgenden Institutionen gefördert:

- Europäische Kommission (EC)
- Food and Agriculture Organization der United Nations (FAO)
- International Commission of Radiation Protection (ICRP)
- International Commission on Radiation Units and Measurement (ICRU)
- International Labour Organisation (ILO)
- International Radiation Protection Association (IRPA)
- Nuclear Energy Agency of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD/NEA)
- Pan American Health Organization (PAHO)
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
- World Health Organisation (WHO)

In den BSS werden wie von der ICRP die drei Expositionssituationen definiert, also geplante Expositionssituation, Notfall-Expositionssituation und bestehende Expositionssituation.

Die BSS beruhen auf den folgenden grundlegenden Sicherheitsprinzipien:

Prinzip 1: Verantwortung für die Sicherheit

Die Hauptverantwortung für die Sicherheit muss bei der Person oder Organisation liegen, die für Einrichtungen und Tätigkeiten verantwortlich ist, von denen Strahlungsrisiken ausgehen.

Prinzip 2: Rolle der Regierung

Ein wirksamer rechtlicher und staatlicher Rahmen für die Sicherheit, einschließlich einer unabhängigen Aufsichtsbehörde, muss eingerichtet und aufrechterhalten werden.

Prinzip 3: Führung und Management für die Sicherheit

Es muss eine wirksame Führung und ein wirksames Management für Sicherheit etabliert werden und in Organisationen, sowie in Einrichtungen und bei Tätigkeiten, die mit Strahlenrisiken verbunden sind, aufrechterhalten werden.

Prinzip 4: Rechtfertigung von Einrichtungen und Tätigkeiten

Anlagen und Tätigkeiten, die Strahlenrisiken mit sich bringen, müssen einen Gesamtnutzen ergeben.

Prinzip 5: Optimierung des Schutzes

Der Schutz muss so optimiert werden, dass er das höchstmögliche Maß an Sicherheit bietet, das vernünftigerweise erreicht werden kann (gemäß dem Grundsatz ALARA).

Prinzip 6: Begrenzung der Risiken für Einzelpersonen

Die Maßnahmen zur Beherrschung der Strahlenrisiken müssen sicherstellen, dass keine Person ein inakzeptables Schadensrisiko trägt.

Prinzip 7: Schutz der gegenwärtigen und zukünftigen Generationen

Gegenwärtig und zukünftig müssen Menschen und die Umwelt vor Strahlenrisiken geschützt werden.

Prinzip 8: Verhütung von Unfällen

Es müssen alle praktischen Anstrengungen unternommen werden, um nukleare oder Strahlenunfälle zu verhindern und zu entschärfen.

Prinzip 9: Notfallbereitschaft und -Maßnahmen

Es müssen Vorkehrungen für die Notfallbereitschaft und das Eingreifen bei Nuklear- oder Strahlungsunfälle getroffen werden.

Prinzip 10: Schutzmaßnahmen zur Verringerung bestehender oder unregulierter Strahlungsrisiken

Schutzmaßnahmen zur Verringerung bestehender oder unregulierter Strahlenrisiken müssen gerechtfertigt und optimiert sein.

In den Sicherheitsprinzipien 4, 5, 6 und 10 finden sich auch die allgemeinen Prinzipien des Strahlenschutzes Rechtfertigung, Optimierung und Anwendung von Dosisgrenzwerten wieder.

3.3 WHO

Die WHO hat die BSS der IAEA übernommen und auch die Aktualisierung der BSS unterstützt. In einer Veröffentlichung zu den Folgen von Fukushima hat die WHO in zahlreichen Tabellen ein Modell entwickelt, das sich an Daten zu Lifetime Attributable Risk (LAR) und Lifetime Baseline Risk (LBR) Werten orientiert [8].

3.4 Europäische Union

Die EU-Richtlinie 2013/59/Euratom [9] stellt einheitliche Sicherheitsnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte auf. Sie wurde im Januar 2014 veröffentlicht und war gemäß Art. 106 bis zum 6. Februar 2018 in den EU-Mitgliedstaaten in die jeweiligen nationalen Strahlenschutzgesetzgebungen umzusetzen. Den Mitgliedstaaten wurde die Möglichkeit gegeben, unbeschadet des freien Waren- und Dienstleistungsverkehrs im Binnenmarkt strengere Maßnahmen zu erlassen oder beizubehalten.

Die Bestimmungen der EU-Richtlinie folgen dem in der ICRP 103 eingeführten, auf Expositionssituationen beruhenden Konzept. Sie decken alle Expositionssituationen und alle Expositionskategorien (berufliche Exposition, Exposition der Bevölkerung, medizinische Exposition) ab. Sie legt einheitliche Dosisgrenzwerte als „Grundnormen“ fest, die als die „zulässigen Höchstdosen, die ausreichende Sicherheit gewähren“, zu verstehen sind. Die bereits in der EU-Richtlinie 96/29/Euratom [10] geltenden Jahresgrenzwerte der effektiven Dosis für die berufliche Exposition und die Exposition der Bevölkerung wurden beibehalten.

4 Strahlenschutzgesetzgebungen in Deutschland, Österreich und in der Schweiz

4.1 Gesetzliche Grundlagen

4.1.1 Deutschland

Im **deutschen Strahlenschutzgesetz - StrlSchG** [11] gibt es Regelungen zur Einhaltung der Grenzwerte für die Exposition der Bevölkerung (§ 80 StrlSchG) und Regelungen (in Übereinstimmung mit dem Artikel 23 ff. der EU-Richtlinie Tätigkeiten), die nach der Begründung zu diesem Gesetz betrachtet werden in Hinblick auf die

- berufliche Exposition in Zusammenhang mit natürlich vorkommender Radioaktivität (§§ 55 ff. StrlSchG) und
- Kategorien oder Arten von Tätigkeiten, die mit natürlich vorkommendem radioaktivem Material verbunden sind (§§ 61 ff. StrlSchG, §§ 27 ff. i. V. Anlagen 5 bis 7 StrlSchV).

Im StrlSchG wird bei Arbeitsplätzen der Begriff der „natürlich vorkommenden Radioaktivität“ genutzt, weil nach den Regelungen dieses Abschnitts nicht die Radionuklide enthaltenden Stoffe selbst, sondern die Arbeitsplätze der Überwachung unterliegen, so dass nicht notwendigerweise radioaktive Stoffe im Sinne des § 3 StrlSchG vorliegen. Weitere Konkretisierungen finden sich in der **Strahlenschutzverordnung** [12], der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (AVV-IMIS) [13], im Allgemeinen Notfallplan des Bundes zu § 98 StrlSchG [14] und in der AVV Tätigkeiten [15].

4.1.2 Österreich

Das **österreichische Strahlenschutzgesetz StrlSchG** [16] dient der Umsetzung der EU-Richtlinien und umfasst geplante Expositionssituationen, bestehende Expositionssituationen und Notfallexpositionssituationen. Für die verschiedenen Expositionssituationen gibt es themenspezifische Verordnungen. Die Radonschutzverordnung [17] behandelt durch Radon verursachte geplante und bestehende Expositionssituationen. Die Medizinische Strahlenschutzverordnung [18] behandelt Expositionen durch Anwendung ionisierender Strahlung im Bereich der Medizin. Die restlichen geplanten Expositionssituationen sowie bestehende Expositionssituationen durch Gammastrahlung von Bauprodukten werden in der **Allgemeinen Strahlenschutzverordnung 2020 (AllgStrlSchV2020)** [19] behandelt. Notfallexpositionssituationen bzw. bestehende Expositionssituationen nach einem Notfall und bei Altlasten werden in der Interventionsverordnung [20] und in einem allgemeinen Notfallplan [21] behandelt.

4.1.3 Schweiz

Für eine Übersicht über die Gesetzgebung der Schweiz im Strahlenschutz gemäß **Strahlenschutzgesetz: SR 814.50 (StSG)** [22], **Strahlenschutzverordnung: SR 814.501 (StSV)** [23] und deren Hierarchisierung sei auf die **Abbildung 13_1** verwiesen. Im Weiteren sei auf die Verordnung des Eidgenössischen Departement des Innern über die Personen- und Umgebungsdosimetrie hingewiesen (Dosimetrieverordnung: SR 814.501.43 vom 26. April 2017 [DosV] [24]) sowie auf weitere, nachgeordneten Regelungen: u. a. über Gebühren im Strahlenschutz (SR 814.56), für Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz (SR 814.501.261), für den Schutz bei medizinischen Teilchenbeschleunigeranlagen (SR 814.501.513,; für medizinische Röntgensysteme (SR 814.542.1), für nichtmedizinische Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (SR 814.501.51), über Messmittel für ionisierende Strahlung (SR 941.210.5), für den Umgang mit geschlossenen radioaktiven Quellen in der Medizin (SR 814.501.512), für den Umgang mit radioaktivem Material und Strahlenquellen (SR 814.554), für Sammlung, Handling etc. von ablieferungspflichtigen radioaktiven Abfällen und Reststoffen (SR 814.557) und weiter auf die Wegleitungen des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) und die Richtlinien

des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates (ENSI). Weitere Regelungen im Zusammenhang mit Strahlenschutz bei erhöhter Radioaktivität finden sich seit November 2020 in der Verordnung über den Bevölkerungsschutz (SR 520.12). Alle Gesetze und Verordnungen sind in den drei Amtssprachen Deutsch, Französisch und Italienisch verfügbar über das Internet-Portal Fedlex: <https://www.fedlex.admin.ch/de/cc/internal-law/1>.

4.2 Genehmigungen, Anzeigen, Anmeldungen

4.2.1 Genehmigungs- oder Anzeigerfordernis gemäß EU-Recht

Die EU-Richtlinie [9] gibt vor, dass grundsätzlich alle Tätigkeiten anzumelden oder zu genehmigen sind, die mit einer Gefährdung durch ionisierende Strahlung aus einer künstlichen oder aus einer natürlichen Strahlenquelle verbunden sind, wenn dabei natürliche Radionuklide aufgrund ihrer Radioaktivität, Spaltbarkeit oder Bruteigenschaft verarbeitet werden oder verarbeitet worden sind.

Darunter fallen folgende Tätigkeiten:

- die Herstellung, Bearbeitung, Handhabung, Verwendung, der Besitz, die Lagerung, die Beförderung, die Einfuhr in und die Ausfuhr aus der Gemeinschaft und die Beseitigung radioaktiver Stoffe
- der Betrieb jeder elektrischen Ausrüstung, die ionisierende Strahlung aussendet und Komponenten enthält die mit einer Potentialdifferenz von mehr als 5 kV betrieben werden
- jegliche andere von einem Mitgliedstaat besonders angegebene Tätigkeit

Von der Anmeldepflicht jedoch sind folgende Tätigkeiten ausgenommen:

- grundsätzlich der Umgang mit radioaktiven Stoffen, wenn deren Werte für die Aktivität oder spezifische Aktivität die nuklidspezifischen Freigrenzen nicht überschreiten
- der Einsatz von bauartzugelassenen Geräten, wenn darin die Strahlenquellen umschlossen sind und die Dosisleistung in 0,1 m Abstand von der berührbaren Oberfläche unter 1 $\mu\text{Sv/h}$ liegt.
- der Einsatz von bauartzugelassenen elektrischen Geräten, wenn die Dosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche unter 1 $\mu\text{Sv/h}$ liegt.
- der Umgang mit Materialien, die mit radioaktiven Stoffen aus genehmigten Freigaben kontaminiert sind.

Grundsätzlich kann eine Freistellung einer Tätigkeit von der Anmeldepflicht dann erfolgen, wenn hiernach für Einzelpersonen aus der Bevölkerung keine höhere effektive Dosis als 10 $\mu\text{Sv/Jahr}$ resultiert. Dies ist im Allgemeinen erfüllt, wenn entweder die Aktivität oder die spezifische Aktivität der betreffenden Radionuklide die Werte der Aktivität in Spalten 2 oder der spezifischen Aktivität in Spalte 3 der Tabelle A in der EU-Richtlinie [9] nicht überschreiten.

Den Tatbestand einer bloßen Anzeige über ein beabsichtigtes Vorhaben, wie es ihn in früheren Rechtsverordnungen gab, gibt es nicht mehr; dagegen können jetzt Radioaktivität enthaltende Materialien aus einer genehmigten Tätigkeit über ein Freigabeverfahren aus der Überwachung herausgenommen werden, wenn bestimmte Freigabewerte eingehalten werden.

Mindestens folgende Tätigkeiten erfordern eine vorherige Genehmigung:

- der Betrieb und die Stilllegung jeder Anlage des nuklearen Brennstoffkreislaufs sowie der Betrieb und die Stilllegung von Uranbergwerken
- der absichtliche Zusatz radioaktiver Stoffe bei der Produktion und Herstellung von Arzneimitteln und die Einfuhr oder die Ausfuhr solcher Erzeugnisse
- der absichtliche Zusatz radioaktiver Stoffe bei der Produktion und Herstellung von Konsumgütern und die Einfuhr oder die Ausfuhr solcher Erzeugnisse
- die absichtliche Verabreichung radioaktiver Stoffe an Personen und, sofern der Strahlenschutz von Menschen betroffen ist, Tiere zum Zwecke der ärztlichen oder tierärztlichen Diagnose, Behandlung oder Forschung

- die Verwendung von Röntgenanlagen oder radioaktiven Strahlenquellen für die industrielle Radiographie oder die Behandlung von Erzeugnissen oder die Forschung oder zum Zweck der ärztlichen Behandlung sowie die Verwendung von Beschleunigern mit Ausnahme von Elektronenmikroskopen
- die sich aus einer anmelde- oder genehmigungspflichtigen Tätigkeit ergebende Beseitigung, Wiederverwertung oder Wiederverwendung von radioaktiven Stoffen oder von Materialien, die radioaktive Stoffe enthalten

Die Beseitigung, Wiederverwertung oder Wiederverwendung derartiger Stoffe oder Materialien können jedoch von den Anforderungen der EU-Richtlinie freigestellt werden, sofern die Freigabewerte eingehalten werden, die von den zuständigen nationalen Behörden festgelegt worden sind.

4.2.2 Genehmigungsfreie Tätigkeiten und genehmigungsfreie Beförderung

4.2.2.1 Deutschland

Die in der EU „rahmengesetzlich“ festgelegten Genehmigungsfreiheiten und die dort genannten Bedingungen sind in den §§ 5, 6, 7, 8, 11 und 14 sowie Anlage 3, Teil A und Teil B und in Anlage 4 der Strahlenschutzverordnung [12] konkretisiert.

Genehmigungsfrei ist

- der Umgang mit Stoffen, deren Aktivität die Freigrenzen der Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 2 aus der StrlSchV [12] nicht überschreitet,
- der Umgang mit Stoffen, deren spezifische Aktivität die Freigrenzen der Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 3 aus der StrlSchV [12] nicht überschreitet,
- der Umgang mit bauartzugelassenen Geräten bzw. Vorrichtungen, wenn die Gesamtaktivität das 10fache der in Anlage 4, Tabelle 1, Spalte 2 aus der StrlSchV [12] genannten Freigrenzen und die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche der Vorrichtung 1 $\mu\text{Sv/h}$ bei normalen Betriebsbedingungen nicht überschreitet (davon ausgenommen ist der Ein-, und Ausbau oder die Wartung dieser Vorrichtungen),
- die Lagerung von bauartzugelassenen Vorrichtungen, wenn die Gesamtaktivität der radioaktiven Stoffe das 1 000-fache der in Anlage 4, Tabelle 1, Spalte 2 aus der in der StrlSchV [12] genannten Freigrenzen nicht überschreitet,
- die Gewinnung, Verwendung und Lagerung von radioaktiven Edelgasen in ihrer natürlichen Isotopenzusammensetzung.

Genehmigungs- und anzeigefrei sind

- Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen, wenn sie bauartzugelassen sind,
- Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen, wenn ihre Beschleunigungsspannung nicht mehr als 30 kV beträgt und bei denen unter normalen Betriebsbedingungen die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche unter 1 $\mu\text{Sv/h}$ liegt,
- Plasmaanlagen und Ionenbeschleuniger, wenn die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von den Wandungen des begehbaren Bereiches oder der berührbaren Oberfläche unter 10 $\mu\text{Sv/h}$ liegt und wenn dies der zuständigen Behörde vorher angezeigt wird.

Genehmigungsfrei ist die Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen,

- wenn sie von der Anwendung der Vorschriften der Beförderung von Gefahrgütern befreit sind und die Freigrenzenwerte der Anlage 4, Tabelle 1, Spalten 2 oder 3 aus der StrlSchV [12] nicht überschreiten und
- wenn die Ausnahmen gemäß § 14 Abs 1 StrlSchV [12] zum Tragen kommen.
- unter den Voraussetzungen für freigestellte Versandstücke nach den Vorschriften für die Beförderung gefährlicher Güter,
- nach den Vorschriften der Gefahrgutverordnung See oder
- mit Luftfahrzeugen und der hierfür erforderlichen Erlaubnis nach § 27 des Luftverkehrsgesetzes.

Die Beseitigung, Wiederverwertung oder Wiederverwendung von radioaktiven Stoffen oder von Materialien, die radioaktive Stoffe aus genehmigungsbedürftigen Tätigkeiten enthalten, bedürfen der Freigabe.

4.2.2.2 Österreich

Von der Bewilligungspflicht sind ausgenommen

- Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen, deren Aktivität die Freigrenzen gemäß Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 1 Spalte 2 in der AllgStrlSchV2020 [19] nicht überschreitet,
- Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen deren Aktivitätskonzentration die Freigrenzen gemäß Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 1 Spalte 3 bzw. 4 der AllgStrlSchV2020 [19] nicht überschreitet,
- Tätigkeiten mit mehreren radioaktiven Stoffen, sofern die Summe der Quotienten aus der Aktivität oder der Aktivitätskonzentration jedes einzelnen Stoffes und der zugehörigen Freigrenze der eben genannten Anlage kleiner oder gleich eins ist,
- die Verwendung von bauartzugelassenen Geräten,
- der Betrieb von elektrischen Geräten jeder Art, sofern es sich um für die Darstellung von Bildern bestimmte Kathodenstrahlröhren oder mit einer Potenzialdifferenz von nicht mehr als 30 Kilovolt betriebene sonstige elektrische Geräte, handelt, die nicht der Erzeugung ionisierender Strahlung dienen, bei deren Betrieb eine solche aber parasitär auftritt,
- der Betrieb von elektrischen Geräten jeder Art, sofern die Dosisleistung des Gerätes unter normalen Betriebsbedingungen im Abstand von 0,1 Meter von der berührbaren Oberfläche des Gerätes ein Mikrosievert pro Stunde nicht überschreitet,
- die Beförderung von radioaktiven Stoffen auf der Straße, der Schiene und auf Binnenwasserstraßen gemäß dem Gesetz über die Beförderung radioaktiver Güter in Österreich (BGBl. Nr. 297/1996) [25],
- Tätigkeiten im militärischen Bereich, sofern diese der wehrtechnischen Forschung oder Erprobung dienen oder mit Strahlenquellen erfolgen, die Bestandteile von militärischen Ausrüstungsgegenständen sind.
- Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien, wenn die Abschätzungen und Ermittlungen ergeben, dass
 - keine der tätig werdenden Personen als strahlenexponierte Arbeitskraft einzustufen ist,
 - die Aktivitätskonzentration von Ableitungen die Werte gemäß Anlage 2 Abschnitt C Tabelle 3 AllgStrlSchV2020 nicht übersteigt [19],
 - die Aktivitätskonzentration von Rückständen die Werte gemäß Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 3 Spalte 3 AllgStrlSchV2020 [19] nicht übersteigt,
 - die ermächtigte Überwachungsstelle keine gesicherten Aussagen über die zeitliche Entwicklung der abgeschätzten Dosen und ermittelten Aktivitätskonzentrationen treffen kann.

Die im Rahmen von Tätigkeiten verwendeten radioaktiven Quellen sind von der Meldepflicht an das Zentrale Quellenregister ausgenommen

Die Ausnahmen gelten nicht für

- die absichtliche Verabreichung radioaktiver Stoffe an Menschen und, sofern der Strahlenschutz von Menschen betroffen ist, an Tiere zum Zwecke der ärztlichen oder tierärztlichen Untersuchung, Behandlung oder Forschung,
- den absichtlichen Zusatz radioaktiver Stoffe bei der Herstellung von Arzneimitteln und Verbraucherprodukten sowie das Inverkehrbringen von Arzneimitteln und Verbraucherprodukten, denen absichtlich radioaktive Stoffe zugefügt wurden.

4.2.2.3 Schweiz

Von einer Bewilligungspflicht sind ausgenommen (Einzelheiten siehe Art. 10 der StSV [23])

- das Transportieren von radioaktivem Material, das die Aktivitätskonzentration für freigestellte Stoffe oder die Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Sendungen unterschreitet,
- das Transportieren von radioaktiven Stoffen als freigestellte Versandstücke,
- das Transportieren von radioaktiven Stoffen in der Luft,
- das Vertreiben, Verwenden, Lagern, Transportieren sowie die Ein-, Aus- und Durchfuhr von fertigen Uhren mit radioaktiven Quellen, wenn sie den ISO-Normen ISO 3157:1991 und SN ISO 4168:2003 entsprechen, sowie von höchstens 1 000 Uhrenbestandteilen mit radioaktiver Tritium-Leuchtfarbe,
- der Umgang mit Störstrahlern, bei denen die Spannung zur Beschleunigung der Elektronen 30 Kilovolt nicht überschreitet, und die Ortsdosisleistung im Abstand von 10 cm von der Oberfläche 1 $\mu\text{Sv/h}$ nicht überschreitet,
- der Umgang mit Mineralien- und Gesteinssammlungen mit einer spezifischen Aktivität unterhalb der NORM-Befreiungsgrenzen,
- der Umgang mit Strahlungsquellen, mit Ausnahme des Vertreibens, für die eine Typenbewilligung erteilt worden ist,
- der Einsatz von beruflich strahlenexponiertem Flugpersonal.

4.3 Freigabe

4.3.1 Deutschland

Die Freigabe ist ein Verwaltungsakt, nach dem radioaktive Stoffe aus der Überwachung nach StrlSchG und StrlSchV entlassen werden dürfen.

Das betrifft gemäß § 31 StrlSchV [12] die radioaktiven Stoffe aus einer genehmigungspflichtigen Tätigkeit selbst (Absatz 1 Satz 1) sowie bewegliche Gegenstände, Gebäude, Räume, Raumteile und Bauteile, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteile (Gegenstände), die aus genehmigungsbedürftigen Tätigkeiten stammen, kontaminiert sind oder durch die Tätigkeiten aktiviert wurden (Absatz 1 Satz 2). Nur nach einer Freigabe dürfen sie als nicht radioaktive Stoffe verwendet, verwertet, beseitigt, innegehalten oder an einen Dritten weitergegeben werden.

Eine Freigabe darf nur erfolgen, wenn sichergestellt ist, dass durch die freizugebenden Stoffe für Einzelpersonen der Bevölkerung nur eine effektive Dosis im Bereich von 10 μSv im Kalenderjahr auftreten kann. Die zuständige Behörde kann davon ausgehen, dass dies erfüllt ist, wenn für eine uneingeschränkte Freigabe die Werte in Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 3 der StrlSchV [12] und für eine spezifische Freigabe die Werte in Anlage 4 Tabelle 1 Spalten 6 bis 14 der StrlSchV [12] unterschritten und die entsprechenden Festlegungen nach Anlage 8 der StrlSchV [12] eingehalten sind. Wenn eine feste Oberfläche vorhanden ist, an der eine Messung der Kontamination möglich ist, müssen zusätzlich die Werte der Oberflächenkontamination nach Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 5 der StrlSchV [12] eingehalten werden.

Die zuständige Behörde soll nach § 31 StrlSchV [12] Absatz 5 Ausnahmen von Absatz 1 Satz 2 erteilen, wenn durch geeignete beweissichernde Messungen nachgewiesen wird, dass keine Kontamination oder Aktivierung vorliegt. Dies gilt nicht für Tätigkeiten nach § 4 StrSchG Absatz 1 Satz 1 Nummer 4. Die Vorgehensweise zum Nachweis, dass keine Kontamination oder Aktivierung vorliegt, ist in einer betrieblichen Unterlage zu beschreiben und durch Angaben zu Art und Umfang der Tätigkeit darzulegen.

4.3.2 Österreich

Die Freigabe von Rückständen aus einer gemeldeten Tätigkeit ist von der Bewilligungspflicht ausgenommen.

Die Freigabe ist von der Bewilligungspflicht ausgenommen, sofern die freizugebenden radioaktiven Materialien maßgeblich nur Radionuklide mit einer Halbwertszeit bis zu 100 Tagen enthalten. In solchen Fällen hat die zuständige Behörde die erforderlichen Bedingungen und Auflagen für die Freigabe in den Bescheid aufzunehmen.

4.3.3 Schweiz

In der Schweiz wird für die in diesem Kapitel beschriebene „Freigabe“ der Begriff „Befreiung“ verwendet (Französisch: libération, engl: clearance). Darunter versteht man die Befreiung von der Bewilligungspflicht und der Aufsicht, wenn

die Materialien oder Gebäudeteile nachweislich so wenig radioaktive Aktivität aufweisen, dass die Kriterien für die Befreiung (u. a. die Befreiungsgrenze für die spezifische Aktivität) eingehalten werden. Die Befreiungsgrenzen LL in Bq/g sowie die Bewilligungsgrenzen LA in Bq und weitere relevante nuklidspezifische Werte sind im Anhang 3 der StSV [18] zu finden. Für die Schweiz sei für die Befreiung auf Art. 105-107 der StSV [23] verwiesen: zur Abgrenzung gegenüber als radioaktiv bezeichneten Abfällen auf Art. 108-110, zur Abgabe (Ableitung) an die Umwelt auf Art. 111-114, zur Ablagerung auf Art. 114, zur Verwertung auf Art. 115, zur Verbrennung auf Art. 116 und zur Abklinglagerung auf Art. 117.

5 Begriffsbestimmungen und Definitionen

In den folgenden Kapiteln werden strahlenschutzfachliche Begriffe erläutert, die z. T. auf allgemein übliche Definitionen und z. T. auf die Legaldefinitionen in der Strahlenschutzgesetzgebung in Deutschland, Österreich und Schweiz basieren. Auf Angaben zu Literaturquellen wird weitgehend verzichtet, bzw. es wird auch auf das „Lexikon der Kernenergie“ [26] verwiesen. Bei Legaldefinitionen, die in den nationalen Strahlenschutzgesetzgebungen nicht in allen drei Ländern identisch sind, wird der Quellbezug und ggf. auch die zwischen den Ländern bestehenden Unterschiede dokumentiert.

5.1 Aktivitäts- und Dosisbegriffe

Aktivität A

Unter Aktivität wird die spontane Umwandlungsrate eines Radionuklids - auch radioaktiver Zerfall genannt - verstanden und als Umwandlungen oder Kernzerfälle pro Sekunde (1 s^{-1}) gemessen. Gelegentlich wird die Aktivität auch für ein Radionuklidgemisch angegeben. Sie kann auf eine Masse, ein Volumen oder eine Fläche bezogen sein.

Einheit: $1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Bq}$

Bq: Becquerel

Aktivitätskonzentration C

Verhältnis der Aktivität eines Radionuklids zum Volumen einer Flüssigkeit oder eines Gases oder eines Gasgemisches, in dem das Radionuklid verteilt ist. Einheit (Beispiel): 1 Bq/m^3

Dosis

Bei der Kernumwandlung kommt es zur Aussendung von Teilchen (Alpha- oder Beta- Strahlung) und von Photonen (Gamma-Strahlung), die bei der Wechselwirkung mit Materie oder Körpergewebe einzelne Atome oder Moleküle ionisieren oder anregen können. Weitere Quellen für ionisierende Strahlung bilden z.B. Röntgenröhren, Störstrahler, und Teilchen-Beschleuniger oder auch die spontane Kernspaltung, wo z.B. auch Neutronenstrahlung auftreten kann. Die Dosis stellt ein Maß für die im bestrahlten Material absorbierte Energie ionisierender Strahlung dar.

Dosiskoeffizienten e_{inh} , e_{ing} , h_{10} , $h_{0,07}$ und $h_{c0,07}$

Die Koeffizienten e_{inh} und e_{ing} (in Sv/Bq) ergeben die resultierenden effektiven Folgedosen (in Sv) durch die einmalige Aufnahme von Radionukliden (in Bq) in den Körper, wobei unterschieden wird zwischen e_{inh} Inhalation (Aufnahme über die Atemluft) und e_{ing} , Ingestion (Aufnahme über Nahrung oder Trinkwasser). Bei einer kontinuierlichen Zufuhr von Radioaktivität (in Bq/Jahr) ergibt sich durch die Dosiskoeffizienten auch - aber erst nach Erreichen des Gleichgewichtes zwischen Aufbau, Zerfall und Ausscheidung - die Jahresdosis (in mSv/Jahr). Die drei weiteren Dosiskoeffizienten ergeben die Dosisleistung h_{10} , in 10 mm Tiefe (Umgebungsäquivalentdosisleistung) in 1 m Abstand von einer radioaktiven Quelle mit der Einheit mSv/h pro GBq, bzw. die Dosisleistung $h_{0,07}$ in 0,07 mm Gewebetiefe unter den gleichen Bedingungen, und schließlich die Dosisleistung $h_{c0,07}$ in 0,07 mm Gewebetiefe für eine Hautkontamination (Richtungsäquivalentdosisleistung) von 1 kBq/cm^2 , gemittelt über 100 cm^2 .

Einheit für e_{inh} und e_{ing} : 1 Sv/Bq (oder auch Sv/Jahr pro Bq/Jahr bei kontinuierlicher Aufnahme nach Erreichen des Gleichgewichtes).

Effektive Dosis E

Summe der gewichteten Organ- und Gewebedosen. Sie stellt ein Maß für das Strahlenrisiko dar und ist deshalb eine geeignete Grundlage für die Festlegung von Grenz- und Richtwerten der Dosis - auch beim Vorliegen einer

inhomogenen Strahlenexposition und einem Gemisch verschiedener Strahlungsarten. Die Organ- und Gewebewichtungsfaktoren w_T sind so festgelegt (normiert), dass deren Summe den Wert von 1 ergibt.

$$E = \sum w_T w_R D_{T,R}$$

Einheit Sievert (Sv)

Effektive Folgedosis $E(\tau)$

Die effektive Folgedosis $E(\tau)$ ist die Summe der Folge-Organ-Äquivalentdosen $H_T(\tau)$, jeweils multipliziert mit dem zugehörigen Gewebe-Wichtungsfaktor w_T . Die Folge-Organ-Äquivalentdosis $H_T(\tau)$ ist das Zeitintegral der Organ-Äquivalentdosisleistung im Gewebe oder Organ T, die eine Person infolge einer Inkorporation radioaktiver Stoffe zum Zeitpunkt t_0 über die Anzahl der Jahre τ erhält:

→ siehe auch Art. 4 Nr. 14 EU-Richtlinie [9]

→ siehe auch StSV: Effektive Folgedosis E_{50} [23]

Energiedosis D_R

Die Energiedosis D_R entspricht der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf Materie (Masse) übertragen wird.

Einheit Gray (Gy), 1 Gray entspricht 1 Joule pro kg (J/kg)

Körperdosis

Oberbegriff für Organdosis und effektive Dosis aus dem deutschen Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [11].

Einheit Sievert (Sv)

Kollektivdosis

Maß für die Gesamtexposition einer exponierten Personengruppe oder eines bestimmten Bevölkerungskollektivs ist die Summe der Dosen aller Mitglieder des betrachteten Kollektivs. Für die Kollektivdosis gibt es Empfehlungen und Anwendungsvorschriften, jedoch keine Grenzwerte. Die Kollektivdosis dient zur Optimierung im Strahlenschutz und zum Vergleich radiologischer Technologien und Strahlenschutzmaßnahmen und soll daher nur auf genau definierte Personenkollektive angewendet werden.

Mess-Äquivalentdosis

Produkt aus Energiedosis D in ICRU Weichteilgewebe und Qualitätsfaktor Q in einem Punkt des Gewebes.

Einheit Sievert (Sv)

Nicht festhaftende Oberflächenkontamination

Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, bei denen eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann.

Oberflächenkontamination

Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, diese können festhaftend, nicht-festhaftend oder in die Oberfläche eingedrungen sein. Einheit (Beispiel): 1 Bq/cm²

Organ-Äquivalentdosis

Maß für die biologische Wirkung der Strahlung in einem bestrahlten Organ oder Gewebe. Das Produkt aus Energiedosis und Strahlungswichtungsfaktor (w_R).

$$H_T = \sum w_R D_{T,R}; \text{ Einheit: } 1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Sv}$$

Organ-Energiedosis $D_{T,R}$

Die Organ-Energiedosis bezeichnet die mittlere Energiedosis in einem Organ oder Gewebe.

Einheit Gray (Gy), 1 Gray entspricht 1 Joule pro kg (J/kg)

Organ- und Gewebewichtungsfaktoren w_T

Diese berücksichtigen die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit einzelner Organe oder Gewebe des Körpers. Die Summe aller Organ- und Gewebewichtungsfaktoren ergibt den Wert 1

Ortsdosis (Mess-Äquivalentdosis)

Äquivalentdosis, gemessen an einem bestimmten Ort. Man unterscheidet die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ für durchdringende Strahlung und die Richtungs-Äquivalentdosis ($H'(0,07)$) für Strahlung geringer Eindringtiefe.

Einheit Sievert (Sv)

Ortsdosisleistung

In einem bestimmten Zeitintervall erzeugte Ortsdosis

Einheit (Beispiel): 1 $\mu\text{Sv/h}$

Personendosis $H_p(d)$ (Mess-Äquivalentdosis)

Die Personendosis ist die Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle am Körper. Es wird unterschieden zwischen der Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ und Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$. Die Tiefen-Personendosis wird in der Regel mit Ganzkörperdosimetern abgeschätzt und dient der Ermittlung der effektiven Dosis. Als repräsentativer Messort für die Tiefendosis gilt die Vorderseite des Rumpfes.

Einheit Sievert (Sv)

Qualitätsfaktor Q

Der Qualitätsfaktor Q ist eine Größe, welche die biologische Wirksamkeit einer Strahlung auf der Grundlage der Ionisationsdichte entlang der Spuren geladener Teilchen im Gewebe kennzeichnet. Q ist definiert als eine e-Funktion des unbeschränkten linearen Energietransfers LET (L in keV/Mikrometer) geladener Teilchen im Wasser. Die Q-Funktion lautet: Für $L < 10$ gilt $Q = 1$; für $10 \leq L \leq 100$ gilt $Q = 0,32 \cdot L^{-2,2}$ und für $L > 100$ gilt $Q = 300/\sqrt{L}$.

Bei der Definition der Organ-Äquivalentdosen wurde Q durch den Strahlungswichtungsfaktor w_R ersetzt. Q wird jedoch nach wie vor für die Definition der Mess-Äquivalentdosis verwendet.

Radioaktiver Stoff

Radioaktive Stoffe (Kernbrennstoffe und sonstige radioaktive Stoffe) sind alle Stoffe, die ein Radionuklid oder mehrere Radionuklide enthalten und deren Aktivität oder spezifische Aktivität nicht außer Acht gelassen werden kann.

Spezifische Aktivität A_s

Verhältnis der Aktivität eines Radionuklids zur Masse des Materials, in dem das Radionuklid verteilt ist. Bei festen radioaktiven Stoffen ist die Bezugsmasse für die Bestimmung der spezifischen Aktivität die Masse des Körpers oder Gegenstandes, mit dem die Radioaktivität bei vorgesehener Anwendung untrennbar verbunden ist. Bei gasförmigen radioaktiven Stoffen ist die Bezugsmasse die Masse des Gases oder des Gasgemisches. Bei flüssigen radioaktiven Stoffen ist die Bezugsmasse die Masse der Flüssigkeit.“

Einheit (Beispiel): 1 Bq/g

Strahlungswichtungsfaktor w_R

Faktor für die Wichtung der verschiedenen Strahlungsarten wie Alpha-, Beta-, Gamma- und Neutronenstrahlung. Für Beta- und Gammastrahlung ist der Strahlungswichtungsfaktor 1. Für Alpha-Strahlung liegt der Faktor bei 20, für die Neutronen-Strahlung ist der Faktor von der Energie der Neutronen abhängig.

Einheit: -

Zerfallskonstante

Die Zerfallskonstante eines radioaktiven Zerfalls ist gleich dem Reziprokwert der mittleren Lebensdauer τ . Zwischen der Zerfallskonstanten λ der mittleren Lebensdauer τ und der Halbwertszeit T besteht folgende Beziehung:

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{\ln 2}{T}$$

Die Zerfallskonstante bestimmt im Zerfallsgesetz die Veränderung der Aktivität A eines radioaktiven Stoffs.

5.2 Begriffe zum Grenz-, Richt- und Referenzwert

ALI-Wert (Annual limit of intake)

Grenzwert der Jahresaktivitätszufuhr

Befreiungsgrenze LL (Schweiz)

Wert LL, der der Grenze der spezifischen Aktivität eines Materials entspricht, unter welcher der Umgang mit diesem Material nicht mehr der Bewilligungspflicht und demnach nicht der Aufsicht unterstellt ist.

→ siehe auch Art. 2 j. und Anhang 3 Spalte 9 StSV [23]

Bewilligungsgrenze LA (Schweiz)

Wert LA, der der Grenze der absoluten Aktivität eines Materials entspricht, oberhalb welcher der Umgang mit diesem bewilligungspflichtig ist. Diese Grenzen gelten nicht für NORM.

→ siehe auch Art. 2 j. und Anhang 3 Spalte 10 StSV [23]

Diagnostische Referenzwerte (Schweiz)

Dosiswerte bei Anwendung ionisierender Strahlung am Menschen oder empfohlene Aktivitätswerte bei Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen, für typische Untersuchungen, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen, für einzelne Gerätekategorien. In der Schweiz veröffentlicht das Bundesamt für Gesundheit (BAG) Empfehlungen zur Strahlendosis bei diagnostischen, interventionellen oder nuklearmedizinischen Untersuchungen in Form von diagnostischen Referenzwerten.

Dosisbeschränkung (Österreich)

Beschränkung der voraussichtlichen Dosen für Einzelpersonen, die aus bestimmten natürlichen oder künstlichen Strahlenquellen resultieren können und die im Planungsstadium im Zusammenhang mit der Optimierung des Strahlenschutzes angewendet wird.

Dosisgrenzwert

Wert der effektiven Dosis (gegebenenfalls der effektiven Folgedosis) oder der Organ-Äquivalentdosis in einem bestimmten Zeitraum, der für eine Einzelperson nicht überschritten werden darf.

→ siehe auch § 4 Abs. 23 EU-Richtlinie [9]

Dosisrichtwert (Deutschland)

Effektive Dosis oder Organ-Äquivalentdosis, die bei der Planung und der Optimierung von Schutzmaßnahmen für Personen in geplanten Expositionssituationen als oberer Wert für die in Betracht zu ziehende Exposition dient.

Dosisrichtwert (Schweiz) (quellenbezogener)

Der Dosisrichtwert entspricht einer durch die Bewilligungsbehörde für eine einzelne Strahlungsquelle oder Tätigkeit festgelegte Dosis, welche für die meistexponierte Person der Bevölkerung bei geplanten Expositionssituationen nicht überschritten werden darf. Der quellenbezogene Dosisrichtwert wird pro Strahlungsquelle so festgelegt, dass die Summe aller Dosen durch mehrere Strahlungsquellen (i.e. Betriebe oder Anlagen) den Dosisgrenzwert nicht überschreitet. Dosisrichtwerte sind Optimierungsinstrumente.

Bei Kernanlagen dürfen im Normalbetrieb die radioaktiven Abgaben aus allen Betrieben eines Standorts bei der Bevölkerung in deren Umgebung zu keiner Dosis führen, die größer ist als der quellenbezogene Dosisrichtwert von 0,3 mSv/a; hier wird ein Anteil von 0,1 mSv /a durch Direktstrahlung mitberücksichtigt.

→ siehe auch Art. 7 StSV [23]

Freigrenze (Deutschland)

Werte der Aktivität oder der spezifischen Aktivität, bei deren Unterschreitung die Aktivität oder spezifische Aktivität eines solchen Stoffes außer Acht gelassen werden kann.

Die Radionuklide, für die Freigrenzen bestehen, und die nach dem Strahlenschutzgesetz maßgeblichen Freigrenzen ergeben sich aus § 11 Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 1 bis 3 StrlSchV [12].

→ siehe auch § 5 Abs. 15 StrlSchG [11]

→ siehe auch § 4 Abs. 34 EU-Richtlinie [9]

NORM-Befreiungsgrenze (Schweiz)

Wert *LLN*, welcher der Grenze der spezifischen Aktivität von natürlichen Radionukliden in NORM-Materialien entspricht, unter welcher dieses Material uneingeschränkt an die Umwelt abgegeben werden kann. Für die Schweiz: Je 1 000 Bq/kg für natürliche Radionuklide der U-238- und der Th-232-Reihe und 10 000 Bq/kg für K-40, wenn diese sich in Feststoffen und sich ganz oder teilweise im säkularen Gleichgewicht mit ihren Tochternukliden befinden.

→ siehe auch Art. 2 k. und Anhang 2 StSV [23]

Referenzwert (Österreich, Deutschland)

In einer Notfallexpositionssituation oder bestehenden Expositionssituation der Wert der effektiven Dosis oder Organ-Äquivalentdosis oder der Aktivitätskonzentration, oberhalb dessen Expositionen als unangemessen betrachtet werden, auch wenn es sich nicht um einen Grenzwert handelt, der nicht überschritten werden darf.

Referenzwert (Schweiz)

Können in bestehenden Expositionssituationen oder in Notfallexpositionssituationen die Dosisgrenzwerte nicht eingehalten werden oder wäre die Einhaltung der Dosisgrenzwerte in diesen Situationen mit unverhältnismäßigem Aufwand verbunden oder kontraproduktiv, so kommen Referenzwerte zur Anwendung. Damit der Referenzwert eingehalten werden kann, sind die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen.

Richtwert (Schweiz)

Wert, der von einem Grenzwert abgeleitet wird, dessen Überschreiten gewisse Maßnahmen bewirkt und dessen Einhaltung auch die Einhaltung des zugehörigen Grenzwertes sicherstellt.

→ siehe auch Art. 2 m. und Anhang 3 Spalten 11 und 12 StSV [23]

5.3 Besondere Begrifflichkeiten

Auszubildende

Personen, die innerhalb eines Unternehmens im Hinblick auf die Ausübung eines bestimmten Berufes ausgebildet oder unterrichtet werden.

Beruflich strahlenexponierte Personen (CH) / Strahlenexponierte Arbeitskräfte (A) / Beruflich exponierte Person (D)

(Beruflich)(Strahlen)exponierte Arbeitskräfte/Personen werden in die Kategorien A und B eingeteilt, die wie folgt definiert sind:

Kategorie A: Arbeitskräfte/Personen, bei denen davon auszugehen ist, dass sie

- eine höhere effektive Dosis als 6 mSv pro Jahr oder
- eine höhere Organ-Äquivalentdosis als 15 mSv pro Jahr für die Augenlinse oder
- mehr als 150 mSv pro Jahr für Haut und Extremitäten erhalten können.

Kategorie B: Arbeitskräfte/Personen, die nicht der Kategorie A angehören.

→ siehe auch Art 4 Abs. 36 und Art. 40 Abs. 1 EU-Richtlinie [9]

Deutschland:

Eine Person, die eine berufliche Exposition aus Tätigkeiten erhalten kann, die

- eine effektive Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr überschreitet (Für eine Inhalationsdosis durch natürliches Radon gilt dies erst ab 6 mSv/a gemäß §§ 130 u. 131 StrlSchG [11]),
- eine Organ-Äquivalentdosis für die Augenlinse von 15 mSv im Kalenderjahr überschreitet oder
- eine Organ-Äquivalentdosis für die Haut, gemittelt über jede beliebige Hautfläche von 1 cm² unabhängig von der exponierten Fläche, von 50 mSv im Kalenderjahr überschreitet.

→ siehe auch § 5 Abs. 7 StrlSchG [11]

Österreich:

Eine Person, die bei ihrer Arbeit im Rahmen einer unter die Bestimmungen dieses Bundesgesetzes fallenden Tätigkeit einer Exposition ausgesetzt ist und bei der davon auszugehen ist, dass sie Strahlendosen erhalten kann, die einen der für die Exposition der Bevölkerung festgelegten Dosisgrenzwerte übersteigen.

Schweiz:

Dies sind Personen, die

1. durch ihre berufliche Tätigkeit oder Ausbildung einen Dosisgrenzwert für Personen aus der Bevölkerung (Art. 22 der StSV [18]) bzw. die Organ-Äquivalentdosis für die Augenlinse von 15 mSv pro Kalenderjahr oder für die Haut von 50 mSv pro Kalenderjahr überschreiten können. [18]
2. mindestens einmal pro Woche in Kontrollbereichen nach Artikel 80 der StSV [23] arbeiten oder ausgebildet werden; oder
3. mindestens einmal pro Woche in Überwachungsbereichen nach Artikel 85 der StSV arbeiten oder ausgebildet werden und dabei einer erhöhten Ortsdosisleistung ausgesetzt sein können.

Personen, die am Arbeitsplatz ausschließlich einer Exposition durch Radon ausgesetzt sind, gelten erst als beruflich strahlenexponiert, wenn sie dadurch eine effektive Dosis von über 10 mSv pro Jahr akkumulieren können.

Der/die Bewilligungsinhaber:in teilt die beruflich strahlenexponierten Personen für die Überwachung in die Kategorien A und B ein. In der Schweiz fällt die Tätigkeit beim Betrieb diagnostischer Röntgenanlagen in Arzt-, Zahnarzt- und Tierarztpraxen – außer jener im Hochdosisbereich – in die Kategorie B, ebenso das beruflich strahlenexponierte Flugpersonal.

→ siehe auch Art. 22 und 51 StSV [23]

Clearance (lung clearance)

Elimination von inhalierten Aerosolen aus der Lunge; In der ICRP Publikation 30 [27] wurde ein „Inhalationsklassifizierungs-Schema für die Atemwege“ (*“respiratory tract inhalation classification scheme”*) für inhaliertes Material entwickelt, das gemäß seiner „Eliminierungsrate“ (*clearance rate*) im pulmonalen Bereich der Atemwege unterschiedlich lang verweilt. Die Materialien werden in Gruppen mit der Bezeichnung D (*days*), W (*weeks*), oder Y (*years*) klassifiziert, je nachdem, wie schnell sie wieder aus der Lunge ausgeschieden werden. Diese drei Inhalationsklassen

- D (clearance half-time less than 10 days),
- W (10 to 100 days),
- Y (greater than 100 days)

werden im neuen „Atemwegemodell für den Menschen“ („Human Respiratory Tract Model“) der Empfehlungen ICRP Publikation 66 [28] durch Lungenabsorptionsklassen (absorption type) ersetzt:

- F fast solubilization
- M moderate rate of solubilization
- S slow solubilization

Das Modell beschreibt die relative Geschwindigkeit der Auflösung und den Weitertransport des Materials aus den Atemwegen ins Blut. Die Rate, mit der in der Lunge abgelagerte Radionuklide ins Blut aufgenommen werden (Absorptionsrate), hängt von der chemischen Form des inhalierten Materials ab.

Dekontamination

Beseitigung oder Verminderung einer Kontamination.

Detriment, stochastisches Gesamtdetriment

Das Detriment entspricht dem bei stochastischen Wirkungen verwendeten Maß für durch Strahlung verursachten und zu erwartenden gesamten Gesundheitsschaden des Einzelnen oder einer Gruppe (ICRP60) [29]. Dieses umfasst (geschlechts- und altersstandardisierte) stochastische Strahlenschäden, die zu tödlich verlaufenden

Krebserkrankungen führen, zum Verlust an Lebenserwartung und Lebensqualität durch nicht tödlich verlaufende, strahlenbedingte Erkrankungen führen, sowie solche, die zu schweren Erbschäden bei den Nachkommen bestrahlter Individuen führen.

Einzelpersonen der Bevölkerung

Einzelpersonen, die möglicherweise einer Exposition ausgesetzt sind.

→ siehe auch Art. 4 Abs. 53 EU-Richtlinie [9]

Emission (Schweiz)

Emissionen sind über die Abluft oder das Abwasser abgegebene radioaktive Stoffe. Luftgetragene und flüssige radioaktive Stoffe dürfen mit einer Bewilligung über die Abluft an die Atmosphäre beziehungsweise über das Abwasser an Oberflächengewässer abgegeben werden. Die Bewilligungsbehörde legt im Einzelfall für jede Abgabestelle maximal zulässige Abgaberate und gegebenenfalls Abgabeaktivitätskonzentrationen fest. Sie legt diese so fest, dass der quellenbezogene Dosisrichtwert und die Immissionsgrenzwerte in Luft und Gewässern gemäß Anhang 7 der StSV [23] nicht überschritten werden.

Expositionsprofil

Der Expositionsprofil entspricht dem Weg, auf dem ein radioaktiver Stoff zum Menschen gelangt und auf ihn einwirkt.

Freigabe von Materialien

Deutschland: Verwaltungsakt zur Entlassung radioaktiver Stoffe aus der Überwachung nach StrlSchG und StrlSchV: z.B. feste Stoffe, Flüssigkeiten, Bauschutt, Bodenflächen und Gebäude. Damit kann deren Verwendung, Verwertung, Beseitigung, Innehaben oder deren Weitergabe an Dritte als nicht radioaktive Stoffe bewirkt werden. Bei der Freigabe wird zwischen uneingeschränkter Freigabe und spezifischer Freigabe unterschieden.

Österreich: Verwaltungsbescheid, der die Entlassung radioaktiver Stoffe aus dem Regelungsbereich des Strahlenschutzgesetzes und darauf beruhender Rechtsverordnungen zur Verwendung, Verwertung, Beseitigung, Innehaben oder zu deren Weitergabe an Dritte als nicht radioaktive Stoffe bewirkt.

Schweiz (Befreiung): Befreiung von der Bewilligungspflicht und der Aufsicht, wenn die Materialien oder Gebäudeteile nachweislich so wenig radioaktive Aktivität aufweisen, dass die Kriterien für die Befreiung (u. a. die Befreiungsgrenze für die spezifische Aktivität) eingehalten werden (siehe Befreiungsgrenze LL); s. dazu Art. 105-107 der StSV [23].

Halbwertszeit

physikalische Halbwertszeit: Zeit, nach der die Hälfte eines radioaktiven Stoffes zerfallen ist.

biologische Halbwertszeit: Zeit, nach der von der ursprünglichen Menge eines aufgenommenen Stoffes noch die Hälfte im Organismus vorhanden ist.

effektive Halbwertszeit: Zeit, nach der sich die Menge eines in einem biologischen System, z. B. im menschlichen Körper, befindlichen radioaktiven Stoffes durch radioaktiven Zerfall und natürliche Ausscheidung auf die Hälfte vermindert hat. Die effektive Halbwertszeit ergibt sich aus dem Produkt von physikalischer und biologischer Halbwertszeit, dividiert durch deren Summe.

Entsprechendes gilt für die Zerfallskonstante: $\lambda_{\text{effektiv}} = \lambda_{\text{physikalisch}} + \lambda_{\text{biologisch}}$.

Immission

Einwirkung von Luftfremdstoffen, Geräuschen und Erschütterungen sowie Energie (z.B. Direktstrahlung aus Anlagen) auf Menschen, Tier und Umwelt.

Schweiz: Es wird unterschieden zwischen solchen außerhalb des Betriebsareals (Kontaminationen von Luft, Boden, Oberflächenwasser, Pflanzen usw.) und solchen innerhalb des Betriebsareals (Kontaminationen von Arbeitsoberflächen, Raumluft, Schutzkleidung und Haut (i.e. der Körperoberfläche)). Dabei muss außerhalb des Betriebsareals der quellenbezogene Dosisrichtwert eingehalten werden und die Immissionsgrenzwerte für Luft und Gewässer gemäß Anhang 7 Art. 111 bis 116 der StSV [23] dürfen nicht überschritten werden.

Ingestion

Aufnahme radioaktiver Stoffe über den Verdauungstrakt in den menschlichen Organismus.

Inhalation

Aufnahme radioaktiver Stoffe durch Einatmen in den menschlichen Organismus.

Inkorporation

Die Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Organismus über alle möglichen Aufnahmepfade.

Kontamination

Deutschland, Schweiz: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen.

Österreich: Die unbeabsichtigte oder ungewollte Verunreinigung von Materialien, Oberflächen, der Umwelt oder einer Person durch radioaktive Stoffe.

Künstliches Radionuklid

Ein Stoff, der durch menschliches Zutun geschaffen wurde und spontan unter Emission ionisierender Strahlung zerfällt. (siehe auch „Aktivität“)

Natürliches Radionuklid

Ein Stoff, der ohne menschliches Zutun in der Natur vorliegt und spontan unter Emission ionisierender Strahlung zerfällt; er kann allerdings in vom Menschen geschaffenen Produkten oder Bedarfsgegenständen in anderer Konzentration vorliegen als in der Natur.

Radionuklid/radioaktives Nuklid

Instabile Nuklide, die sich spontan ohne äußere Einwirkung unter Emission ionisierender Strahlung in andere Nuklide umwandeln.

Radiotoxizität

Angabe für die Gesundheitsschädlichkeit eines Radionuklides, d.h.: Grad der Gefährdung des Menschen durch die von inkorporierten Radionukliden ausgehende Strahlung.

Umgang

Deutschland: Die Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung von

- a) künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen und
- b) natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen auf Grund ihrer Radioaktivität, zur Nutzung als Kernbrennstoff oder zur Erzeugung von Kernbrennstoffen,
- c) der Betrieb von Bestrahlungsvorrichtungen und
- d) das Aufsuchen, die Gewinnung und die Aufbereitung von radioaktiven Bodenschätzen im Sinne des Bundesberggesetzes.

→ siehe auch § 5 Abs. 39 StrlSchG [11]

Österreich: Umgang = Tätigkeit: eine menschliche Betätigung, die die Exposition von Personen gegenüber Strahlung aus einer Strahlenquelle erhöhen kann und als geplante Expositionssituation behandelt wird. (siehe Begriffsbestimmung §3 Punkt 73 StrSchG2020) [16]

Schweiz: Das Gewinnen, Herstellen, Bearbeiten, Vertreiben, Einrichten, Verwenden, Lagern, Transportieren, Beseitigen, Ein-, Aus- und Durchführen und jede andere Form des Weitergebens von radioaktivem Material oder entsprechend von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung gilt als Umgang mit radioaktiven Stoffen und/oder ionisierender Strahlung.

5.4 Spezifische Begriffe im Notfallplan des Bundes (D) bei Notfall-Expositionssituationen

Im Allgemeinen Notfallplan des Bundes (D) (ANoPI-Bund) [14] handelt es sich meist um abgeleitete Richtwerte.

Abgeleiteter Grenz- oder Richtwert im Sinne dieses ANoPI-Bund:

Auf Basis eines bestimmten Bezugswerts unter bestimmten Annahmen und Berechnungsverfahren festgelegter Grenz- oder Richtwert, der sich auf eine bestimmte, unmittelbar messbare Folge des Notfalls bezieht, z. B. eine Dosisleistung, Oberflächenkontamination oder Aktivitätskonzentration.

Abgeleitete Grenz- und Richtwerte werden in der Regel aus einem Dosiswert, dem sogenannten Dosisbezugswert des jeweiligen Grenz- oder Richtwerts, berechnet. Je nach Anwendungsfall können sie jedoch auch aus anderen Größen berechnet werden (Beispiel: Ableitung einer Ortsdosisleistung aus einem festgelegten Kontaminationswert als Hilfsgröße für die messtechnische Überprüfung, ob der Kontaminationswert in einer bestimmten Anordnung unterschritten wird).

Grenzwert im Sinne dieses ANoPI-Bund:

- ein in einer Verordnung nach § 94 Absatz 2 StrlSchG für notfallbedingte Kontaminationen oder Dosisleistungen festgelegter Grenzwert, bei dessen Überschreitung davon auszugehen ist, dass eine Gefahr für Einzelpersonen der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung besteht
- ein in einer Verordnung nach § 95 Absatz 1 StrlSchG für Abfälle und Abwasser oder sonstige Gegenstände oder Stoffe, die durch einen Notfall kontaminiert sind oder kontaminiert sein können, festgelegter Kontaminationswert
- ein in einer anderen Rechtsvorschrift des Bundes oder eines Landes oder ein in einem unmittelbar anwendbaren Rechtsakt der Europäischen Union oder Europäischen Atomgemeinschaft (EU- oder Euratom-Verordnung oder -Beschluss) festgelegter Wert, der nicht oder nur unter bestimmten, in den jeweiligen Rechtsvorschriften oder Rechtsakten festgelegten Voraussetzungen überschritten oder unterschritten werden darf.

Bei dessen Unterschreitung ist davon auszugehen, dass der erforderliche Schutz von Mensch und Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung ohne zusätzliche spezielle Schutzmaßnahmen sichergestellt ist und zwar bei der Bewirtschaftung dieser Abfälle und dieses Abwassers sowie der Errichtung und dem Betrieb oder der Benutzung von Anlagen nach Maßgabe des KrWG und der sonstigen für Abfälle und Abwasser sowie für die Anlagen geltenden Bundesgesetze und der auf diese Gesetze gestützten Rechtsverordnungen.

Grenzwerte sind im Unterschied zu Richtwerten für Behörden sowie für Personen und Unternehmen unmittelbar rechtsverbindlich.

Richtwert im Sinne dieses ANoPI-Bund:

- ein in einer verwaltungsintern verbindlichen Regelung festgelegter Wert, der von den an der Notfallreaktion beteiligten Behörden bei ihren Entscheidungen und Maßnahmen zu beachten ist und von dem diese Behörden nicht oder nur unter bestimmten, in der jeweiligen Vorschrift oder konkreten Regelung festgelegten Voraussetzungen abweichen dürfen.

Richtwerte sind im Unterschied zu Grenzwerten für Personen und Unternehmen nicht unmittelbar verbindlich.

Da die möglicherweise betroffenen Unternehmen und Personen aber in der Regel davon ausgehen werden, dass die zuständigen Behörden die für sie verbindlichen und bekanntgemachten Richtwerte bei ihren im Notfall zu treffenden Entscheidungen beachten werden, entfalten diese Richtwerte bereits vor ihrer formellen Umsetzung in verbindlichen Verwaltungsakten, Verhaltensempfehlungen oder sonstigen Schutzmaßnahmen auch eine faktische Außenwirkung für die betroffenen Unternehmen und Personen.

6 Strahlenschutzkonzept

6.1 Grundsatz

In der **Tabelle 6_1** sind die nach dem von der ICRP aufgestellten Schutzsystem verwendeten Arten von Dosisbegrenzungen (Grenzwerte, Richtwerte, Referenzwerte) in Bezug auf die Art der Expositionssituation und die Expositionskategorie angegeben.

Die Bestimmungen der EU-Richtlinie folgen dem in der ICRP 103 [6] eingeführten, auf Expositionssituationen beruhenden Konzept. Es wird unterschieden zwischen

- geplanten,
- bestehenden und
- Notfall-Expositionssituationen.

Tabelle 6_1: In den Expositionssituationen verwendete Dosisricht- und Referenzwerte (nach ICRP 103 [1])

| Expositionssituation | Berufliche Exposition | Exposition der Bevölkerung | Medizinische Exposition |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| Geplante Exposition | Dosisgrenzwert Dosisrichtwert | Dosisgrenzwert Dosisrichtwert | Diagnostischer Referenzwert für Patienten Dosisrichtwert ²⁾ |
| Bestehende Exposition | ¹⁾ | Referenzwert | - |
| Notfall-Exposition | Referenzwert | Referenzwert | - |

¹⁾Expositionen infolge von Langzeit-Sanierungsmaßnahmen oder zeitlich ausgedehnter Beschäftigung in betroffenen Gebieten sollen als Teil geplanter beruflicher Expositionen behandelt werden.

²⁾ausschließlich Betreuungs- und Begleitpersonen sowie Probanden in der Forschung

Die EU-Richtlinie deckt innerhalb dieser Expositionssituationen die folgenden Expositionskategorien ab:

- berufliche Exposition
- Exposition der Bevölkerung und medizinische Exposition

6.2 Expositionssituationen

Geplante Expositionssituation

Diese ist eine Expositionssituation, die durch den geplanten Betrieb einer Strahlungsquelle oder durch menschliche Betätigungen die Expositionspfade so verändert, dass eine Exposition oder potenzielle Exposition von Menschen oder Umwelt (Fauna und Flora) verursacht wird. Geplante Expositionssituationen können sowohl reale als auch potenzielle Expositionen umfassen.

Es soll sichergestellt werden, dass nur solche Tätigkeiten ausgeübt werden, deren Nutzen (für den Einzelnen und die Gesellschaft) den möglicherweise von ihr ausgehenden (gesundheitlichen) Schaden überwiegen. Im Bereich des Teils² des deutschen Strahlenschutzgesetzes [11] ist wie auch in den bisherigen strahlenschutzrechtlichen Verordnungen und in Umsetzung der EU-Richtlinie auf die Tätigkeitsarten das Rechtfertigungsprinzip anzuwenden. Außerdem sind unnötige Expositionen durch konkrete Handlungspflichten zu vermeiden. Es gilt das Reduzierungsgebot als eine der grundlegenden strahlenschutzrechtlichen Regelungen. Dieses Gebot fordert dabei aber keine Minimierung um jeden Preis. Vielmehr gebietet die Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls explizit die Einhaltung eines (dem deutschen Verwaltungsrecht ohnehin immanenten) Verhältnismäßigkeitsmaßstabs und erlaubt dabei sogar eine breitere Berücksichtigung als die von der Richtlinie geforderten „wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Faktoren“.

In geplanten Expositionssituationen darf die Summe der Strahlendosen, der eine Einzelperson ausgesetzt ist, die für berufliche Expositionen oder für die Exposition der Bevölkerung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschreiten. Dosisgrenzwerte gelten nicht für medizinische Expositionen.

Der Begriff der „Tätigkeiten“ wurde auf die bisherigen „Arbeiten“ erweitert und er bezieht sich damit auf einen breiteren sachlichen Anwendungsbereich als in den nationalen Regelungen vor 2018, siehe auch Art 4 Abs. 62, Art. 5 c) EU-Richtlinie [9]

Bestehende Expositionssituation

Diese ist eine Expositionssituation, die bereits besteht, wenn eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss, und die Sofortmaßnahmen nicht oder nicht mehr ermöglicht oder erfordert. Bestehende Expositionssituationen beinhalten auch natürlich vorkommende Expositionen und Expositionen durch vergangene Ereignisse und Unfälle sowie durch Tätigkeiten („*practices*“). Bestehende Expositionssituationen können zu Strahlenexpositionen führen, welche die Prüfung oder Durchführung von Strahlenschutzmaßnahmen rechtfertigen. Bei Situationen dieser Art werden Schutzstrategien oft im interaktiven Prozess und schrittweise über mehrere Jahre in Gang gesetzt. Radon in Wohnungen und an Arbeitsplätzen ist eine wichtige bestehende Expositionssituation.

Während die EU-Richtlinie Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen („*naturally occurring radioactive material*“, NORM) den geplanten Expositionssituationen zuordnet, betrachtet die ICRP diese als bestehende Expositionssituationen.

Für bestehende Expositionssituationen werden Referenzwerte angewendet, die in Verbindung mit der Umsetzung des Optimierungsprinzips als individuelle Dosiswerte festgelegt werden. Das Ziel ist die Durchführung optimierter Schutzstrategien bzw. die fortschreitende Umsetzung einer Reihe derartiger Strategien zur Verringerung der individuellen Dosen auf Werte unterhalb des Referenzwerts. Expositionen unterhalb des Referenzwerts sollen jedoch nicht ignoriert werden, sondern es sollen die Gegebenheiten dieser Expositionen ebenfalls bewertet werden, um festzustellen, ob der Schutz optimiert ist oder ob weitere Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

→ siehe auch Art 4 Abs. 35 EU-Richtlinie [9] und → siehe auch ICRP Publikation 103 [6]

Notfall-Expositionssituation

Diese ist eine Expositionssituation infolge eines Notfalls, für den spezielle Referenzwerte definiert werden.

6.3 Expositionskategorien

Berufliche Exposition

Exposition von Arbeitskräften, Auszubildenden und Studierenden während ihrer Arbeit

→ Siehe auch Art 4 Abs. 58 EU-Richtlinie [9].

Exposition der Bevölkerung

Exposition von Einzelpersonen, mit Ausnahme beruflicher oder medizinischer Expositionen.

→ Siehe auch Art 4 Abs. 69 EU-Richtlinie [9].

Medizinische Exposition

Exposition von Patienten oder asymptomatischen Personen als Teil ihrer eigenen medizinischen oder zahnmedizinischen Untersuchung oder Behandlung, die ihrer Gesundheit zugutekommen soll, sowie die Exposition von Betreuungs- und Begleitpersonen wie auch Probanden im Rahmen der medizinischen oder biomedizinischen Forschung. → Siehe auch Art 4 Abs. 48 EU-Richtlinie [9].

7 Geplante Expositionssituation

7.1 ICRP

Die in der ICRP 103 [6] empfohlenen Grenzwerte für plan- und steuerbare Tätigkeiten sind in der **Tabelle 7_1** zusammengefasst.

Tabelle 7_1: Von der ICRP empfohlene Dosisgrenzwerte

| Beschreibung | Beruflich exponierte Personen | Bevölkerung |
|------------------|---|------------------------|
| Effektive Dosis | 20 mSv/a, gemittelt über 5 Kalenderjahre, jedoch nicht mehr als 50 mSv/Kalenderjahr | 1 mSv/a |
| Embryo und Fötus | 1 mSv | |
| Hände und Füße | 500 mSv/a | |
| Augenlinse | 150 mSv/a | 15 mSv/a ¹⁾ |
| Haut | 500 mSv/a | 50 mSv/a ¹⁾ |

1) Organ-Äquivalentdosis

Die Grenzwerte der effektiven Dosis sind als Summe der jeweiligen effektiven Dosen durch externe Exposition im angegebenen Zeitintervall und die effektive Folgedosis durch Aufnahme von Radionukliden in derselben Zeitspanne festgelegt. Für Erwachsene wird die effektive Folgedosis für einen Zeitraum von 50 Jahren nach der Aufnahme berechnet, für Kinder hingegen für die Zeitspanne bis zu einem Alter von 70 Jahren.

Der Grenzwert von 1 mSv gilt für den Unterleib beruflich strahlenexponierter Frauen ab Erklärung bis Ende einer Schwangerschaft. Die Aufnahme von Radionukliden sollte auf 1/20 der jährlich zulässigen Inkorporationswerte (ALI-Werte) begrenzt werden.

Aus besonderem Anlass kann ein höherer Wert als 1 mSv effektive Dosis der Bevölkerung pro Jahr in einem einzelnen Jahr erlaubt werden, mit der Maßgabe, dass 5 mSv, summiert über 5 Jahre, nicht überschritten werden.

Die ICRP empfiehlt neben den Dosisgrenzwerten, welche für die akkumulierte Gesamtdosis aus allen relevanten Tätigkeiten bzw. allen Strahlenquellen gelten, auch „dose constraints“, wörtlich übersetzt "Dosissschranken", für die Limitierung der Strahlenexposition durch eine einzige Quelle aufzustellen.

Diese „Dosissschranke“ als prospektive und quellenbezogene Beschränkung der individuellen Dosis aus einer Quelle stellt ein grundlegendes Niveau des Schutzes für die quellenbezogene Exposition einer Person dar und dient als Obergrenze des Dosiswertes bei der Optimierung des Schutzes gegenüber dieser Quelle. Für berufliche Strahlenexpositionen ist dieser Dosisrichtwert die individuelle Dosis, die verwendet wird, um den Bereich der Möglichkeiten zu beschränken, die im Optimierungsverfahren betrachtet werden. Für Expositionen der Bevölkerung ist der Dosisrichtwert eine Obergrenze für die jährliche Dosis, die Personen der Bevölkerung durch den geplanten Betrieb einer überwachten Quelle erhalten könnten.

Falls die Überlagerung der Dosen durch unterschiedliche Expositionspfade und für nachfolgende Jahre berücksichtigt wird, ist als Dosisrichtwert 0,3 mSv/a und Individuum angemessen. Wird die Überlagerung nicht beachtet, so wird ein Dosisrichtwert von 0,1 mSv/a empfohlen.

7.2 IAEA

In der **Tabelle 7_2** werden Grenzwerte der Jahresdosis für geplante Expositionsszenarien für a) Erwachsene ab 18 Jahren, für b) Auszubildende zwischen 16 und 18 Jahren und für c) die Bevölkerung angegeben.

Tabelle 7_2: Von der IAEA empfohlene Dosisgrenzwerte

| Beschreibung | a) Erwachsene ab 18 Jahren | b) Auszubildende | c) Bevölkerung |
|--|----------------------------|------------------|-----------------------|
| effektive Dosis, gemittelt über 5 Jahre | 20 mSv/a | 6 mSv/a | 1 mSv/a |
| effektive Dosis, maximal in einem Jahr | 50 mSv/a | - | 5 mSv/a ¹⁾ |
| Augenlinse, gemittelt über 5 Jahre | 20 mSv/a | 20 mSv/a | 15 mSv/a |
| Augenlinse, maximal in einem Jahr | 50 mSv/a | - | - |
| Extremitäten | 500 mSv/a | 150 mSv/a | - |
| Haut, gemittelt über 1 cm ² des am stärksten bestrahlten Bereichs | 500 mSv/a | 150 mSv/a | 50 mSv/a |

¹⁾ Aus besonderem Anlass kann die Strahlenexposition der Bevölkerung bis zu 5 mSv effektive Dosis in einem Einzeljahr betragen unter der Voraussetzung, dass die durchschnittliche Dosis gemittelt über 5 aufeinanderfolgende Jahre 1 mSv pro Jahr nicht übersteigt.

Die Dosis von nicht-professionellen Betreuern und Besuchern von Patienten sollte 5 mSv bei Erwachsenen und 1 mSv bei Kindern nicht überschreiten.

7.3 EU-Recht

In der EU-Richtlinie [9] sind Dosisbegrenzungen bzw. Dosisgrenzwerte für verschiedene exponierte Personengruppen festgelegt, siehe **Tabelle 7_3**.

- a) Arbeitskräfte,
- b) Auszubildende und Studierende sowie
- c) Einzelpersonen der Bevölkerung und
- d) für Schwangere (den Fötus).

Tabelle 7_3: Grenzwerte nach der EU-Richtlinie

| Berufliche Exposition | Grenzwerte |
|---|---|
| Effektive Dosis (Artikel 9 (2) [9]) | 20 mSv/a oder max. 50 mSv in einem einzelnen Jahr, sofern die durchschnittliche Jahresdosis in fünf aufeinander folgenden Jahren – einschließlich der Jahre, in denen der Grenzwert überschritten wurde – 20 mSv nicht überschreitet. |
| Organ-Äquivalentdosis Augenlinse (Artikel 9 (3) a) [9]) | 20 mSv in einem einzelnen Jahr oder 100 mSv in einem Fünfjahreszeitraum, wobei der Dosiswert für ein einzelnes Jahr 50 mSv nicht überschreiten darf, entsprechend der Vorgabe in den nationalen Rechtsvorschriften |
| Organ-Äquivalentdosis Haut, gemittelt über jede beliebige Hautfläche von 1 cm ² , unabhängig von der exponierten Fläche (Artikel 9 (3) b) [9]) | 500 mSv/a |
| Organ-Äquivalentdosis für die Extremitäten pro Jahr | 500 mSv/a |
| Schutz von schwangeren oder stillenden Arbeitskräften | |
| Organ-Äquivalentdosis für das ungeborene Kind – Schutz vergleichbar zu Einzelpersonen der Bevölkerung (Artikel 10 (1) a), [9]) (ab Zeitpunkt der Mitteilung der Schwangerschaft durch die schwangere Frau und zumindest während der verbleibenden Zeit der Schwangerschaft) (Artikel 10 (1) [9]). Ab Zeitpunkt der Mitteilung, dass gestillt wird, darf die Stillende keine Tätigkeiten ausführen, bei denen ein beträchtliches Risiko der Inkorporation von Radionukliden oder einer Kontamination des Körpers besteht. (Artikel 10 (2) [9]) | So niedrig wie vernünftigerweise erreichbar ist und voraussichtlich zumindest während der verbleibenden Zeit der Schwangerschaft 1 mSv nicht überschreitet |
| für Auszubildende und Studierende zwischen 16-18 Jahren, die aufgrund ihrer Ausbildung oder ihres Studiums gezwungen sind, mit Strahlungsquellen zu arbeiten (bei entsprechender Indikation ist für Auszubildende und Studierende ab 18 Jahren den in Artikel 9 [9] für berufliche Expositionen festgelegten Dosisgrenzwerten zu entsprechen (s.o.)). | |
| Effektive Dosis (Artikel 11 (2) [9]) | 6 mSv/a |
| Organ-Äquivalentdosis Augenlinse (Artikel 11 (3) a) [9]) | 15 mSv/a |
| Organ-Äquivalentdosis Haut (mittlere Dosis an jeder beliebigen Hautfläche von 1 cm ² , unabhängig von der Größe der exponierten Fläche) (Artikel 11 (3) b) [9]) | 150 mSv/a |
| Organ-Äquivalentdosis für die Extremitäten pro Jahr (Artikel 11 (3) c) [9]) | 150 mSv/a |
| Exposition der Bevölkerung | |
| Effektive Dosis (Artikel 12 (2) [9]) | 1 mSv/a |
| Organ-Äquivalentdosis Augenlinse (Artikel 12 (3) a) [9]) | 15 mSv/a |
| Organ-Äquivalentdosis Haut (mittlere Dosis an jeder beliebigen Hautfläche von 1 cm ² , unabhängig von der exponierten Fläche) (Artikel 12 (3) b) [9]) | 50 mSv/a |

Kategorien A oder B strahlenexponierter Arbeitskräfte (Artikel 40 (1) [9])

Die Kategorisierung dient der medizinischen Vorsorge.

a) Kategorie A: strahlenexponierte Arbeitskräfte, bei denen davon auszugehen ist, dass sie eine höhere effektive Dosis als 6 mSv pro Jahr oder eine höhere Organ-Äquivalentdosis als 15 mSv pro Jahr für die Augenlinse oder als 150 mSv pro Jahr für Haut und Extremitäten erhalten können;

b) Kategorie B: strahlenexponierte Arbeitskräfte, die nicht der Kategorie A angehören.

Einzelpersonen der Bevölkerung grenzen sich durch folgende Definitionen ab:

- Arbeitskräfte sowie Auszubildende und Studierende während ihrer Arbeitszeit
- Privatpersonen, die im Zusammenhang mit der medizinischen Anwendung und Erforschung ionisierender Strahlung exponiert werden

Die Mitgliedstaaten der EU stellen sicher, dass die Dosisgrenzwerte für die Exposition der Bevölkerung für die Summe der jährlichen Expositionen einer Einzelperson der Bevölkerung durch alle zugelassenen Tätigkeiten gelten.

Die Mitgliedstaaten legen den Grenzwert der effektiven Dosis für die Exposition der Bevölkerung auf 1 mSv im Jahr fest.

7.4 Nationale Grenz- und Richtwerte - Deutschland

7.4.1 Tätigkeiten mit natürlich vorkommender Radioaktivität

Nach § 55 Abs. 1 StrlSchG gelten die strahlenschutzrechtlichen Vorgaben für bestimmte Tätigkeitsfelder („Katalogtätigkeiten“; Anlage 3 StrlSchG), bei denen eine effektive Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr oder mehr auftreten kann. Wenn nach einer Expositionsabschätzung festgestellt wird, dass die Körperdosis 1 mSv im Kalenderjahr überschreiten kann, so hat der zur Abschätzung Verpflichtete der zuständigen Behörde die Tätigkeit schriftlich anzuzeigen.

Auch die weiteren Regelungen übertragen vor allem dem Arbeitgeber („Verpflichteter“) Pflichten. Danach hat der Arbeitgeber nach Feststellung der Überschreitung des 1 mSv-Kriteriums Maßnahmen zur Verringerung der Exposition vorzunehmen. Wenn dies nicht gelingt, muss der Verpflichtete der Behörde die Tätigkeit anzeigen und Maßnahmen zur Strahlenschutzüberwachung der Beschäftigten einleiten. Für Radon gilt anstatt 1 mSv/a der Referenzwert von 300 Bq/m³ am Arbeitsplatz (300 Bq/m³ kann theoretisch zu einer höheren Dosis als 1 mSv/a führen).

Das 1 mSv-Kriterium gilt ausdrücklich für die Expositionen, die durch die Verwertung oder Beseitigung von Rückständen, also zusätzlich zur natürlichen Exposition auftreten. In der Anlage 6 StrlSchV werden die Grundsätze genannt, die bei der Ermittlung der Exposition zum Vergleich mit diesem Richtwert zu beachten sind. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass realistische Expositionspfade und Annahmen zu verwenden sind.

7.4.2 Tätigkeiten mit Rückständen; Materialien

Wenn bei Tätigkeiten mit Materialien i. S. § 5 Abs. 22 StrlSchG in potenziell relevanten Industriezweigen (Anlage 1 StrlSchG) Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung so erhöht werden können, dass sie unter Strahlenschutzgesichtspunkten nicht außer Acht gelassen werden, unterliegen sie der regulatorischen Kontrolle. Als Maßstab für die Beurteilung, ob Tätigkeiten radiologisch relevant sind, gilt zunächst das heranzuziehende grundsätzliche Kriterium der effektiven Dosis von Einzelpersonen der Bevölkerung im Bereich von 1 Millisievert im Kalenderjahr als Richtwert. Tätigkeiten, die das 1 mSv-Kriterium einhalten, können als radiologisch hinnehmbar angesehen werden und aus der regulatorischen Kontrolle entlassen werden.

Der Richtwert gilt ausdrücklich für die Expositionen, die durch die Verwertung oder Beseitigung von Rückständen, also zusätzlich zur natürlichen Strahlenexposition auftreten. In der Anlage 6 StrlSchV [12] werden die Grundsätze genannt, die bei der Ermittlung der Strahlenexposition zum Vergleich mit diesem Richtwert zu beachten sind. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass realistische Expositionspfade und Annahmen zu verwenden sind.

Wie bei der Begrenzung der Exposition an Arbeitsplätzen werden auch in diesem Fall dem Arbeitgeber wichtige Pflichten zum Schutz der Bevölkerung übertragen. Wenn pro Jahr mehr als 2 000 t der Rückstände, die in Anlage 1 StrlSchG ausdrücklich genannt worden sind, anfallen oder verwertet werden, so hat der dafür Verantwortliche die zuständige Behörde zu informieren und ein Konzept für die Verwertung oder Beseitigung dieser Rückstände zu entwickeln. Dabei kann er sich gemäß der **Tabelle 7_4** an folgenden aus der Anlage 5 StrlSchV zusammengestellten Verwertungs- und Beseitigungspfaden und den dafür geltenden Überwachungsgrenzen orientieren.

Tabelle 7_4: Überwachungsgrenzen für Rückstände (D)

| Verwertungs- und Beseitigungsbedingungen | Überwachungsgrenzen C in Bq/g |
|---|---|
| Verwertung oder Beseitigung von Rückständen (ohne besondere Bedingungen) | 1 ¹⁾ |
| Deponierung von > 5 000 t eines Rückstandes im Kalenderjahr im Einzugsbereich eines mittelbaren Grundwasserleiters | 0,5 ¹⁾ |
| Zusatz von > 50 % eines Rückstandes zu Baustoffen bei Verwertung in Straßen-, Wege-, Landschafts- oder Wasserbau | |
| Verwertung oder Deponierung untertage | 5 ¹⁾ |
| Wenn bei Deponierung oder Verwertung im Straßen-, Wege- oder Landschaftsbau, auch im Bereich von Sport- und Spielplätzen, im Einzugsbereich eines nutzbaren Grundwasserleiters eine Fläche von mehr als 1 Hektar mit Nebengestein belegt wird | $C_{U-238} \leq 0,2$ $C_{Th-232} \leq 0,2$ |

¹⁾ $C = C_{U-238} + C_{Th-232}$ mit jeweils den größten spezifischen Aktivitäten der Radionuklide der Nuklidketten U-238+ und Th-232+ in Bq/g, jeweils bezogen auf Trockenmasse
Ist C_{U-238} oder C_{Th-232} jeweils < 0,2 Bq/g, dann bleibt die jeweilige Zerfallsreihe unberücksichtigt.

7.5 Nationale Grenz- und Richtwerte - Österreich

7.5.1 Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (A)

Es wurden betroffene Tätigkeitsbereiche in der StrSchV Anlage 3 definiert, in denen eine Dosisabschätzung und die Ermittlung der Aktivitätskonzentration durchzuführen sind (**Tabelle 7_5**).

Tabelle 7_5: Maßnahmen entsprechend der abgeschätzten Dosis für Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (A)

| Dosis | Maßnahme |
|--|--|
| > 0,3 mSv pro Jahr | Erheblich erhöhte Exposition im Sinne des § 27 StrSchG2020, Behörde schreibt die Abschätzung und Ermittlung der Dosis mittels Bescheids vor. |
| < 1 mSv pro Jahr < 15 mSv pro Jahr Augenlinse < 50 mSv pro Jahr Haut | Keine der tätig werdenden Personen ist als strahlenexponierte Arbeitskraft einzustufen, neuerliche Dosisabschätzung alle 10 Jahre. |
| > 1 mSv pro Jahr > 15 mSv pro Jahr Augenlinse > 50 mSv pro Jahr Haut | Die tätig werdenden Personen sind als strahlenexponierte Arbeitskraft einzustufen, neuerliche Dosisabschätzung alle 5 Jahre. |

7.5.2 Exposition beim Fliegen, in der Raumfahrt und durch Radon

Tabelle 7_6: Maßnahmen entsprechend der abgeschätzten Dosis beim Fliegen, in der Raumfahrt und einer Exposition durch Radon am Arbeitsplatz (A)

| Exposition | Dosis | Maßnahme |
|--|---|--|
| erhöhte Radonexposition am Arbeitsplatz | > 6 mSv pro Jahr | Radonschutzbeauftragter ist beizuziehen laufende Ermittlung der effektiven Dosis durch eine ermächtigte Überwachungsstelle (siehe §131 Abs.1 Z3 StrSchG2020), Unterweisung der Arbeitskräfte Durchführung von Maßnahmen zur Verringerung der Exposition |
| berufliche Exposition durch kosmische Strahlung des fliegenden Personals | > 1 mSv pro Jahr | Dosismessung Information des fliegenden Personals Optimierung |
| | > 6 mSv pro Jahr | Bedingungen und Auflagen müssen mittels Bescheids vorgeschrieben werden, es gelten die Grenzwerte für beruflich exponierte Personen |
| Strahlenschutzmaßnahmen in der Raumfahrt | > 1 mSv pro Jahr | Dosismessung Information des Personals |
| | > 20 mSv pro Jahr in 5 Jahren oder > 50 mSv in einem Jahr | eine gesonderte Zulassung durch die Bundesministerin des BMK wird benötigt |

Diese Betätigungen gelten nicht als Tätigkeiten.

7.6 Nationale Grenz- und Richtwerte - Schweiz

Für die entsprechenden Vorschriften sei auf die folgenden Artikel der Strahlenschutzverordnung [23] hingewiesen: Strahlenquellen (Art. 86-88 und Art. 93-98), Ein-, Aus- und Durchfuhr (Art. 101-103), herrenloses radioaktives Material (Art. 104), Befreiung von der Bewilligungspflicht (Art. 105-107), Umgang mit radioaktiven Abfällen (Art. 108-110), Abgabe (Ableitung) an die Umwelt (Art. 111-116), Behandlung von radioaktiven Abfällen (Art. 117-118), Ablieferung radioaktive Abfälle (Art. 119-121). Für geplante Expositionssituationen gelten die ICRP-Empfehlungen gemäß **Tabelle 7_1**; siehe auch **Tabellen 7_4 und 7_7**.

7.7 Grenzwerte für die berufliche Exposition in Deutschland, die berufliche Strahlenexposition in Österreich und der Schweiz im bestimmungsgemäßen Betrieb kerntechnischer Anlagen und für den Umgang mit radioaktiven Stoffen

Die nationalen Dosisgrenzwerte sind einerseits abhängig von der jeweiligen Personengruppe (beruflich strahlenexponiertes Personal oder Einzelpersonen der Bevölkerung) und andererseits von der zugeordneten Expositionssituation. Diese Unterscheidung wurde in den folgenden Tabellen berücksichtigt. Grenzwerte für Expositionen aus besonderem Anlass wie z.B. Feuerwehreinsatz bei Personengefährdung und Hilfeleistung sind in den Gesetzeswerken gesondert ausgeführt.

Für **Deutschland, Österreich, Schweiz** gilt, dass die Beschäftigung von Personen unter 16 Jahren als beruflich exponierte Personen untersagt ist. Personen unter 18 Jahren dürfen mit keiner Arbeit beauftragt werden, die sie zu strahlenexponierten Arbeitskräften macht. Davon ausgenommen sind Personen zwischen 16 und 18 Jahren, deren Ausbildung oder Studium es erfordert, mit Strahlenquellen zu arbeiten.

Tabelle 7_7: Nationale Dosisgrenzwerte in Deutschland, Österreich und in der Schweiz für beruflich exponierte/ beruflich strahlenexponierte Personen im bestimmungsgemäßen Betrieb bzw. beim Umgang mit radioaktiven Stoffen

| StrlSchV Deutschland | AllgStrSchV2020 Österreich | StSV Schweiz | Dosis/Organ |
|---|--|--|--|
| 20 mSv/a im Einzelfall max. 50 mSv/a, wenn in 5 aufeinander- folgenden Jahren 100 mSv nicht überschritten werden | 20 mSv/a 50 mSv in einem einzelnen Kalenderjahr ist zulässig, sofern die durchschnittliche Jahresdosis in 5 aufeinanderfolgenden Kalenderjahren (einschließlich der Jahre, in denen der Grenzwert überschritten wurde) 20 mSv nicht überschreitet. | Kategorie A: 20 mSv/a Ausnahmsweise und mit Zustimmung der Aufsichtsbehörde max. 50 mSv/a, wenn die Summendosis der vergangenen 5 Jahre einschließlich des laufenden Jahres nicht mehr als 100 mSv beträgt. Kategorie B: 6 mSv/a | effektive Dosis |
| je 50 mSv/a | - | - | Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark |
| 20 mSv/a | 100 mSv in Fünfjahreszeitraum, wobei in einzelnen Kalenderjahr 50 mSv | 20 mSv/a oder 100 mSv in Fünfjahreszeitraum, wobei in einzelndem Kalenderjahr maximal 50 mSv | Augenlinse |
| Je 500 mSv/a | 500 mSv/a, wobei dieser Wert gemittelt über jede beliebige Hautfläche von 1 cm ² gilt, unabhängig von der exponierten Fläche | 500 mSv/a | Hände, Unterarme, Füße, Knöchel |
| 16-18-Jährige | | | |
| 1 mSv/a (6 mSv/a mit Zustimmung der Behörde) | 6 mSv/a | 6 mSv/a | effektive Dosis |
| 15 mSv/a | 15 mSv/a | Wie oben | Augenlinse |
| 50 mSv/a (150 mSv/a mit Zustimmung der Behörde) | 150 mSv/a | - | Haut |
| 50 mSv/a (150 mSv mit Zustimmung der Behörde) | 150 mSv/a | Wie oben | Extremitäten mit Haut |
| Frauen (gebärfähig bzw. schwanger) | | | |
| 2 mSv/Monat | Nicht definiert | | Gebärmutter gebärfähiger Frauen |
| 1 mSv für den Fötus ab Erklärung der Schwangerschaft (aus äußerer und innerer Exposition) | 1 mSv für den Fötus ab Erklärung der Schwangerschaft. Für eine schwangere Arbeitskraft sind die Arbeitsbedingungen so zu gestalten, dass dem ungeborenen Kind ein Schutz gewährt wird, der dem Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung vergleichbar ist. | 1 mSv für das ungeborene Kind, ab Kenntnis der Schwangerschaft und bis zu deren Ende | ungeborenes Kind |

Österreich: Gesondert zugelassene Expositionen

Unter außergewöhnlichen, von Fall zu Fall zu beurteilenden Umständen – mit Ausnahme von radiologischen Notfällen – kann die zuständige Behörde, wenn dies zur Durchführung spezifischer Arbeitsvorgänge notwendig ist, individuelle berufliche Expositionen bestimmter Arbeitskräfte zulassen, die die festgelegten Dosisgrenzwerte überschreiten, vorausgesetzt, diese Expositionen sind zeitlich begrenzt, auf bestimmte Arbeitsbereiche beschränkt und liegen innerhalb der von der zuständigen Behörde für diesen speziellen Fall festgelegten Expositionshöchstwerten. Dabei gelten folgende Bedingungen:

1. Solchen Expositionen dürfen nur strahlenexponierte Arbeitskräfte der Kategorie A ausgesetzt werden;
2. Schwangere oder möglicherweise schwangere Arbeitskräfte sind von solchen Expositionen ausgeschlossen;
3. Sofern eine Inkorporation von Radionukliden auftreten kann, die eine nicht außer Acht zu lassende Exposition für den Säugling bewirkt, sind stillende Arbeitskräfte von solchen Expositionen ausgeschlossen;
4. Die Bewilligungsinhaberin/der Bewilligungsinhaber bzw. die Genehmigungsinhaberin/der Genehmigungsinhaber hat solche Expositionen im Voraus eingehend mit den betroffenen Arbeitskräften, ihrer Personalvertretung, einer/einem ermächtigten Arzt, den Strahlenschutzbeauftragten und der zuständigen Behörde zu erörtern, insbesondere hinsichtlich ihrer Rechtfertigung;
5. Die betroffenen Arbeitskräfte sind im Voraus über die mit den Arbeitsvorgängen verbundenen Risiken und über die während dieser Vorgänge zu ergreifenden Vorsorgemaßnahmen zu unterrichten;
6. Die betroffenen Arbeitskräfte haben dem zugestimmt.

Tabelle 7_8: Nationale Dosisgrenzwerte in Deutschland, Österreich und der Schweiz für die Bevölkerung im bestimmungsgemäßen Betrieb bzw. beim Umgang mit radioaktiven Stoffen

| StrlSchV Deutschland | AllgStrSchV2020 Österreich | StSV Schweiz | Dosis / Organ |
|--|---|--|-----------------|
| 1 mSv/a Eingeschlossen Direktstrahlung und jeweils max. 0,3 mSv/a aus Ableitungen über Luft und Wasser | 1 mSv/a | 1 mSv/a *) Summe der Dosen aller relevanten künstlichen Strahlenquellen | effektive Dosis |
| 15 mSv/a | 15 mSv/a | 15 mSv/a | Augenlinse |
| 50 mSv/a | 50 mSv/a gemittelt über eine beliebige Hautfläche von 1 cm ² , unabhängig von der expo- nierten Fläche | 50 mSv/a | Haut |

*) **Schweiz:** Zusätzlich zu den personenbezogenen Dosisgrenzwerten für nichtberuflich exponierte Personen sind in der Schweiz folgende Ortsdosisgrenzwerte zu beachten: Die Ortsdosis darf gemäß Art. 79 Abs. 2 StSV [18] außerhalb von Kontroll- und Überwachungsbereichen, wo sich Personen der Bevölkerung aufhalten können, den Wert von 0,02 mSv/Woche nicht übersteigen; in Bereichen, wo sich Personen nicht dauernd aufhalten, kann dieser Wert bis zum fünffachen überschritten werden. Zusätzlich gilt für schweizerische Kernanlagen ein quellenbezogener Dosisrichtwert von 0,3 mSv/a; darin eingeschlossen sind alle Dosispfade mit insgesamt 0,2 mSv/a aus Ableitungen über Luft und Wasser und 0,1 mSv/a durch Direktstrahlung. Die Bewilligungsbehörde legt im Einzelfall für jede Abgabestelle Abgaberaten und gegebenenfalls Abgabeaktivitätskonzentrationen so fest, dass der genannte quellenbezogene Dosisrichtwert sowie die Immissionsgrenzwerte für Luft und Wasser gemäß Anhang 7 der StSV [23] nicht überschritten werden. Für die Modelle und Annahmen zur Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung von Kernanlagen sei auf die ENSI-Richtlinie G14 [30] verwiesen.

8 Bestehende Expositionssituationen

8.1 Natürliche Strahlenquellen - Radon-222 und seine Zerfallsprodukte

8.1.1 ICRP

Das radioaktive Edelgas Radon-222 entsteht durch den radioaktiven Zerfall von Radium-226, einem Nuklid aus der Zerfallsreihe von Uran-238. Das Schwermetall Uran ist in seiner natürlichen Form im Erdboden oder in Baumaterialien vorhanden. Entsprechend entsteht das Edelgas Radon-220 beim Zerfall des Radium-224, einem Nuklid aus der Zerfallsreihe von Thorium-232.

Radon-222 ist hinsichtlich des Gesundheitsrisikos bedeutender als Radon-220. Letzteres hat eine kurze Halbwertszeit von 56 s und entweicht damit im geringeren Maße von seinem „Entstehungsort“. Radon-222 mit seiner Halbwertszeit von 3,8 d kann im Boden mehrere Meter vom Entstehungsort entfernt diffundieren. Daher ist der Baugrund unter Gebäuden i. d. R. die Hauptquelle für Radon-222 in Innenräumen. Radon-219 hat eine noch kürzere Halbwertszeit (4 s). Seine Expositionsbeiträge sind daher meist gering und können in den meisten Fällen vernachlässigt werden (ICRP 137 [31]).

Radon-222 kann aus dem Erdboden in die freie Atmosphäre und in Gebäude gelangen. Im Freien vermischt es sich schnell mit der Umgebungsluft, so dass die Radon-222-Aktivitätskonzentration dort gering ist. In Innenräumen können jedoch erhöhte Radon-222-Aktivitätskonzentrationen entstehen. Dabei spielen vier Faktoren eine Rolle: Der Radium- bzw. Urangehalt des Bodens unter dem Haus, die Gaspermeabilität des Bauuntergrundes, die Dichtheit von Gebäudehülle und -Fundament und der Kamineffekt im Hausinnern. Trinkwasser oder Baustoffe als Radonquelle sind eher die Ausnahme. Wenn man Radon-222 und seine radioaktiven Folgeprodukte über einen längeren Zeitraum in erhöhtem Maße einatmet, steigt das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken. Die kurzlebigen Radonfolgeprodukte (z. B. Polonium-218, Bismuth-214 oder Blei-214) sind durch den radioaktiven Zerfall mit der Freisetzung von Alpha-Partikeln dafür hauptverantwortlich. Da das Risiko durch Strahlung multiplikativ mit anderen Risiken verknüpft ist, hat ein Raucher oder eine Raucherin ein deutlich höheres Risiko durch Radon als ein/eine derselben Radonkonzentration exponierte(r) Nichtraucher oder Nichtraucherin.

Die ICRP hat 1993 in ihrer Publikation ICRP 65 [32] Dosiskonversionskoeffizienten für Radon-222 und seiner Folgeprodukte aus den Ergebnissen von Studien über Lungenkrebssterblichkeit von Bergarbeitern aus dem Untertagebergbau (i. W. Uranerzbergbau) abgeleitet. Die ICRP hat ein „lebenslanges Überschreitungsrisiko (lifetime excess absolute risk; LEAR)“ für durch eine chronische Exposition von Radon am Arbeitsplatz hervorgerufene Lungenkrebserkrankung im Alter zwischen 18 und 64 Jahren von $2,8 \cdot 10^{-4}$ WLM (*Working Level Month*) sowohl für Männer als auch für Frauen ermittelt. Dieser Risikokoeffizient beschreibt den durch die Inhalation von Radon-222 und seiner Folgeprodukte verursachten „Schaden“ (*Detriment*) je Expositionseinheit. Die Exposition wird hier in der Einheit „WLM“ angegeben. Sie ist ein Maß für die durch das Einatmen von Radonfolgeprodukten auf das Lungengewebe übertragene Wirkung. 1 WLM entspricht einer Radonexposition von $6,37 \cdot 10^5$ Bq h/m³ bei einem säkularen Gleichgewicht der Radonfolgeprodukte mit Radon-222.

Die Dosiskonversion nach dem epidemiologischen Ansatz, wie sie in der ICRP-Publikation Nr. 65 [32] und zunächst auch in den späteren Berechnungen durchgeführt wurde, stellt die nominellen Schädigungen für eine Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter oder für eine Gesamtbevölkerung, die mit einer Einheit effektiver Dosis verbunden sind, der durch Radonexposition verursachten Schädigung gegenüber. Die ICRP-Publikation Nr. 65 ging von einer annähernd gleich großen Beeinträchtigung für Arbeitskräfte und für die Bevölkerung aus. Diese Dosiskonversion legt eine Annahme des gleichen LEAR für Kinder und Erwachsene zu Grunde. Die ICRP-Publikation Nr. 65 [32] legte im Ergebnis dieser Annahmen einen Dosiskonversionskoeffizienten von 5 mSv pro WLM ($6,37 \cdot 10^5$ Bq^h/m³) für berufliche Expositionen und 4 mSv pro WLM für häusliche Expositionen von Mitgliedern der Öffentlichkeit fest.

2010 aktualisierte die ICRP mit ihrer Publikation ICRP 115 [33] die Parameter zur Schätzung des mit der Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten verknüpften Lungenkrebsrisiko. Eine wesentliche Schlussfolgerung aus neueren Studien war, dass der „Detriment-angepasste“, nominelle Risikokoeffizient (*detriment-adjusted nominal riskcoefficient for lungcancer*) für die Radonexposition annähernd zwei Mal größer sei als in ICRP 65 [32] beschrieben.

Sowohl für Tätigkeiten in Bergwerken als auch der Aufenthalt in Wohnräumen wurde ein signifikanter kausaler Zusammenhang von Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Lungenkrebs festgestellt. Die ICRP ermittelte

schlussfolgernd einen „Detriment-angepassten“, nominellen Risikokoeffizienten für durch die Inhalation von Radon-222 und seinen Folgeprodukten verursachten Lungenkrebs als eine „gemischte“ Größe für Erwachsene mit Nichtrauchern und Rauchern mit $8 \cdot 10^{10} \text{ Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$.

Nach der epidemiologisch hergeleiteten Dosiskonversion ergibt sich bei einer Radon-222-Aktivitätskonzentration von $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ eine effektive Folgedosis für Personen der Bevölkerung beim Aufenthalt in Wohnräumen von rund 10 mSv im Jahr. Für diese Dosisschätzung werden ein Gleichgewichtsfaktor von $F = 0,4$ und Aufenthaltszeiten von 7 000 Stunden im Jahr angenommen [34]. Eine Meta-Studie von Sarah Darby und Mitautoren, die 13 Fall-Kontroll-Studien aus Europa zum Radon in Wohnbereich zusammenfasst, kommt zum Schluss, dass eine Radonkonzentration von $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ im Wohnbereich basierend auf einem multiplikativen Risikoprojektionsmodell die Lungenkrebssterblichkeit um 16 % erhöht [35].

8.1.2 UNSCEAR

UNSCEAR 2020 [36] begutachtete die international vorliegenden Studien über die Dosisermittlungen für Expositionen in Wohnungen, an Arbeitsplätzen in Innenräumen und in Bergwerken. UNSCEAR stellte fest, dass für Expositionen in Wohnungen die Spanne der bewerteten effektiven Dosen pro Expositionseinheit der äquivalenten Gleichgewichtskonzentration (EEC) von Radon-222 zwischen 7 und $34 \cdot \text{nSv} \cdot \text{pro} \cdot \text{Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ liegt (arithmetisches Mittel von $18 \cdot \text{nSv} \cdot \text{pro} \cdot \text{Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$; geometrisches Mittel von $16 \cdot \text{nSv} \cdot \text{pro} \cdot \text{Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$). Schlussfolgernd wurde festgestellt, dass die Werte, die bisher auf der Grundlage dosimetrischer Modelle für durchschnittliche Innenraumbedingungen geschätzt wurden, mit den Ergebnissen der neueren Studien übereinstimmen. Angesichts der Unsicherheiten, die sich aus dosimetrischen und epidemiologischen Studien ergeben, und der Tatsache, dass die Werte aus den aktuellen dosimetrischen und epidemiologischen Überprüfungen im Rahmen der zu betrachtenden Unsicherheiten übereinstimmen, empfiehlt UNSCEAR weiterhin einen Dosiskonversionskoeffizienten von $9 \cdot \text{nSv} \cdot \text{pro} \cdot \text{Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$. Siehe dazu auch einen Kommentar in der StrahlenschutzPraxis 3/2020 [37]. Nicht alle Länder verwenden denselben Konversionsfaktor, was zu Verwirrung führen kann.

8.1.3 EU-Recht

Die Festlegungen gemäß Titel VII Artikel 40 Absatz 1 der EU-Richtlinie 96/29/Euratom [10] gelten ausdrücklich nur „für Arbeiten, bei denen das Vorhandensein von natürlichen Strahlenquellen die Expositionen der Arbeitnehmer oder von Einzelpersonen der Bevölkerung so wesentlich erhöhen, dass dies aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden darf“.

Im Absatz 2 dieses Artikels 40 werden die Kriterien genannt, nach denen diese Arbeiten auszuwählen sind und diejenigen Arbeiten ausdrücklich genannt, bei denen generell mit erhöhten Strahlenexpositionen zu rechnen ist:

Arbeiten in Badeanlagen, Stollen, Bergwerken, unterirdischen Arbeitsstätten und der Betrieb von Flugzeugen, die zu erhöhten Strahlenexpositionen der Beschäftigten führen. Für Personen der Bevölkerung wird auf Rückstände aus Arbeiten verwiesen.

Für die Begrenzung der durch das Vorhandensein von Radon in Wohnungen resultierenden Strahlenexposition enthält diese Richtlinie keine Festlegungen.

In der 1990 veröffentlichten Empfehlung 143/90/Euratom [38] wird darauf verwiesen, dass die Radonexposition in Gebäuden technisch gesehen kontrollierbar ist. Für existierende Gebäude sind Gegenmaßnahmen (Sanierungsmaßnahmen) möglich und für neu zu errichtende Gebäude können präventive Maßnahmen vorgesehen werden. Für existierende Gebäude empfiehlt die Kommission als Referenzwert eine Radonkonzentration von $400 \cdot \text{Bq}/\text{m}^3$. Oberhalb dieses Wertes sollten Sanierungsmaßnahmen erwogen werden. Für neu zu errichtende Gebäude wird eine Radonkonzentration von $200 \cdot \text{Bq}/\text{m}^3$ als **‘Planungswert’** empfohlen. Bei der Planung eines Gebäudes sollte geprüft werden, ob zusätzliche Baumaßnahmen erforderlich sind, um die Einhaltung dieses Konzentrationswertes zu gewährleisten. Auf die EU-Empfehlung zur Begrenzung des Radongehalts in Trinkwasser wird im Abschnitt 10 eingegangen.

8.1.4 Deutschland

In § 126 StrlSchG [11] ist für die über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen in Innenräumen der **Referenzwert von $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$** festgelegt.

Nach § 5 Abs. 29 StrlSchG ist der Referenzwert „ein festgelegter Wert, der als Maßstab für die Prüfung der Angemessenheit von Maßnahmen dient. Ein Referenzwert ist kein Grenzwert.“

Der Referenzwert stellt nach dieser Legaldefinition einen Orientierungsmaßstab dar, an dessen Höhe sich bauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Radonsituation ausrichten sollen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass der Referenzwert unterschritten wird, wenngleich im Einzelfall auch Überschreitungen hingenommen werden können.

Nach § 127 Abs. 1 StrlSchG ist ab Januar 2021 in von den Bundesländern nach § 121 Abs. 1 StrlSchG ausgewiesenen Radonvorsorgegebieten die Radonkonzentration an Arbeitsplätzen im Erd- oder Kellergeschoss eines Gebäudes in der Luft zu messen, darüber hinaus auch an Arbeitsplätzen in einem Arbeitsfeld gemäß Anlage 8 StrlSchG.

Die Bundesländer hatten nach den strahlenschutzrechtlichen Vorgaben per Allgemeinverfügung Radonvorsorgegebiete festzulegen. In diesen Gebieten wird eingeschätzt, dass die Radonkonzentration in Innenräumen im Jahresmittel in einer beträchtlichen Anzahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen den gesetzlichen Referenzwert von 300 Bq/m³ überschreitet. Die **Abbildung 13_2** im Anhang beschreibt das nach dem StrlSchG vorgegebene Stufenkonzept für die Maßnahmen zum Radonschutz am Arbeitsplatz [39].

8.1.5 Österreich

In Österreich erfolgt die Zuordnung zu Radonschutzgebieten und Radonvorsorgegebieten.

- Radonschutzgebiete sind Gebiete, in denen Radonschutzmaßnahmen an Arbeitsplätzen zu treffen sind.
- Radonvorsorgegebiete sind Gebiete, in denen Radonvorsorgemaßnahmen in neu errichteten Gebäuden mit Aufenthaltsräumen zu treffen sind.

Tabelle 8_1: Radon-Referenzwerte in Österreich

| | Jahresmittel |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Aufenthaltsräume von Wohngebäuden | 300 Bq/m ³ |
| Arbeitsplätze | 300 Bq/m ³ |

Schutz vor Radon am Arbeitsplatz ist in Österreich im StrlSchG2020 [16] und der Radonverordnung (RnV) [17] geregelt. Die betroffenen Arbeitsplätze sind in § 98 StrSchG2020 gelistet - dies betrifft Wasserversorgungsanlagen, untertägige Arbeitsbereiche, Schaubergwerke und -höhlen, Radon-Kuranstalten und Kureinrichtungen und Arbeitsplätze im Erdgeschoss oder Kellergeschoss in ausgewiesenen Radonschutzgebieten (RnV, Anlage 1). An diesen Arbeitsplätzen ist die Ermittlung der Radonkonzentration durch eine ermächtigte Überwachungsstelle verpflichtend. Bei Überschreitung des Referenzwerts von 300 Bq/m³ müssen Maßnahmen zur Verringerung der Radonkonzentration mit dem Ziel der Einhaltung des Referenzwertes durchgeführt und durch eine Kontrollmessung die Wirksamkeit der Maßnahmen überprüft werden. Falls der Referenzwert weiterhin überschritten wird, muss eine Dosisabschätzung durch eine ermächtigte Überwachungsstelle durchgeführt werden.

Maßnahmen am Arbeitsplatz

≤ 6 mSv pro Jahr: Meldung an die Behörde, Information der Arbeitskräfte über Exposition, Ergebnisse der Radonkonzentration und Dosis- Radonschutzmaßnahmen, Verhaltensregeln, Aufbewahrung der Nachweise der Information mind. 7 Jahre, Wiederholung der Dosisabschätzung alle 5 Jahre.

> 6 mSv pro Jahr: Meldung an die Behörde

Ab dieser Dosis wird die Exposition durch Radon am Arbeitsplatz zu einer geplanten Expositionssituation und es gelten die Grenzwerte der effektiven Dosis für die berufliche Exposition (**Tabelle 7_7**).

8.1.6 Schweiz

Für Radongaskonzentrationen im Arbeitsbereich gilt ein über die jährliche Arbeitszeit von 2 000 Stunden gemittelter Schwellenwert von $1\,000\text{ Bq/m}^3$. Für den Wohnbereich gilt ein über das Jahr (Annahme von 7 000 Stunden) gemittelter **Referenzwert von 300 Bq/m^3** , s. Art. 155.2 und 156.2 StSV [23].

Wird am Arbeitsplatz der Radon-Schwellenwert von $1\,000\text{ Bq/m}^3$ überschritten (Art. 156 der StSV), so muss der Betrieb die jährliche durch Radon verursachte effektive Dosis der exponierten Person ermitteln und dies mindestens alle fünf Jahre überprüfen. Liegt die effektive Dosis einer Person am Arbeitsplatz über 10 mSv/a , so muss der Betrieb organisatorische oder technische Maßnahmen treffen, um die Dosis zu reduzieren. Liegt die effektive Dosis trotz Maßnahmen über 10 mSv/a , gelten die betroffenen Personen als beruflich strahlenexponiert.

Wird der Referenzwert von 300 Bq/m^3 in Räumen überschritten, in denen sich Personen regelmäßig während mehrerer Stunden aufhalten, so muss die Gebäudeeigentümerin die notwendigen Sanierungsmaßnahmen durchführen.

8.2 Natürliche Strahlenquellen außer Radon

8.2.1 Deutschland

Für bestehende Expositionssituationen (z.B.: Altlasten, Bauprodukte) gibt es in Deutschland keine Grenzwerte. Es gelten Referenzwerte von jeweils 1 mSv im Kalenderjahr und bei radioaktiven Altlasten für den Schutz von Arbeitskräften bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen auch die Grenzwerte für beruflich exponierte Personen von 20 mSv im Kalenderjahr.

In Deutschland wurde das StrlSchG thematisch u. a. um die Radioaktivität in Bauprodukten erweitert. Bei Bauprodukten handelt es sich nach der Legaldefinition im § 5 Abs. 6 StrSchG um „Baustoffe, Bausätze, Bauteile und Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft als Wand-, Boden- oder Deckenkonstruktionen, einschließlich deren Bekleidungen, von Aufenthaltsräumen in Gebäuden eingebaut zu werden.“ Kleinflächig und kleinvolumig verwendete Fertigprodukte, wie Flickmörtel und Verfugungen, sind keine Bauprodukte.

Es gilt ein Referenzwert von 1 mSv im Kalenderjahr für die effektive Dosis aus äußerer Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung in Aufenthaltsräumen durch Gammastrahlung aus Bauprodukten zusätzlich zur effektiven Dosis aus äußerer Exposition im Freien. In der Anlage 9 StrlSchG sind die strahlenschutzrechtlich zu beachtenden Bauprodukte mit radiologisch relevanten mineralischen Primärrohstoffen für die Herstellung von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen definiert:

- Saure magmatische Gesteine sowie daraus entstandene metamorphe und sedimentäre Gesteine, wie Granit, Syenit, Rhyolith, Trachyt, Granodiorit, Orthogneis, pyroklastischer Tuff und Bims
- Sedimentgestein mit hohem organischem Anteil, wie Öl-, Kupfer- und Alaunschiefer
- Travertin

Vor dem Inverkehrbringen von Bauprodukten sind gemäß § 134 Abs. 1 StrlSchG die spezifische Aktivität der Radionuklide Radium-226, Thorium-232 oder seines Zerfallsprodukts Radium-228 und Kalium-40 zu bestimmen.

Bauprodukte, die diese Primärrohstoffe oder ggf. Rückstände aus industriellen bzw. bergbaulichen Prozessen gemäß Anlage 1 StrlSchG enthalten, dürfen nur dann uneingeschränkt in Verkehr gebracht werden, wenn nachgewiesen ist, dass die voraussichtliche Exposition durch von dem Bauprodukt ausgehende Strahlung den Referenzwert nicht überschreitet.

Der Referenzwert gilt als eingehalten, wenn der gemäß § 159 in Verbindung mit Anlage 17 StrlSchV berechnete Aktivitätsindex I den Wert von 1 nicht überschreitet.

8.2.2 Österreich

Im Bereich der bestehenden Expositionssituationen wird der Referenzwert für die Exposition durch Gammastrahlung aus Bauprodukten in der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung definiert. Der Referenzwert für die externe Exposition in Aufenthaltsräumen durch Gammastrahlung aus Bauprodukten beträgt 1 mSv effektive Dosis pro Jahr.

Für bestehende Expositionssituationen (z.B.: Altlasten, Bauprodukte) gibt es keine Freigabewerte, es gilt lediglich der Dosisgrenzwert.

Der Nachweis der Einhaltung des Referenzwertes hat durch Stellen zu erfolgen, die über eine einschlägige Akkreditierung als Konformitätsbewertungsstelle im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 765/2008 [40] verfügen.

8.2.3 Schweiz

Für natürlich vorkommende radioaktive Materialien siehe Art. 168-170 der StSV [23]. Dies betrifft Gundwasserfilteranlagen, Erdgasproduktion, Gewinnung geothermischer Energie, Zirkon- und Zirkonium-Industrie, Zementherstellung und Instandhaltung von Klinkeröfen, Verwendung von Zirkon-haltigem Material, Tunnelbau in Gesteinsformationen mit erhöhtem Uran- oder Thorium-Gehalt. Als NORM-Befreiungsgrenzen gelten gemäß StSV [23] 1 000 Bq/kg für natürliche Radionuklide der U-238- und der Th-232-Reihe sowie 10 000 Bq/kg für K-40. Die betroffenen Betriebe müssen ermitteln, ob die NORM-Befreiungsgrenzen überschritten werden, das Personal beruflich strahlenexponiert ist und der Umgang mit NORM für Personen der Bevölkerung zu einer nicht zu vernachlässigenden Dosis führen kann. Für Baumaterialien ist der Aktivitätskonzentrationsindex I zu überprüfen. Dieser sollte den Wert von 1 nicht überschreiten. Dabei ist: $I = C_{Ra-226}/300 \text{ Bq/kg} + C_{Th232}/200 \text{ Bq/kg} + C_{K-40}/3\,000 \text{ Bq/kg}$.

Bei beruflich strahlenexponiertem Flugpersonal muss die Strahlenexposition bei der Erstellung von Arbeitsplänen optimiert werden. Flugpersonal ist beim Eintritt in den Flugdienst durch den Betriebsinhaber über die bei der Berufsausübung auftretenden Strahlenexpositionen zu informieren. Schwangere Frauen können gemäß Art.53 der StSV [23] verlangen, dass sie vom Flugdienst befreit werden.

Andere natürliche Radioaktivität muss berücksichtigt werden, wenn dadurch eine zusätzliche effektive Dosis von mehr als 100 µSv pro Jahr verursacht werden kann.

8.3 Radioaktive Altlasten

8.3.1 Deutschland

Entsprechend § 136 Abs. 1 StrlSchG sind radioaktive Altlasten durch abgeschlossene menschliche Betätigung kontaminierte Grundstücke, Teile von Grundstücken, Gebäude oder Gewässer, wenn von der Kontamination eine Exposition verursacht wird oder werden kann, durch die für Einzelpersonen der Bevölkerung der Referenzwert der effektiven Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr überschritten wird. Bei dem Referenzwert handelt es sich nach § 5 Abs. 29 StrlSchG um einen festgelegten Wert in bestehenden Expositionssituationen, der als Maßstab für die Prüfung der Angemessenheit von Maßnahmen dient. **Der Referenzwert ist nicht als Grenzwert zu verstehen.**

In § 161 Abs. 1 StrlSchV wird für „anthropogen überprägte natürliche Radionuklide“ der U-238- und der Th-232-Zerfallsreihen ein allgemeiner Prüfwert von 0,2 Bq/g (bezogen auf Trockenmasse) festgelegt, bei dem davon ausgegangen werden kann, dass keine radioaktive Altlast vorliegt (siehe auch § 161 Abs. 3 StrlSchV). Bei nicht-bergbaulichen Altlasten gilt gemäß § 161 Abs. 2 StrlSchV ein Prüfwert von 1 Bq/g (bezogen auf Trockenmasse), wenn

1. die Nutzung oder Kontamination des Grundwassers,
2. eine dauerhafte Nutzung der Altlastenfläche für Wohnzwecke oder andere mit einem dauerhaften Aufenthalt von Menschen verbundene Zwecke und
3. der Verzehr von auf der Altlastenfläche landwirtschaftlich oder gärtnerisch erzeugten Produkten

ausgeschlossen werden kann.

8.3.2 Österreich

Eine radioaktive Altlast ist eine aufgrund von abgeschlossenen menschlichen Betätigungen bestehende Kontamination von Liegenschaften, sofern durch die Kontamination der im Verordnungsweg festgelegte Referenzwert überschritten wird oder überschritten werden kann.

Der Referenzwert für die Exposition von Personen in einer bestehenden Expositionssituation beträgt aufgrund von radioaktiven Altlasten 1 mSv/a [19].

In Österreich schreibt das StrSchG2020 vor, dass ein Maßnahmenkatalog als Grundlage für die Festlegung von Schutz- und Sanierungsmaßnahmen für Expositionssituationen, bedingt durch radioaktive Altlasten, auszuarbeiten ist. Er kann bei Bedarf aktualisiert werden. Der Inhalt des Maßnahmenkatalogs ist in Anlage 7 der Interventionsverordnung [20] vorgegeben.

8.3.3 Schweiz

Radiologische Altlasten sind Gegenstände oder kontaminierte Liegenschaften, die Radionuklide aus vergangenen Tätigkeiten enthalten. Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) sorgt für die Entsorgung radiologischer Altlasten in Form von Gegenständen. Hierzu gelten Art. 108-121 der StSV [23]. Solche Gegenstände können weiterverwertet werden, wenn dafür eine Bewilligung vorliegt. (Art. 150 bis 154 der StSV [23]). Bei Liegenschaften erfolgt durch das BAG eine Untersuchung, ob die effektive Dosis von Personen, die sich in der Liegenschaft aufhalten können, über dem Referenzwert von 1 mSv/a liegen. Liegt die effektive Dosis über dem Referenzwert, wird die Liegenschaft als sanierungsbedürftig erklärt und die Eigentümerin oder der Eigentümer informiert.

9 Notfall-Expositionssituationen

9.1 ICRP

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) veröffentlichte ihr Notfallschutzkonzept 1993 unter dem Titel "Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency, ICRP 63 [41]. Fundament des Konzepts sind die Prinzipien der Rechtfertigung und der Optimierung von Maßnahmen. Da bei der Rechtfertigung und vor allem bei der Optimierung die Gegebenheiten des Einzelfalls zu berücksichtigen sind, gibt die ICRP nur maßnahmenspezifische Eingreifrichtwerte an, bei deren Erreichen die jeweilige Maßnahme nahezu stets gerechtfertigt ist, sowie Bereiche, in denen die optimierten Eingreifrichtwerte voraussichtlich liegen werden.

Die ICRP empfiehlt dringend, im Rahmen der Notfallschutzplanung für die einzelnen Schutzmaßnahmen ein Spektrum von Eingreifrichtwerten festzulegen, das verschiedenen Umständen eines Unfalls entspricht.

Tabelle 9_1: Empfohlene Eingreifrichtwerte der ICRP

| Maßnahme/ Art der Intervention | Eingreifrichtwert der abwendbaren Dosis | |
|--|---|---|
| | Nahezu stets gerechtfertigt bei | Bereich der optimierten Werte |
| Verbleiben in Gebäuden | 50 mSv effektive Dosis | Nicht mehr als ein Faktor 10 kleiner als der gerechtfertigte Wert |
| Verabreichung von stabilem Iod | 500 mSv Schilddrüsenäquivalentdosis | Nicht mehr als ein Faktor 10 kleiner als der gerechtfertigte Wert |
| Evakuierung (Dauer < 1 Woche) | 500 mSv Ganzkörperdosis (in 1 d) 500 mSv effektive Dosis 5 000 mSv Hautäquivalentdosis | Nicht mehr als ein Faktor 10 kleiner als der gerechtfertigte Wert |
| Umsiedlung | 1 000 mSv effektive Dosis | 5 bis 15 mSv pro Monat für andauernde Exposition |
| Beschränkung bei einzelnen Nahrungsmitteln | 10 mSv (in 1 Jahr) | 1 000 bis 10 000 Bq/kg (Beta-/Gammastrahler) 10°bis 100°Bq/kg (Alphastrahler) |

Die Größe der Eingreifrichtwerte bei ICRP in der **Tabelle°9_1** ist - falls nicht anders vermerkt - die (mindestens) abgewendete Dosis. Die Integrationszeit der Dosis ist damit nicht ein fester Zeitraum, sondern die (mögliche) Dauer der Maßnahme. Der Begriff der Evakuierung beinhaltet nicht nur eine Aussage über Art und Schnelligkeit der Durchführung, sondern auch über die Dauer der Abwesenheit vom Wohnort (< 7d). Der Richtwert von 10 mSv vermeidbarer effektiver Dosis für Eingriffe in die Versorgung mit Lebensmitteln gilt für jedes einzelne Lebensmittel.

9.2 IAEA/WHO

Die International Basic Safety Standards No. 115 [42] enthalten allgemeine optimierte Eingreifrichtwerte. Sie können als Ausgangspunkt der Überlegungen benutzt werden, die im Ereignisfall zur Entscheidung über Eingreifwerte anzustellen sind. Trotz der Bezeichnung "Safety Standards" haben die Eingreifrichtwerte nur Empfehlungscharakter (**s.Tabelle°9_2**).

Die allgemeinen "action levels" aus der IAEA-No. 115 für Lebensmittel werden im Rahmen der abgeleiteten Richtwerte im Kap.10 dargestellt.

Die Haltung der WHO zur Iodblockade der Schilddrüse ist nicht eindeutig. In den 1999 erschienenen "Guidelines for Iodine Prophylaxis Following Nuclear Accidents" [43] wird einerseits am Eingreifrichtwert der mit WHO-Beteiligung erstellten IAEA-No. 115 von 100 mSv als allgemein gültigem Wert der vermeidbaren Dosis festgehalten, während andererseits für verschiedene Altersgruppen die folgenden Eingreifwerte empfohlen werden:

Tabelle 9_2: Empfohlene Maßnahme-bezogene Eingreifrichtwerte für Maßnahmen bei Katastrophenfällen nach IAEA- [42]

| Maßnahme | Vermeidbare Dosis | Integrationszeit/Anmerkung |
|-----------------------------|-------------------|--|
| Verbleiben in Gebäuden | 10 mSv | ≤ 2 d |
| Vorübergehende Evakuierung | 50 mSv | ≤ 7 d |
| Iodblockade der Schilddrüse | 100 mGy | Organ-Energiedosis (Schilddrüsendosis) |
| Vorübergehende Umsiedlung | 30 mSv | 30 d |
| Permanente Umsiedlung | 1 000 mSv | im Leben |

Tabelle 9_3: Eingreifrichtwerte für verschiedene Bevölkerungsgruppen zur Beachtung bei der Planung der Iodblockade der Schilddrüse

| Zu berücksichtigende Expositionspfade | Eingreifrichtwert | Bevölkerungsgruppe |
|---------------------------------------|--|---|
| Inhalation (und Ingestion*) | 10 mGy vermeidbare Organ-Energiedosis (Schilddrüse) | Neugeborene, Kleinkinder, Kinder, Jugendliche bis 18 Jahre, schwangere und stillende Frauen |
| Inhalation | 100 mGy vermeidbare Organ-Energiedosis (Schilddrüse) | Erwachsene unter 40 Jahren |
| Inhalation | 5 000 mGy Organ-Energiedosis (Schilddrüse) | Erwachsene über 40 Jahren |

*) Ingestion von Milch bei Kleinkindern, wenn Alternativen nicht verfügbar sind

Diese in der **Tabelle 9_3** aufgeführten „idealistischen Werte“ berücksichtigen „nicht die Gesichtspunkte der Praktikabilität bei Planungen für Unfälle, bei denen viele Radionuklide in unbekanntem Mengen auftreten können“.

9.3 SSK Empfehlung* gemäß EU-Richtlinie [9]

Tab. 9_4: Von der SSK vorgeschlagene abgeleitete Richtwerte für Schutzmaßnahmen für kurze Zeiträume

| Maßnahme | Richtwert der effektiven Dosis über 7d bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien | Messgröße | Abgeleiteter Richtwert |
|--|--|---|--|
| Aufforderung zum Aufenthalt in Gebäuden oder Abgrenzung eines radiologischen Gefahrenbereiches | 10 mSv | Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) | 100 µSv/h |
| | 10 mSv | Alpha-Kontamination Beta-Kontamination | 10 ⁶ Bq/m ² 10 ⁷ Bq/m ² |
| Evakuierung | 100 mSv | Gamma-ODL | 1 000 µSv/h |
| | 100 mSv | Alpha-Kontamination Beta-Kontamination | 10 ⁷ Bq/m ² 10 ⁸ Bq/m ² |

*) Verabschiedet in der 303. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 24./25. Oktober 2019 [44]

9.4 Deutschland

Im Auftrag des damaligen BMU wurde in Deutschland ein Katalog von Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition nach kerntechnischen Unfällen erarbeitet und im Jahr 1999 veröffentlicht [45]. Die darin behandelten Maßnahmen unterteilen sich in Katastrophenschutzmaßnahmen und in Maßnahmen der Strahlenschutzvorsorge. Schwerpunkt im Katalog sind die zuletzt genannten Maßnahmen. Zur Berechnung der abgeleiteten Richtwerte im Ernährungsbereich wurden die EU-Höchstwerte an Radioaktivität in Nahrungsmitteln herangezogen (siehe Kap. 10). Die EU-Höchstwerte für Futtermittel wurden dagegen im Maßnahmenkatalog nicht herangezogen, da diese die Einhaltung der Höchstwerte in Nahrungsmitteln nicht gewährleisten.

Die Maßnahmen sind situationsangepasst zu treffen

- vor und während des Durchzuges der radioaktiven Wolke sowie
- nach dem Durchzug der Wolke

Die wichtigsten abgeleiteten Eingreifrichtwerte, bei deren Erreichen Notfallschutzmaßnahmen einzuleiten sind, zeigen die nachfolgenden Tabellen 9_5, 9_6, 9_7, 9_8, 9_9, 9_10, 9_11

Tabelle 9_5: Deutsche Grenzwerte zur Auslegung von Kernkraftwerken gegen Störfälle

| Dosis im Störfall | Äquivalentdosis in der Umgebung der Anlage |
|-------------------|---|
| 50 mSv | effektive Dosis |
| je 50 mSv | Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark |
| je 150 mSv | Augenlinse, Schilddrüse |
| 300 mSv | Knochenoberfläche |
| je 500 mSv | Haut, Extremitäten (Hände, Unterarme, Füße, Knöchel) |
| je 150 mSv | Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, andere Organe und Gewebe. |

Tabelle 9_6: Deutsche Eingreifrichtwerte für Katastrophenschutzmaßnahmen beim Auftreten luftgetragener Aktivität

| Zeitintegrierte Luftkonzentration (Bq·h/m ³) Cs-137 | | Zeitintegrierte Luftkonzentration (Bq·h/m ³) Edelgase | Zeitintegrierte Luftkonzentration (Bq·h/m ³) I-131 | | Katastrophenschutzmaßnahmen |
|--|---------------------|--|---|---------------------|---|
| Trocken | 5 mm/h Regen | | trocken | 5 mm/h Regen | |
| | | | 7,0·10 ⁴ | | Einnahme von Iodtabletten (Kinder/Schwangere) |
| 7,9·10 ⁵ | 3,2·10 ⁴ | 2,8·10 ⁸ | 7,3·10 ⁵ | 6,1·10 ⁴ | Aufenthalt in Gebäuden |
| 9,2·10 ⁵ | | | 9,8·10 ⁵ | | Tragen von (provisorischem) Atemschutz |
| | | | 7,4·10 ⁵ | | Einnahme von Iodtabletten (Erwachsene) |
| 7,9·10 ⁶ | 3,3·10 ⁵ | 2,8·10 ⁹ | 7,3·10 ⁶ | 6,3·10 ⁵ | Evakuierung |

Tabelle 9_7: Deutsche Eingreifrichtwerte für Katastrophenschutzmaßnahmen bei Ablagerung radioaktiver Stoffe

| Bodenkontamination (Bq/m ²) | | Katastrophenschutzmaßnahmen |
|---|---------------------|-----------------------------|
| Cs-137 | I-131 | |
| 3,0·10 ⁷ | 6,0·10 ⁷ | Aufenthalt in Gebäuden |
| 3,0·10 ⁸ | 6,0·10 ⁸ | Evakuierung |

Tabelle 9_8: Deutsche Eingreifrichtwerte zur Einleitung von Vorsorgemaßnahmen bei Auftreten luftgetragener Aktivität

| Zeitintegrierte Luftkonzentration (Bq·h/m ³) Cs-137 | | Zeitintegrierte Luftkonzentration (Bq·h/m ³) I-131 | | Strahlenschutzvorsorgemaßnahmen |
|--|---------------------|---|---------------------|---|
| trocken | 5 mm/h Regen | trocken | 5 mm/h Regen | |
| 5,2·10 ² | | 1,2·10 ⁴ | | Schutzmaßnahmen bei Gebäudefilterwechsel |
| 4,3·10 ³ | | 1,0·10 ⁵ | | Filterwechsel von LKW-Luftfiltern |
| 4,5·10 ³ | | 1,0·10 ⁵ | | Schutzmaßnahmen bei LKW-Luftfilterwechsel |
| 7,5·10 ⁵ | 4,5·10 ³ | 4,5·10 ⁶ | 1,0·10 ⁵ | Schutzmaßnahmen bei der Lagerung kontaminierter Kleidung |
| 4,1·10 ⁶ | 2,4·10 ⁴ | 1,6·10 ⁶ | 3,6·10 ⁴ | Aufenthalt im Freien vermeiden Nach Aufenthalt im Freien Kleidung wechseln |

Tabelle 9_9: Deutsche Eingreifrichtwerte zur Einleitung von Vorsorgemaßnahmen im Bereich der Landwirtschaft beim Auftreten luftgetragener Aktivität

| Zeitintegrierte Luftkonzentration (Bq·h/m ³), trocken | | Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft und Ernährung |
|--|---------------------|--|
| Cs-137 | I-131 | |
| 3,5·10 ² | 1,7·10 ² | Unverzögliche Ernte von vermarktungsfähigen Produkten Abdecken von Pflanzen mit Folien Verschließen von Gewächshäusern und Frühbeeten Verschluss von Stallungen Aufstallung von Tieren Unterbindung des Zulaufs von Zisternen |

Tabelle 9_10: Deutsche Eingreifrichtwerte zur Einleitung von Vorsorgemaßnahmen bei Ablagerung radioaktiver Stoffe

| Bodenkontamination (Bq/m ²) | | | Maßnahmen |
|--|---------------------|---------------------|--|
| Cs- 137 | I- 131 | Sr- 90 | |
| 6,5·10 ² | 7,0·10 ² | | Unverzögliche Ernte von vermarktungsfähigen Produkten Abdecken von Pflanzen mit Folien Verschließen von Gewächshäusern und Frühbeeten Verschluss von Stallungen Aufstallung von Tieren |
| 7,0·10 ⁶ | | 5,0·10 ⁵ | Unterbindung des Zulaufs von Zisternen Anbau von Nicht-Nahrungspflanzen Änderung der Fruchtfolge Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen |

Tabelle 9_11: Deutsche Eingreifrichtwerte für die Maßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden, Einnahme von Iodtabletten, Evakuierung, langfristige Umsiedlung und temporäre Umsiedlung“

| Organdosis (Schilddrüse) | Eingreifrichtwerte | | Maßnahme |
|--|--------------------|--|---------------------------|
| | effektive Dosis | Integrationszeiten und Expositionspfade | |
| | 10 mSv | äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide | Aufenthalt in Gebäuden |
| 50 mSv für Kinder bis zu 12 Jahren sowie für Schwangere; 250 mSv für Personen von 13 bis 45 Jahren | | im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod einschließlich der effektiven Folgedosis | Einnahme von Iodtabletten |
| | 100 mSv | äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide | Evakuierung |
| | 100 mSv | äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide | langfristige Umsiedlung |
| | 30 mSv | äußere Exposition in 1 Monat | temporäre Umsiedlung |

Nach dem Durchzug einer radioaktiven Wolke wird die Vermarktung im landwirtschaftlichen Bereich entsprechend den dargestellten EU-Höchstwerten geregelt (siehe Kap.10). Damit diese Höchstwerte nicht erreicht werden, sind zahlreiche Vorsorgemaßnahmen möglich gemäß ICRP63 [41].

9.5 Österreich

Der Referenzwert für die Exposition der Bevölkerung in Notfallexpositionssituationen beträgt 100 mSv effektive Dosis pro Jahr. Zum Schutz vor Expositionen oberhalb des Referenzwerts ist den Maßnahmen zur Optimierung des Schutzes Vorrang einzuräumen und die Optimierung auch unterhalb des Referenzwerts fortzusetzen. Allgemeine Kriterien für Schutzmaßnahmen sind in **Tabelle 9_12** dargestellt [20], [21].

Tabelle 9_12: Allgemeine Kriterien für Schutzmaßnahmen in Österreich

| Schutzmaßnahme | Bevölkerungsgruppe | Allgem. Kriterium | Art der Dosis | Expositions-pfade | Integrationszeit jeweiliger Expositionspfad | Integrationszeit Folgedosis |
|------------------------------------|---|-------------------|-----------------------------|-------------------|---|-----------------------------|
| Aufenthalt in Gebäuden | Personen unter 18 Jahren und Schwangere | 1 mSv | Effektive Erwartungsdosis | Wolkenstrahlung | max. 2 Tage | 70 Jahre |
| | | | | Bodenstrahlung | 2 Tage | |
| | | | | Inhalation | max. 2 Tage | |
| | Erwachsene | 10 mSv | Effektive Erwartungsdosis | Wolkenstrahlung | max. 2 Tage | 50 Jahre |
| | | | | Bodenstrahlung | 2 Tage | |
| | | | | Inhalation | max. 2 Tage | |
| Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten | Personen unter 18 Jahren und Schwangere | 10 mSv | Erwartete Schilddrüsendosis | Inhalation | max. 2 Tage | 70 Jahre |
| Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten | Erwachsene unter 40 Jahren | 100 mSv | Erwartete Schilddrüsendosis | Inhalation | max. 2 Tage | 50 Jahre |
| Evakuierung | Alle Bevölkerungsgruppen | 50 mSv | Vermeidbare Dosis | Wolkenstrahlung | max. 2 Tage | 50 Jahre |
| | | | | Bodenstrahlung | 2 Tage | |
| | | | | Inhalation | max. 2 Tage | |
| Temporäre Umsiedlung | Alle Bevölkerungsgruppen | 30 mSv | Effektive Erwartungsdosis | Bodenstrahlung | 1 Monat (30 Tage) | |
| Permanente Umsiedlung | Alle Bevölkerungsgruppen | 100 mSv | Effektive Erwartungsdosis | Bodenstrahlung | 1 Jahr | |

Bei den Maßnahmen „temporäre Umsiedlung“ und „permanente Umsiedlung“ sind bei der Abschätzung der Erwartungsdosis realistische Aufenthaltszeiten im Freien und die Wirkung von Schutz- und Sanierungsmaßnahmen mit zu berücksichtigen.

Zusätzlich zu den allgemeinen Kriterien sind vom BMK operationelle Kriterien (**Tabelle 9_13**) wie Messgrößen und Indikatoren der Bedingungen vor Ort festzulegen. Diese sind bei der Entscheidung über Schutzmaßnahmen heranzuziehen, falls die allgemeinen Kriterien für Schutzmaßnahmen nicht anwendbar sind.

Tabelle 9_13: Operationelle Kriterien für Schutzmaßnahmen in Österreich

| Schutzmaßnahme | Bevölkerungsgruppe | Ortsdosisleistung |
|------------------------------------|--|------------------------|
| Aufenthalt in Gebäuden | Personen unter 18 Jahren, Schwangere | 10 $\mu\text{Sv/h}$ |
| Aufenthalt in Gebäuden | Erwachsene | 100 $\mu\text{Sv/h}$ |
| Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten | Personen unter 18 Jahren, Schwangere | 10 $\mu\text{Sv/h}$ |
| Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten | Erwachsene unter 40 Jahren und Stillende | 100 $\mu\text{Sv/h}$ |
| Evakuierung | Alle Bevölkerungsgruppen | 1 000 $\mu\text{Sv/h}$ |

9.6 Schweiz

Der Bewilligungsinhaber oder die Bewilligungsinhaberin muss geeignete Maßnahmen zur Vermeidung von Störfällen treffen. Die Anlage muss so ausgelegt sein, dass die in der folgenden **Tabelle 9_14** aufgeführten Dosen zur jeweils höchsten der genannten Eintrittswahrscheinlichkeit vorkommen. Die Bewilligungsbehörde kann entsprechende Sicherheitsberichte verlangen. In Notfall-Expositionssituationen gilt für Personen der Bevölkerung ein Referenzwert von 100°mSv im ersten Jahr. Der hier zuständige Bundesstab kann bei dem Bundesrat (Regierung) situationspezifisch einen tieferen Referenzwert beantragen. Für verpflichtete Personen gilt ein einsatzbedingter Referenzwert von 50°mSv°pro°Jahr; zur Rettung von Menschenleben, zur Vermeidung schwerer Gesundheitsschäden durch Strahlung oder um Katastrophen abzuwenden, gilt ein Referenzwert von 250°mSv°pro°Jahr. Für Maßnahmen gelten Dosischwellen gemäss **Tabelle 9_15**.

Tabelle 9_14: Anforderungen an die Auslegung von Schweizer Betrieben und Anlagen bezüglich der radiologischen Auswirkungen bei einem Störfall [23]

| Dosis durch Störfall nach Art. 123 StSV | Eintrittswahrscheinlichkeit des Störfalls | Bemerkungen |
|---|---|---|
| Quellenbezogener Dosisrichtwert gemäß Bewilligung minus Dosis aus betrieblichen Abgaben | mehr als 10^{-1} pro Jahr | Die betrieblichen Dosisrichtwerte müssen auch mit Störfall eingehalten werden. |
| Quellenbezogener Dosisrichtwert gemäß Bewilligung | zwischen 10^{-1} und 10^{-2} pro Jahr | Der Störfall darf höchstens zusätzlich dieselbe Dosis verursachen, die für die betrieblichen Abgaben bewilligt ist. |
| 1 mSv | zwischen 10^{-2} und 10^{-4} pro Jahr | |
| 100 mSv | zwischen 10^{-4} und 10^{-6} pro Jahr | . |
| Die Aufsichtsbehörde verlangt vom Betrieb die erforderlichen vorsorglichen Massnahmen | kleiner als 10^{-2} pro Jahr | |

Tabelle 9_15: Dosisschwellen gemäß dem Schweizer Dosismaßnahmenkonzept für die Schutzmaßnahmen nach einem radiologischen Ereignis [46]

| Untere-Schutzmaßnahme | Dosis *) | Dosisschwelle | Integrationszeit |
|--|---------------------|---------------|------------------|
| Geschützter Aufenthalt (im Haus, Keller oder Schutzraum) | E | 10 mSv | 7 Tage |
| Vorsorgliche Evakuierung oder geschützter Aufenthalt | E | 100 mSv | 7 Tage |
| Einnahme von Jodtabletten | $H_{Sch, Inh, Jod}$ | 50 mSv | 7 Tage |

*) Effektive Dosis E aus externer Bestrahlung und Inhalation im Freien; $H_{Sch, Inh, Jod}$ gilt in allen Fällen für die Schilddrüsendosis, die durch Exposition oder Inkorporation innerhalb von 7 Tagen nach dem Ereignis ohne die in Betracht gezogenen Schutzmaßnahmen zu erwarten ist.

Für Schutzmaßnahmen, die nicht in obiger Tabelle aufgeführt sind, gilt allgemein eine Dosisschwelle von höchstens 100 mSv (effektive Dosis E). Für diejenigen Gebiete, in denen Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung ergriffen wurden, sowie für Gebiete in Abwindrichtung kann ein Ernte- und weideverbot angeordnet werden. Zuerst werden einschneidende Maßnahmen angeordnet, anschließend können die Maßnahmen je nach Lage wieder gelockert werden. Die übrigen Maßnahmen richten sich nach der Landwirtschafts- und Lebensmittelgesetzgebung.

Die Bevölkerung wird informiert, wenn die Dosis von 1 mSv überschritten wird. Die Information wird mit Verhaltensempfehlungen verbunden, insbesondere zum Schutz der vulnerablen Bevölkerungsgruppen.

10 Abgeleitete Grenz- und Richtwerte

10.1 Freigrenzen und Freigabewerte

10.1.1 Freigrenzen und Freigabewerte in Deutschland

In der Anlage 4 Tabelle 1 der StrlSchV [12] sind nuklidspezifisch die Freigrenzen der Aktivität (Spalte 2 in Bq) und der spezifischen Aktivität (Spalte 3 in Bq/g) aufgeführt. Dabei sind bei den durch ein angehängtes „+“ gekennzeichneten Nukliden die jeweiligen Tochternuklide berücksichtigt. Die berücksichtigten Tochternuklide sind in der Anlage 4 Tabelle 2 StrlSchV [12] aufgeführt. Die Freigrenzen für die spezifische Aktivität sind gleichzeitig die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe von festen und flüssigen Stoffen. Wenn eine feste Oberfläche vorhanden ist, an der eine Messung der Kontamination möglich ist, müssen zusätzlich die Werte der Oberflächenkontamination (Spalte 5 in Bq/cm²) eingehalten werden. Für die spezifische Freigabe sind die Freigabewerte für folgende Freigabeoptionen angegeben:

- Bauschutt von mehr als 1 000 Mg/a (Spalte 6 in Bq/g)
- Bodenflächen (Spalte 7 in Bq/g)
- feste Stoffe bis zu 100 Mg/a zur Beseitigung auf Deponien (Spalte 8 in Bq/g)
- feste Stoffe bis zu 100 Mg/a zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen (Spalte 9 in Bq/g)
- feste Stoffe bis zu 1 000 Mg/a zur Beseitigung auf Deponien (Spalte 10 in Bq/g)
- feste Stoffe bis zu 1 000 Mg/a zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen (Spalte 11 in Bq/g)
- Gebäude zur Wieder- und Weiterverwendung (Spalte 12 in Bq/cm²)
- Gebäude zum Abriss (Spalte 13 in Bq/cm²)
- Metallschrott zur Rezyklierung (Spalte 14 in Bq/g)

Bei Nuklidgemischen sind alle Nuklide über die Summenformel zu berücksichtigen mit Ausnahme von Nukliden, deren Anteil geringer ist als 10 % der Summenformel.

10.1.2 Freigrenzen und Freigabewerte in Österreich

Die Freigrenzen und Freigabewerte sind in Anlage 1 der AllgStrSchV2020 Abschnitt D Tabelle 1 definiert [19]:

- Freigrenzen für die Gesamtaktivität in Bq
- Freigrenzen für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen ≤ 1 000 Kilogramm pro Jahr in Bq/g
- Freigrenzen für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen > 1 000 Kilogramm pro Jahr und Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe in Bq/g
- Freigabewerte für die Oberflächenkontamination für die uneingeschränkte Freigabe in Bq/cm²
- Freigabewerte für die eingeschränkte Freigabe zur Beseitigung auf Deponien oder Verbrennung in Bq/g
- Freigrenze für die Aktivitätskonzentration sowie Freigabewert für die uneingeschränkte Freigabe in Bq/g
- Freigabewert für die eingeschränkte Freigabe zur Beseitigung auf Deponien oder Verbrennung in Bq/g

Zusätzlich sind die Freigrenzen und Freigabewerte für natürlicherweise vorkommende Radionuklide aus Tätigkeitsbereichen gemäß § 11 bzw. aus Tätigkeiten gemäß § 27 StrSchG2020 in Tabelle 3 desselben Abschnitts definiert. **Tabelle 10_1** zeigt Freigrenzen und Freigabewerte für natürlich vorkommende Radionuklide

Tabelle 10_1: Freigrenzen und Freigabewerte für natürlich vorkommende Radionuklide (A)

| | Freigrenze für die Aktivitätskonzentration sowie Freigabewert für die uneingeschränkte Freigabe in Bq/g | Freigabewert für die eingeschränkte Freigabe zur Beseitigung auf Deponien oder Verbrennung in Bq/g |
|-------------------------------|---|--|
| Radionuklide der U-238-Reihe | 1 | 10 |
| Radionuklide der Th-232-Reihe | 1 | 10 |
| Pb-210 und Po-210 | -- | 50 |
| K-40 | 10 | -- |

10.1.3 Befreiungsgrenzen (LL) und Bewilligungsgrenzen (LA) in der Schweiz

Anhang 3 der StSV [23] legt die Befreiungsgrenzen LL [Bq/g] für die einzelnen Radionuklide fest, ebenso die Bewilligungsgrenzen LA [Bq], die Richtwerte CA [Bq/m³] für die Luft und für die Oberflächenkontamination CS [Bq/cm²]. Dabei gilt für die Inhalation CA [Bq/m³] = 0,02 Sv / e_{ing} x 2400 [m³/Jahr]. Als Basis für die CS-Richtwerte für die Oberflächenkontamination werden die folgenden Szenarien betrachtet:

- a) eine dauernde Bestrahlung während des ganzen Jahres (8 760 Stunden) durch eine Hautkontamination mit CS führt zu einer Äquivalentdosis von 50 mSv pro Jahr (1/10 des Dosisgrenzwertes für die Haut)
- b) eine tägliche Ingestion einer Kontamination CS auf einer Fläche von 10 cm² führt zu einer effektiven Dosis von 0,5 mSv pro Jahr
- c) eine einmalige Inhalation von 10 % der Aktivität einer Kontamination CS auf einer Fläche von 100 cm² führt zu einer Dosis von 0,5 mSv pro Jahr
- d) ein Maximalwert von 1 000 Bq/kg (Kaliumsalze in Mengen von weniger als 1 000 kg gelten als befreit).

Tabelle 10_2: Freigabe (bzw. Befreiung in CH) von Materialien und Immobilien in Deutschland und in der Schweiz

| | Bereich für Befreiungsgrenze *) CH (Größenordnung) | Bereich für Freigabewerte DE (Größenordnung) |
|---|---|---|
| Uneingeschränkte Freigabe Befreiungsgrenze | 10 ⁻² bis 10 ⁴ Bq/g (= 1 LL) 10 ⁻¹ bis 10 ³ Bq/cm ² (= 1 CS) und 0,1 µSv/h in 10 cm von der Oberfläche | 10 ⁻² bis 10 ⁷ Bq/g |
| spezifische Freigabe von Bauschutt und Bodenaushub (mehr als 1 000 t/a) | 10 ⁻² bis 10 ⁴ Bq/g (= 1 LL) 10 ⁻¹ bis 10 ³ Bq/cm ² (= 1 CS) und 0,1 µSv/h in 10 cm von der Oberfläche | 10 ⁻² bis 10 ⁴ Bq/g |
| spezifische Freigabe von Bodenflächen | 10 ⁻¹ bis 10 ³ Bq/cm ² (= 1 CS) | 10 ⁻³ bis 10 ³ Bq/g |
| Spezifische Freigabe von Gebäuden zum Abriss | | 10 ⁻¹ bis 10 ⁹ Bq/cm ² |
| Spezifische Freigabe**) von Metallschrott zur Rezyklierung | | 10 ⁻¹ bis 10 ⁴ Bq/g |
| Spezifische Freigabe**) von festen Stoffen zur Beseitigung auf Deponien bis zu 100 Mg/a | | 10 ⁻¹ bis 10 ⁵ Bq/g |

*) In der Schweiz gilt für die Befreiung generell (bis auf die letzten zwei Tabellenzeilen) für die absolute oder spezifische Aktivität: <1 Befreiungsgrenze (LL), < 1 Kontaminationsrichtwert (CS) und < 0,1 µSv/h in 0,1 m Abstand von der Oberfläche. Als NORM-Befreiungsgrenzen gelten gemäß StSV [18] je 1 000 Bq/kg für natürliche Radionuklide der U-238- und der Th-232-Reihe sowie 10 000 für K-40. Für Baumaterialien ist der Aktivitätskonzentrationsindex I zu überprüfen. Dieser sollte den Wert von 1 nicht überschreiten.

Dabei ist: $I = C_{Ra-226}/300 \text{ Bq/kg} + C_{Th232}/200 \text{ Bq/kg} + C_{K-40}/3\,000 \text{ Bq/kg}$. Für die Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht in bzw. aus Kernanlagen sei auf die ENSI-Richtlinie B04 verwiesen [47].

**) In der Schweiz muss diese eingeschränkte Freigabe von der Behörde bewilligt werden. Dazu ist zu beweisen, dass keine Person eine Dosis > 0,01mSv/Jahr akkumuliert. Als NORM-Befreiungsgrenzen gelten gemäß StSV [23] 1 000 Bq/kg für natürliche Radionuklide der U-238- und der Th-232-Reihe sowie 10 000 für K-40. Für Baumaterialien ist der Aktivitätskonzentrationsindex I zu überprüfen. Dieser sollte den Wert von 1 nicht überschreiten.

Dabei ist: $I = C_{Ra-226}/300 \text{ Bq/kg} + C_{Th232}/200 \text{ Bq/kg} + C_{K-40}/3\,000 \text{ Bq/kg}$.

10.2 Emissionen

10.2.1 Deutschland

In Deutschland wird die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus Anlagen durch die für Einzelpersonen aus der Bevölkerung kalenderjährlich zulässige Strahlendosis begrenzt: (siehe Nationale Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung, **Tabelle 7_6**).

Von der Festlegung von Aktivitätsmengen kann abgesehen werden, wenn die aus Strahlenschutzbereichen mit Luft oder Wasser abgeleiteten Aktivitätskonzentrationen im Jahresdurchschnitt bestimmte Werte nicht überschreiten. Diese Werte sind für Radionuklidgemische aus der Anlage 11, Teil D der StrlSchV [12] abzuleiten und für einzelne Radionuklide in der Anlage 11, Teil D Tab. 6 der StrlSchV [12] aufgeführt. Sie sind an der Grenze eines Strahlenschutzbereichs einzuhalten. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass die effektive Dosis durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dieser Tätigkeit mit Luft oder Wasser den Bereich von 10 Mikrosievert im Kalenderjahr jeweils nicht überschreitet.

Zur Ermittlung der zulässigen nuklidspezifischen Ableitungskonzentrationen für Ableitungen mit der Luft ist zu unterscheiden, ob Fortluftströme $< 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ oder zwischen $10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ und $10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ liegen. Bestimmend dafür, welche Tabellenwerte in Tab. 6 oder Tab. 7 in Anlage 11 der StrlSchV für einige kurzlebige Radionuklide oder Edelgase herangezogen werden müssen, ist letztlich, ob die Inhalation oder die Submersion grenzwertbestimmend ist.

Nuklidspezifisch variieren die Werte der zulässigen Ableitungskonzentrationen für (inhalationsdosisrelevante) Radionuklide mit der Abluft größenordnungsmäßig zwischen 10^{-4} Bq/m^3 und 10^4 Bq/m^3 bzw. dem Zehnfachen dieser Werte bei niedrigen Abluftraten. Die Werte der submersionsdosisrelevanten Radionuklide variieren zwischen $1 \cdot 10^2 \text{ Bq/m}^3$ und $2 \cdot 10^8 \text{ Bq/m}^3$.

Zur Ermittlung der zulässigen nuklidspezifischen Ableitungskonzentrationen für Ableitungen mit dem Abwasser werden die beiden Fälle unterschieden, in denen die Abwassermengen kleiner oder größer als $10^5 \text{ m}^3\text{a}^{-1}$ sind. Heranzuziehen sind dann die Aktivitätskonzentrationswerte der Tab. 6 der Anlage 11, Teil D der StrlSchV [12]. Bei niedrigen Abwasserabgaberraten ($< 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$) können die nuklidspezifischen Konzentrationen bis zum Zehnfachen der nachfolgend genannten Werte betragen: Werte variieren zwischen 10^1 Bq/m^3 und 10^7 Bq/m^3

Für abzuleitende Radionuklidgemische, für die keine jährlichen Ableitungsmengen festgesetzt worden sind, gelten die in Tab. 8, Teil D der Anlage 11 der StrlSchV [12] genannten Aktivitätskonzentrationen:

- für Radionuklidgemische in der Luft zwischen $1 \cdot 10^{-5} \text{ Bq/m}^3$ und $1 \cdot 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$
- für Radionuklidgemische im Wasser zwischen $1 \cdot 10^1 \text{ Bq/m}^3$ und $1 \cdot 10^3 \text{ Bq/m}^3$

Die Werte hängen davon ab, welche der die Radiotoxizität maßgeblich bestimmenden Radionuklide im Radionuklidgemisch ausgeschlossen werden können. Beispiele für einige ausgewählte Radionuklide finden sich im Anhang.

10.2.2 Österreich

Anlage 2 Abschnitt C Tabelle 1 der AllgStrlSchV2020 [19] beschreibt die Ableitungswerte in Abluft und Abwasser bei einzelnen Radionukliden in Bq/m^3 . Für diese Ableitungen werden die unterschiedlichen Zustände bei luftgetragenen Ableitungen elementar, aerosol- oder gasförmig beachtet. Ebenfalls werden mögliche Unterschiede bei organischen Verbindungen beachtet.

Die angegebenen Werte gelten bei Luftströmen von 10^4 bis 10^5 Kubikmeter pro Stunde. Sollten die Luftströme geringer sein, dann gilt das 10-fache der angegebenen Werte. Im Falle von flüssigen Ableitungen gelten die Werte bei Abwassermengen von mehr als 10^5 Kubikmeter pro Jahr vor der Abgabe in ein Gewässer oder eine öffentliche Kanalisation. Sollten die Abwassermengen geringer sein, dann gilt das 10-fache dieser Werte.

Werden mehrere Radionuklide abgeleitet, darf die Summe der Quotienten aus der mittleren jährlichen Aktivitätskonzentration jedes einzelnen Radionuklids und dem zugehörigen Aktivitätskonzentrationswert gemäß der Tabelle 1 in Anlage 2 Abschnitt C der AllgStrlSchV2020 [19] den Wert 1 nicht überschreiten. Tochternuklide sind zu berücksichtigen.

Alternativ dazu können die Werte aus der Tabelle 2 der Anlage 2 Abschnitt C genommen werden, welche die Ableitungswerte in Abluft und Abwasser bei verschiedenen Nuklidgemischen in Bq/m³ beschreibt (s. auch **Tabelle 10_3**). Werden unter Berücksichtigung dieser genannten Festlegungen die eben beschriebenen Aktivitätskonzentrationswerte gemäß Abschnitt C Tabelle 1 oder 2 der AllgStrlSchV2020 eingehalten, ist davon auszugehen, dass die Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung aufgrund der Ableitung eine effektive Dosis von 10⁰Mikrosievert pro Jahr nicht überschreitet.

Tabelle 10_3 : Genehmigte Aktivitätskonzentrationen von Abluft und Abwasser (A)

| Radionuklidgemisch | Aktivitätskonzentration in der Abluft in Bq/m ³ | Radionuklidgemisch | Aktivitätskonzentration im Abwasser in Bq/m ³ |
|--|--|--|--|
| Beliebiges Gemisch | 10 ⁻⁵ | Beliebiges Gemisch | 10 |
| Beliebiges Gemisch, wenn Ac-227 und Cm-250 unberücksichtigt bleiben können | 10 ⁻⁴ | Beliebiges Gemisch, wenn Po-210, Ra-228, Ac-227 und Cm-250 unberücksichtigt bleiben können | 50 |
| Beliebiges Gemisch, wenn Ac-227, Th-229, Th-230, Th-232, Pa-231, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248 und Cm-250 unberücksichtigt bleiben können | 5·10 ⁻⁴ | Beliebiges Gemisch, wenn Po-210, Ra-228, Ac-227, Th-229, Pa-231, Cm-248, Cm-250, Bk-247, Cf-249, Cf-251 und Cf-254 unberücksichtigt bleiben können | 10 ² |
| Beliebiges Gemisch, wenn Ac-227, Th-228, Th-229, Th-230, Th-232, Pa-231, U-232, Np-237, Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cm-250, Bk-247, Cf-249, Cf-251 und Cf-254 unberücksichtigt bleiben können | 10 ⁻³ | Beliebiges Gemisch, wenn Sm-146, Gd-148, Pb-210, Po-210, Ra-223, Ra-224, Ra-225, Ra-226, Ra-228, Ac-227, Th-228, Th-229, Th-230, Th-232, Pa-231, U-232, Np-237, Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cm-250, Bk-247, Cf-248, Cf-249, Cf-250, Cf-251, Cf-252, Cf-254, Es-254 und Fm-257 unberücksichtigt bleiben können | 10 ³ |
| | | | |
| Gemisch mit natürlichen Radionukliden aus der U-238- und U-235-Zerfallsreihe in ihrem natürlichen Verhältnis | 9·10 ⁻³ | | -- |
| Gemisch mit natürlichen Radionukliden aus der U238- und U-235-Zerfallsreihe in ihrem natürlichen Verhältnis sowie der Th-232-Zerfallsreihe | 6·10 ⁻³ | | 1,5·10 ⁵ |

Die Tabelle 3 in Anlage 2 Abschnitt C beschreibt die Ableitungswerte in Abluft und Abwasser bei verschiedenen Nuklidgemischen von natürlichen Radionukliden. Die Werte gelten im Jahresmittel für Aerosole in der Abluft bei Luftströmen von 10^5 bis 10^6 Kubikmeter pro Stunde. Bei geringeren Luftströmen gilt das 5-fache dieser Werte. Je nach abgegebenem Luftstrom muss die Kaminhöhe einen bestimmten Wert überschreiten und Gebäude in unmittelbarer Umgebung des Emissionspunktes der Ableitung müssen um das 2,5-fache überragt werden.

Tabelle 10_4: Fortluftströme und Kaminhöhe

| Fortluftströme [m ³ /h] | Kaminhöhe [m] |
|------------------------------------|----------------|
| $3 \cdot 10^3$ | Mindestens 6 |
| $3 \cdot 10^3$ bis $2 \cdot 10^4$ | Mindestens 30 |
| $2 \cdot 10^4$ bis $2 \cdot 10^5$ | Mindestens 80 |
| $2 \cdot 10^5$ bis $1 \cdot 10^6$ | Mindestens 100 |

Im Fall der Ableitung mittels Betriebsabwasser gilt der Wert im Jahresmittel für die Summe der in der Ableitung enthaltenen Radionuklide. Je nach Abgabemenge muss das Fließgewässer, in das abgeleitet wird, einen bestimmten Durchfluss aufweisen.

Tabelle 10_5: Abgabemenge und Durchfluss des Fließgewässers

| Abgabemenge [m ³] | Durchfluss [m ³ /s] |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| $1 \cdot 10^4$ | Mindestens 5 |
| $1 \cdot 10^4$ bis $1 \cdot 10^5$ | Mindestens 50 |
| $1 \cdot 10^5$ bis $1 \cdot 10^6$ | Mindestens 500 |

10.2.3 Schweiz

Die Aktivitätsgrenzwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe über die Fortluft und das Abwasser (als Abgabelimiten bezeichnet) werden für alle Kernanlagen vom sogenannten quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,3 mSv/Jahr abgeleitet. Sind mehrere Kernanlagen bzw. Abgabestellen an einem Standort konzentriert, so wird dieser Dosisrichtwert auf diese Kernanlagen in Dosiskontingente weiter unterteilt. Mit dem in der ENSI-Richtlinie G14 [30] beschriebenen Ausbreitungs- und Expositionsmodell werden die maximalen Jahres- und Wochen-Aktivitätsableitungen nuklid- bzw. nuklidgruppenspezifisch berechnet, wobei für verschiedene Betriebszustände die zu erwartenden Radionuklidvektoren sowie der durch Direktstrahlung verursachte Dosisanteil berücksichtigt werden. Zusätzlich wird für Abgaben mit dem Abwasser die maximale Konzentration im Abgabetank vor der Abgabe festgelegt und die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte im öffentlich zugänglichen Bereich des Gewässers auferlegt.

Für nicht kerntechnische Anlagen wie z.B. Krankenhäuser, Forschungsinstitute oder Industriebetriebe legt die Bewilligungsbehörde Abgaberaten und gegebenenfalls Abgabeaktivitätskonzentrationen so fest, dass der quellenbezogene Dosisrichtwert eingehalten wird und ebenso, dass die Immissionsgrenzwerte IG_{Lf} für Luft und IG_{Gw} für Gewässer gemäß Anhang 7 der StSV [23] nicht überschritten werden. Zusätzlich muss gewährleistet werden, dass die durch die externe Strahlung verursachte Ortsdosis in Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräumen und aller anderen Expositionspfade zu keiner Überschreitung der Dosisgrenzwerte für Personen (1 mSv pro Jahr) aus der Bevölkerung führen kann. Für die Modelle und Annahmen zur Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung von Kernanlagen sei auf die ENSI-Richtlinie G14 [30] verwiesen.

10.3 Immission

10.3.1 Deutschland

Es gilt übergeordnet die EU-Richtlinie Nr. 96/29 [10] wenn sich nicht aus der deutschen Strahlenschutzverordnung niedrigere Werte ergeben.

Zur Ermittlung der Strahlenexposition eines Individuums über Inkorporationen radioaktiver Stoffe sind gemäß StrlSchV Anlage 11, Teil A-C sowohl Expositionsprofile als auch Lebensgewohnheiten für 6 Altersgruppen als auch einige weitere Annahmen zur Ausbreitung zu Grunde zu legen [12].

10.3.2 Österreich

Der Grenzwert der effektiven Dosis für die Bevölkerung beträgt 1 mSv im Kalenderjahr.

Deshalb gilt, dass radioaktive Stoffe nur abgeleitet werden dürfen, wenn die jährliche Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung aufgrund der Ableitungen eine effektive Dosis von 0,3 Millisievert nicht überschreitet. Die Dosisbeschränkung von 0,3 Millisievert wird jedenfalls eingehalten, wenn bei der Ableitung die Aktivitätskonzentrationswerte gemäß der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung nicht überschritten werden. Im Einzelfall kann die zuständige Behörde Aktivitätskonzentrationswerte festlegen, die die Einhaltung der Dosisbeschränkung sicherstellen, zum Beispiel, wenn die in den Anhängen der AllgStrlSchV2020 genannten Werte nicht eingehalten werden können oder keine Werte definiert sind.

Für Lebensmittel und Trinkwasser gelten die EU-Verordnungen.

10.3.3 Schweiz

Neben den Abgabelimiten (Emissionsgrenzwerte) gewährleisten einerseits Immissionsgrenzwerte sowie Höchstwerte für Lebensmittel (letztere entsprechen den EU-Höchstwerten und sind nur anwendbar bei nuklearen Unfällen oder im Falle radiologischer Notfallsituationen) die Einhaltung der Dosisrichtwerte für die Bevölkerung in der Schweiz (i. e. für nichtberuflich exponierte Personen außerhalb eines Betriebsareals). Die Abgabe von radioaktiven Stoffen an die Umwelt umfasst sowohl die Ablagerung auf einer Deponie, die Entsorgung im Hausmüll, die Abgabe über Abluft und Abwasser, als auch Verbrennung, Verwertung und Rezyklieren. Hierzu sind sowohl Bewilligung als auch Kontrolle erforderlich. Die Bewilligungsbehörde legt im Einzelfall für jede Abgabestelle Abgaberaten und gegebenenfalls Abgabeaktivitätskonzentrationen fest. Abgaben ohne Zustimmung der Bewilligungsbehörde sind erlaubt, wenn die maximale Ortsdosisleistung im Abstand von 10 cm von der Oberfläche nach Abzug der natürlichen Strahlung unter $0,1 \mu\text{Sv/h}$ liegt, wenn der Richtwert der Oberflächenkontamination (Anhang 3, Spalte 12 der StSV) eingehalten ist, und wenn pro Woche und Bewilligung die Gesamtaktivität nicht grösser ist als die Aktivität von 10 kg eines Materials, dessen spezifische Aktivität der Befreiungsgrenze entspricht. (s. Art 111 der StSV [23]).

Die Immissionsgrenzwerte für Luft (IG_{Lf} in Bq/m^3) und für Gewässer (IG_{Gw} in Bq/L) sind sowohl für Erwachsene als auch für 10jährige und Klein-Kinder im Anhang 7 der StSV [23] Abs.2 für die wichtigsten Nuklide tabelliert, wobei jeweils der minimale Wert zur Anwendung gelangt. Für Nuklidgemische gilt eine Summenregel. Für die Modelle und Annahmen zur Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung von Kernanlagen sei auf die ENSI-Richtlinie G14 [30] verwiesen.

10.4 Oberflächenkontaminationen

10.4.1 Deutschland und Schweiz

Das deutsche Atomrecht nennt nicht nur den Schutz des Menschen, sondern auch den der Umwelt (Sachgüter) als vorrangiges Ziel. Demzufolge dürfen - mit wenigen eng begrenzten Ausnahmen - keine Gegenstände in Verkehr gebracht werden, durch deren Gebrauch und Verwendung radioaktive Stoffe unzulässig weiterverbreitet werden würden.

Die sinngemäß identische Bedeutung der in Deutschland für Materialien gültigen Werte für Oberflächenkontamination haben die in der Schweiz gültigen Richtwerte für die **Kontaminationen außerhalb kontrollierter Zonen**. Festhaftende Kontaminationen brauchen i.d.R. nur außerhalb kontrollierter Bereiche berücksichtigt zu werden. Grundsätzlich werden nuklidspezifische obere Werte vorgegeben, wobei die sog. Summenformel anzuwenden ist, wenn gleichzeitig mehrere Radionuklide vorliegen (s. StSG [22] und StSV [23]).

Richtwerte (CH) in der Schweiz und „Werte für Oberflächenkontamination“ (D) in Deutschland zeigt **Tabelle 10_6**.

Die Werte für Kontaminationen sind gemäß §§ 57 und 58 und Anlage 4, Tab. 1, Spalte 5 StrlSchV (D) nach Bereichen und Radionukliden gestaffelt. Beispiele für einige ausgewählte Radionuklide finden sich im Anhang dieser Broschüre in den **Tabellen 13_10 und 13_11**.

Tabelle 10_6: Richtwerte und Werte für Oberflächenkontaminationen

| Richtwerte und Werte für Oberflächenkontaminationen | | |
|--|---|---|
| | Richtwert Schweiz | Werte Deutschland |
| Gemittelt über eine Fläche von | 100 cm ² | 300 cm ² |
| Wert für Schutzmaßnahmen bei Oberflächenkontamination außerhalb von Kontroll- und Überwachungsbereichen (D) bzw. außerhalb von kontrollierten Zonen (CH) | nuklidspezifisch, als Richtwert für Oberflächenkontaminationen CS(*) außerhalb von Kontrollbereichen; Werte sind zwischen 0,1 und 1 000 Bq/cm ² (dabei ist die Summenregel gemäß StSV Anhang 7 Abs.3 [23] zu beachten) | nuklidspezifisch zwischen 0,1 und 100 Bq/cm ² (Summenformel beachten) |
| Werte für einzelne Radionuklide, für die die Oberflächenkontamination in der StrlSchV von Arbeitsplätzen und Gegenständen außerhalb kontrollierter Bereiche nicht genannt sind | | für Alphastrahler 0,1 Bq/cm ² für Beta- und Gammastrahler (außer Elektroneneinfangstrahlern und Betastrahlern <0,2 MeV): 1 Bq/cm ² für Elektroneneinfangstrahler und Betastrahler mit einer maximalen Betagrenzenergie von 0,2 MeV (<0,2MeV): 100 Bq/cm ² |
| Maßnahmen in Überwachungsbereichen | identisch zu Zeile 1 | beim 10-fachen der Werte aus Zeile 1, nur für nicht festhaftende Oberflächenkontaminationen |
| Maßnahmen in kontrollierten Zonen (CH) bzw. in Kontrollbereichen (D) | siehe Tabelle 10_9 und 10_10 | beim 100-fachen der Werte aus Zeile 1, nur für nicht festhaftende Oberflächenkontaminationen |

Anmerkung: Diese Tabelle gilt nicht für Freigaben von festen oder flüssigen Reststoffen, Bauschutt, Bodenaushub oder freizugebenden Bodenflächen

*) Basis ist die Annahme einer dauernden Bestrahlung während eines ganzen Jahres (8760 Stunden) durch eine Hautkontamination, die zu einer Äquivalentdosis von 50 mSv pro Jahr führt (1/10 des Dosisgrenzwertes für die Haut), oder einer täglichen Ingestion einer Kontamination auf einer Fläche von 10 cm², die zu einer effektiven Dosis von 0,5 mSv pro Jahr führt, oder einer einmaligen Inhalation von 10 % der Aktivität einer Kontamination auf einer Fläche von 100 cm², die zu einer Dosis von 0,5 mSv pro Jahr führt, oder ein Maximalwert von 1 000 Bq/cm².

10.4.2 Österreich

Im Falle einer entfernbaren Kontamination im Tätigkeitsbereich ist der betroffene Bereich unverzüglich zu dekontaminieren, sofern nicht andere Maßnahmen, wie insbesondere Abklingenlassen im Fall kurzlebiger Radionuklide, aus Sicht des Strahlenschutzes geeigneter sind. Im Fall einer Kontamination von Personen sind

geeignete Maßnahmen zu treffen, um die dadurch bewirkte Exposition so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar zu halten. Oberflächenkontaminationswerte für die uneingeschränkte Freigabe sind nuklidspezifisch in Anlage 1 der AllgStrSchV2020 Abschnitt D Tabelle 1 Spalte 5 definiert. Sollte eine uneingeschränkte Freigabe nicht möglich sein, kann der Gegenstand zur eingeschränkten Freigabe zur Beseitigung auf Deponien oder zur Verbrennung gegeben werden, falls möglich. Die Freigabewerte dafür in Bq/g befinden sich ebenfalls in der Tabelle Spalte 6.

10.5 Richtwerte und Einteilungen zum Schutz des beruflich (strahlen)exponierten Personals:

10.5.1 Deutschland

Für die Kontaminationen auf der Haut gibt es für beruflich exponierte Personen den Grenzwert der Organ-Äquivalentdosis für die Haut von 500 mSv, aber keine abgeleiteten Grenzwerte für Dekontaminationsmaßnahmen. Gemäß Strahlenschutzverordnung StrlSchV sind unverzüglich Maßnahmen zu treffen, die geeignet sind, weitere Expositionen und eine Weiterverbreitung radioaktiver Stoffe zu verhindern, wenn an Personen, die Kontrollbereiche verlassen, in denen offene radioaktive Stoffe vorhanden sind, eine Kontamination festgestellt wird.

Die deutsche Strahlenschutzkommission [48] [49] empfiehlt Richtwerte für technische, medizinische und wissenschaftliche Einrichtungen, in denen entsprechend dem Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird. Grundlage für die Ableitung eines Richtwertes ist der primäre Grenzwert für Haut im Kalenderjahr von 300 mSv nach der früheren Strahlenschutzverordnung StrlSchV 1989 [50]. Der höhere Grenzwert der Teilkörperdosis für Hände, Unterarme, Füße, Unterschenkel, Knöchel, einschließlich der dazugehörigen Haut, von 500 mSv im Kalenderjahr wird hierbei nicht herangezogen.

Mit Hilfe von Äquivalentdosisleistungsfaktoren, die für zahlreiche Radionuklide zur Verfügung stehen, lässt sich die lokale Hautdosis durch Multiplikation mit der flächenbezogenen Aktivität auf der Haut und mit der Dauer der Kontamination unter Berücksichtigung der physikalischen Halbwertszeit berechnen. Für die Berechnung der Äquivalentdosisleistungsfaktoren wird angenommen, dass sich die als strahlenempfindlich geltende Schicht überwiegend in einer Hauttiefe von 50 bis 100 µm befindet; gegenüber der Verwendung einer Hauttiefe von 70 µm führt diese Annahme zu etwas höheren Äquivalentdosisleistungsfaktoren.

Bei der Festlegung eines Richtwertes, der zur Entscheidung über weitere Dekontaminationsmaßnahmen dient, ist davon auszugehen, dass die Aktivitätskonzentration exponentiell mit der Tiefe in der Hornschicht abnimmt. Die vollständige Abschilferung dieser Schicht innerhalb von zwei Wochen führt zu einer zeitlich sehr raschen exponentiellen Abnahme der auf der Haut verbleibenden Aktivität. Die den Dosisberechnungen zugrunde gelegte Verweildauer von einer Woche hat daher eine erhebliche Überschätzung der tatsächlichen Dosis zur Folge.

Für eine nach einigen Dekontaminationsschritten verbleibende Hautkontamination wird ein einheitlicher Richtwert der flächenbezogenen Aktivität von 10^4 Bq/cm^2 festgelegt, bei dessen Unterschreitung weitere Dekontaminationsmaßnahmen unterbleiben können. Diese Festlegung führt dazu, dass für mehr als 90 % der in der Empfehlung genannten Radionuklide bei einer Verweildauer von einer Woche weniger als 1 % des Jahresdosisgrenzwertes von 300 mSv erreicht wird, und dass mit einer Ausnahme (Cf-254) alle Dosiswerte unter 5 % dieses Grenzwertes (= 15 mSv) liegen. Für schnell und vollständig beseitigte Kontaminationen sind die Dosiswerte noch erheblich niedriger.

Bei dieser Festlegung ist berücksichtigt, dass selbst bei mehrmaligen nicht entfernbaren Kontaminationen im Kalenderjahr ein hinreichender Abstand zu den Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung (auch für Personen der Kategorie B) sichergestellt ist. Damit sind die Beiträge von radioaktiven Tochternukliden, die bei der Kontaminationsmessung nicht erfasst werden, ebenso abgedeckt wie eventuelle Unsicherheiten bei der Dosisermittlung.

In der nachstehenden **Tabelle 10_7** sind Werte der flächenbezogenen Aktivität beispielhaft zusammengestellt, die unter Berücksichtigung der physikalischen Halbwertszeiten bei der genannten Verweildauer von einer Woche zu einer Hautdosis in Höhe von 1 % dieses Jahresdosisgrenzwertes von 300 mSv führen.

Tabelle 10_7: Werte der flächenbezogenen Aktivität einiger Radionuklide, die bei einer Verweildauer von einer Woche zu einer Hautdosis in Höhe von 1 % des Jahresdosisgrenzwertes von 300 mSv führen [StrlSchV 1989] [44].

| Radionuklid | Flächenbezogene Aktivität (Bq/cm ²) | Radionuklid | Flächenbezogene Aktivität (Bq/cm ²) |
|-------------|---|-------------|---|
| C-14 | 100 | I-131 | 20 |
| Co-60 | 20 | Cs-137 | 10 |
| Sr-90 | 10 | Ce-141 | 10 |
| Y-90 | 25 | | |

Darüber hinaus wird empfohlen, dass der einheitliche Richtwert von 10 Bq/cm² auch auf die Radionuklide anzuwenden ist, die aufgrund der kurzen Reichweite ihrer Strahlung keinen Beitrag zur Dosis der als strahlenempfindlich geltenden Hautschicht liefern (z.B. H-3). Hierdurch wird eine ausreichende Vorsorge gegen eine Gefährdung durch Verschleppung von radioaktiven Stoffen aus dem Kontrollbereich gewährleistet, wobei davon ausgegangen wird, dass es sich bei verbleibenden Restkontaminationen um sehr seltene Ereignisse handelt und die verbliebene Aktivität fest auf der Haut haftet. Bei Kontaminationen, deren Ausdehnung über die Fläche von Kopf und Händen hinausgeht, sind besondere Überlegungen anzustellen.

10.5.2 Österreich

Grundsätzlich gelten die Ansätze und Vorgaben wie in Deutschland.

Zusätzlich gilt in Österreich: Ein Bereich, in dem strahlenexponierte Arbeitskräfte im Rahmen von Tätigkeiten eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert im Kalenderjahr erhalten können, gilt als Kontrollbereich. Ein Bereich, in dem strahlenexponierte Arbeitskräfte im Rahmen von Tätigkeiten eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert im Kalenderjahr, jedoch nicht mehr als 6 Millisievert erhalten können, gilt als Überwachungsbereich.

Es sind Arbeitsplatztypen (Typ A, B oder C) festgelegt für verschiedene Tätigkeiten mit offenen radioaktiven Stoffen. Je nach Art der Tätigkeit muss ab einer gewissen Aktivität in diesem bestimmten Arbeitsplatztyp gearbeitet werden.

In **Tabelle 10_8** sind die Werte aufgelistet, wobei FG_i die Freigrenze (nuklidspezifisch) gemäß Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 1 Spalte 2 der AllgStrlSchV2020 ist.

Tabelle 10_8: Arbeitsplatztypen für verschiedene Tätigkeiten

| Art der Tätigkeit | C | B | A |
|---|--|--|------------------------------------|
| Verfahren auf trockenem Wege mit Staubentwicklung | -- | (1 bis 10 ³)*FG _i | > 10 ³ *FG _i |
| komplexe Verfahren auf nassem Wege, bei denen die Gefahr des Verschüttens von Flüssigkeit besteht; einfache Verfahren auf trockenem Wege und Tätigkeiten mit flüchtigen radioaktiven Verbindungen | (1 bis 10 ¹)*FG _i | (10 bis 10 ⁴)*FG _i | > 10 ⁴ *FG _i |
| gewöhnliche chemische Verfahren | (1 bis 10 ²)*FG _i | (10 ² bis 10 ⁵)*FG _i | > 10 ⁵ *FG _i |
| sehr einfache Verfahren auf nassem Wege | (10 bis 10 ³)*FG _i | (10 ³ bis 10 ⁶)*FG _i | > 10 ⁶ *FG _i |
| Lagerung | (10 ² bis 10 ⁴)*FG _i | (10 ⁴ bis 10 ⁷)*FG _i | > 10 ⁷ *FG _i |

In der Strahlenschutzverordnung sind Vorschriften zur Einrichtung und Beschaffenheit der Wände usw. definiert.

10.5.3 Schweiz

Kontrollbereiche sind Bereiche, die zum Schutz vor Exposition gegenüber ionisierender Strahlung sowie zum Verhindern der Ausbreitung einer Kontamination besonderen Anforderungen unterliegen. Im nuklearen Bereich (Aufsichtsbereich des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates ENSI) kann für den Kontrollbereich weiterhin der Begriff „kontrollierte Zone“ verwendet werden. Der Kontrollbereich wird in die Zonen 0 bis IV (**Tabelle 10_9**) oder

Arbeitsbereiche A bis C (**Tabelle 10_10**) eingeteilt. Innerhalb von Zonen sind Gebiete entsprechend der Dosisleistung (**Tabelle 10_11**) einzurichten und zu bezeichnen.

Nach Einstellung der Arbeiten im Kontrollbereich müssen für das dort verbleibende Material die Freimesskriterien (Art. 106 StSV [18]) eingehalten werden und dürfen die Immissionsgrenzwerte nicht überschritten werden. Die ersteren verlangen, dass die maximale Ortsdosisleistung im Abstand von 10 cm von der Oberfläche der Materialien nach Abzug der natürlichen Strahlung unter 0,1 µSv/h liegt und entweder die spezifische Aktivität unter der Befreiungsgrenze LL liegt oder dessen absolute Aktivität kleiner ist als die Aktivität von 1 kg eines Materials, dessen spezifische Aktivität der Befreiungsgrenze LL entspricht. Verlassen Personen oder Materialien den Kontrollbereich, sind die Richtwerte der Oberflächenkontaminationen einzuhalten. Für Materialien gelten zusätzlich die Freimesskriterien.

Überwachungsbereiche sind Bereiche, die zum Schutz vor Exposition durch ionisierende Strahlung durch den Betrieb von Anlagen oder durch die Handhabung von geschlossenen radioaktiven Quellen besonderen Anforderungen unterliegen. Sie sind in Art. 85 StSV [18] beschrieben.

Tabelle 10_9: Maximal zulässige Oberflächenkontaminationen und Luftaktivitätskonzentrationen im innerhalb kontrollierter Zonen in der Schweiz

| Bereich, Zone bzw. Kleidung oder Haut | Oberflächenkontamination ^{*)} | Raumluftkonzentration |
|---------------------------------------|--|------------------------------------|
| Zone Typ 0 | ≤1-facher Richtwert (CS) | 0,05-facher Richtwert (CA) |
| Zone Typ I | ≤1-facher Richtwert (CS) | 0,05 bis 0,1-facher Richtwert (CA) |
| Zone Typ II | 1 bis 10-facher Richtwert (CS) | 0,05 bis 0,1-facher Richtwert (CA) |
| Zone Typ III | 10 bis 100-facher Richtwert (CS) | 0,1 bis 10-facher Richtwert (CA) |
| Zone Typ IV | Unbeschränkt | unbeschränkt |
| Kleidung oder Haut | 1 CS | - |

CS und CA sind die Richtwerte für die Oberflächenkontamination (Bq/cm²) und für Luft (Bq/m³) gemäß der Tabelle in Anhang 3 der StSV [23]. Verlangen die Luft- und Oberflächenkontaminationen nicht denselben Zonentyp, entscheidet der restriktivere Faktor.

*) Bei Oberflächen ist nur die lose (nicht festhaftende) Oberflächenkontaminationen zu berücksichtigen.

Tabelle 10_10: Maximal handhabbare offene Aktivität in den verschiedenen Arbeitsbereichen in der Schweiz [18]

| Arbeitsbereich | Zulässige, tägliche Handhabungsaktivität |
|----------------------|---|
| Arbeitsbereich Typ C | 1 bis 100 LA |
| Arbeitsbereich Typ B | 1 bis zu 10 000 LA |
| Arbeitsbereich Typ A | Von 1 LA bis zu einer oberen Grenze, die im Bewilligungsverfahren festgelegt ist. |

Tabelle 10_11: Einteilung von Gebieten je nach mittlerer Ortsdosisleistung in der Schweiz [23]

| Gebietstyp | Dosisleistung | Bedingungen |
|--------------------------|--------------------|--|
| V (innerhalb kont. Zone) | <0,01 mSv/h | |
| W (innerhalb kont. Zone) | 0,01 bis 0,1 mSv/h | |
| X (innerhalb kont. Zone) | 0,1 bis 1 mSv/h | |
| Y (innerhalb kont. Zone) | 1 bis 10 mSv/h | |
| Z (innerhalb kont. Zone) | > 10 mSv/h | Gesperrt z.B. durch Personensicherheitsanlagen |

10.6 Lebensmittel und Futtermittel

10.6.1 FAO/WHO-Richtwerte für Radionuklide in Lebensmitteln

In Band 1, Abschnitt 6.1 des Codex Alimentarius [FAO/WHO] [51] schlagen die Food and Agriculture Organization (FAO) und die World Health Organization (WHO) der Vereinten Nationen gemeinsam die in den nachfolgenden **Tabellen 10_12 und 10_13** genannten Eingreifrichtwerte vor. Zu dem Zweck ihrer Eingreifrichtwerten geben FAO/WHO an, die Nahrungsmittelströme im internationalen Handel zu regulieren. Wenn die Eingreifrichtwerte überschritten sind, sollten die Regierungen entscheiden, ob und unter welchen Umständen die Nahrungsmittel innerhalb ihres Territoriums verteilt werden sollen.

Der jeweilige Eingreifrichtwert gilt für die Summe der Radionuklide in der betreffenden Gruppe. Die Werte beruhen auf einem primären Eingreifrichtwert von 5 mSv und einem jährlichen Konsum von 550 kg Nahrungsmitteln, die alle kontaminiert sind.

Zu einer interpretationsbedürftigen Tabelle vereinigt findet man dieselben Eingreifrichtwerte in den International Basic Safety Standards [7]. Dort umfasst die Gruppe Cs-134/Cs-137 auch die Radionuklide Sr-89, Ru-103 und Ru-106. Die sehr viel weniger differenzierten abgeleiteten Eingreifrichtwerte der ICRP 63 [41] findet man bei den ICRP-Empfehlungen für Eingreifrichtwerte (siehe **Tabelle 9_1**).

Tabelle 10_12 Eingreifrichtwerte der FAO/WHO für Radionuklide in Hauptnahrungsmitteln für Erwachsene zum allgemeinen Verzehr

| Dosis-Konversionsfaktor Sv/Bq | Repräsentative Radionuklide | Richtwert Bq/kg |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 10^{-6} | Pu-239, Am-241 | 10 |
| 10^{-7} | Sr-90 | 100 |
| 10^{-8} | I-131, Cs-134, Cs-137 | 1 000 |

Tabelle 10_13 Eingreifrichtwerte der FAO/WHO für Radionuklide in Milch und gebrauchsfertiger Nahrung von Kleinkindern (Infants)

| Dosis-Konversionsfaktor Sv/Bq | Repräsentative Radionuklide | Richtwert Bq/kg |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 10^{-5} | Pu-239, Am-241 | 1 |
| 10^{-7} | I-131, Sr-90 | 100 |
| 10^{-8} | Cs-134, Cs-137 | 1 000 |

10.6.2 EU-Höchstwerte an Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermittel in radiologischen Notstandssituationen

In Council Regulation (Euratom) 2016/52 [52] hat der Rat der Europäischen Gemeinschaft "Höchstwerte an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation" festgelegt.

Bei den Nahrungsmitteln werden mehrere Gruppen unterschieden [53]:

- Nahrungsmittel für Säuglinge (eindeutig als solche gekennzeichnet und für die ersten vier bis sechs Lebensmonate bestimmt),
- Milcherzeugnisse (nur bestimmte),
- Andere Nahrungsmittel außer Nahrungsmitteln von geringer Bedeutung,
- flüssige Nahrungsmittel wie Obstsäfte oder Wein,
- Nahrungsmittel von geringer Bedeutung.

Die Höchstwerte wurden abgeleitet von einer Dosisbegrenzung auf

- 2,5 mSv Effektivdosis für Säuglinge während der ersten sechs Monate und
- 25 mSv Schilddrüsendosis für diese Personengruppe sowie
- 5 mSv effektive Folgeäquivalentdosis für Erwachsene und
- 50 mSv Folgeäquivalentdosis für das Organ Schilddrüse.

Methoden, Datenbasis und Annahmen, die bei der Erstellung der **Tabelle 10_14** aus der angegebenen Dosisbegrenzung angewendet wurden, sind in [54] detailliert beschrieben.

Tabelle 10_14: Höchstwerte für Nahrungsmittel nach der EU-Richtlinie

| Radionuklid bzw. Radionuklidgruppe | Milcherzeugnisse Bq/kg | Hauptnahrungsmittel*) Bq/kg | Nahrungsmittel geringer Bedeutung**) Bq/kg o. Bq/l | Nahrungsmittel für Säuglinge*) Bq/kg o. Bq/l | Flüssige Nahrungsmittel***) Bq/l |
|---|------------------------|-----------------------------|--|--|----------------------------------|
| Strontiumisotope, insbesondere Sr-90 | 125 | 750 | 7 500 | 75 | 125 |
| Iodisotope, insbes. I-131 | 500 | 2 000 | 20 000 | 150 | 500 |
| Alphateilchen emittierende Plutoniumisotope und Transplutoniumisotope, insbesondere Pu-239, Am-241 | 20 | 80 | 800 | 1 | 20 |
| Alle übrigen Radionuklide mit einer Halbwertszeit von mehr als 10 Tagen, insbesondere Cs-134 und Cs-137 (gilt nicht für H-3 und C-14) | 1 000 | 1 250 | 12 500 | 400 | 1 000 |

*) Zu den Hauptnahrungsmitteln zählen Getreideprodukte, Gemüse, Obst, Käse, Fleisch und Fisch. Nahrungsmittel für Säuglinge sind eindeutig als solche gekennzeichnet und für die ersten vier bis sechs Monate bestimmt.

**) Zu den Nahrungsmitteln von geringer Bedeutung sind insbesondere zu zählen: Gewürze; Kräutertees; gezuckerte (haltbar gemachte) Früchte, Fruchtschalen und andere Pflanzenteile; Hefe und andere nicht lebende Einzeller; Hopfen (Blütenzapfen); Kapern; Kaviar und Kaviarersatz; Knoblauch; Küchenkräuter; Maniok und dessen Produkte; Maranta; Paranüsse; Algen; Topinambur; Trüffel; Salep; Schalen von Zitrusfrüchten und Melonen; Süßkartoffeln; Vitamine und Provitamine; Gelier-, Verdickungs- und Überzugsmittel pflanzlicher Herkunft (Zusatzstoffe); usw.

***) Für Trinkwasser sollten nach dem Ermessen der zuständigen nationalen Behörden identische Werte gelten. Flüssige Nahrungsmittel sind Frucht- und Gemüsesäfte, Mineralwasser, Bier und Wein.

Die spezifischen Aktivitäten und Aktivitätskonzentrationen in **Tabelle 10_14** gelten für die Summe der Aktivitäten innerhalb der in der ersten Spalte jeweils angegebenen Radionuklidgruppe.

Die Höchstwerte gelten für zum unmittelbaren Verzehr bestimmte Erzeugnisse und Zubereitungen. Die für Konzentrate und getrocknete Erzeugnisse geltende Höchstgrenze wird anhand der verzehrfähigen Zubereitung (Verdünnung) errechnet.

Die EG hat für den Fall eines nuklearen Unfalls für die dann tolerierbaren Gehalte an Cs-134 und Cs-137 in Futtermitteln folgende Werte vorsorglich festgelegt [52]:

- Cs-134 und Cs-137 in Futtermitteln für Schweine: 1 250 Bq/kg
- Cs-134 und Cs-137 in Futtermitteln für Geflügel, Lämmer, Kälber: 2 500 Bq/kg
- Cs-134 und Cs-137 in Futtermitteln für sonstige Tiere: 5 000 Bq/kg

10.6.3 EU-Grenzwerte für Trinkwasser

In der Richtlinie 2013/51/EURATOM [55] wurden die Mindestanforderungen an die Qualität von Trinkwasser und Wasser für den menschlichen Gebrauch geregelt (Tabelle 10_15).

Tabelle 10_15 Parameterwerte für die Qualität von Trinkwasser

| Radionuklid/ Parameter | Parameterwert*) | Einheit | Anmerkungen |
|------------------------|-----------------|----------|-------------|
| Radon | 100 | Bq/l | 1 |
| Tritium | 100 | Bq/l | 2 |
| Richtdosis | 0,10 | mSv/Jahr | |

Anmerkung 1

a) Die Mitgliedstaaten können einen Wert für Radon festsetzen, der nicht überschritten werden sollte und unterhalb dessen die Optimierung des Schutzes fortgesetzt werden sollte, ohne dabei die Wasserversorgung auf nationaler oder regionaler Ebene zu gefährden. Der von einem Mitgliedstaat festgesetzte Wert kann höher als 100 Bq/l sein, darf aber 1 000 Bq/l nicht übersteigen. Um die nationale Gesetzgebung zu vereinfachen, können die Mitgliedstaaten beschließen, den Parameterwert an diesen Wert anzupassen.

b) Abhilfemaßnahmen gelten aus Strahlenschutzgründen ohne weitere Prüfung als gerechtfertigt, wenn die Radonkonzentration mehr als 1 000 Bq/l beträgt.

Anmerkung 2: Erhöhte Tritiumwerte können auf das Vorhandensein anderer künstlicher Radionuklide hindeuten. Liegt die Tritiumkonzentration über dem für sie festgelegten Parameterwert, ist eine Analyse im Hinblick auf das Vorhandensein anderer künstlicher Radionuklide erforderlich.

10.6.4 EU-Höchstwerte beim Import landwirtschaftlicher Erzeugnisse in Mitgliedsländer

In Tabelle 10_16 finden sich Angaben über die Höchstwerte der spezifischen Aktivität von Cs-134 plus Cs-137, in Nahrungsmitteln, die aus Drittländern in die EU importiert werden [56].

Tabelle 10_16: EU- Höchstwerte für importierte landwirtschaftliche Erzeugnisse

| Radionuklide | Milch, Milcherzeugnisse und Lebensmittel für Kleinkinder (bis zum 6. Lebensmonat) Bq/kg*) | Andere Erzeugnisse Bq/kg*) |
|-------------------|--|-------------------------------|
| (Cs-134 + Cs-137) | 370 | 600 |

*) Konzentrate und Trockenprodukte als verzehrfähige Zubereitung, die in Packungen für den Einzelhandel dargeboten werden und die eindeutig als Zubereitungen für Kleinkinder gekennzeichnet und etikettiert sind.

10.6.5 Regelungen in Deutschland

In Deutschland gibt es Aktivitätsbegrenzungen in Lebensmitteln lediglich für Trinkwasser. Unbeschadet dessen gelten natürlich die sogenannten Importgrenzwerte gemäß Tabelle 10_16. Die nationale Trinkwasserverordnung [57] basiert auf der EU-Trinkwasserrichtlinie [58] und sieht die in Tabelle 10_15 für die Sicherung der Qualität von Trinkwasser aufgeführten Parameterwerte vor.

10.6.6 Regelungen in Österreich

Für Lebensmittel gelten die EU-Verordnungen, für Trinkwasser die EU-Richtlinien. Des Weiteren ist im Österreichischen Lebensmittelbuch [59] und in der österreichischen Trinkwasserverordnung [60] definiert, dass bei 10-facher Überschreitung eines Indikatorparameterwertes für die Radioaktivität unverzüglich die erforderlichen Abhilfemaßnahmen zu treffen, insbesondere die Abnehmer zu informieren und auf etwaige Vorsichtsmaßnahmen in Bezug auf radioaktive Stoffe hinzuweisen sind.

10.6.7 Regelungen in der Schweiz

In der Schweiz gelten für Radionuklide in Lebensmitteln – allerdings nur nach einem nuklearen Unfall oder einer anderen radiologischen Notfallsituation – die Höchstgehalte für Kontaminanten gemäß der Kontaminantenverordnung (VHK) vom 16.12.2016 [61]. Deren Zahlenwerte entsprechen den Höchstwerten für Radionuklide in Lebensmitteln der EU. Die früher gültige Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) mit Toleranz- und Grenzwerten für Lebensmittel vom 21.10.2014 wurde am 1.5.2017 aufgehoben.

Stellen die kantonalen Vollzugsbehörden nach der Lebensmittelgesetzgebung in einer Notfall-Expositionssituation oder in der folgenden bestehenden Expositionssituation eine Überschreitung eines Höchstgehalts für Radionuklide in Lebensmitteln fest, so treffen sie Maßnahmen nach der Lebensmittelgesetzgebung und informieren das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV). Dieses informiert das Bundesamt für Gesundheit und die anderen Kantone über die bei ihm eingegangenen Meldungen gemäß Art. 147 der StSV [23]. Eine Zusammenstellung der in der Schweiz gültigen Werte für Radionuklide in Lebensmitteln findet sich im BAG-Jahresbericht für 2019 auf der Seite 101 [62].

Für Trinkwasser gelten die Kriterien gemäß der Verordnung über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV) [66]. Darin wird für den Gehalt von Uran ein Höchstwert von 30 µg/Liter angegeben. Für Radon und Tritium besteht ein Richtwert von 100 Bq/l. Für die Gesamtdosis wird ein Richtwert von 0,1 mSv/a festgelegt unter Ausschluss von Tritium, Kalium-40, Radon und kurzlebigen Zerfallsprodukten von Radon.

10.7 Grenzwerte für Radionuklide in Mineralwasser

10.7.1 Deutschland

In Deutschland sind bisher keine Grenzwerte festgelegt. Allerdings sind in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser [63] Angaben gefordert, die zur amtlichen Anerkennung natürlicher Mineralwässer zu begutachten sind:

- Radioaktivität (natürliche Alphastrahler)
- Alpha-Aktivität an der Probenahmestelle
- Alpha-Restaktivität nach 2 bis 15 Tagen

Begutachtungskriterien dazu sind nicht festgelegt.

Weiterhin sind in der Anlage 6 der Mineral- und Tafelwasser-Verordnung [64] Aktivitätskonzentrationen für Radium-226 und Radium-228 definiert, welche beim Hinweis auf die Eignung der Wässer für die Säuglingsernährung nicht überschritten werden dürfen:

- Ra-226 125 mBq/l
- Ra-228 20 mBq/l

Sind beide Radionuklide enthalten, darf die Summe der Aktivitätskonzentrationen, ausgedrückt in Vohundertteilen der zulässigen Höchstkonzentration, 100 nicht überschreiten.

10.7.2 Österreich

Gemäß §5 Z 6 TWV [60] sind bei 10-facher Überschreitung eines Indikatorparameterwertes für die Radioaktivität unverzüglich die erforderlichen Abhilfemaßnahmen zu treffen, insbesondere die Abnehmer zu informieren und auf etwaige Vorsichtsmaßnahmen in Bezug auf radioaktive Stoffe hinzuweisen.

10.7.3 Schweiz

Die Anforderungen an Trinkwasser sind in der TBDV (Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen [65] folgendermaßen festgelegt:

- Höchstwert für Uran-238 0,37 Bq/Liter (entsprechend 30 µg/Liter U-238)
- Richtwert für Radon 100 Bq/Liter
- Richtwert für die Gesamtdosis durch Ingestion 0,1 mSv/Jahr, unter Ausschluss von Tritium, Kalium-40, Radon und kurzlebigen Zerfallsprodukten von Radon

11 Regelungen für die Beförderung

11.1 IAEA-Empfehlungen als Grundlage für internationale Rechtsvorschriften

Grundlage für die internationalen Vorschriften für die Beförderung radioaktiver Stoffe (Klasse 7 der Gefahrgutvorschriften) sind die Empfehlungen der IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material [66].

Unter dem Begriff „Beförderung“ werden im gefahrgutrechtlichen Sinne nicht nur der eigentliche Transport (Ortsveränderung) sondern auch alle die Beförderung vorbereitenden und abschließenden Handlungen (Verpacken, Verladen, Auspacken, usw.) verstanden. Dies bedeutet, dass in der Regel für die nach Strahlenschutzrecht unter „Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen“ fallenden vorbereitenden und abschließenden Tätigkeiten im Rahmen der Beförderung auch die dort festgelegten Grenzwerte für die Strahlenexposition heranzuziehen sind.

Das generelle Sicherheitskonzept, das den IAEA-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe zugrunde liegt, gewährleistet bei bestimmungsgemäßen Beförderungsvorgängen die Sicherheit für Leben und Gesundheit sowohl der an der Beförderung beteiligten Personen als auch von Personen der Bevölkerung. Darüber hinaus wird für Personen, die sich im Nahbereich eines verunfallten Fahrzeuges aufhalten, sichergestellt, dass sie bei Freisetzung der radioaktiven Stoffe keiner höheren Strahlenexposition als 50 mSv (1 m Abstand, 30 min Aufenthalt, Freisetzung der gesamten Aktivität eines Typ-A Versandstücks) ausgesetzt werden.

Radioaktive Stoffe werden im Gefahrgutrecht als Stoffe definiert, die Radionuklide enthalten, bei denen sowohl die spezifische Aktivität (in Bq/g) als auch die Gesamtaktivität je Sendung (Aktivität in Bq) die Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Stoffe bzw. die Aktivitätsgrenzwerte für eine freigestellte Sendung überschreiten. Erst mit Überschreiten beider Grenzwerte sind die gefahrgutrechtlichen Vorschriften anzuwenden.

11.2 Gefahrgutrechtliche Vorschriften für verschiedene Verkehrsträger

Die für die jeweiligen Verkehrsträger geltenden und auf den Empfehlungen der IAEA SSR-6 [66] basierenden Gefahrgutvorschriften sind in der folgenden **Tabelle 11_1** zusammengestellt.

Tabelle 11_1: Gefahrgutvorschriften der verschiedenen Verkehrsträger

| Verkehrsträger | Gefahrgutvorschriften | |
|---------------------------|---|---|
| | international | national Deutschland |
| Straße | ADR - Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße [67] | GGVSEB - Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen [68] und auf Binnengewässern |
| Schiene | RID - Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter | |
| Binnenschiff-fahrt | ADN – Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf Binnenwasserstraßen | |
| See | IMDG – Code : International Maritime Dangerous Goods Code | GGVSee - Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen |
| Luft | ICAO-TI – Annex 18 to the Convention on International Civil Aviation Organization, Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air IATA-DGR – International Air Transport Association, Dangerous Goods Regulations | LuftVG – Luftverkehrsgesetz LuftVZO – Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung |

11.3 Schutzziele und Umsetzung

Das Ziel der Gefahrgutvorschriften besteht darin, Personen, Eigentum und die Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung bei der Beförderung radioaktiver Stoffe zu schützen.

Der Schutz wird erreicht durch

- Umschließung des radioaktiven Inhalts,
- Kontrolle der äußeren Dosisleistung,
- Verhinderung der Kritikalität und
- Verhinderung von Schäden durch Hitze.

Die Anforderungen werden erreicht durch

- die Anwendung eines abgestuften Ansatzes zur Begrenzung der Inhalte für Versandstücke und Beförderungsmittel und zur Aufstellung von Standards, die für Versandstückbauarten in Abhängigkeit von der Gefahr des radioaktiven Inhalts angewendet werden,
- das Aufstellen von Bedingungen für die Auslegung und den Betrieb der Versandstücke und an die Instandhaltung der Verpackungen einschließlich der Berücksichtigung der Art des radioaktiven Inhalts,
- die Forderungen administrativer Kontrolle einschließlich, soweit erforderlich, der Genehmigung / Zulassung durch die zuständigen Behörden und
- Vorkehrungen für die Planung und Vorbereitung von Notfallmaßnahmen zum Schutz von Personen, Eigentum und Umwelt.

Das Schutzziel wird im Wesentlichen durch das Versandstück (Verpackung mit radioaktivem Inhalt) selbst erreicht (Konzept des „sicheren Versandstücks“). Je nach Gefährdungspotential des zu befördernden radioaktiven Stoffes (Art (z. B. spaltbar, nicht spaltbar), Menge, Aktivität bzw. spezifische Aktivität etc.) muss das Versandstück entsprechende sicherheitstechnische Anforderungen erfüllen.

11.3.1 Versandstück

Demnach werden radioaktive Stoffe je nach u. a. Aktivität, spezifischer Aktivität bzw. Oberflächenkontamination in acht qualitativ unterschiedlichen Versandstücken befördert (unter bestimmten Bedingungen können radioaktive Stoffe auch unverpackt befördert werden). Hierbei unterscheidet man:

- Freigestellte Versandstücke
- Industrieversandstücke des Typs 1 (Typ IP-1-Versandstück)
- Industrieversandstücke des Typs 2 (Typ IP-2-Versandstück)
- Industrieversandstücke des Typs 3 (Typ IP-3-Versandstück)
- Typ A-Versandstücke
- Typ B(U)-Versandstücke
- Typ B(M)-Versandstücke
- Typ C-Versandstücke

11.3.2 Aktivitätswerte

Die für die Beförderung grundlegenden nuklidspezifischen Aktivitätswerte sind in den Gefahrgutvorschriften als Tabelle angegeben. Ein Auszug dieser Tabelle zeigt **Tabelle 13_13 im Anhang**.

Dabei werden folgende Aktivitätswerte unterschieden:

- A1-Aktivitätswerte und A2-Aktivitätswerte in TBq
- Werte der spezifischen Aktivität für freigestellte Stoffe in Bq/g
- Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Sendungen in Bq

Die A₁- und A₂-Werte werden für die Bestimmung der Aktivitätsgrenzwerte für radioaktive Stoffe in besonderer Form (A₁) und für radioaktive Stoffe, die nicht in besonderer Form vorliegen (A₂), verwendet. Die Aktivität in einem Typ A-Versandstück (prüfungspflichtig) darf die A₁- bzw. A₂-Aktivitätsgrenzwerte nicht übersteigen. Liegt die Aktivität des zu

befördernden radioaktiven Stoffes oberhalb des A_1 - bzw. A_2 -Aktivitätsgrenzwertes, muss der radioaktive Stoff in einem bauartzugelassenen Versandstücktyp (Typ B(U), Typ B(M) oder Typ C) befördert werden. Bei Versendung als LSA gibt es nur die spezifische Aktivität als Begrenzung, daher kann die Gesamtaktivität ggf. oberhalb liegen.

11.3.3 Aktivitätsgrenzwerte in Abhängigkeit der A_1/A_2 -Werte

Die Aktivität eines radioaktiven Stoffes in einem Typ A-Versandstück darf die A_1 - bzw. A_2 -Aktivitätsgrenzwerte nicht übersteigen. Der A_1 -Wert ist dabei der maximale Aktivitätsinhalt, der in einem Typ A-Versandstück befördert werden darf, wenn der radioaktive Stoff in besonderer Form vorliegt („special form“-Zulassung). Besondere Form ist entweder (s. SSR-6 oder ADR):

- ein nicht dispergierbarer fester radioaktiver Stoff oder
- eine dichte Kapsel, die radioaktive Stoffe enthält.

Der A_2 -Wert ist der entsprechende Grenzwert, wenn der Stoff nicht in besonderer Form vorliegt.

Für Typ B- bzw. Typ C-Versandstücke, in denen Aktivitäten, die höher sind als die A_1/A_2 -Werte, befördert werden dürfen, wird der zulässige Aktivitätsinhalt in der Bauartzulassung des Versandstückes festgelegt.

In der folgenden **Tabelle 11_2** sind die Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Versandstücke in Abhängigkeit des Aggregatzustands und der Form des radioaktiven Stoffs dargestellt. Dabei wird zusätzlich noch bzgl. Instrumenten/Fabrikaten (UN 2911) und begrenzten Stoffmengen (UN 2910) unterschieden.

Tabelle 11_2: Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Versandstücke

| Aggregatzustand des Inhaltes | Instrumente oder Fabrikate | | Stoffe |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | Grenzwert je Einzelstück | Grenzwert je Versandstück | Grenzwerte je Versandstück |
| feste Stoffe | | | |
| in besonderer Form | $10^{-2} A_1$ | A_1 | $10^{-3} A_1$ |
| in anderer Form | $10^{-2} A_2$ | A_2 | $10^{-3} A_2$ |
| flüssige Stoffe | $10^{-3} A_2$ | $10^{-1} A_2$ | $10^{-4} A_2$ |
| Gase | | | |
| Tritium | $2 \cdot 10^{-2} A_2$ | $2 \cdot 10^{-1} A_2$ | $2 \cdot 10^{-2} A_2$ |
| in besonderer Form | $10^{-3} A_1$ | $10^{-2} A_1$ | $10^{-3} A_1$ |
| in anderer Form | $10^{-3} A_2$ | $10^{-2} A_2$ | $10^{-3} A_2$ |

Für die Gesamtaktivität in Fahrzeugen, die LSA-Stoffe oder SCO-Gegenstände in Industriever sandstücken oder unverpackt befördern, gelten die in der **Tabelle 11_3** aufgeführten Aktivitätsgrenzwerte.

Tabelle 11_3: Aktivitätsgrenzwerte je Fahrzeug

| Art des Stoffes oder Gegenstandes | Aktivitätsgrenzwerte je Fahrzeug |
|---|----------------------------------|
| LSA-I | unbegrenzt |
| LSA-II und LSA-III nicht brennbare feste Stoffe | unbegrenzt |
| LSA-II und LSA-III brennbare feste Stoffe und alle flüssigen Stoffe und Gase | $100 A_2$ |
| SCO | $100 A_2$ |

11.3.4 Grenzwerte für die Oberflächenkontamination

Die Kontaminationsgrenzwerte im Gefahrgutrecht sind – im Gegensatz zum Strahlenschutzrecht – nicht nuklidspezifisch, sondern werden lediglich in die zwei folgenden Gruppen eingeteilt:

- Beta- und Gammastrahler sowie Alphastrahler geringer Toxizität und
- alle anderen Alphastrahler.

Eine **nichtfesthaftende Kontamination** darf

- an den Außenseiten eines Versandstücks unter Routinebeförderungsbedingungen und
- an den Außen- und Innenseiten einer Umverpackung, eines Containers, eines Tanks, eines Großpackmittels (IBC) oder eines Fahrzeugs

folgende Werte nicht überschreiten

- 4 Bq/cm² für Beta- und Gammastrahler sowie Alphastrahler geringer Toxizität oder 0,4 Bq/cm² für alle anderen Alphastrahler.

Die innere nichtfesthaftende Kontamination einer leeren Verpackung (UN 2908) darf

- 400 Bq/cm² für Beta- und Gammastrahler sowie Alphastrahler geringer Toxizität oder
- 40 Bq/cm² für alle anderen Alphastrahler

nicht überschreiten.

Vorgenannte Grenzwerte sind anwendbar, wenn sie über eine Fläche von 300 cm² jedes Teils der Oberfläche gemittelt werden.

Alphastrahler niedriger Toxizität sind: U_{nat}, U_{abgereichert}, Th_{nat}; U-235, U-238, Th-232; Th-228 und Th-230, wenn sie in Erzen oder physikalischen oder chemischen Konzentraten enthalten sind, oder Alphastrahler mit einer Halbwertszeit von weniger als 10 Tagen.

Die **festhaftende Kontamination** auf Oberflächen von Fahrzeugen, der Ausrüstung oder Teilen davon ist der Höhe nach derart begrenzt, dass die von der Kontamination herrührende Dosisleistung den Wert von 5 µSv/h nicht überschreitet (dieser Grenzwert findet jedoch keine Anwendung auf Versandstücke).

Für oberflächenkontaminierte Gegenstände (SCO-Gegenstände) gelten die in der **Tabelle 11_4** aufgeführten Kontaminationsgrenzwerte.

Tabelle 11_4: Kontaminationsgrenzwerte für SCO-Gegenstände

| SCO-Gruppe | Kontamination | Strahlenart | Kontaminationsgrenzwert ¹ |
|------------|--|---|--|
| SCO-I | zugängliche Oberfläche nicht festhaftend | $\beta, \gamma, \alpha_{\text{niedrige Toxizität}}$ α | 4 Bq/cm ² 0,4 Bq/cm ² |
| | festhaftend | $\beta, \gamma, \alpha_{\text{niedrige Toxizität}}$ α | 4·10 ⁴ Bq/cm ² 4·10 ³ Bq/cm ² |
| | unzugängliche Oberfläche Summe aus festhaftend und nicht festhaftend | $\beta, \gamma, \alpha_{\text{niedrige Toxizität}}$ α | 4·10 ⁴ Bq/cm ² 4·10 ³ Bq/cm ² |
| SCO-II | zugängliche Oberfläche nicht festhaftend | $\beta, \gamma, \alpha_{\text{niedrige Toxizität}}$ α | 400 Bq/cm ² 40 Bq/cm ² |
| | festhaftend | $\beta, \gamma, \alpha_{\text{niedrige Toxizität}}$ α | 8·10 ⁵ Bq/cm ² 8·10 ⁴ Bq/cm ² |
| | unzugängliche Oberfläche Summe aus festhaftend und nicht festhaftend | $\beta, \gamma, \alpha_{\text{niedrige Toxizität}}$ α | 8·10 ⁵ Bq/cm ² 8·10 ⁴ Bq/cm ² |
| SCO-III | äußere Oberfläche nicht festhaftend | $\beta, \gamma, \alpha_{\text{niedrige Toxizität}}$ α | 4 Bq/cm ² 0,4 Bq/cm ² |
| | unzugängliche Oberfläche Summe aus festhaftend und nicht festhaftend | $\beta, \gamma, \alpha_{\text{niedrige Toxizität}}$ α | 8·10 ⁵ Bq/cm ² 8·10 ⁴ Bq/cm ² |

11.3.5 Grenzwerte der Dosisleistung an Versandstücken und Fahrzeugen

Neben der Begrenzung der Aktivitätsinhalte von Versandstücken werden zur Gewährleistung eines ausreichenden Schutzes vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung nicht nur bestimmte Dosisleistungsgrenzwerte festgelegt, sondern auch eine Transportkennzahl (TI), anhand derer die Strahlenexposition, die von Versandstücken, Umverpackungen, Containern, unverpackten LSA-I-Stoffen, SCO-I- oder SCO-III-Gegenständen ausgeht, überwacht wird. Die TI wird folgendermaßen bestimmt: Es wird die höchste Dosisleistung in einem Abstand von 1 Meter von der Außenfläche des Versandstücks, der Umverpackung, des Containers oder der unverpackten LSA-I-Stoffe oder SCO-I-/SCO-III-Gegenstände ermittelt. Wird die Dosisleistung in $\mu\text{Sv/h}$ ermittelt, so ist der Wert durch 10 zu dividieren, wird sie in mSv/h ermittelt, dann wird der Wert mit 100 multipliziert. Für bestimmte großflächige Verpackungen (Tanks und Container) sowie für unverpackte LSA-I-Stoffe und SCO-I-/SCO-III-Gegenstände ist ein von der Fläche der Ladung abhängiger Multiplikationsfaktor zu berücksichtigen. Der so ermittelte Wert ist auf die erste Dezimalstelle aufzurunden, mit der Ausnahme, dass ein Wert von kleiner gleich 0,05 gleich 0 gesetzt werden darf.

Anhand der TI und der Oberflächendosisleistung werden Versandstücke, Umverpackungen und Container den Kategorien I-WEISS, II-GELB oder III-GELB zugeordnet. Die Bedingungen für die Zuordnung in die o.g. Kategorien sind in der **Tabelle 11_5** zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 11_5: *Kategorien von Versandstücken, Umverpackungen und Containern*

¹ gemittelt über eine Fläche von 300 cm² (oder über die Gesamtoberfläche bei weniger als 300 cm²)

| Bedingungen | | Kategorie |
|--|---|-----------------------|
| Transportkennzahl (TI) | höchste Dosisleistung an jedem Punkt der Außenfläche | |
| 0 | nicht größer als 0,005 mSv/h | I-WEISS |
| größer als 0, aber nicht größer als 1 | größer als 0,005 mSv/h, aber nicht größer als 0,5 mSv/h | II-GELB |
| größer als 1, aber nicht größer als 10 | größer als 0,5 mSv/h, aber nicht größer als 2 mSv/h | III-GELB |
| größer als 10 | größer als 2 mSv/h, aber nicht größer als 10 mSv/h | III-GELB ² |

Neben den Bedingungen für die TI hinsichtlich der Kategorie gibt es noch einen Summengrenzwert für die TI von 50 für Container und Fahrzeuge, die nicht unter ausschließlicher Verwendung stehen.

Die Begrenzung der Dosisleistungswerte an Versandstücken, Containern, Umverpackungen, Fahrzeugen, Instrumenten, Fabrikaten, SCO-Gegenständen und LSA-Stoffen ist im Gefahrgutrecht an unterschiedlichen Stellen geregelt. Es ergeben sich im Wesentlichen zusammenfassend die in der **Tabelle 11_6** dargestellten Grenzwerte.

Tabelle 11_6: Dosisleistungsgrenzwerte im Gefahrgutrecht

| | Außenfläche des Versandstücks oder der Umverpackung | 10 cm von der Außenfläche des unverpackten Instruments oder Fabrikats | 1 m von der Außenfläche des Versandstücks | 3 m vom ungeschirmten gering dispergierbaren radioaktiven Stoff oder vom nicht abgeschirmten LSA-Stoff oder SCO-Gegenstand | Außenfläche Fahrzeug oder Container | 2 m von der Außenfläche des Fahrzeugs oder des Containers |
|--|---|---|---|--|-------------------------------------|---|
| Freigestelltes Versandstück | 5 µSv/h | 100 µSv/h | | | | |
| Nicht freigestelltes Versandstück und Umverpackung | 2 mSv/h | | | 10 mSv/h | 2 mSv/h | 100 µSv/h |
| Beförderung unter ausschließlicher Verwendung | 10 mSv/h | | | | | |

Für Fahrzeuge und Container, die spaltbare Stoffe enthalten, gelten die in der **Tabelle 11_7** aufgeführten Grenzwerte für die Kritikalitätssicherheitskennzahl (CSI).

² Ist mit Ausnahme von Containern außerdem unter ausschließlicher Verwendung zu befördern.

Tabelle 11_7: Grenzwerte für die CSI für Fahrzeuge und Container

| Art des Containers oder Fahrzeugs | Grenzwerte für die Summe der CSI in einem Container oder Fahrzeug | |
|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| | nicht unter ausschließlicher Verwendung | unter ausschließlicher Verwendung |
| Kleincontainer | 50 | nicht zutreffend |
| Großcontainer | 50 | 100 |
| Fahrzeug | 50 | 100 |

Schweiz:

Transport (Beförderung) sowie Ein-, Aus- und Durchfuhr von radioaktivem Material sind in der StSV Art. 101 bis 103 geregelt. Dies betrifft die Bewilligung hierzu, die verantwortlichen Personen, die Transportbehälter und die Verpackung sowie die Anforderungen bezüglich Qualitätssicherung (Zertifizierung & Akkreditierung). Für weitere Angaben dazu sei auf [69] verwiesen, sowie auf die diesbezüglichen Vorgaben der IAEA und die entsprechenden europäischen Übereinkommen.

12 Referenzen

- [1] ISO 11929-1:2019-02: Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of coverage interval) for measurements of ionizing radiation - Fundamentals and application - Part 1: Elementary applications.
- [2] ISO 11929-2:2019-02: Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation - Fundamentals and application - Part 2: Advanced applications.
- [3] ISO 11929-3:2019-02: Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation - Fundamentals and application - Part 3: Applications to unfolding methods.
- [4] ISO 11929-4:2022-07: Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation - Fundamentals and application - Part 4: Guidelines to applications.
- [5] E. d. Strahlenschutzkommission, „Methodik zur Berücksichtigung von Messunsicherheiten bei messtechnischen Prüfungen im Geltungsbereich der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung“, Verabschiedet in der 283. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 15./16. September 2016, 2016.
- [6] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Annals of the ICRP, Publication 103. Editor: J. Valentin; Published by Elsevier Ltd.; Ann. ICRP 37 (2-4)..
- [7] Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3; IAEA safety standards series, ISSN 1020–525X; no. GSR Part 3; ISBN 978–92–0–135310–8..
- [8] Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami.
- [9] 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 und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 9.
- [10] Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen, Amtsblatt der Europäischen Union.
- [11] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), zuletzt geändert am 3. Januar 2022 (BGBl. I S. 15).
- [12] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 29.11.2018; (BGBl. I S. 2034, 2036; 2021 I S. 5261), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4645).
- [13] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) Vom 13. Dezember 2006.
- [14] Allgemeiner Notfallplan des Bundes gemäß § 98 StrlSchG (D).
- [15] 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.

- [16] Bundesgesetz in Österreich über Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzgesetz 2020 – StrSchG2020) StF: BGBl. I Nr. 50/2020.
- [17] Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über Maßnahmen zum Schutz von Personen vor Gefahren durch Radon (Radonschutzverordnung – RnV) StF: BGBl. II Nr. 470/2020.
- [18] Verordnung der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen über Maßnahmen zum Schutz von Personen vor Schäden durch Anwendung ionisierender Strahlung im Bereich der Medizin (Medizinische Strahlenschutzverordnung – MedStrSchV) StF: BGBl. II Nr. 375/2017.
- [19] Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, des Bundesministers für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz und der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über a.
- [20] Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über Interventionen in Notfallexpositionssituationen und in bestehenden Expositionssituationen nach einem radiologischen Notfall oder aufgrund von kont.
- [21] Gesamtstaatlicher Notfallplan; Ereignisse in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Abt. V/8 – Strahlenschutz Wien, 2020. Stand: 15. April 2021.
- [22] Schweizer Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991 (Stand am 1. Januar 2022).
- [23] Schweizer Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2022).
- [24] Schweizer Verordnung des EDI über die Personen- und Umgebungsdosimetrie (Dosimetrieverordnung) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [25] Gesetz über die Beförderung radioaktiver Güter in Österreich (BGBl. Nr. 297/1996)[20].
- [26] K. Winfried, Lexikon der Kernenergie. Ausgabe Januar 2019., 2019.
- [27] ICRP 1980, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 2). Ann. ICRP 4 (3-4), 1980.
- [28] ICRP 1994, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24 (1-3), 1994..
- [29] ICRP 1990, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3), 1990.
- [30] ENSI-Richtlinie G14: Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen (März 2022)..
- [31] ICRP 2018, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann ICRP 46,(3-4), 2018.
- [32] ICRP 1993, Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Ann ICRP 23(2):1–45, 1993.
- [33] ICRP 2010, Lung cancer risk from radon and progeny and statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40(1), 2010.
- [34] IAEA 1996: International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. – IAEA Safety Series No. 115, International Atomic Energy Agency, Vienna (ISBN 92-0-104295-7).
- [35] S. Darby et al.: Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. BMJ 2005 Jan 29;330(7485):223. doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63. Epub 2004 Dec 21.

- [36] UNSCEAR (2020), Information Note for Participants at the IAEA Technical Meeting on the Implications of the New Dose Conversion Factors for Radon, 1-4 Oct 2019; Prepared by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) and the United Nations.
- [37] Kommentar: Radon-Konversionsfaktoren von Hansruedi Völkle, Rolf Michel und Bernd Lorenz in der StrahlenschutzPRAXIS 3/2020, Seiten 110-112..
- [38] Euratom Nr.143/90: Empfehlung der Kommission vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden ABl. L 80 vom 27.3.1990, S. 26–28.
- [39] Radon-Schutz an Arbeitsplätzen -Stufenkonzept geeigneter Maßnahmen für Arbeitgeber*innen. - Bundesamt für Strahlenschutz; Salzgitter, November 2020.
- [40] Verordnung (EG) Nr.765/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. Juli 2008 über die Vorschriften für die Akkreditierung und Marktüberwachung im Zusammenhang mit der Vermarktung von Produkten und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr.339/93 des.
- [41] ICRP 1993, Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency / Publication No. 63. Editor: H. Smith; Published by Pergamon Press, Oxford and New York (ISBN 008 042 2047); Ann. ICRP 93..
- [42] IAEA Safety Series No. 115/CD. English STI/PUB/996/CD | 92-0-106003-3 | Date published: 2003 ..
- [43] WHO 1999: Guidelines for Iodine Prophylaxis Following Nuclear Accidents /Environmental Health Series 35 Update 1999. World Health Organization, Geneva..
- [44] Empfehlung der Strahlenschutzkommission: Abgeleitete Richtwerte für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden, 303. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 24./25. Oktober 2019.
- [45] Maßnahmenkatalog SSK60: Übersicht über Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen Überarbeitung des Maßnahmenkatalogs Band 1 und 2, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Redakt.
- [46] Schweizer Verordnung über Bevölkerungsschutz (BevSV) vom November 2020 (Stand am 01. Januar 2021).
- [47] ENSI-Richtlinie B04: Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht (November 2018).
- [48] Empfehlung der Strahlenschutzkommission, vom 22. September 1989, Bundesanzeiger Nr. 45 vom 6. März 1990.
- [49] Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Methodik zur Berücksichtigung von Messunsicherheiten bei messtechnischen Prüfungen im Geltungsbereich der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung“ Verabschiedet in der 283. Sitzung der Strahlenschutzkomm.
- [50] StrlSchV89 (deutsche) Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) - vom 13.10.1976 i.d.F. vom 30.6.1989, BGBl I, S.1321ff.
- [51] Food and Agriculture Organisation of the United Nations/World Health Organisation, Codex Alimentarius, General Requirements, Section 6.1, Guideline Levels for Radionuclides in Foods Following Accidental Nuclear Contamination, Joint FAO/WHO Food Standards.
- [52] 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).
- [53] Verordnung (EG) Nr. 2204/1999 der Kommission vom 12. Oktober 1999 zur Änderung des Anhangs I der Verordnung (EWG) Nr. 2658/87 des Rates über die zolltarifliche und statistische Nomenklatur sowie den gemeinsamen Zolltarif, Abl. L 278/1, 28.10.1999.

- [54] F. Luykx, The Response of the European Communities to Environmental Contamination Following the Chernobyl Accident. International Symposium on Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident. FAO, IAEA, UNEP, WHO, Vienna 16 – 20 October 198.
- [55] 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.
- [56] Verordnung (EWG) Nr. 1707/86 des Rates vom 30. Mai 1986 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 146/88 vom 3.
- [57] Trinkwasserverordnung vom 20. Juni 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 159).
- [58] EU-Trinkwasserrichtlinie 2020/2184 vom 16.12.2020, Amtsblatt der Europäischen Union L 435/1.
- [59] Österreichisches Lebensmittelbuch IV. Auflage Kapitel / B1 / Trinkwasser.
- [60] Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TWV), StF:BGBl.II Nr.304/2001 [CELEX-Nr.:398L0083].
- [61] Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten (Kontaminantenverordnung, VHK) vom 16. Dezember 2016 (Stand am 1. Juli 2020).
- [62] BAG-Jahresbericht zu Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz für 2019, Seite 101.
- [63] Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Anerkennung und Nutzungsgenehmigung von natürlichem Mineralwasser vom 09.03.2001.
- [64] Mineral- und Tafelwasser-Verordnung vom 1. August 1984 (BGBl. I S. 1036), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 20. Juni 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 159) geändert worden ist.
- [65] Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV) vom 16. Dezember 2016 (Stand am 1. August 2021).
- [66] Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev.1).
- [67] Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße vom 30. September 1957 (BGBl. 1969 II S. 1491), Fußnote G v. 18.8.1969 II 1489 In Kraft gem. Bek. v. 28.1.1970 II 50 mWv 1.1.1970 geändert durch Protokoll v. 1.
- [68] Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt – GGVSEB) (BGBl. I S. 481), zuletzt geändert d.
- [69] Schweizer Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (SDR) vom 29. November 2002 (Stand am 1. Januar 2021).
- [70] DIN 6814 Teil 3 Begriffe in der radiologischen Technik; Dosisgrößen und Dosisseinheiten, 2001-01.
- [71] Glossar zu den Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung, September 2009, ISSN 1865-8725.
- [72] Schweizer Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV) vom 14. November 2018 (Stand am 1. Januar 2021).

13 Anhang

13.1 Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Tabelle 13_1: Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Bedeutung |
|-----------------|---|
| a | annum = Jahr |
| ADR | European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (Europäisches Übereinkommen für die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße) |
| AKB | Arbeitskreis „Beförderung“ im Fachverband für Strahlenschutz |
| AKD | Arbeitskreis „Dosimetrie“ im Fachverband für Strahlenschutz |
| AKE | Arbeitskreis Entsorgung im Fachverband für Strahlenschutz |
| AKU | Arbeitskreis „Umweltüberwachung“ im Fachverband für Strahlenschutz |
| AKNat | Arbeitskreis „Natürliche Radioaktivität“ im Fachverband für Strahlenschutz |
| AllgStrSchV2020 | Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 |
| AT | Österreich |
| AtG | Atomgesetz |
| BAG | CH: Bundesamt für Gesundheit |
| BMK | AT: Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (AT) |
| BMU | D: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| BMUV | D: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz |
| CA | CH: Aktivitätskonzentrationsrichtwert für Luft (siehe Tab. 9.5.c im Anhang) |
| CH | Schweiz |
| CS | CH: Oberflächenkontaminationsrichtwert (siehe Tab. 9.5.c im Anhang) |
| CSI | Kritikalitätssicherheitskennzahl (Criticality Safety Index) |
| d | dies = Tag |
| D | Deutschland |
| EDI | CH: Eidgenössisches Department des Inneren |
| EU | Europäische Union |
| ENSI | Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (Schweizer Aufsichtsbehörde für Kernanlagen) |
| Euratom | Staatengemeinschaft, die sich im sog. Euratomvertrag verpflichtet hat, neuere Erkenntnisse im Strahlenschutz in harmonisiertes nationales Recht umzusetzen |
| FAO | Food and Agriculture Organization der UNO |
| FS | Fachverband für Strahlenschutz |
| GGVSE | D: Gefahrgutverordnung „Straße und Eisenbahn“ |
| GW | Grenzwert |
| IAEA | Internationale Atomenergie-Agentur, (International Atomic Energy Agency), Wien |
| IATA | International Air Transport Association |

| | |
|----------|---|
| ICRP | Internationale Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection) |
| ICRU | International Commission on Radiation Units and Measurements |
| ILO | International Labour Organisation (ILO) |
| IMDG | International Maritime Code for Dangerous Goods |
| IRPA | International Radiation Protection Association |
| LA | CH: Bewilligungsgrenze |
| LEAR | lifetime excess absolute risk |
| LL | Befreiungsgrenze |
| LM | Lebensmittel |
| LSA | Low specific activity |
| NORM | Naturally Occurring Radioactive Material |
| OECD/NEA | Nuclear Energy Agency of the Organization for Economic Co-operation and Development |
| ÖVS | Österreichischer Verband für Strahlenschutz |
| PAHO | Pan American Health Organization |
| RID | Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter) |
| RnV | AT: Radonschutzverordnung |
| RW | Richtwert |
| SCO | Surface Contaminated Objects |
| StrISchG | Strahlenschutzgesetz |
| StrISchV | D: Strahlenschutzverordnung |
| StSV | CH: Strahlenschutzverordnung |
| TI | Transportkennzahl |
| UNSCEAR | United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation |
| WHO | Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization) |
| wlm | Working level month: Zeitintegral der potentiellen Alphaenergiekonzentration |

13.2 Größen und Einheiten

Tabelle 13_2: Physikalische Größen und Einheiten [70]

| Physikalische Größe | Einheit | Einheitenzeichen |
|--|--------------------------------|------------------|
| Aktivität | Becquerel | Bq |
| Äquivalentdosis | Sievert | Sv |
| Äquivalentdosisleistung | Sievert/Stunde Sievert/Jahr | Sv/h Sv/a |
| Effektive Dosis | Sievert | Sv |
| Energiedosis | Gray | Gy |
| Energiedosisleistung | Gray/Sekunde | Gy/s |
| Ionendosis | Coulomb/Kilogramm | C/kg |
| Ionendosisleistung | Ampère/Kilogramm | A/kg |
| Umgebungsäquivalentdosis $H^*(10)$ Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$ | Sievert Sievert | Sv |
| Personendosis $H_p(10)$ und $H_p(0,07)$ | Sievert | Sv |

13.3 Umrechnungsfaktoren für die Einheiten der Aktivität und der potenziellen Alphaenergie bei Radon und Radonzerfallsprodukten

Tabelle 13_3: Umrechnungsfaktoren für die Einheiten der Aktivität und der potenziellen Alphaenergie für die Rn-222-Zerfallsprodukte

| | Bq ¹⁾ | J | MeV |
|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Bq ¹⁾ | 1 | $2,2 \cdot 10^{-9}$ | $1,4 \cdot 10^4$ |
| J | $4,5 \cdot 10^8$ | 1 | $6,2 \cdot 10^{12}$ |
| MeV | $7,2 \cdot 10^{-5}$ | $1,6 \cdot 10^{-13}$ | 1 |

¹⁾ Rn-222 bei Annahme des Gleichgewichtsfaktors $F = 0,4$

Tabelle 13_4: Umrechnungsfaktoren für die Einheiten der Aktivitätskonzentration und der potenziellen Alphaenergie-Konzentration für die Rn-222-Zerfallsprodukte

| | Bq · m ⁻³ ¹⁾ | J · m ⁻³ | MeV · m ⁻³ | WL |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| Bq m ⁻³ ¹⁾ | 1 | $2,2 \cdot 10^{-9}$ | $1,4 \cdot 10^4$ | $1,1 \cdot 10^{-4}$ |
| J m ⁻³ | $4,5 \cdot 10^8$ | 1 | $6,2 \cdot 10^{12}$ | $4,8 \cdot 10^4$ |
| MeV m ⁻³ | $7,2 \cdot 10^{-5}$ | $1,6 \cdot 10^{-13}$ | 1 | $7,7 \cdot 10^{-9}$ |
| WL | $9,3 \cdot 10^3$ | $2,1 \cdot 10^{-5}$ | $1,3 \cdot 10^8$ | 1 |

¹⁾ Rn-222 bei Annahme des Gleichgewichtsfaktors $F = 0,4$

Tabelle 13_5: Umrechnungsfaktoren für die gebräuchlichen Einheiten der Exposition und der effektiven Dosis [71]

| | MeV·h·m ⁻³ | J·h·m ⁻³ | WLM | Bq·h·m ^{-3 1)} | mSv | |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| | | | | | a) | b) |
| 1 MeV·h·m ⁻³ | 1 | 1,60·10 ⁻¹³ | 4,52·10 ⁻¹¹ | 7,20·10 ⁻⁵ | 2,24·10 ⁻¹⁰ | 1,6·10 ⁻¹⁰ |
| 1 J·h·m ⁻³ | 6,24·10 ¹² | 1 | 2,82·10 ² | 4,50·10 ⁸ | 1,4·10 ³ | 1,1·10 ³ |
| 1 WLM | 2,21·10 ¹⁰ | 3,54·10 ⁻³ | 1 | 1,59·10 ⁶ | 5 | 4 |
| 1 Bq·h·m ^{-3 1)} | 1,39·10 ⁴ | 2,22·10 ⁻⁹ | 6,28·10 ⁻⁷ | 1 | 3,1·10 ⁻⁶ | 2,4·10 ⁻⁶ |
| 1 mSv a) | 4,5·10 ⁻⁹ | 7,14·10 ⁻⁴ | 0,2 | 3,2·10 ⁵ | 1 | 1 |
| 1 mSv b) | 5,7·10 ⁻⁹ | 9,10·10 ⁻⁴ | 0,25 | 4,2·10 ⁵ | 1 | 1 |

¹⁾Rn-222 bei Annahme des Gleichgewichtsfaktors F = 0,4

a) Beschäftigte

b) Personen der Bevölkerung

13.4 Umrechnungsfaktoren der bis zum 1. August 2011 verwendbaren Messgröße auf die Messgrößen $H^*(10)$ bzw. $H'(0,07)$

Tabelle 13_6: Umrechnungsfaktoren der bis zum 1. August 2011 verwendbaren Messgröße auf die Messgrößen $H^*(10)$ bzw. $H'(0,07)$

| Strahlungsfeld | Umrechnungsfaktor für Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ | Umrechnungsfaktor für Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$ |
|---|---|--|
| Natürliche Umgebungsstrahlung und Gammastrahlung ^{a)} (mit Ausnahme der in folgender Zeile aufgeführten Gammastrahler) | $H^*(10)/H_x = 1,0$ | $H'(0,07)/H_x = 1,0$ |
| Gammastrahlung aus Co-57, Ga-67, Se-75, Tc-99 ^m , Gd-153, Sm-153, Yb-169, Tm-170, Re-186, Ir-192, Hg-197, Au-199, Tl-201, Am-241 | $H^*(10)/H_x = 1,3$ | $H'(0,07)/H_x = 1,3$ |
| Röntgenstrahlungsfeld mit Erzeugungsspannungen größer als 400 kV und Elektronenbeschleuniger ^{a)} | $H^*(10)/H_x = 1,0$ | $H'(0,07)/H_x = 1,0$ |
| Röntgenstrahlungsfeld Erzeugungsspannungen von 50 kV bis 400 kV ^{b)} | $H^*(10)/H_x = 1,3$ | $H'(0,07)/H_x = 1,3$ |
| Röntgenstrahlungsfeld Erzeugungsspannungen kleiner oder gleich 50 kV | $H^*(10)/H_x = 1,0$ | $H'(0,07)/H_x = 1,0$ |
| Betastrahlungsfeld | $H^*(10)$ ist keine geeignete Messgröße | $H'(0,07)/D_g(0,07)=1,0$ Sv/Gy |
| Neutronenstrahlung | $H^*(10)$ ist bereits Messgröße | $H'(0,07)$ ist keine geeignete Messgröße |

^{a)} Wenn im Strahlungsfeld Streustrahlung mit Photonenenergien zwischen 40 keV und 200 keV den überwiegenden Dosisanteil liefern kann oder keine Kenntnisse über die spektrale Energieverteilung der Strahlung vorliegen, ist der Umrechnungsfaktor $H^*(10)/H_x = 1,3$ zu verwenden.

^{b)} Kann der Nachweis erbracht werden, dass der überwiegende Dosisbeitrag von Photonen mit Energien außerhalb des Bereichs von 40 keV bis 200 keV herrührt, kann der Umrechnungsfaktor $H^*(10)/H_x = 1,0$ bzw. $H'(0,07)/H_x = 1,0$ verwendet werden.

13.5 Beispiele für nuklidspezifische Grenz- und Richtwerte ausgewählter Radionuklide

Tabelle 13_7: In Deutschland maximal zulässige Aktivitätskonzentrationen für Ableitungen aus Strahlenschutzbereichen (in Bq/m³)

| Radionuklid | zulässige Aktivitätskonzentrationen für Ableitungen aus Strahlenschutzbereichen (in Bq/m ³) | | | |
|-------------|---|--|--|--|
| | in der Luft | | im Wasser | |
| | Fortluftstrom ≤ 10 ⁴ m ³ /h | Fortluftstrom 10 ⁴ m ³ /h bis 10 ⁵ m ³ /h | Abwassermenge ≤ 10 ⁵ m ³ /a | Abwassermenge > 10 ⁵ m ³ /a |
| H-3 | 1·10 ³ Aerosol | 1·10 ² Aerosol | 1·10 ⁸ | 1·10 ⁷ |
| C-14 | 1 | 6·10 ²⁰ | 6·10 ⁶ | 6·10 ⁵ |
| Co-60 | 1·10 ¹ | 1·10 ⁰ | 2·10 ⁵ | 2·10 ⁴ |
| Sr-90 | 1·10 ⁰ | 1·10 ⁻¹ | 4·10 ⁴ | 4·10 ³ |
| I-131 | 5·10 ⁰ | 5·10 ⁻¹ | 5·10 ⁴ | 5·10 ³ |
| Cs-137 | 9·10 ⁰ | 9·10 ⁻¹ | 3·10 ⁵ | 3·10 ⁴ |
| Ra-226 | 4·10 ⁻² | 4·10 ⁻³ | 2·10 ³ | 2·10 ² |
| Th-232 | 3·10 ⁻³ | 3·10 ⁻⁴ | 2·10 ³ | 2·10 ² |
| U-238 | 5·10 ⁻² | 5·10 ⁻³ | 3·10 ⁴ | 3·10 ³ |
| Pu-239 | 3·10 ⁻³ | 3·10 ⁻⁴ | 2·10 ³ | 2·10 ² |
| Am-241 | 4·10 ⁻³ | 4·10 ⁻⁴ | 2·10 ³ | 2·10 ² |

Tabelle 13_8: Nuklidspezifische Freigrenzen und Oberflächenkontaminationswerte für ausgewählte Radionuklide in Deutschland

| Radionuklid | Freigrenze | | Oberflächenkontamination in Bq/cm ² |
|-------------|-------------------|--|--|
| | Aktivität in Bq | spezifische Aktivität, uneingeschränkte Freigabe von festen und flüssigen Stoffen in Bq/g | |
| H-3 | 1·10 ⁹ | 1·10 ² | 1·10 ² |
| C-14 | 1·10 ⁷ | 1·10 ⁰ | 1·10 ² |
| Co-60 | 1·10 ⁵ | 1·10 ⁻¹ | 1·10 ⁰ |
| Sr-90+ | 1·10 ⁴ | 1·10 ⁰ | 1·10 ⁰ |
| I-131 | 1·10 ⁶ | 1·10 ¹ | 1·10 ¹ |
| Cs-137+ | 1·10 ⁴ | 1·10 ⁻¹ | 1·10 ⁰ |
| Ra-226+ | 1·10 ⁴ | 1·10 ⁻² | 1·10 ⁰ |
| Th-232+ | 1·10 ³ | 1·10 ⁻² | 1·10 ⁻¹ |
| U-238+ | 1·10 ⁴ | 1·10 ⁰ | 1·10 ⁰ |
| Pu-239+ | 1·10 ⁴ | 1·10 ⁻¹ | 1·10 ⁻¹ |
| Am-241 | 1·10 ⁴ | 1·10 ⁻¹ | 1·10 ⁻¹ |

Bei mit + gekennzeichneten Radionukliden sind die Expositionen durch die Tochternuklide bereits berücksichtigt.

Tabelle 13_9: Nuklidspezifische Freigabewerte für ausgewählte Freigabeoptionen und Nuklide in Deutschland

| Radionuklid | Spezifische Freigabe von | | | | |
|-------------|---|--|---|---|--|
| | festen Stoffen bis zu 100 Mg/a zur Beseitigung auf Deponien in Bq/g | Stoffen bis zu 100 Mg/a zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen in Bq/g | Gebäuden zur Wieder- und Weiterverwendung in Bq/cm ² | Gebäuden zum Abriss in Bq/cm ² | Metallschrott zur Rezyklierung in Bq/g |
| H-3 | $6 \cdot 10^4$ | $1 \cdot 10^6$ | $1 \cdot 10^3$ | $4 \cdot 10^3$ | $1 \cdot 10^3$ |
| C-14 | $4 \cdot 10^3$ | $1 \cdot 10^4$ | $1 \cdot 10^3$ | $6 \cdot 10^3$ | $8 \cdot 10^1$ |
| Co-60 | $6 \cdot 10^0$ | $7 \cdot 10^0$ | $4 \cdot 10^{-1}$ | $3 \cdot 10^0$ | $6 \cdot 10^{-1}$ |
| Sr-90+ | $6 \cdot 10^0$ | $4 \cdot 10^1$ | $3 \cdot 10^1$ | $3 \cdot 10^1$ | $9 \cdot 10^0$ |
| I-131 | $5 \cdot 10^1$ | $7 \cdot 10^1$ | $1 \cdot 10^1$ | $6 \cdot 10^2$ | $2 \cdot 10^0$ |
| Cs-137+ | $1 \cdot 10^1$ | $1 \cdot 10^1$ | $2 \cdot 10^0$ | $1 \cdot 10^1$ | $6 \cdot 10^{-1}$ |
| Ra-226+ | $4 \cdot 10^{-1}$ | $5 \cdot 10^0$ | $5 \cdot 10^{-1}$ | $9 \cdot 10^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-2}$ |
| Th-232+ | $7 \cdot 10^{-1}$ | $1 \cdot 10^0$ | | | $1 \cdot 10^{-1}$ |
| U-238+ | $6 \cdot 10^0$ | $1 \cdot 10^1$ | $2 \cdot 10^0$ | $1 \cdot 10^1$ | $2 \cdot 10^0$ |
| Pu-239+ | $1 \cdot 10^0$ | $1 \cdot 10^0$ | $1 \cdot 10^{-1}$ | $2 \cdot 10^0$ | $1 \cdot 10^{-1}$ |
| Am-241 | $1 \cdot 10^0$ | $1 \cdot 10^0$ | $1 \cdot 10^{-1}$ | $3 \cdot 10^0$ | $3 \cdot 10^{-1}$ |

Bei mit + gekennzeichneten Radionukliden sind die Expositionen durch die Tochternuklide bereits berücksichtigt.

Tabelle 13_10: Beispiele für Einzelwerte von CS- und CA-Werten für ausgewählte Radionuklide (CH): Nuklidspezifische Oberflächenkontaminations- und Luftkontaminationsrichtwerte in der Schweiz (aus Anhang 3 der schweizerischen StSV) [23]

| Radionuklid | Oberflächenkontaminationsrichtwerte CS Bq/cm ² (gemittelt über 100 cm ²) | Konzentrationsrichtwert in der Luft CA Bq/m ³ |
|---------------|--|---|
| H-3 (HTO) | 1 000 | 5·10 ⁵ |
| C-14 | 30 | 1·10 ⁴ |
| Co-60 | 3 | 5·10 ² |
| Sr-90 | 3 | 1·10 ² |
| I-131 | 3 | 8·10 ² |
| Cs-137 | 3 | 1·10 ³ |
| Ra-226 | 1 | 4·10 ⁰ |
| Th-232 (nat.) | 1 | 3·10 ⁻¹ |
| U-238 | 10 | 1·10 ⁰ |
| Pu-239 | 1 | 3·10 ⁻¹ |
| Am-241 | 1 | 3·10 ⁻¹ |

Tabelle 13_11: Beispiele für nuklidspezifische Freigrenzen und Bewilligungsgrenzen für ausgewählte Radionuklide in der Schweiz (aus Anhang 3 der schweizerischen StSV) [23]

| Radionuklid | Befreiungsgrenze (LL) Bq/kg | Bewilligungsgrenze (LA) Bq |
|-------------|--------------------------------|-------------------------------|
| H-3 (HTO) | 1·10 ² | 3·10 ⁸ |
| C-14 | 1·10 ⁰ | 9·10 ⁶ |
| Co-60 | 1·10 ⁻¹ | 3·10 ⁵ |
| Sr-90 | 1·10 ⁰ | 6·10 ⁴ |
| I-131 | 1·10 ¹ | 5·10 ⁵ |
| Cs-137 | 1·10 ⁻¹ | 7·10 ⁵ |
| Ra-226 | 1·10 ⁻² | 2·10 ³ |
| Th-232 | 1·10 ⁻¹ | 2·10 ² |
| U-238 | 1·10 ⁰ | 9·10 ² |
| Pu-239 | 1·10 ⁻¹ | 2·10 ² |
| Am-241 | 1·10 ⁻¹ | 2·10 ² |

Tabelle 13_12: In Österreich nuklidspezifische Freigrenzen und Freigrenzen in Bq, der spezifischen Aktivität in Bq/g sowie einzuhaltende Werte der Oberflächenkontaminationen an Gegenständen außerhalb von Strahlenschutzbereichen in Bq/cm²: Beispiele ausgewählter Radionuklide

| Radionuklid | Aktivität in Bq | spezifische Aktivität in Bq/g | Einhaltende Werte der Oberflächenkontaminationen an Gegenständen außerhalb von Strahlenschutzbereichen in Bq/cm ² |
|-------------|-------------------|-------------------------------|--|
| H-3 | 1·10 ⁹ | 1·10 ⁶ | 1·10 ² |
| C-14 | 1·10 ⁷ | 1·10 ⁴ | 1·10 ² |
| Co-60 | 1·10 ⁵ | 1·10 ¹ | 1·10 ⁰ |
| Sr-89 | 1·10 ⁶ | 1·10 ³ | |
| Sr-90+ | 1·10 ⁴ | 1·10 ² | 1·10 ⁰ |
| I-131 | 1·10 ⁶ | 1·10 ² | 1·10 ¹ |
| Cs-137+ | 1·10 ⁴ | 1·10 ¹ | 1·10 ⁰ |
| Ra-226+ | 1·10 ⁴ | 1·10 ¹ | 1·10 ⁰ |
| Ra-228+ | 1·10 ⁵ | 1·10 ¹ | |
| U-238+ | 1·10 ⁴ | 1·10 ¹ | 1·10 ⁰ |
| Pu-239 | 1·10 ⁴ | 1·10 ⁰ | 3·10 ⁻¹ |
| Am-241 | 1·10 ⁴ | 1·10 ⁰ | 3·10 ⁻¹ |

Bei mit + gekennzeichneten Radionukliden sind die Tochternuklide bereits berücksichtigt.

Tabelle 13_13: Beispiel für Aktivitätswerte einiger ausgewählter Radionuklide, A₁-/A₂-Werte, Grenzwerte für die spezifische Aktivität freigestellter Stoffe und Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Sendungen

| Radionuklid | A ₁ | A ₂ | Aktivitätskonzentration*) für freigestellte Stoffe | Aktivitätsgrenzwert für eine freigestellte Sendung |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---|---|
| | in TBq | in TBq | in Bq/g | in Bq |
| H-3 | 4·10 ¹ | 4·10 ¹ | 1·10 ⁶ | 1·10 ⁹ |
| C-14 | 4·10 ¹ | 3·10 ⁰ | 1·10 ⁴ | 1·10 ⁷ |
| Co-60 | 4·10 ⁻¹ | 4·10 ⁻¹ | 1·10 ¹ | 1·10 ⁵ |
| Sr-90+ | 3·10 ⁻¹ | 3·10 ⁻¹ | 1·10 ² | 1·10 ⁴ |
| I-131 | 3·10 ⁰ | 7·10 ⁻¹ | 1·10 ² | 1·10 ⁶ |
| Cs-137+ | 2·10 ⁰ | 6·10 ⁻¹ | 1·10 ¹ | 1·10 ⁴ |
| Ra-226+ | 2·10 ⁻¹ | 3·10 ⁻³ | 1·10 ¹ | 1·10 ⁴ |
| Th-232 | unbegrenzt | unbegrenzt | 1·10 ¹ | 1·10 ⁴ |
| U (natürlich) | unbegrenzt | unbegrenzt | 1·10 ⁰ | 1·10 ³ |
| U (angereichert ≤ 20 %) | unbegrenzt | unbegrenzt | 1·10 ⁰ | 1·10 ³ |
| U (abgereichert) | unbegrenzt | unbegrenzt | 1·10 ⁰ | 1·10 ³ |
| Pu-239 | 1·10 ¹ | 1·10 ⁻³ | 1·10 ⁰ | 1·10 ⁴ |
| Am-241 | 1·10 ¹ | 1·10 ⁻³ | 1·10 ⁰ | 1·10 ⁴ |

Anmerkungen zu Tabelle 13_13:

*) der Begriff „Aktivitätskonzentration“ ist im Deutschen mit dem Begriff „spezifische Aktivität“ gleichzusetzen.

In der Tabelle 13_13 sind Radionuklide aufgeführt, die in [SSR-6 (Rev 1)] (IAEA-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe, überarbeitete Ausgabe 2018) enthalten sind. Diese Radionuklide wurden identisch in die Gefahrgutvorschriften übernommen. (Bei mit + gekennzeichneten Radionukliden sind die Expositionen durch die Tochternuklide bereits berücksichtigt.)

Zu beachten ist hier insbesondere der neue Grenzwert in Spalte 5 „Aktivitätsgrenzwert für eine freigestellte Sendung“, der der Aktivitätsfreigrenze im Strahlenschutzrecht entspricht. Er ermöglicht, sofern ein radioaktiver Stoff „portioniert“ werden kann, ggf. die Befreiung von der Anwendung der Gefahrgutvorschriften.

Ein radioaktiver Stoff unterliegt den Vorschriften des Gefahrgutrechts erst bei Überschreiten beider Aktivitätsgrenzwerte („Aktivitätskonzentration“*) (Spalte 4) und Gesamtaktivität pro Sendung (Spalte 5).

Bestehen Unterschiede in den Aktivitätskonzentrationen*) für freigestellte Stoffe (Spalte 4) des Gefahrgutrechts und der Freigrenze bzw. uneingeschränkten Freigabe in Bq/g des Strahlenschutzrechts sind die jeweiligen Grenzwerte für die Anwendung der entsprechenden Rechtsvorschriften zu beachten!

Beispiel:

Zum Beispiel soll ein C-14-markierter Stoff in flüssiger Form mit der Aktivität von 5·10⁷ Bq und der spezifischen Aktivität von 1·10⁵ Bq/g versandt werden.

Der Aktivitätsgrenzwert von 1·10⁷ Bq für eine freigestellte Sendung und die spezifische Aktivität von 1·10⁴ Bq/g für freigestellte Stoffe sind bei dieser radioaktiv markierten Verbindung überschritten. Die Gefahrgutvorschriften sind anzuwenden. Der C-14 - markierte Stoff kann jedoch als freigestelltes Versandstück versandt werden (siehe Kap. 11, Tabelle 11_2). Eine Beförderungsgenehmigung nach Strahlenschutzrecht ist in diesem Fall nicht erforderlich (s. § 28 Abs. 1 Nr. 3a) StrlSchG).

13.6 Übersicht und Hierarchie der Strahlenschutzgesetzgebung in der Schweiz



EDI: Eidgenössisches Departement des Innern

BAG: Bundesamt für Gesundheit

ENSI: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (Aufsichtsbehörde für Kernanlagen)

Abbildung 13_1: Übersicht und Hierarchie der Strahlenschutzgesetzgebung in der Schweiz

13.7 Stufenkonzept für die Maßnahmen zum Radon-Schutz am Arbeitsplatz

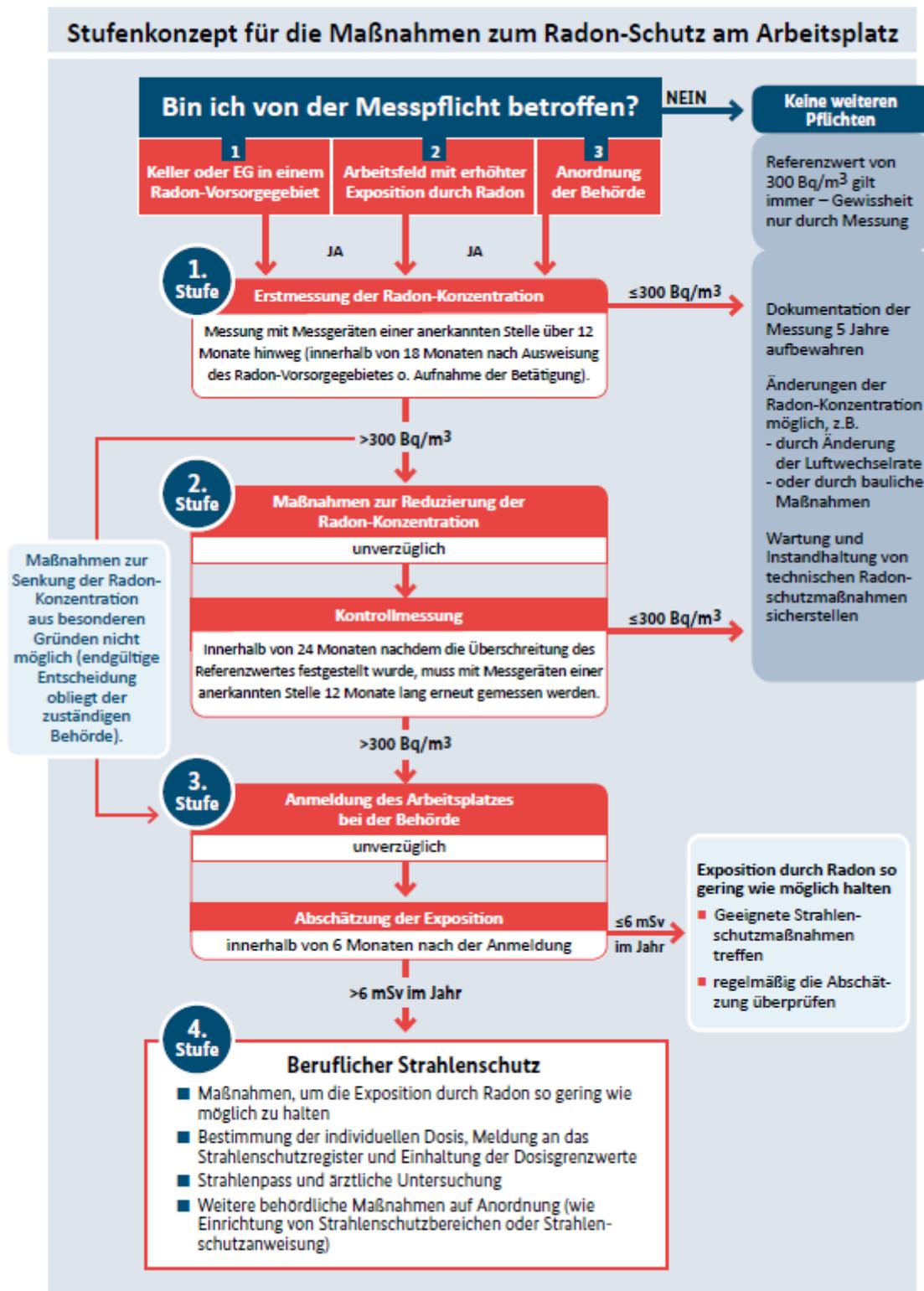


Abbildung 13_2: Stufenkonzept für die Maßnahmen zum Radon-Schutz am Arbeitsplatz [39]

13.8 Tabellenverzeichnis

| | |
|----------------------|---|
| <i>Tabelle 6_1:</i> | <i>In den Expositionssituationen verwendete Dosisricht- und Referenzwerte (nach ICRP 103)</i> |
| <i>Tabelle 7_1:</i> | <i>Von der ICRP empfohlene Dosisgrenzwerte</i> |
| <i>Tabelle 7_2:</i> | <i>Von der IAEA empfohlene Dosisgrenzwerte</i> |
| <i>Tabelle 7_3:</i> | <i>Grenzwerte nach EU-Richtlinie</i> |
| <i>Tabelle 7_4:</i> | <i>Überwachungsgrenzen für Rückstände (D)</i> |
| <i>Tabelle 7_5:</i> | <i>Maßnahmen entsprechend der abgeschätzten Dosis für Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (A)</i> |
| <i>Tabelle 7_6:</i> | <i>Maßnahmen entsprechend der abgeschätzten Dosis beim Fliegen, in der Raumfahrt und einer Exposition durch Radon am Arbeitsplatz (A)</i> |
| <i>Tabelle 7_7:</i> | <i>Nationale Dosisgrenzwerte in Deutschland, Österreich und in der Schweiz für beruflich exponierte Personen im bestimmungsgemäßen Betrieb bzw. beim Umgang mit radioaktiven Stoffen in mSv/a</i> |
| <i>Tabelle 7_8:</i> | <i>Nationale Dosisgrenzwerte in Deutschland, Österreich und in der Schweiz für die Bevölkerung im bestimmungsgemäßen Betrieb bzw. beim Umgang mit radioaktiven Stoffen in mSv/a</i> |
| <i>Tabelle 8_1:</i> | <i>Radon-Referenzwerte in Österreich</i> |
| <i>Tabelle 9_1:</i> | <i>Empfohlene Eingreifrichtwerte der ICRP</i> |
| <i>Tabelle 9_2:</i> | <i>Empfohlene, Maßnahme-bezogene Eingreifrichtwerte für Maßnahmen bei Katastrophenfällen nach IAEA-115 [42]</i> |
| <i>Tabelle 9_3:</i> | <i>Eingreifrichtwerte für verschiedene Bevölkerungsgruppen zur Beachtung bei der Planung der Iodblockade der Schilddrüse</i> |
| <i>Tabelle 9_4:</i> | <i>Von der SSK vorgeschlagene abgeleitete Richtwerte für Schutzmaßnahmen für kurze Zeiträume</i> |
| <i>Tabelle 9_5:</i> | <i>Deutsche Grenzwerte zur Auslegung von Kernkraftwerken gegen Störfälle</i> |
| <i>Tabelle 9_6:</i> | <i>Deutsche Eingreifrichtwerte für Katastrophenschutzmaßnahmen beim Auftreten luftgetragener Aktivität</i> |
| <i>Tabelle 9_7:</i> | <i>Deutsche Eingreifrichtwerte für Katastrophenschutzmaßnahmen bei Ablagerung radioaktiver Stoffe</i> |
| <i>Tabelle 9_8:</i> | <i>Deutsche Eingreifrichtwerte zur Einleitung von Vorsorgemaßnahmen bei Auftreten luftgetragener Aktivität</i> |
| <i>Tabelle 9_9:</i> | <i>Deutsche Eingreifrichtwerte zur Einleitung von Vorsorgemaßnahmen im Bereich der Landwirtschaft bei Auftreten luftgetragener Aktivität</i> |
| <i>Tabelle 9_10:</i> | <i>Deutsche Eingreifrichtwerte zur Einleitung von Vorsorgemaßnahmen bei Ablagerung radioaktiver Stoffe</i> |
| <i>Tabelle 9_11:</i> | <i>Deutsche Eingreifrichtwerte für die Maßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden, Einnahme von Iodtabletten, Evakuierung, langfristige Umsiedlung und temporäre Umsiedlung“</i> |
| <i>Tabelle 9_12:</i> | <i>Allgemeine Kriterien für Schutzmaßnahmen in Österreich</i> |
| <i>Tabelle 9_13:</i> | <i>Operationelle Kriterien für Schutzmaßnahmen in Österreich</i> |
| <i>Tabelle 9_14:</i> | <i>Anforderungen an die Auslegung von Schweizer Betrieben und Anlagen bezüglich der radiologischen Auswirkungen bei einem Störfall [23].</i> |
| <i>Tabelle 9_15:</i> | <i>Dosissschwellen gemäß dem Schweizer Dosismaßnahmenkonzept für die Schutzmaßnahmen nach einem Ereignis [46]</i> |
| <i>Tabelle 10_1:</i> | <i>Freigrenzen und Freigabewerte in Österreich</i> |
| <i>Tabelle 10_2:</i> | <i>Freigabe von Materialien und Immobilien in Deutschland und in der Schweiz in Bq/cm² bzw. Bq/g</i> |

- Tabelle 10_3: Genehmigte Aktivitätskonzentrationen von Abluft und Abwasser*
- Tabelle 10_4: Fortluftströme und Kaminhöhe*
- Tabelle 10_5: Abgabemenge und Durchfluss des Fließgewässers*
- Tabelle 10_6: Richtwerte und Werte für Oberflächenkontaminationen*
- Tabelle 10_7: Werte der flächenbezogenen Aktivität einiger Radionuklide, die bei einer Verweildauer von einer Woche zu einer Hautdosis in Höhe von 1 % des Jahresdosisgrenzwertes von 300 mSv führen [50]*
- Tabelle 10_8: Arbeitsplatztypen für verschiedene Tätigkeiten*
- Tabelle 10_9: Maximal zulässige Oberflächenkontaminationen und Luftaktivitätskonzentrationen innerhalb kontrollierter Zonen in der Schweiz*
- Tabelle 10_10: Einteilung von Gebieten je nach mittlerer Ortsdosisleistung in der Schweiz*
- Tabelle 10_11: Maximal handhabbare offene Aktivität in den verschiedenen Arbeitsbereichen*
- Tabelle 10_12: Eingreifrichtwerte der FAO/WHO für Radionuklide in Hauptnahrungsmitteln für Erwachsene zum allgemeinen Verzehr*
- Tabelle 10_13: Eingreifrichtwerte der FAO/WHO für Radionuklide in Milch und gebrauchsfertiger Nahrung von Kleinkindern (Infants)*
- Tabelle 10_14: Höchstwerte für Nahrungsmittel nach der EU*
- Tabelle 10_15: Parameterwerte für die Qualität von Trinkwasser*
- Tabelle 10_16: EU- Höchstwerte für importierte landwirtschaftliche Erzeugnisse*
- Tabelle 11_1: Gefahrgutvorschriften der verschiedenen Verkehrsträger*
- Tabelle 11_2: Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Versandstücke*
- Tabelle 11_3: Aktivitätsgrenzwerte für Fahrzeuge*
- Tabelle 11_4: Kontaminationsgrenzwerte für SCO-Gegenstände*
- Tabelle 11_5: Kategorien von Versandstücken, Umverpackungen und Containern*
- Tabelle 11_6: Dosisleistungsgrenzwerte an Versandstücken, Umverpackungen und Fahrzeugen*
- Tabelle 11_7: Grenzwerte für die CSI für Fahrzeuge und Container*
- Tabelle 13_1: Abkürzungsverzeichnis*
- Tabelle 13_2: Physikalische Größen und Einheiten*
- Tabelle 13_3: Umrechnungsfaktoren für die Einheiten der Aktivität und der potenziellen Alphaenergie für die Rn-222-Zerfallsprodukte*
- Tabelle 13_4: Umrechnungsfaktoren für die Einheiten der Aktivitätskonzentration und der potenziellen Alphaenergie-Konzentration für die Rn-222-Zerfallsprodukte*
- Tabelle 13_5: Umrechnungsfaktoren für die gebräuchlichen Einheiten der Exposition und der effektiven Dosis*
- Tabelle 13_6: Umrechnungsfaktoren der bis zum 1. August 2011 verwendbaren Messgröße auf die Messgrößen $H^*(10)$ bzw. $H'(0,07)$*
- Tabelle 13_7: In Deutschland maximal zulässige Aktivitätskonzentrationen für Ableitungen aus Strahlenschutzbereichen (in Bq/m³)*
- Tabelle 13_8: Nuklidspezifische Freigrenzen und Oberflächenkontaminationswerte für ausgewählte Radionuklide in Deutschland*
- Tabelle 13_9: Nuklidspezifische Freigabewerte für ausgewählte Freigabeoptionen und Nuklide in Deutschland*
- Tabelle 13_10: Beispiele für Einzelwerte von CS- und CA-Werten für ausgewählte Radionuklide (CH): Nuklidspezifische Oberflächenkontaminations- und Luftkontaminationsrichtwerte in der Schweiz (aus Anhang 3 der schweizerischen StSV) [23]*

Tabelle 13_11: Beispiele für nuklidspezifische Freigrenzen und Bewilligungsgrenzen für ausgewählte Radionuklide in der Schweiz (aus Anhang 3 der schweizerischen StSV[23])

Tabelle 13_12: In Österreich nuklidspezifische Freigrenzen und Freigrenzen in Bq, der spezifischen Aktivität in Bq/g sowie einzuhaltende Werte der Oberflächenkontaminationen an Gegenständen außerhalb von Strahlenschutzbereichen in Bq/cm²: Beispiele ausgewählter Radionuklide

Tabelle 13_13: Beispiel für Aktivitätswerte einiger ausgewählter Radionuklide, A₁-/A₂-Werte, Grenzwerte für die spezifische Aktivität freigestellter Stoffe und Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Sendungen

13.9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 13_1: Übersicht und Hierarchie der Strahlenschutzgesetzgebung in der Schweiz

Abbildung 13_2: Stufenkonzept für die Maßnahmen zum Radon-Schutz am Arbeitsplatz [39]