

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2018

Impressum

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

Redaktion: Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Angela Trugenberger-Schnabel
Daniela Merchel
Dr. Angelika Löbbke-Reinl
Dr. Josef Peter

Redaktioneller Stand: Dezember 2019

Vorwort

Seit 1958 werden die von den amtlichen Messstellen gemessenen Werte der Radioaktivität in der menschlichen Umwelt in Form von Vierteljahresberichten, seit 1968 in Jahresberichten veröffentlicht. Dieser Bericht enthält neben den Ergebnissen der Überwachung der Umweltradioaktivität Angaben über die Strahlenexposition der Bevölkerung durch verschiedene Quellen und behandelt u. a. folgende Themen:

- Quellen natürlicher und zivilisatorisch veränderter natürlicher Radioaktivität,
- Radon in Gebäuden,
- Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten,
- Kernwaffenversuche,
- die Folgen der Reaktorunfälle in Tschernobyl und Fukushima,
- kerntechnische Anlagen,
- berufliche Tätigkeit,
- medizinische Anwendung,
- Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung und Technik,
- radioaktive Abfälle,
- Bedeutsame Vorkommnisse.

Darüber hinaus werden seit 2001 auch Informationen über die nichtionisierende Strahlung - hierzu gehören elektrische und magnetische Felder, elektromagnetische Felder sowie optische Strahlung - und Forschungsprojekte in diesem Bereich veröffentlicht.

Das neue Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 ist teilweise am 1. Oktober 2017, überwiegend aber am 31. Dezember 2018 in Kraft getreten. Wo nichts anderes vermerkt ist, bezieht sich der Bericht auf die im Jahr 2018 überwiegend geltende Gesetzeslage.

Dieser Bericht ist in drei Teile gegliedert. Im ersten Teil „Bericht“ werden die aktuellen Daten wiedergegeben und bewertet. Detaillierte Tabellen und Werte befinden sich hierzu im Teil „Tabellen“. Zudem werden allgemeine Angaben, eine Einführung in die jeweilige Thematik sowie ausführliche Hintergrundinformationen im Teil „Grundlagen“ dargestellt.

INHALTSVERZEICHNIS

BERICHT 2018 - AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG

ZUSAMMENFASSUNG	10
SUMMARY	15
I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
1. Natürliche Umweltradioaktivität	20
2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität	20
2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie	20
2.2 Radon in Gebäuden	23
2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten	24
II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
1. Quellen künstlicher Radioaktivität	26
1.1 Kernwaffenversuche	26
1.2 Zivile Freisetzungen	26
1.3 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall	28
1.4 Anlagen nach Atomgesetz	31
1.5 Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen nach Atomgesetz	31
1.6 Strahlenexposition durch Anlagen nach Atomgesetz	37
2. Allgemeine Umweltüberwachung (Immissionen)	42
2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse	42
2.2 Nord- und Ostsee	56
2.3 Binnengewässer	61
2.4 Böden	67
2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser	68
2.6 Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände	77
2.7 Abwasser und Klärschlamm	78
2.8 Abfälle	80
2.9 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung	82
III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN	
1. Personendosisüberwachung	87
1.1 Dosimeterüberwachte Personen	87
1.2 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen	89
2. Überwachung des fliegenden Personals	89
3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition	92
4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen	92
IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN	
1. Diagnostische Strahlenanwendungen	94
1.1 Röntgendiagnostik	94
1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik	97
1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen	99
1.4 Magnetresonanztomographie als alternatives Untersuchungsverfahren	100
2. Therapeutische Strahlenanwendungen	101
2.1 Therapie mit ionisierender Strahlung	101
2.2 Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen	101

3.	Medizinische Forschung	101
----	------------------------------	-----

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

1.	Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe	103
1.1	Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe	103
1.2	Einfuhrstatistik	103
1.3	Ausfuhrstatistik	104
1.4	Genehmigungen und Anzeigen	104
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe	104
2.1	Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe	105
2.2	Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen	105
3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler	107
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe	107
3.2	Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen	107
3.3	Hochradioaktive Quellen (HRQ)	108
3.4	Störstrahler	108
3.5	Konsumgüter und sonstige Anwendungen	108
3.6	Bestand radioaktiver Abfälle	108
4.	Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse	109

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

1.	Elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen	111
1.1	Elektromagnetische Felder allgemein	111
1.2	Statische elektrische und magnetische Felder	111
1.3	Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (NF)	111
1.4	Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF)	112
2.	Optische Strahlung	115
2.1	Solares UV-Monitoring	115
2.2	Forschung	117
2.3	Rechtliche Regelungen	117
2.4	Hautkrebspräventionsmaßnahmen	118

GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANGABEN

GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND ERLÄUTERUNGEN

1.	Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen	123
1.1	Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung	123
1.2	Strahlendosis und ihre Einheiten	123
1.3	Die Messung der Strahlendosen	125
1.4	Äußere und innere Bestrahlung	126
1.5	Stochastische und deterministische Strahlenwirkung	127
1.6	Genetische Strahlenwirkungen	127
1.7	Induktion bösartiger Neubildungen	128
1.8	Risikoabschätzung	128
1.9	Strahlenschutzmaßnahmen - Die Strahlenschutzverordnung (Überarbeitungsstand 2018)	129
1.10	Strahlenschutzmaßnahmen - Die Euratom-Grundnormen	130

2.	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Stand 31. Dezember 2018	131
----	--	-----

I GRUNDLAGEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1.	Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt	137
1.1	Natürlich radioaktive Stoffe im Boden	138
1.2	Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser	138
1.3	Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre	141
1.4	Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung	142
1.5	Natürliche Strahlenexposition	143
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität	145
2.1	Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie	145
2.2	Radon in Gebäuden	148
2.3	Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten	150

II GRUNDLAGEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1.	Quellen künstlicher Radioaktivität	155
1.1	Kernwaffenversuche	155
1.2	Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall	157
1.3	Fukushima	158
1.4	Anlagen nach Atomgesetz - Allgemeine Angaben	163
2.	Aktivitätsmessungen und Messnetze	164
2.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung	167
2.2	Nord- und Ostsee	168
2.3	Binnengewässer	169
2.4	Böden	170
2.5	Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser	170
2.6	Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe	172
2.7	Abwasser und Klärschlamm	172
2.8	Abfälle	173
2.9	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung	173

III GRUNDLAGEN ZUR BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION

1.	Personendosisüberwachung mit Dosimetern	175
2.	Überwachung des fliegenden Personals	175
3.	Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition	175
4.	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen	175

IV GRUNDLAGEN ZUR STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN

1.	Diagnostische Strahlenanwendungen	177
1.1	Röntgendiagnostik	177
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik	178
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen	178
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren	178
1.5	Qualitätssicherung	179
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen	179
2.1	Strahlentherapie	180
2.2	Nuklearmedizinische Therapie	180

3.	Medizinische Forschung	180
4.	Herzschrittmacher	181

V GRUNDLAGEN ZUM UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

1.	Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe	183
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe	186
3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler	186
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe	186
3.2	Radioaktive Stoffe in Konsumgütern und Industrieerzeugnissen	187
3.3	Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ)	187
3.4	Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler	188
3.5	Bestand radioaktiver Abfälle	188
3.6	Freigabe geringfügig radioaktiver Stoffe	189
4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse	189

VI GRUNDLAGEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG

1.	Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung	191
2.	Statische Felder	192
3.	Niederfrequente Felder	192
4.	Hochfrequente Felder	194
5.	Optische Strahlung	196
5.1	UV-Strahlung	197
5.2	Sichtbares Licht	203
5.3	Infrarotstrahlung	205
6.	Grenzwerte	206

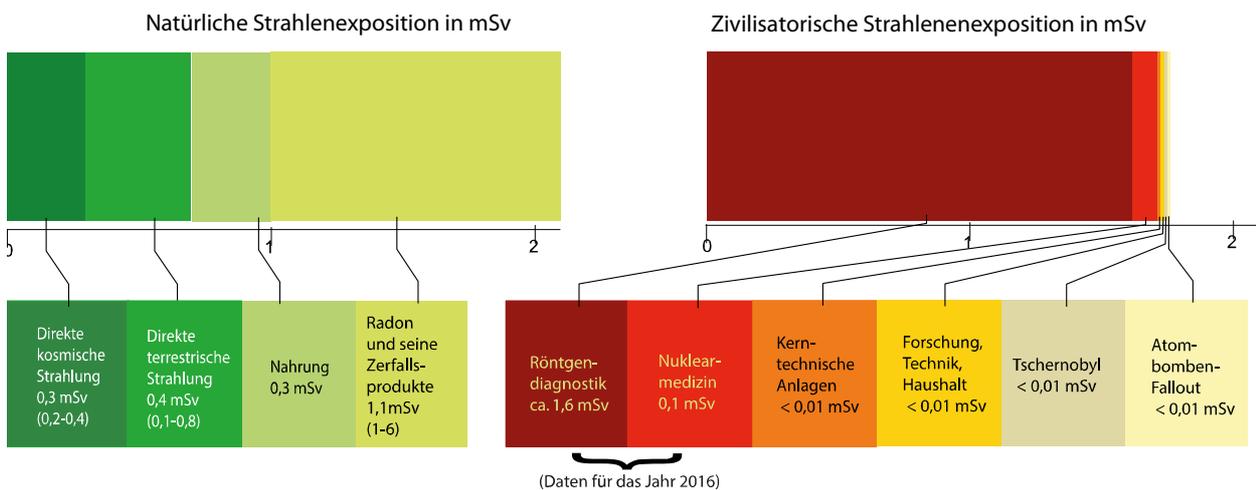
TABELLEN

I.	Tabellen zur natürlichen Umweltradioaktivität	209
II.	Tabellen zur künstlichen Umweltradioaktivität	215
III.	Tabellen zur beruflichen Strahlenexposition	311
IV.	Tabellen zur medizinischen Strahlenexposition	311
V.	Tabellen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung	312
VI.	Tabellen zur nichtionisierenden Strahlung	340
VII.	Abkürzungen und Glossar	341
VIII.	Physikalische Einheiten	351
	Tabellenverzeichnis	357

BERICHT 2018 - AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG

(Überarbeitungsstand 2019)

(CURRENT DATA AND THEIR EVALUATION)



Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung in mSv im Jahr 2018, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands (Wertebereich in Klammern)

Effective annual dose to an individual due to ionising radiation in 2018 (in mSv), averaged over the German population (range in brackets)

ZUSAMMENFASSUNG

Seit 1958 werden die von den amtlichen Messstellen gemessenen Werte der Radioaktivität in der menschlichen Umwelt in Form von Vierteljahresberichten, seit 1968 in Jahresberichten veröffentlicht. Diese Berichte enthalten neben den Ergebnissen der Überwachung der Umweltradioaktivität Angaben über die Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche und künstliche Quellen.

Die mittlere Strahlenexposition für eine Person der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2018 ist in der unten aufgeführten Tabelle nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Dosis beträgt etwa 3,8 Millisievert (mSv) pro Jahr und Person.

Der größte Beitrag erfolgt durch medizinische Anwendungen, insbesondere aus Computertomographie-Untersuchungen. Eine weitere wesentliche Quelle der Strahlenexposition ist das natürlich vorkommende Edelgas Radon und die Inhalation seiner Folgeprodukte, welche sich insbesondere in schlecht gelüfteten Räumen ansammeln. Hierbei ist zu beachten, dass die Werte über die gesamte Bevölkerung gemittelte effektive Dosen darstellen. Die tatsächliche Jahresdosis einer Person hängt stark von den individuellen Gegebenheiten ab.

Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung im Jahr 2018, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands und aufgeschlüsselt nach Strahlenursprung

		mittlere effektive Dosis in Millisievert pro Jahr	
1. natürliche Strahlenexposition			
1.1	durch kosmische Strahlung (in Meereshöhe)	ca. 0,3	
1.2	durch terrestrische Strahlung von außen	ca. 0,4	
	davon bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)		ca. 0,1
	davon bei Aufenthalt in Häusern (19 Std./Tag)		ca. 0,3
1.3	durch Inhalation von Radonfolgeprodukten	ca. 1,1	
	davon bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)		ca. 0,2
	davon bei Aufenthalt im Gebäude (19 Std./Tag)		ca. 0,9
1.4	durch Ingestion von natürlich radioaktiven Stoffen	ca. 0,3	
Summe der natürlichen Strahlenexposition		ca. 2,1	
2. zivilisatorische Strahlenexposition			
2.1	durch Fallout von Kernwaffenversuchen	<0,01	
2.2	Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl	<0,01	
2.3	durch kerntechnische Anlagen	<0,01	
2.4	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin* (ohne Therapie)	ca. 1,7	
	davon durch nuklearmedizinische Untersuchungen		ca. 0,1
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition		ca. 1,7	

* Daten von 2016

Im Folgenden werden Aussagen gemacht über die Strahlenexposition durch

- Natürliche Strahlenquellen,
- Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie,
- Radon in Gebäuden,
- Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten,
- Kernwaffenversuche,
- Reaktorunfälle von Tschernobyl und Fukushima,
- Kerntechnik,
- Berufliche Strahlenexposition,
- Medizinische Anwendung,
- Radioaktive Abfälle,
- Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse,
- Nichtionisierende Strahlung.

Natürliche Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus einer externen und einer internen Komponente, verursacht durch natürliche radioaktive Stoffe in der Umwelt sowie der Höhenstrahlung, zusammen. Zur externen Strahlenexposition tragen im Wesentlichen die Höhenstrahlung und die Strahlung des natürlichen Radionuklids K-40 sowie der Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen des U-238 und des Th-232 aus dem Boden und den Gebäuden bei. Die interne Komponente der Strahlenexposition wird zum Großteil durch die Inhalation der Zerfallsprodukte des natürlichen Edelgases Radon (Radonfolgeprodukte) verursacht, zum Teil auch durch die Aufnahme natürlicher radioaktiver Stoffe mit der Nahrung einschließlich des Trinkwassers. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 2 bis 3 mSv. Unter Verwendung der von der Strahlenschutzkommission zur Verwendung empfohlenen Dosisfaktoren ergibt sich ein mittlerer nomineller Wert von 2,1 mSv pro Jahr, wofür insbesondere die Inhalation von Radon in Gebäuden maßgeblich ist. Die Unterschiede der Exposition durch natürliche Strahlenquellen im jährlichen Vergleich sind gering. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie

Bei den Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH im ehemaligen Uranerzbergbauggebiet in Sachsen und Thüringen werden über Luft und Wasser Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe freigesetzt, die mit Genehmigung der zuständigen Behörden in die Umwelt abgeleitet werden. Eine bergbaubedingt erhöhte Radonkonzentration in der bodennahen Luft tritt nur in der unmittelbaren Nähe bergbaulicher Anlagen auf und nimmt mit zunehmender Entfernung rasch ab. Insgesamt ergibt sich aus den vorliegenden Messergebnissen für die o. g. Uranbergbauggebiete eine für geologisch vergleichbare Gebiete zu erwartende hohe Radonkonzentration natürlichen Ursprungs. Die Ableitung von Uran, Radium und deren Zerfallsprodukten aus bergbaulichen Anlagen in die Vorfluter der Bergbauggebiete ergibt keine oder nur geringfügige Veränderungen des natürlichen Niveaus dieser Radionuklide in den Vorflutern. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe (Rn-222 und langlebige Alpha-Strahler, Uran und Ra-226) mit Fortluft und Abwasser der untertägigen Grubenfelder im Bereich der Wismut-Sanierungsbetriebe unterliegen je nach Sanierungs- und Witterungsverlauf Schwankungen und weisen insgesamt eine abnehmende Tendenz auf.

Radon in Gebäuden

Der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Radon in Aufenthaltsräumen beträgt in Deutschland ca. 50 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3); dies entspricht einer mittleren jährlichen effektiven Dosis von ca. 0,9 mSv. Dazu kommen 0,2 mSv im Außenbereich. In den letzten Jahren durchgeführte Messungen haben beträchtliche regionale Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition aufgezeigt, die durch erhebliche Unterschiede in der Konzentration natürlicher radioaktiver Stoffe in Boden und Luft bedingt sind. Die Errichtung von Häusern auf Baugrund mit erhöhtem Uran- und Radiumgehalt und in geringem Maße die Verwendung von Baumaterialien mit erhöhtem Gehalt radioaktiver Stoffe bewirken eine Erhöhung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten. In den letzten Jahren wurden nationale und internationale epidemiologische Studien durchgeführt, um das gesundheitliche Risiko der Bevölkerung durch erhöhte Radon-Zerfallsprodukt-Expositionen genauer abschätzen zu können. Dabei zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10 % pro $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Das 2017 verabschiedete Strahlenschutzgesetz sieht einen Referenzwert von $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ vor.

Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Aktuelle Untersuchungen der Konzentrationen der natürlichen Radionuklide Ra-226, Th-232 sowie K-40 in üblichen industriell gefertigten Baumaterialien für den Innenraumbereich bestätigen, dass die durch sie verursachte Dosis im Mittel bei etwa 0,3 mSv pro Jahr liegt und nur in Einzelfällen 1 mSv pro Jahr erreicht oder überschritten werden. Damit wird der Referenzwert zur Begrenzung der Strahlenexposition aus Baustoffen in aller Regel eingehalten. Es wurde auch die Abgabe von Rn-222 aus mineralischen Baumaterialien berücksichtigt, doch diese erwies sich generell als gering. Auch bei im häuslichen Bereich verwendeten Naturwerksteinmaterialien wurde festgestellt, dass diese in den überwiegenden Fällen selbst bei großflächiger Anwendung keine erhöhte Strahlenexposition verursachen.

Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuche durchgeführt; seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. In den Jahren 2006, 2009, 2013, 2016 und 2017 wurden insgesamt sechs unterirdische Kernwaffentests in Nordkorea durchgeführt (siehe auch Abbildung [B II 1.1-1](#)). Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist seit dem Vertrag über das Verbot von oberirdischen Kernwaffenversuchen von 1963 stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Im April 1986 kam es im Kernkraftwerk Tschernobyl zu einem folgenschweren Reaktorunfall. In den folgenden Tagen wurden große Mengen Radionuklide in die Atmosphäre freigesetzt und über ganz Europa verteilt. In Deutschland waren vor allem Gebiete in Süddeutschland vom radioaktiven Niederschlag betroffen. Die Bodenkontamination mit Cs-137 erreichte hier teilweise bis zu $100\,000 \text{ Bq}/\text{m}^2$.

Im Jahr 2018 nahm die Strahlenbelastung infolge des Reaktorunfalls weiter geringfügig ab; die mittlere effektive Dosis betrug weniger als 0,01 mSv. Sie lag damit deutlich unter einem Prozent der natürlichen Strahlenexposition und wird zu rund 90 % durch die Bodenstrahlung von Cs-137 verursacht. Die mittlere effektive Dosis durch mit der Nahrung aufgenommenes radioaktives Cäsium für das Jahr 2018 beträgt geschätzt 0,001 mSv. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition um eine Größenordnung höher sein. Insbesondere Wildschweinfleisch überschreitet weiterhin in einigen Fällen den zulässigen Höchstwert (EWG 737/90) der Cs-137-Kontamination von 600 Bq/kg.

Kerntechnik

Die für 2018 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 5 % des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Gesamtstromerzeugung aus sieben in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken verringerte sich im Jahr 2018 auf 76,0 Terawattstunden (TWh).

Berufliche Strahlenexposition

Personen, die mit radioaktiven Stoffen umgehen oder in Bereichen tätig werden, in denen sie ionisierender Strahlung ausgesetzt sein können, unterliegen der Strahlenschutzüberwachung. Dies betraf in Deutschland im Jahr 2018 ca. 418 000 Personen. Der Großteil der beruflich strahlenexponierten Personen wurde mit Dosimetern überwacht. Die mittlere effektive Dosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 376 000) lag 2018 bei 0,06 mSv. Bei 86 % dieser überwachten Personen betrug während des ganzen Überwachungszeitraums die Personendosis 0 mSv. Bei den Überwachten mit einer messbaren Dosis (ca. 52 000 Personen) betrug die mittlere Jahrespersonendosis 0,46 mSv (Vorjahr: 0,45 mSv). Im Jahr 2018 wurde bei drei Personen eine Überschreitung des Grenzwertes der Jahrespersonendosis von 20 mSv (§ 78 StrlSchG) registriert.

Seit 1. August 2003 ist fliegendes Personal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann, überwachungspflichtig. Das fliegende Personal wird nicht mit Dosimetern überwacht, die Luftfahrtgesellschaften ermitteln stattdessen die Dosis mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen. Hiervon waren ca. 44 700 Personen im Jahr 2018 betroffen (Vorjahr: ca. 43 700). Die mittlere Jahresdosis dieser Beschäftigten betrug 2,1 mSv (Vorjahr: 2,0 mSv).

Medizinische Anwendung

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung wird durch die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Daher erhebt das BfS seit 1991 Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Im vorliegenden Bericht werden Daten der Jahre 2007 bis 2016 präsentiert.

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2016 auf ca. 1,6 mSv. Über den Beobachtungszeitraum 2007 bis 2016 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen. Dieser Trend ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit und der damit einhergehenden Zunahme der effektiven Dosis pro Kopf verursacht. Demgegenüber nahm die effektive Dosis pro Einwohner für die Summe der restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 2007 bis 2016 ab. Die CT und die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich vaskulärer interventioneller Maßnahmen) tragen nur etwa 10 % zu der Gesamthäufigkeit von durchschnittlich etwa 1,7 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2016 jedoch mehr als 80 %.

Für die nuklearmedizinische Diagnostik wurde eine über den Zeitraum 2012 bis 2016 gemittelte effektive Dosis von etwa 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr abgeschätzt. Rund drei Viertel der kollektiven effektiven Dosis werden dabei durch Skelett-, Myokard- und Schilddrüsenuntersuchungen verursacht. Auch die relativ dosisintensive Positronen-Emissions-Tomographie (PET) gewinnt auf Grund der hohen diagnostischen Aussagekraft als nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren immer mehr an Bedeutung. Dabei ersetzen PET/CT-Untersuchungen immer mehr reine PET-Untersuchungen.

Zwischen 2004 und 2009 wurde das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm für alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren bundesweit eingeführt. Das Mammographie-Screening-Programm wird nun flächendeckend angeboten. Anspruchsberechtigt sind ca. 11 Mio. Frauen. Die Teilnahmerate lag 2017 bei 49 %.

Radioaktive Abfälle

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern am 31. Dezember 2018, mit dem Endlagerziel Konrad oder einem anderen, 19 417 t Rohabfälle und vorbehandelte Abfälle. Der Bestand an Abfallprodukten in Innenbehältern belief sich auf ca. 16 791 m³, von denen 3 131 m³ schon produktkontrolliert sind. Dies beinhaltet zum derzeitigen Zeitpunkt mindes-

tens den radiologischen Teil der Produktkontrolle. Der größte Bestand entfällt auf die Abfallprodukte in Konradbehältern mit ca. 106 719 m³, hiervon ist bei etwa 2 936 m³ die Produktkontrolle abgeschlossen, so dass sie zur Einlagerung in das zukünftige Endlager Konrad abgerufen werden könnten. Lediglich 138 m³ und 4 554 t an radioaktiven Abfällen sind derzeit nicht für das Endlager Konrad vorgesehen.

Bis zum 31. Dezember 2018 sind in Deutschland insgesamt ca. 15 643 Tonnen SM (Schwermetall = Uran + Plutonium) in Form bestrahlter Brennelemente angefallen. Davon wurden ca. 6 670 t SM zur Wiederaufarbeitung im Ausland oder in andere Anlagen abgegeben.

Zusätzlich sind in Deutschland insgesamt 190 t SM in Form von bestrahlten Brennelementen aus Versuchs- und Demonstrationsreaktoren angefallen, von denen der Großteil wiederaufgearbeitet wurde.

Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Derartige Vorkommnisse werden jährlich in diesem Bericht zusammengefasst.

Ein Großteil der für das Jahr 2018 gemeldeten Vorkommnisse sind Funde von radioaktivem Material, die meist durch eine nicht ordnungsgemäße Entsorgung des radioaktiven Stoffes verursacht wurden. Dabei kam es in keinem Fall zu einer hohen radiologischen Gefährdung.

Ein Teil der gemeldeten Vorkommnisse trat im medizinischen Anwendungsbereich auf. Im Jahr 2018 wurden zwei Vorkommnisse mit unbeabsichtigten Expositionen in der Medizin durch menschliche Fehler (z. B. falsche Einstellungen, Patientenverwechslungen, Bedienungsfehler) bekannt.

Nichtionisierende Strahlung

Die Sonne ist die natürliche Quelle nichtionisierender Strahlung. Nichtionisierende Strahlung kann aber auch künstlich erzeugt werden. Mit zunehmender Technisierung der Umwelt steigt die Zahl künstlicher Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung beitragen. Dies stellte auch 2018 eine Herausforderung für den Strahlenschutz dar. Um die Risikobewertung bezüglich gesundheitlicher Wirkungen nichtionisierender Strahlung auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurden im Rahmen des Ressortforschungsplans des Bundesumweltministeriums (BMU) vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in den Bereichen „Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder“ sowie „Optische Strahlung“ auch 2018 Forschungsvorhaben initiiert und koordiniert. Die Ergebnisse der 2018 abgeschlossenen Studien sind im Programmreport 2018

(nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808) veröffentlicht. Ausgehend von dem wissenschaftlichen Kenntnisstand werden zum Schutz der Menschen und der Umwelt vor nachgewiesenen Risiken durch nichtionisierende Strahlung interdisziplinär und in Kooperation mit weiteren Behörden und Institutionen Strahlenschutzkonzepte erarbeitet und umgesetzt sowie die Bevölkerung umfassend informiert.

Im Bereich „**Elektrische, magnetische und Elektromagnetische Felder**“ liegt der Schwerpunkt der Forschungs- und Kommunikationsaktivitäten von BMU und BfS aktuell beim Ausbau der Stromnetze. Bei der Errichtung und wesentlichen Änderung von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (z. B. Stromleitungen) sind die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Die Ursache für einen beobachteten Zusammenhang zwischen einem erhöhten Leukämierisiko im Kindesalter und einer erhöhten häuslichen Magnetfeldexposition ist weiterhin nicht geklärt. Um die daraus und aus anderen offenen wissenschaftlichen Fragestellungen resultierenden Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern, führt das BfS ein begleitendes Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ durch. In insgesamt acht Themenfeldern sollen 36 einzelne Forschungsvorhaben durchgeführt werden. Über die Ergebnisse informiert das BfS transparent auf der Webseite www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die neue Mobilfunkgeneration 5G. Hierbei handelt es sich um einen Mobilfunkstandard, der unter anderem dazu benutzt werden soll, Smart Homes zu vernetzen und ein autonomes Fahren zu ermöglichen. Der neue Standard wird wesentlich schneller als die vorangegangenen Standards sein. Einige durch 5G genutzte Frequenzen wurden bereits bisher zum Beispiel von UMTS genutzt, aber zukünftig kommen neue höhere Frequenzen hinzu. Es wird eine größere Dichte von Basisstationen mit einer geringeren Leistung notwendig sein. Diese Neuerungen führen zu einer erhöhten Besorgnis der Bevölkerung. Gleichzeitig wurden im Bereich der hohen Frequenzen Wissenslücken identifiziert. Daher planen BfS und BMU die begleitende Forschung zu verstärken.

Im Bereich „**Optische Strahlung**“ sind vor allem die stetige Zunahme an Hautkrebsneuerkrankungen sowie die Verwendung künstlich erzeugter optischer Strahlung zu kosmetischen Zwecken und im Wellnessbereich Grund für Forschung und Erarbeitung effektiver Strahlenschutzkonzepte sowie Optimierung der Risikokommunikation und der Informationsmaßnahmen des BfS. Ein Arbeitsschwerpunkt lag im Jahr 2018 auf der fachlichen Unterstützung des BMU bei der Erarbeitung der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV). Zum Thema photobiologische Sicherheit wurde im November 2018 ein internationaler Workshop „LED as an upcoming new light source - Safe protection against eye damage and glare“ durchgeführt.

Vom UV-Schutz-Bündnis wurde 2018 auf Basis des erarbeiteten Grundsatzpapiers ([nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017031414248](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2017031414248)) eine Kriterienanalyse nach den Vorgaben des Kooperationsverbandes „gesundheitsziele.de“ (www.gesundheitsziele.de) erarbeitet, mit dem Ziel, die Prävention UV-bedingter Erkrankungen, insbesondere des Hautkrebses, als Teilziel der bestehenden Gesundheitsziele „gesund aufwachsen“ und „gesund älter werden“ gesetzlich zu verankern. Die Messungen der bodennahen, erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke im Rahmen des solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA ergaben 2018 keine außergewöhnliche Anzahl an Tagen mit sehr hohen UV-Index-Werten.

Allerdings lagen, ersten Auswertungen zur Folge, die über das Jahr aufsummierten Tagessummen und damit die Jahres-UV-Dosis 2018, für das eine sehr hohe Sonnenscheindauer über das Jahr festgestellt wurde, deutlich höher als in anderen Jahren. In Bezug auf die gesetzlichen Regelungen des Solarienbetriebs unterstützten das BfS und das BMU auch 2018 die Landesbehörden bei ihrer Kontrollaufgabe.

SUMMARY

Since 1958, all data on environmental radioactivity from measurements performed by authorised laboratories have been published in quarterly reports and, since 1968, in annual reports. In addition to the results from environmental monitoring, these reports include data on the population exposure due to natural and man-made radiation sources.

The table below shows the mean radiation exposure of one person of the general public in the Federal Republic of Germany in 2018, broken down into the various sources of radiation. The mean effective dose is about 3,8 millisieverts (mSv) per year and per individual.

The contributions to the mean annual effective dose to one person are itemised in the table. The highest contribution is caused by medical applications, especially computerised tomography examinations. Another important source of radiation exposure is the naturally occurring noble gas radon and inhalation of its progeny, which particularly accumulate in poorly ventilated rooms. It should be noted that the numerical values represent effective doses averaged over the entire population. The actual dose to an individual during a year is highly dependent on their individual circumstances.

Effective annual dose to an individual due to ionising radiation in 2018, averaged over the German population and broken down by origin of radiation

		Mean effective dose millisieverts (mSv/y) per year	
1. Radiation exposure from natural sources			
1.1	cosmic radiation (at sea level)	approx.	0.3
1.2	external terrestrial radiation	approx.	0.4
	thereof outdoors (5 h/d)		approx. 0.1
	thereof indoors (19 h/d)		approx. 0.3
1.3	inhalation of radon and its progeny	approx.	1.1
	thereof outdoors (5 h/d)		approx. 0.2
	thereof indoors (19 h/d)		approx. 0.9
1.4	ingestion of natural radioactive substances	approx.	0.3
Total natural radiation exposure		approx.	2.1
2. Radiation exposure from man-made sources			
2.1	fallout from nuclear weapons tests		<0.01
2.2	effects from the accident in the Chernobyl nuclear power plant		<0.01
2.3	nuclear installations		<0.01
2.4	use of radioactive substances and ionising radiation in medicine* (therapy excluded)	approx.	1.7
	thereof from diagnostic nuclear medicine		approx. 0.1
Total of man-made radiation exposure		approx.	1.7

* according to data from 2016

The sections below provide information on radiation exposures due to

- natural radiation sources,
- mining and industry relics,
- radon indoors,
- radioactive substances in building materials and industrial products,
- nuclear weapons testing,
- Chernobyl and Fukushima reactor accidents,
- nuclear technology,
- occupational radiation exposure,
- medical applications,
- radioactive waste,
- radiation accidents and exceptional events,
- non-ionising radiation.

Natural radiation sources

Exposure from natural radiation sources consists of both an external and an internal component due to natural radioactive substances in the environment as well as cosmic radiation. A major source of external radiation exposure consists of both cosmic radiation and radiation from the natural radionuclide K-40 together with the radionuclides of the natural decay chains of U-238 and Th-232 in soil and building materials. The internal component of radiation exposure is

largely caused by inhalation of the daughter nuclides of the natural noble gas radon (radon decay products), and partially also by the intake of natural radioactive substances with drinking water and food. Typically, natural radiation sources contribute to the effective dose to the level of 2 to 3 mSv per year. The nominal mean value, calculated on the basis of the dose factors set out in the applicable Euratom basic safety standards, is 2.1 mSv per year, resulting in particular from the inhalation of radon in buildings. An annual comparison shows that there are only slight variations in exposure to natural radiation sources. All individual contributions to the annual mean effective dose are listed in the above table.

Mining and industry relics

In the process of remediation works carried out by Wismut GmbH in the former uranium ore mining area in Saxony and Thuringia, radionuclides of the uranium/radium decay chain are released into the air and water which are discharged into the environment with permission of the competent authorities. A mining-related increase in the concentration of radon in air close to ground level is seen only in the immediate vicinity of mining facilities; the concentration decreases with increasing distance from such facilities. The overall results of the measurements in the aforementioned uranium mining regions reveal a high radon concentration of natural origin just as expected for geologically comparable regions. The discharge of uranium and radium and their respective decay products from mining facilities into drainage areas of the mining regions does not cause an appreciable change of the natural level of these radionuclides in these drainage areas. The discharge of radioactive substances (Rn-222 and long-lived alpha emitters, uranium and Ra-226) through the exhaust air and effluents from subsurface mining facilities in areas belonging to the Wismut redevelopment project are subject to certain fluctuations, depending on the course of remediation measures and the weather, but show a decreasing tendency altogether.

Radon indoors

In Germany, the annual mean value of the radon activity concentration indoors is about 50 becquerels per cubic metre (Bq/m^3), which corresponds to a mean annual effective dose of about 0.9 mSv. In addition, there is 0.2 mSv in the outdoor area. Measurements performed during recent years revealed considerable regional variations in natural radiation exposure, because the concentrations of natural radioactive substances in soil and air differ largely. The construction of houses on land containing increased amounts of uranium and radium, and to a lesser extent, the use of building materials containing increased amounts of radioactive substances are assumed to be responsible for the increase in population exposure due to the inhalation of radon and its decay products. During the last few years, national and international epidemiological studies were performed in order to obtain estimates of the health risk associated with increased exposures of the general public to radon decay products. The studies revealed a significant increase in lung cancer risk by about 10 % per 100 Bq/m^3 . The Radiation Protection Act adopted in 2017 provides for a reference level of 300 Bq/m^3 .

Radioactive materials in building materials and industrial products

Current analyses of ordinary industrially fabricated building materials designed for use indoors confirm that the dose caused by their concentrations of the natural radionuclides Ra-226, Th-232, and K-40 is about 0.3 mSv per year on the average and may reach or exceed 1 mSv per year in individual cases. This means that the reference value stipulated in the Radiation Protection Act limit radiation exposure from building materials is observed on the whole. Discharges of Rn-222 from mineral building materials were also accounted for, but turned out to be generally small. When investigating natural stone building materials used in dwellings it was established that in most cases these building materials do not cause enhanced radiation exposure, even when used in large amounts.

Nuclear weapons testing

Numerous atmospheric nuclear weapons tests were carried out from 1945 to 1980, but since 1981 only underground tests have been performed. A total of six underground nuclear weapons tests were conducted in North Korea in 2006, 2009, 2013, 2016 and 2017 (see also Fig B II 1.1-1) | The general level of environmental radioactivity due to former tests in the atmosphere has steadily decreased since the Partial Nuclear Test Ban Treaty from 1963. At present nuclear weapons tests contribute less than 0.01 mSv per year to the total of human radiation exposure.

Chernobyl reactor accident

In April 1986, a reactor accident occurred in the Chernobyl nuclear power plant which has had serious consequences. In the days following that accident, large amounts of radionuclides were released into the atmosphere and distributed all over Europe. In Germany, mostly areas in Southern Germany were affected by the radioactive fallout. Soil contamination with Cs-137 partially reached up to 100 000 Bq/m^2 here.

Radiation exposure resulting from the Chernobyl reactor accident decreased further, albeit marginally, in 2018; the mean effective dose was less than 0.01 mSv. It amounts to less than one percent of the natural radiation exposure; about 90 % of this radiation is caused by Cs-137 deposited on the ground. The mean effective dose from the intake of radiocaesium with food is estimated to have been less than 0.001 mSv in 2018. In Southern Germany, the levels of radiation exposure may be one order of magnitude higher. In particular the concentration of Cs-137 in wild boar meat still exceeds the maximum value permissible of 600 Bq/kg (EEC 737/90) in some cases.

Nuclear technology

The levels of radiation exposure calculated for 2018 from the annual emissions of radioactive substances in accordance with the "General Administrative Guideline relating to § 47 of the Radiation Protection Ordinance" did not exceed the dose limits indicated in the Radiation Protection Ordinance. They are within the range of the corresponding values of the preceding year, accounting for less than five per cent of the respective dose limit. The upper values of radiation exposure due to emissions of radioactive substances from nuclear installations are clearly below the range of variation of natural radiation exposure in the Federal Republic of Germany. The total generation of electricity from the seven nuclear power plants currently in operation decreased to 76,3 terawatt hours (TWh) in 2018.

Occupational radiation exposure

Persons who might incur enhanced radiation doses at work are subject to radiation protection monitoring in Germany (approx. 418 000 individuals in 2018). Most of these persons occupationally exposed to radiation were monitored using personal dosimeters. The average annual individual dose (measured in approx. 376 000 individuals) amounted to 0.06 mSv in 2018. In 86 % of all persons involved the personal dose was 0 mSv over the entire monitoring period. An average annual personal dose of 0.46 mSv (preceding year: 0.45 mSv) was determined for all other cases with a measurable dose (approx. 52 000). In 2018, three individuals were registered whose personal doses exceeded the limit value of 20 mSv per year (§78 Radiation Protection Act).

Since August 1, 2003, aircrews who are in an employment according to German Labour Law and who can receive an effective dose of at least 1 mSv per calendar year from cosmic radiation during the flight must be monitored. Flight attendants are not monitored with the help of dosimeters. Instead, the airlines determine the dose to the aircrews with officially approved computer programs. In 2018, this applied to approx. 44 700 individuals (preceding year: 43 000 individuals). The average annual dose of these employees amounted to 2.1 mSv (preceding year: 2.0 mSv).

Medical application

The major part of man-made radiation exposure is caused by medical applications of radioactive substances and ionising radiation, in particular in X-ray diagnostics. Since 1991, BfS therefore has collected and analysed data on medical radiation exposure in Germany. The present report exhibits the values available from 2007 to 2016.

In 2016, medical applications contributed about 1.6 mSv per inhabitant to the mean effective dose in Germany. The observation period from 2007 to 2016 altogether reveals an upward trend of the mean effective dose per inhabitant and year. This trend is mainly due to the increasing frequency of CT examinations and the accompanying increase in the effective dose per individual. With respect to all other types of medical examinations, however, the effective dose per inhabitant exhibited a decrease from 2007 to 2016. While CT and angiography procedures (that are dose-intensive as well), including vascular interventions, accounted for only 10 % of the overall frequency of 1.7 X-ray examinations per inhabitant per year, these procedures contributed more than 80 % of the collective effective dose in 2016.

For nuclear medical diagnostics, the average effective dose is estimated at 0.1 mSv per inhabitant and year in the period 2012 to 2016. Approximately three quarters of the collective effective dose were caused by skeletal, myocardial and thyroid examinations. Positron Emission Tomography (PET), which is associated with relatively high doses is also gaining more importance as a nuclear medical examination procedure due to its high diagnostic value, whereby PET is increasingly replaced by PET/CT examinations.

From 2004 to 2009 the quality-assured, population-based Mammography Screening Program was introduced on a large scale for all (asymptomatic) women aged 50 to 69. The Mammography Screening Program is now offered nationwide. In Germany, about 11 million women are entitled to participate. The attendance rate was 49 % in 2017.

Radioactive waste

Primary waste and pretreated waste intended for the Konrad mine or another repository added up to a total of 19 417 t stored by all waste producers on 31 December 2018. The inventory of waste in inner containers was approx. 16 791 m³. A portion of 3 131 m³ was already subject to product monitoring, which currently includes at least the radiological part of product monitoring. The greatest stock of waste products is in "Konrad" containers: approx. 106 719 m³, of which about 2 936 m³ were subject to product monitoring and are ready to be stored in by the future Konrad repository. Only 138 m³ and 4 554 t of radioactive waste are not intended for the Konrad mine.

A total of approx. 15 343 tonnes (t) of HM (heavy metal = uranium + plutonium) accrued in the form of spent fuel elements up to 31 December 2018 in Germany, of which approx. 6 670 tonnes were delivered abroad or to other facilities for reprocessing.

In addition, a total of 190 t of HM in the form of spent fuel elements accrued from experimental and demonstration reactors in Germany, of which the major part was reprocessed.

Radiation accidents and exceptional events

Due to the stringent provisions of the radiation protection law, radiological emergencies involving persons handling sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. These events are summarised in this report on an annual basis.

For the most part, the exceptional events reported for 2018 involved discoveries of radioactive material mostly associated with improper disposal of the radioactive substance. There was no case of substantial radiological hazard.

Some of the reported events occurred in the field of medical applications. In 2018, two events involving unintended exposure in the medical context were reported that were due to human failure (e.g. wrong settings, patient misidentification, operating errors).

Non-Ionising radiation

The sun is the natural source of non-ionising radiation. However, non-ionising radiation can also be generated artificially. The higher the level of technology applied in human environment the greater the number of artificial sources of non-ionising radiation to which the general public is exposed. This was a challenge for radiation protection also in 2018. In order to obtain a solid data base for the evaluation of risk associated with non-ionising radiation BfS continued to initiate and co-ordinate research projects within the scope of the Departmental Research Plan of the Federal Ministry for the Environment (BMU) in 2018. These projects covered the areas of both "Low-frequency and high-frequency electric, magnetic, and electromagnetic fields" and "Optical radiation". The results of the studies completed in 2017 are published in the Programme Report 2018 (nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808). Based on the current state of scientific knowledge, interdisciplinary efforts are being made in cooperation with other authorities and institutions to work out radiation protection concepts, put them into practice and provide comprehensive information for the public in order to protect mankind and the environment against established risks from non-ionising radiation

In the area of "electric, magnetic, and electromagnetic fields", research and communication activities by BMU and BfS have been focused on grid expansion. When low-frequency and direct current systems (such as power lines) are erected or are subject to significant alterations, everything possible shall be done to minimise the electric and magnetic fields originating from the system, according to the state of the art and considering the conditions in the area of impact. The reason for an observed connection between an increased risk of childhood leukaemia and increased exposure to magnetic fields at home has not been clarified as yet and requires further research. In order to reduce existing scientific uncertainties resulting thereof and from other open scientific questions as to risk assessment, BfS is conducting an accompanying research programme on "radiation protection for grid expansion". The programme covers eight subject areas intended to involve 36 research projects. Transparent information on the results is provided on the BfS web page at www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html.

Another emphasis is on the new mobile phone generation 5G. This is a mobile standard intended to be used, among other things, to network smart homes and enable autonomous driving. The new standard will be much faster than the predecessors. Some frequencies used by 5G have already been used by UMTS, for example, but new higher frequencies will be added in the future. A higher density of base stations with lower power will be required. These innovations are giving rise to increased public concern. Gaps in knowledge have also been identified in the area of high frequencies. Therefore, BfS and BMU plan to strengthen the accompanying research.

In the field of "Optical Radiation" the steady increase in skin cancers and the use of artificially generated optical radiation for cosmetic purposes and in the wellness sector have been the main reasons for the BfS's further research and development of effective radiation protection concepts and for continuous optimization of both risk communication and information measures. One focus of the BfS's work in 2018 was to provide expert support to the BMU in the drafting of the "Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen" (NISV) (Ordinance on the Protection against Harmful Effects of Non-Ionising Radiation in Human Applications). An international workshop on photobiological safety was held in November 2018 under the title "LED as an upcoming new light source - Safe protection against eye damage and glare.

Based on the position paper (nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017031414248), the UV-Protection Alliance prepared a criteria analysis under the guidelines of the cooperation association "gesundheitsziele.de" (www.gesundheitsziele.de), in 2018, aiming to give the prevention of UV-related diseases, especially skin cancer, a legal basis as part of the existing health objectives "growing up healthy" and "growing older healthy". Continuous measurements of the intensity of ground-level erythema-effective UV radiation, performed within the solar UV measuring network operated by BfS/UBA in 2018 showed no exceptional number of days with very high UV index values.

However, initial evaluations have shown that the daily totals accumulated over the year and thus the annual UV dose in 2018, for which a very high sunshine duration was observed over the year, were significantly higher than in other years. With respect to the legal regulations for the operation of sunbeds, BfS and BMU continued to support the Laender authorities in their monitoring work also in 2018.

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Natürliche Umweltradioaktivität

Die natürliche Strahlenexposition in Deutschland zeigt große regionale Unterschiede. Diese sind bedingt durch die unterschiedlichen Gehalte des Erdbodens an Uran, Thorium und K-40 (terrestrische Strahlung), durch die unterschiedliche Höhe über dem Meeresspiegel (kosmische Strahlung), durch die unterschiedlichen Konzentrationen des radioaktiven Edelgases Radon in der Atemluft und die regional unterschiedliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung und dem Trinkwasser. Dies führt, wie in Kapitel I Grundlagen zur natürlichen Umweltradioaktivität erläutert, insgesamt zu einer jährlichen Exposition von etwa 2 bis 3 mSv. Gegenüber den regionalen Schwankungen sind die Unterschiede der Exposition von Jahr zu Jahr gering, eine jährliche Neuerhebung dieser Daten ist deshalb nicht notwendig. Im Berichtsjahr wurden keine Untersuchungen durchgeführt, die die natürliche Komponente der Strahlenexposition weiter differenzieren.

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität

2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie

Hinterlassenschaften der Uranproduktion in Sachsen und Thüringen

Bei den Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH werden mit Genehmigung der zuständigen Behörden vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe mit der Fortluft bzw. mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt abgeleitet. Nachfolgend wird ein Überblick über die Emissions- und Immissionsituation in den betroffenen Regionen gegeben, der auf ausgewählten Daten aus der Umweltüberwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) beruht.

Detailinformationen über die Sanierungstätigkeit und die Ergebnisse der Umweltüberwachung geben die jährlichen Umweltberichte der Wismut GmbH (www.wismut.de).

2.1.1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft¹ und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen)

In **Tabelle T I.1** (Seite 209) sind die Fortluftmengen und die Ableitungen radioaktiver Stoffe aller Wismut-Sanierungsstandorte in den Jahren von 1998 bis 2018 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter den - in Klammern angegebenen - genehmigten Werten liegen.

In **Tabelle T I.2** ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2017 und 2018 auf die einzelnen Standorte der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Einen Überblick gibt **Abbildung B I 2.1-1**. Es wurden die aus den Sanierungsstandorten in den beiden Jahren insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. In Schlema/Alberoda liegen die Jahresableitungen von Rn-222 und langlebigen Alphastrahlern oberhalb der Vorjahreswerte, da ein weiteres Grubenfeld in den Abwetterstrom eingebunden wurde, um die Radonsituation in darüber gelegenen Häusern zu verbessern. Daher wurde auch der Genehmigungswert erhöht. In Dresden-Gittersee haben sich die Jahresableitungen von Rn-222 gegenüber dem Vorjahr geringfügig verringert. Die Messung langlebiger Alphastrahler in Schlema/Alberoda ergab im Vergleich zu 2017 erhöhte Emissionen; in Dresden-Gittersee waren sie wegen zu geringer Konzentrationen nicht mehr bilanzierbar. Die gesamten Ableitungen von Rn-222 und langlebigen Alpha-Strahlern werden jedoch fast vollständig vom Standort Schlema/Alberoda verursacht. Die daraus resultierende jährliche Strahlenexposition kann hier im Berichtsjahr bis zu 0,5 mSv betragen, was den geltenden Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung deutlich unterschreitet.

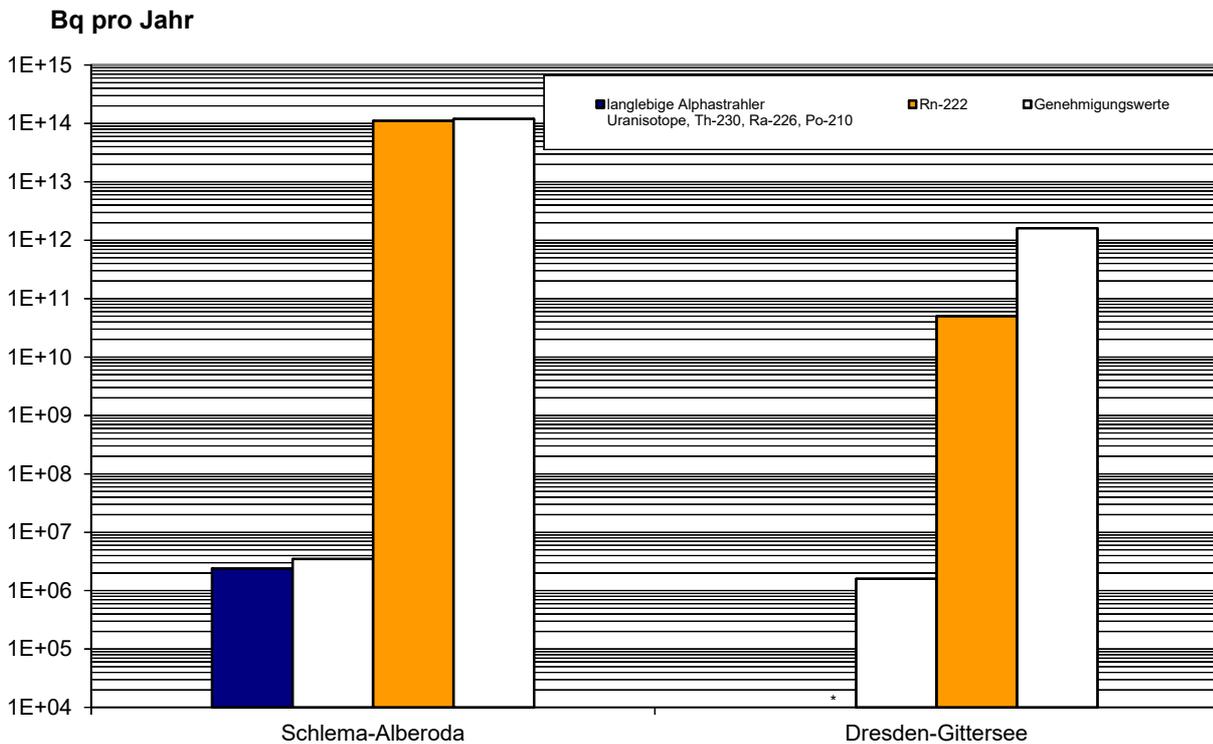
Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer (Vorfluter), die in **Tabelle T I.3** und **Abbildung B I 2.1-2** zusammengestellt sind, liegen ebenfalls seit Jahren deutlich unter den Genehmigungswerten. Die gesamte Abwassermenge ist 2018 gegenüber dem Vorjahr nochmals gesunken und setzte sich aus den Niederschlagswässern sowie den hoch belasteten Wässern aus der Flutung, Porenwässern aus den verbliebenen industriellen Absetzanlagen sowie den Sickerwässern zusammen. Die Freisetzungen von Uran und Ra-226 sind in ihrer Gesamtmenge und Konzentration geringer als im Jahr 2017. Die Freisetzungen in die Vorfluter Pleiße und Weiße Elster in Thüringen sowie in die Zwickauer Mulde in Sachsen verringerten sich insgesamt deutlich, während die in die Elbe in Sachsen etwas anstiegen (siehe **Tabelle T I.4**). Insgesamt belegen diese Werte die sichere Betriebsweise der weiter optimierten und teils erneuerten größeren Wasserbehandlungsanlagen.

Aus den Ableitungen in die betroffenen Gewässer resultiert an keiner Stelle eine nennenswerte Strahlenexposition. Sie kann bei Unterstellung realistischer Nutzungsszenarien im Einzelfall für die kritische Personengruppe bis zu 0,25 mSv/a betragen, so dass der geltende Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung in jedem Fall unterschritten wird.

Infolge des im fortschreitenden Sanierungsprozess verstärkt anfallenden Anteils der Sicker- und Porenwässer aus Absetzanlagen und Halden sowie der Behandlung kontaminierter Flutungswässer kann es teilweise zur Erhöhung oder Stagnation der Menge an abgeleiteten Radionukliden und Schadstoffen kommen. Infolge der Behandlung weiterer bergbaulich beeinflusster Wässer setzt langfristig jedoch eine Mengen- bzw. Konzentrationsabnahme ein.

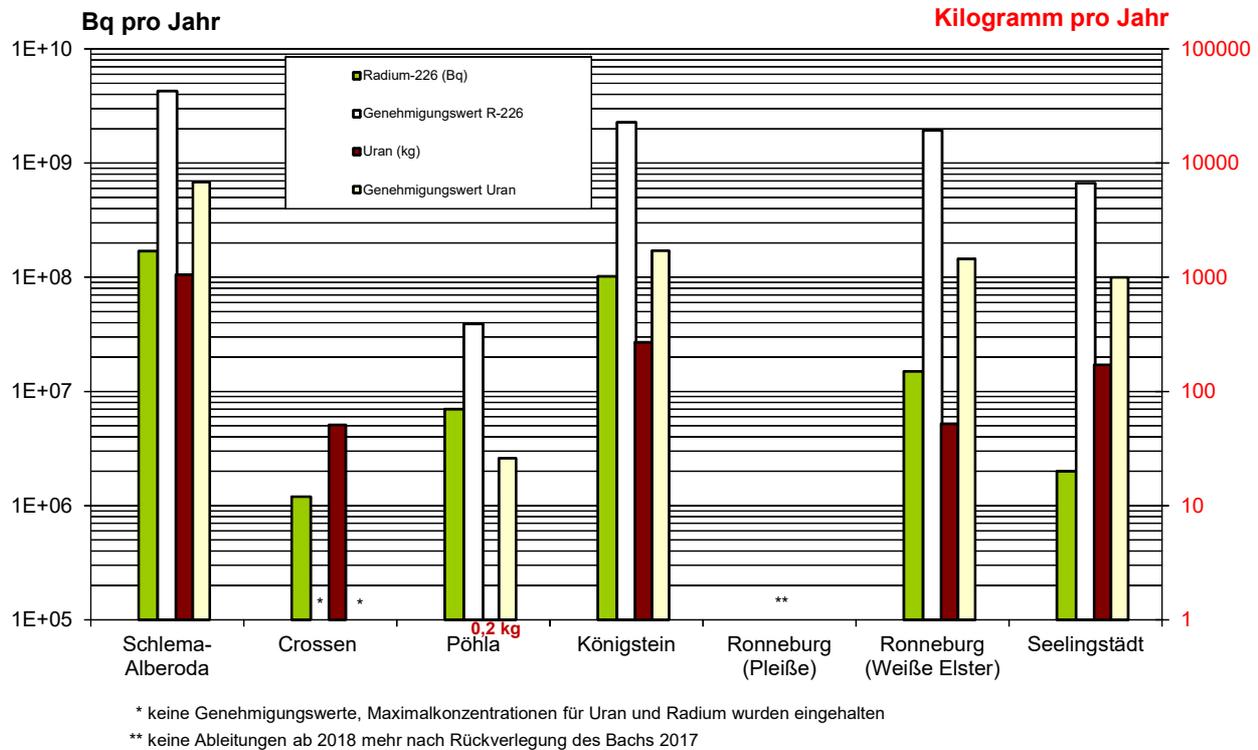
Insgesamt wird deutlich, dass das jetzt erreichte Niveau der Ableitungen auch weiterhin durch meteorologische Verhältnisse geprägten Schwankungen unterliegen wird und somit keine steuerbare Größe darstellt. Die Funktion der Was-

¹ Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.



* Emission wegen Konzentrationswerten unterhalb der Nachweisgrenze nicht bilanziert

Abbildung B I 2.1-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2018 (Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in the Wismut remediation areas 2018)



* keine Genehmigungswerte, Maximalkonzentrationen für Uran und Radium wurden eingehalten

** keine Ableitungen ab 2018 mehr nach Rückverlegung des Bachs 2017

Abbildung B I 2.1-2 Flüssige Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2018 (Liquid discharge of radioactive substances into surface waters from the Wismut remediation areas 2018)

serbehandlungsanlagen (WBA) ist infolge ihrer Kapazitätserhöhung zuverlässig, da die genehmigten maximalen und mittleren Schadstoffkonzentrationen stets unterschritten wurden.

Die Genehmigungswerte für Abwässer aus den WBA (siehe [Tabelle T 1.5](#)) wurden jeweils aus der genehmigten mittleren oder maximalen Wassermenge multipliziert mit der Maximalkonzentration bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration errechnet.

2.1.2 Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsstandorte (Immissionen)

Im Folgenden werden die Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft und die Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern betrachtet, die durch die Sanierungstätigkeiten der Wismut GmbH beeinflusst werden können.

Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft

Zur Überwachung der Luft werden gemäß der REI-Bergbau Messstellen zur Ermittlung der Rn-222-Konzentration der bodennahen Atmosphäre betrieben. Die Messnetze gewährleisten nicht nur eine Kontrolle der Auswirkungen von Ableitungen über die dafür vorgesehenen technischen Einrichtungen wie z. B. Lüfter; sie dienen auch zur Erfassung der aus diffusen Freisetzungen, beispielsweise aus Haldenoberflächen, resultierenden Umweltkontamination sowie zur Kontrolle der Auswirkungen der Sanierungsarbeiten. Für die Beurteilung der Gesamtstrahlenexposition in der Umgebung der Bergbauanlagen sind alle genannten Prozesse von Bedeutung. Die freigesetzte Rn-222-Menge aus den in industriellen Absetzanlagen und Halden deponierten Materialien kann dabei in der Größenordnung der jährlichen Ableitungsmengen nach [Tabelle T 1.2](#) liegen.

In [Tabelle T 1.6](#) sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen im Zeitraum Winter 2017/2018 bis Sommer 2018 zusammengefasst. Die teilweise hohen Maximalwerte der Rn-222-Konzentration resultieren aus der Lage einiger Messpunkte auf oder in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächte, große Halden) und Betriebsflächen. Insbesondere im Raum Schlema/Alberoda treten solche Situationen in Tallagen häufiger auf, die bei Trockenheit durch höhere Radonexhalation aus dem Boden verstärkt werden.

In [Tabelle T 1.7](#) sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich **nicht** beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die an diesen Messstellen ermittelten Rn-222-Konzentrationen repräsentieren den lokalen natürlichen Konzentrationspegel der jeweiligen Bergbaugebiete und können deshalb als Vergleichswerte herangezogen werden.

Entsprechend der REI-Bergbau wurden von unabhängigen Messstellen im Auftrag der jeweiligen zuständigen Landesbehörde zusätzlich Kontrollmessungen an einigen Messpunkten des von der Wismut GmbH betriebenen Messnetzes zur Überwachung der Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre durchgeführt. Die Ergebnisse stimmen unter Berücksichtigung der jeweiligen Messunsicherheiten i.W. überein.

Auch durch das BfS wurden von 1991 bis 2005 in den Bergbaugebieten umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung der Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Freiluft durchgeführt. Insgesamt ergibt sich aus den Messungen, dass in großen Teilen der Bergbaugebiete mittlere Radonkonzentrationen gemessen wurden, die zwar über den für große Gebiete Nord- und Mitteleuropas charakteristischen Konzentrationswerten von 5 bis 15 Bq/m³ liegen, aber auch in den Gebieten ohne bergbaulichen Einfluss in ähnlicher Höhe festgestellt wurden und deshalb offensichtlich nicht auf menschliche Einflussnahme zurückzuführen sind. Messtechnisch nachweisbare, bergbaubedingt erhöhte Konzentrationen treten vor allem in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, an großen Halden oder an Absetzanlagen der Erzaufbereitung auf. Die Verringerung der Radonexposition der Bevölkerung aus solchen Hinterlassenschaften mit nahe liegender Wohnbebauung ist weiterhin eines der Ziele der Wismut-Sanierung.

Überwachung der Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern

Die Überwachung der Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen wird in allen Oberflächengewässern durchgeführt, in die radioaktive Ableitungen erfolgen. Zur Ermittlung des bergbaulichen Einflusses werden die Immissionsmessungen der Wismut GmbH i.d.R. an Messstellen vor und nach der betrieblichen Einleitung vorgenommen.

In wichtigen Vorflutern wurden die in [Tabelle T 1.8](#) angegebenen Werte bestimmt. In den übrigen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe betroffenen Vorflutern liegen die Uran- und Radiumkonzentrationen in den gleichen Konzentrationsbereichen.

Die im Jahr 2018 ermittelten Werte der Uran- und Radiumkonzentration in den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weiße Elster weisen im Vergleich zum Vorjahr nur geringe Veränderungen auf.

Im Oberlauf von Wismut-Ableitungen wurden an den Messpunkten m-131, m-115 und E-312 Urankonzentrationen bis zu einer Höhe von 2 µg/l und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 13 mBq/l für Ra-226 ermittelt. Diese Werte liegen im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus, das in Oberflächengewässern der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurde. Die in bergbaulich unbeeinflussten Oberflächengewässern in Deutschland festgestellten Aktivitätskonzentrationen überschreiten den Wert von 3 µg/l für U-238 und von 30 mBq/l für Ra-226 nicht und beinhalten mit den

ebenfalls im Oberlauf von Wismut-Einleitungen gelegenen Messpunkten auch den Einfluss lokaler geologischer Besonderheiten oder des Altbergbaus.

In kleineren Bächen, die eine geringe Wasserführung aufweisen, wird das o. a. geogene Niveau im Unterlauf von Wismut-Einleitungen bei Ra-226 etwa bis zum Faktor 2 überschritten und reicht von Werten unter der Nachweisgrenze (<10 mBq/l) bis zu 62 mBq/l, während es bei Uran bis zum Faktor 150 erhöht ist und Werte zwischen 3 und 440 µg/l aufweist (vgl. Messpunkte M-232 und M-204 im Gegensatz zu k-0018 und s-609 in [Tabelle T I.8](#)).

Diese kleinen Bäche unterliegen stark dem Einfluss der Sanierungsarbeiten und der Witterung und weisen daher jährliche Schwankungen auf. Dies wird besonders bei geringeren Niederschlagsmengen wie im Trockenjahr 2018 deutlich.

In den großen Vorflutern wurden an den Messpunkten k-0028, m-111, E-314, E-321, M-205 und e-419 im Unterlauf von Wismut-Ableitungen Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber dem o. a. geogenen Niveau bis etwa zum Zweifachen erhöht sind (1 - 7 µg/l). Mit Werten von <10 bis 11 mBq/l liegen die Ra-226-Aktivitätskonzentrationen dagegen im Bereich des o. a. geogenen Niveaus.

Aus der Sicht des gesundheitlichen Strahlenschutzes stellen die infolge von radioaktiven Ableitungen der Wismut GmbH erhöhten Werte der Urankonzentration und der Ra-226-Aktivitätskonzentration weder in den Bächen noch in den Vorflutern Zwickauer Mulde, Elbe, Pleiße und Weiße Elster ein Problem dar, da deren Wasser nicht im unmittelbaren Einflussbereich für Trinkwasserzwecke genutzt wird und somit keine nennenswerten Strahlenexpositionen entstehen.

2.2 Radon in Gebäuden

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben werden seit vielen Jahren Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden durchgeführt. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen liegt in Deutschland bei 50 Bq/m³. Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit in den Räumen von ca. 19 Stunden pro Tag einer mittleren jährlichen effektiven Dosis von ca. 0,9 mSv. In Einzelfällen wurden Höchstwerte von bis zu 10 000 Bq/m³ festgestellt. Statistisch zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 16 % pro 100 Bq/m³. Welche Radonkonzentrationen in einzelnen Gebäuden anzutreffen sind, hängt vom geologischen Untergrund am Gebäudestandort und der Radondichtheit der Gebäudehülle ab, da in den überwiegenden Fällen das in der Bodenluft vorkommende und durch erdberührende Wände und die Bodenplatte in das Haus eindringende geogene Radon die Ursache für eine erhöhte Radoninnenraumkonzentration ist.

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

Im Ergebnis ist festzustellen, dass die gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft einen Bereich von ca. 5 kBq/m³ bis 1000 kBq/m³ umfassen. Lokal hängt die Höhe vom jeweiligen geologischen Untergrund ab. In ca. 30 % der Fläche Deutschlands und davon überwiegend in Gebieten der Norddeutschen Tiefebene liegt die Bodenluftkonzentration im Bereich unterhalb von 20 kBq/m³. Werte über 100 kBq/m³ sind nur in einigen eng begrenzten Gebieten zu erwarten. Diese sind in der Regel durch das Vorkommen von Graniten oder granitähnlichen Gesteinen nahe der Erdoberfläche gekennzeichnet.

In Gebieten mit Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft bis 20 kBq/m³ sind Radonaktivitätskonzentrationen in Aufenthaltsräumen über 300 Bq/m³ sehr selten. Grundsätzlich kann in diesen Gebieten davon ausgegangen werden, dass ein fachgerechter Schutz der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte nach dem Stand der Technik ausreichend Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen im Gebäude bietet.

Bei Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft von mehr als 20 kBq/m³ und in Abhängigkeit von der Bodenpermeabilität sowie von der Bauweise und dem Bauzustand sind erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden häufiger zu erwarten. Überdurchschnittlich häufig werden erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern älteren Baujahres gefunden, insbesondere dann, wenn die Häuser keine Fundamentplatte oder Undichtigkeiten der Gebäudehülle im erdberührenden Bereich aufweisen. Infolge der Geologie des Bauuntergrundes können in einzelnen Gebäuden Jahresmittelwerte von einigen Tausend Bq/m³ auftreten. In den Regionen mit einer Bodenluftkonzentration von mehr als 20 kBq/m³ sind Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Innenraumluft zu empfehlen, um die tatsächliche Strahlenexposition betroffener Personen durch Radon bewerten und gegebenenfalls angemessene Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. Bei der Planung neuer Gebäude sind Maßnahmen zur Begrenzung des Radoneintritts aus dem Boden in das Gebäude in Betracht zu ziehen, deren Umfang sich an den Standortbedingungen orientieren sollte. Bei der Bauausführung ist besonderes Augenmerk auf die konvektionsdichte Verbindung der einzelnen Elemente des Feuchteschutzes sowie die fachgerechte Abdichtung von Rohr- und Leitungsdurchführungen zu legen.

In Bergbaugebieten können über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen von Stollen oder Schächten Grubenwetter in die Gebäude gelangen. In diesen Fällen werden die eindringende Radonmenge und die daraus resultierende Radonkonzentration meist von der Bewetterung der untertägigen Hohlräume beeinflusst. In Häusern in Bergbaugebieten mit Uranvererzungen wurden in Einzelfällen kurzzeitig deutlich über 100 000 Bq/m³ gemessen. Es gibt keinen Hinweis auf einen Schwellenwert, unterhalb dessen Radon ungefährlich wäre. Daher sollte in allen Wohnungen die Radonkonzentration reduziert werden, soweit dies mit vertretbarem Aufwand erreichbar ist. Dabei sol-

len die Höhe der Radonkonzentration, d. h. das damit verbundene Gesundheitsrisiko, und der Aufwand der Sanierungsmaßnahmen in einem angemessenen Verhältnis stehen.

Der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien wird im Vergleich zum geogenen Radon allgemein als gering angesehen. Im Zuge einer Diskussion um eine mögliche Einbeziehung der Radonabgabe eines Baustoffes als Zulassungskriterium in der Bauprodukttrichtlinie und um die vorhandene Datenbasis zu aktualisieren, wurde die Radonabgabe von in Deutschland aktuell üblichen Produkten in einem Projekt untersucht (siehe Kap. 2.3).

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

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

2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Untersuchungen und Ergebnisse

Die von den Baustoffen ausgehende Gammastrahlung führt zu einer mittleren Umgebungsäquivalentdosisleistung in Wohngebäuden von rund $0,6 \text{ mSv/a}$, was einer jährlichen effektiven Dosis von $0,3 \text{ mSv}$ entspricht.

Das durch radioaktiven Zerfall aus Ra-226 entstehende Rn-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen mineralischen Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein sowie in den Naturwerksteinen wurden allerdings Ra-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel nicht die Ursache für im Sinne des Strahlenschutzes relevante Radonkonzentration in Wohnungen (siehe Kapitel 2.2) sind.

Vor dem Hintergrund der neuen Euratom-Grundnormen zum Strahlenschutz (RL 2013/59/Euratom) und der Regelungen zu den von Baustoffen ausgehenden Gammastrahlungen wurde 2007/08 in einem Projekt in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (bbs) die Nuklidkonzentration und Radonexhalation von über 100 in Deutschland aktuell üblichen, repräsentativen Innenraumprodukten untersucht. Die Spannweite der Ergebnisse der massespezifischen Aktivitätsmessungen in den Baustoffen ist in [Tabelle T I.9](#) zusammengefasst.

Bei der Mehrzahl der Baustoffgruppen wurde eine Gesamtdosis deutlich unterhalb von 1 mSv/a abgeschätzt. Dieser Wert kann bei den Produktgruppen Ziegel, Leichtbeton und Beton, die allerdings die Massenprodukte darstellen, von wenigen Produkten überschritten werden. Selbstverständlich sind bei wechselnden Rohstoffen oder Zusätzen von Rückständen mit erhöhten Radionuklidgehalten Veränderungen der durchschnittlichen Exposition von $0,3 \text{ mSv/a}$ nach oben und unten möglich. Die durchgeführten Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass der baustoffbedingte Anteil an der Radonkonzentration in Innenräumen grundsätzlich unter 20 Bq/m^3 liegt. 20 Bq/m^3 würden zu einer Dosis von $0,4 \text{ mSv}$ pro Jahr führen. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass - wie national und international in der Vergangenheit beobachtet - in Einzelfällen Materialien eingesetzt werden können, die zu einer erhöhten Radoninnenraumkonzentration führen.

Wegen der zunehmenden Verwendung von Naturwerksteinen im häuslichen Bereich kommt der von diesen Materialien ausgehenden Strahlenexposition für die Bevölkerung besondere Bedeutung zu. Deshalb wurden mit Unterstützung des Deutschen Naturwerkstein-Verbandes e. V. 2006 eine Reihe marktgängiger Fliesen und anderer Plattenmaterialien unterschiedlichster Herkunft untersucht. Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide (Ra-226, Th-232 und K-40) variiert auch innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmageschiebe infolge natürlicher Radionuklide vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten mit einer entsprechend höheren effektiven Dosis durch Gammastrahlung.

Eine breitere Übersicht über die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen, beruhend auf den Daten der Messreihe in den 90er Jahren, gibt [Tabelle G I 2.3-1](#) im Grundlagenteil G I dieses Berichts.

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

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

1. Quellen künstlicher Radioaktivität

1.1 Kernwaffenversuche

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ (Partial Nuclear-Test-Ban Treaty, PTBT) im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Sr-90 und Cs-137 aus den Kernwaffenversuchen auch heute noch in der Umwelt vorhanden.

Die Strahlendosis durch die in großer Zahl bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts und letztmals im Jahr 1980 in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig. Sie betrug 2018 weniger als 0,01 mSv.

Nach langjährigen Bemühungen der internationalen Staatengemeinschaft wurde am 24. September 1996 der Vertrag über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) zur Unterzeichnung ausgelegt. Damit soll die Weiterentwicklung und Weiterverbreitung dieser Waffen verhindert werden. Es handelt sich daher nicht um ein Umweltschutzabkommen, sondern um einen Vertrag gegen die Proliferation von Massenvernichtungswaffen. Zur Überwachung der Einhaltung dieses Vertrages betreibt die Vertragsorganisation mit Sitz in Wien (CTBTO) mit Hilfe der Signatarstaaten ein weltweites Überwachungssystem (International Monitoring System, IMS). Von den vorgesehenen 337 Stationen sind derzeit schon 298 Messstationen zertifiziert und in Betrieb und das Messnetz damit weitestgehend fertiggestellt. Einundsiebzig der operationellen Stationen sind mit Radionuklidmesssystemen ausgerüstet, die die Atmosphäre auf radioaktive Spuren überwachen, die an Luftstaub gebunden sind. Zusätzlich sind zurzeit 31 von ihnen mit Systemen zur Detektion der radioaktiven Isotope des Edelgases Xenon ausgestattet. Die dabei eingesetzten Systeme wurden speziell für die Aufgabe entwickelt, in der Luft auch noch geringste Freisetzungen von Radionukliden aus unterirdischen Kernexplosionen nachzuweisen, auch wenn die freigesetzte Menge hinsichtlich der resultierenden Strahlenbelastung sehr gering ist.

Seine Einsatzbereitschaft wie auch seine Sensitivität stellte das Überwachungssystem nach den sechs unterirdischen Kernwaffentests in Nordkorea in den Jahren 2006, 2009, 2013, 2016 und 2017 unter Beweis. Das Verifikationssystem der CTBTO war mit Hilfe der seismischen Stationen zeitnah in der Lage, die Tests zu detektieren. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover konnte mit Hilfe der seismischen Signale die Quellen schnell und mit hoher Präzision lokalisieren sowie eine Abschätzung der Sprengkraft vornehmen. Die mit Hilfe der Seismik bestimmten Explosionsstärken nahmen mit den Versuchen zu. Sie betrugen im Jahr 2017 wenige hundert Kilotonnen (kT) TNT-Äquivalent (160-400). Nach den Tests in den Jahren 2006 und 2013 wurde der nukleare Charakter der detektierten Explosionen durch den Nachweis von ungewöhnlichen Konzentrationen und Aktivitätsverhältnissen von Xe-133 und Xe-131m bestätigt. Die atmosphärischen Ausbreitungsrechnungen lokalisierten das aus den Versuchen 2006 und 2013 bekannte nordkoreanische Testgelände als mögliche Emissionsquelle. In den Jahren 2009, 2016 und 2017 konnten keine Radionuklide nachgewiesen werden, die einen Kernwaffentest eindeutig belegen. Hier war die Explosionsstärke ein starker Hinweis auf den nuklearen Charakter des seismischen Ereignisses.

Die einzige Radionuklidstation in Mitteleuropa befindet sich an der deutschen Messstation Schauinsland des BfS (RN 33), die etwa 1 000 m oberhalb von Freiburg im Schwarzwald gelegen ist. Dort sind automatische Messsysteme für den Nachweis an Luftstaub gebundener Radionuklide sowie der radioaktiven Xenonisotope Xe-135, Xe-133m, Xe-133 und Xe-131m in Betrieb. Das Messsystem für den Nachweis partikelgebundener Radionuklide (RASA) wurde bereits 2004 zertifiziert. Im Jahr 2018 wurde der bisher verwendete Messcontainer durch ein festes Gebäude ersetzt, welches das Stationsgebäude auf dem Schauinsland ergänzt. Mit dem neuen Gebäude wurde ein neues RASA-System installiert und das gesamte System im Oktober 2018 nach den Vorgaben der CTBTO re-zertifiziert. Ein Parallelbetrieb beider RASA-Systeme diene der Qualitätssicherung, im Anschluss wurde das alte System deinstalliert und der Container zurückgebaut. Das Edelgasmesssystem SPALAX, seit 2004 als Bestandteil des sogenannten internationalen Edelgasexperiments in Betrieb, wurde nach einer mehrjährigen Entwicklungs- und Testphase am 11. November 2013 von der CTBTO zertifiziert.

1.2 Zivile Freisetzungen

Die hohe Sensitivität der Messsysteme führt dazu, dass regelmäßig Spuren künstlicher Radionuklide nachgewiesen werden. Dabei kann es sich um Spuren von resuspendiertem Cs-137 aus altem Kernwaffenfallout oder der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl handeln oder auch um Radionuklide aus aktuellen Quellen ziviler Anwendungen, insbesondere von radiopharmazeutischen Produktionsanlagen.

Die mengenmäßig weitaus größten atmosphärischen Freisetzungen von Radioaktivität aus zivilen Anlagen sind auf radioaktive Edelgase zurückzuführen. Diese sind sehr flüchtig und daher schwer zurückzuhalten. Wegen dieser Eigenschaft sind sie einerseits schwierig zu messen, tragen andererseits aber auch nur sehr wenig zur Strahlenbelastung bei. Da radioaktive Edelgase so schwer zurückzuhalten sind, legt das CTBT-Verifikationssystem gerade auf diese - speziell auf radioaktives Xenon - einen besonderen Wert. Das Messnetz ist dabei auch in der Lage, Schwankungen des weltweiten Untergrundpegels an radioaktivem Xenon zu erfassen, die auf variierende Emissionen ziviler Anlagen zurückzuführen sind. Überraschenderweise hat man mit Inbetriebnahme des Messnetzes festgestellt, dass der relative Beitrag von Kernkraftwerken zu dem weltweiten Untergrundpegel nicht so dominant war wie angenommen. Weitaus größere Emissionen beobachtet man bei medizinischen Isotopenproduktionsanlagen für Mo-99, welches als Mutter-

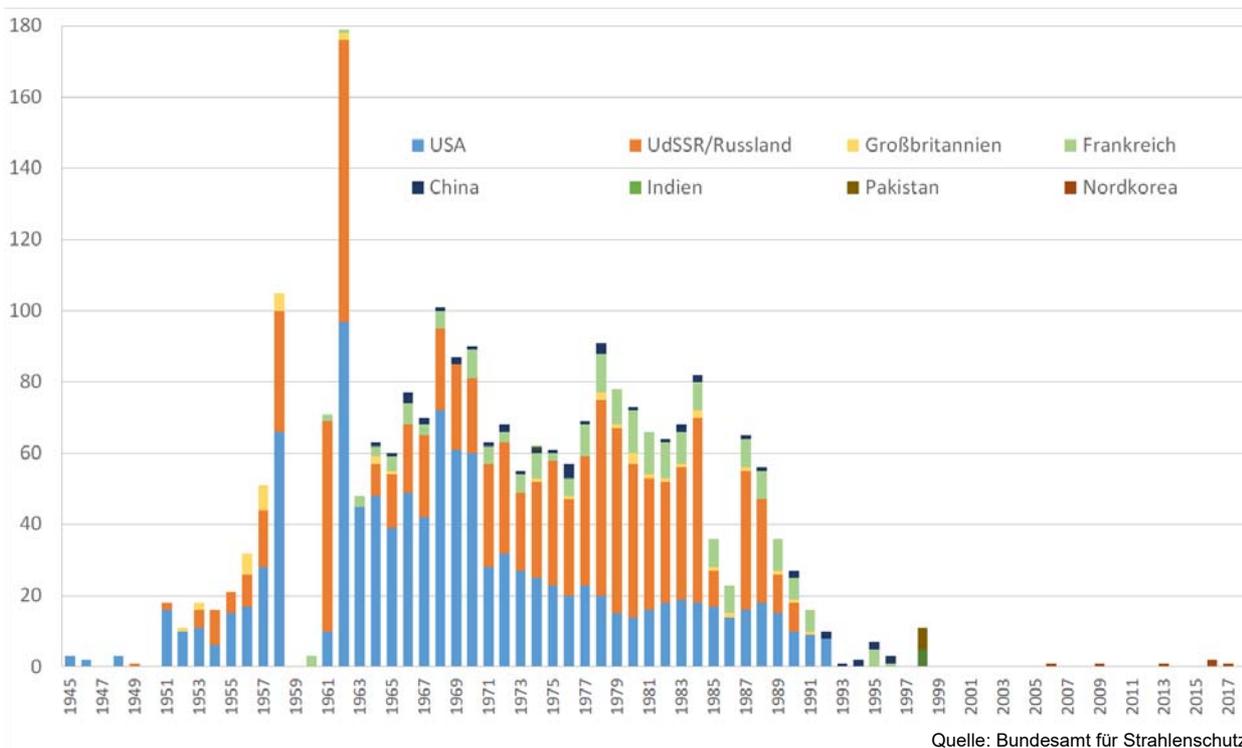


Abbildung B II 1.1-1 Weltweite Kernwaffentests von 1945 bis 2018
(Worldwide nuclear testing 1945 to 2018)

Xe-133 Atmosphärische Aktivitätskonzentration in Bq/m³

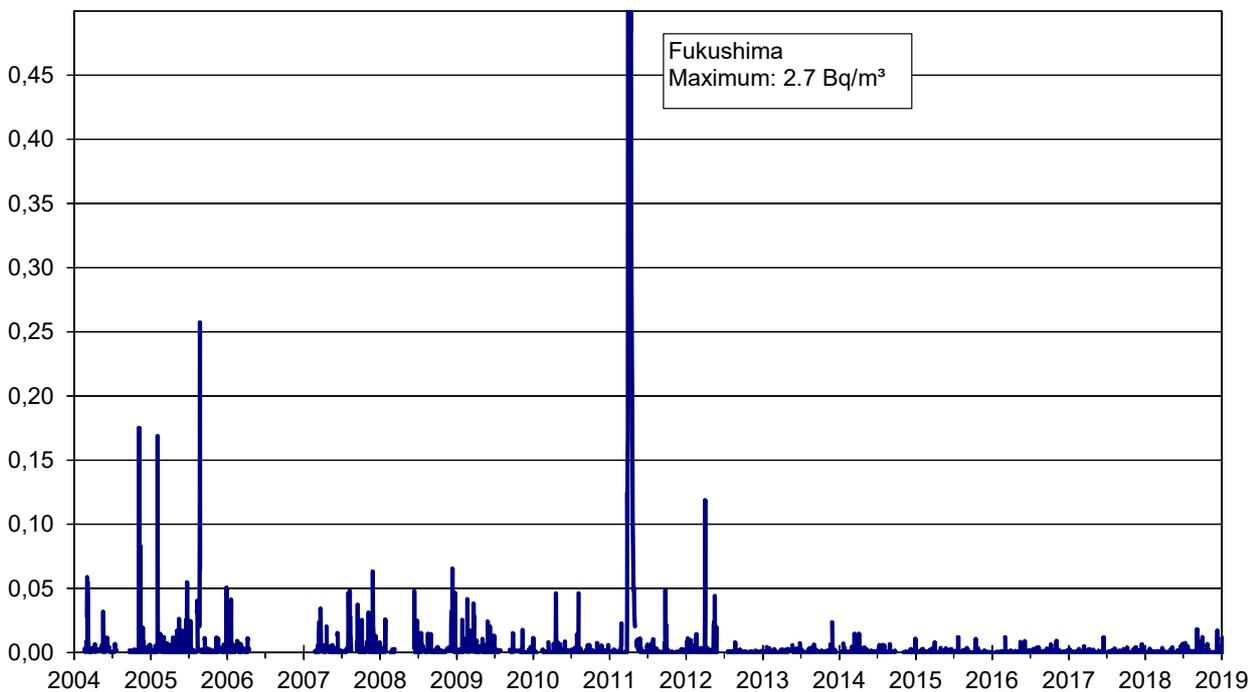


Abbildung B II 1.2-1 Zeitreihe der Xe-133-Aktivitätskonzentration in den Jahren 2004 bis 2018 an der CTBT-Station RN33 auf dem Schauinsland
(Time series of Xe-133-activity concentration at CTBT-station RN33 at Schauinsland mountain for the years 2004 to 2018)

nuklid von Tc-99m in großem Maßstab für medizinische Diagnostik und Therapie benötigt wird. Beim Produktionsprozess entsteht ebenfalls radioaktives Xenon, welches je nach Anlagentyp und Betriebsprozess mit sehr unterschiedlicher Effizienz zurückgehalten wird. Das in die Atmosphäre freigesetzte Xenon wird über große Distanzen transportiert und zeigt Auswirkungen auf die Messungen auch an weitab gelegenen Stationen. Auf Grund des ständig steigenden Bedarfs an Tc-99m werden weltweit immer wieder neue Produktionsanlagen in Betrieb genommen oder sind in Planung.

Ein durch zivile Quellen geographisch und zeitlich sehr variabler Untergrund an Xe-133 sowie auch das sporadische Vorkommen anderer Xenonisotope erschwert die eindeutige Detektion und damit insbesondere die Identifikation von möglichen Emissionen aus unterirdischen Kernwaffentests. Dies bedeutet, dass ein großes Interesse seitens der CTBTO und ihrer Mitgliedstaaten darin besteht, zur Verbesserung der Fähigkeiten des Verifikationssystems die Emissionen aus radiopharmazeutischen Produktionsanlagen zu reduzieren, auch wenn dies aus Gründen des Strahlenschutzes nicht erforderlich wäre. Derzeit besteht zwischen den Radionuklidexperten der CTBTO und der Mitgliedstaaten ein sehr produktiver Informationsaustausch, sowohl über die Belange beider Seiten als auch über Möglichkeiten weiterer Emissionsreduzierung.

Während man anhand der Messergebnisse und der vorliegenden Emissionsdaten für das Jahr 2005 noch davon ausgehen musste, dass radiopharmazeutische Anlagen pro Jahr eine Größenordnung mehr Xe-133 (ca. 10000 TBq/a) freisetzen als alle Kernkraftwerke weltweit, beobachtet man in den letzten Jahren einen deutlichen Rückgang des Untergrundpegels von Xe-133 an der Station auf dem Schauinsland. Die Ursache hierfür ist u. a. die vorübergehende Stilllegung einer der größten und ältesten Produktionsanlagen für radiopharmazeutisches Technetium-99m in Chalk River, Kanada, sowie die Implementierung von emissionsreduzierenden Maßnahmen in anderen Anlagen innerhalb Europas. Im Oktober 2016 wurde der Chalk-River Forschungsreaktor (135 MW_{therm}) in Ontario, Kanada, stillgelegt. In diesem Reaktor wurden u. a. Urantargets zur Herstellung radiopharmazeutischer Radionuklide wie z. B. Tc-99m bestrahlt. Die Chalk-River Laboratories waren bisher einer der weltweit größten Produzenten von Tc-99m, aber auch einer der größten Emittenten an radioaktivem Xenon, welches den Untergrund in der Nordhemisphäre maßgeblich beeinflusste. Letzteres hatte auch Auswirkungen auf die Xenonmessungen im Rahmen der Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens. Emissionen dieser Anlagen wurden trotz der großen Entfernung von Zeit zu Zeit an der Station auf dem Schauinsland nachgewiesen.

Erhöhte Xe-133-Aktivitätskonzentrationen auf dem Schauinsland sind jedoch meistens auf Emissionen der näher gelegenen Isotopenproduktionsanlage in Fleurus, Belgien, zurückzuführen. Als Beispiel zeigt [Abbildung B II 1.2-1](#) den Verlauf der gemessenen Tagesmittelwerte der Xe-133-Aktivitätskonzentration an der Station Schauinsland für die Jahre 2004 bis 2018. Die bisher ermittelte maximale Xe-133-Aktivitätskonzentration lag am 30.03.2011 bei 2,7 Bq/m³ und ist auf den Unfall im Kernkraftwerk Fukushima zurückzuführen. Der höchste Wert der Xe-133-Aktivitätskonzentration für das Jahr 2018 betrug am 06.09.2018 18 mBq/m³. Im Jahresmittel wurden 0,94 mBq/m³ Xe-133 nachgewiesen, der Medianwert betrug 0,43 mBq/m³.

Der Jahresmittelwert der Xe-133-Aktivitätskonzentration sank von 5,3 mBq/m³ im Jahr 2005 auf weniger als 1 mBq/m³ in den vergangenen Jahren. Dies sind Auswirkungen der Emissionsreduzierungen in Nordamerika und Europa und lassen sich auch an anderen Messstationen der Nordhemisphäre in ähnlicher Form nachweisen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz unterstützt mit seinem Edelgaslabor in der Dienststelle Freiburg die CTBTO als sog. „Support Laboratory“ beim Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für das Edelgasmessnetz. In diesem Zusammenhang werden derzeit vor allem in Zusammenarbeit mit der Vertragsorganisation informelle Ringversuche für CTBTO-Radionuklidlabore mit Xenonmesstechnik ausgerichtet.

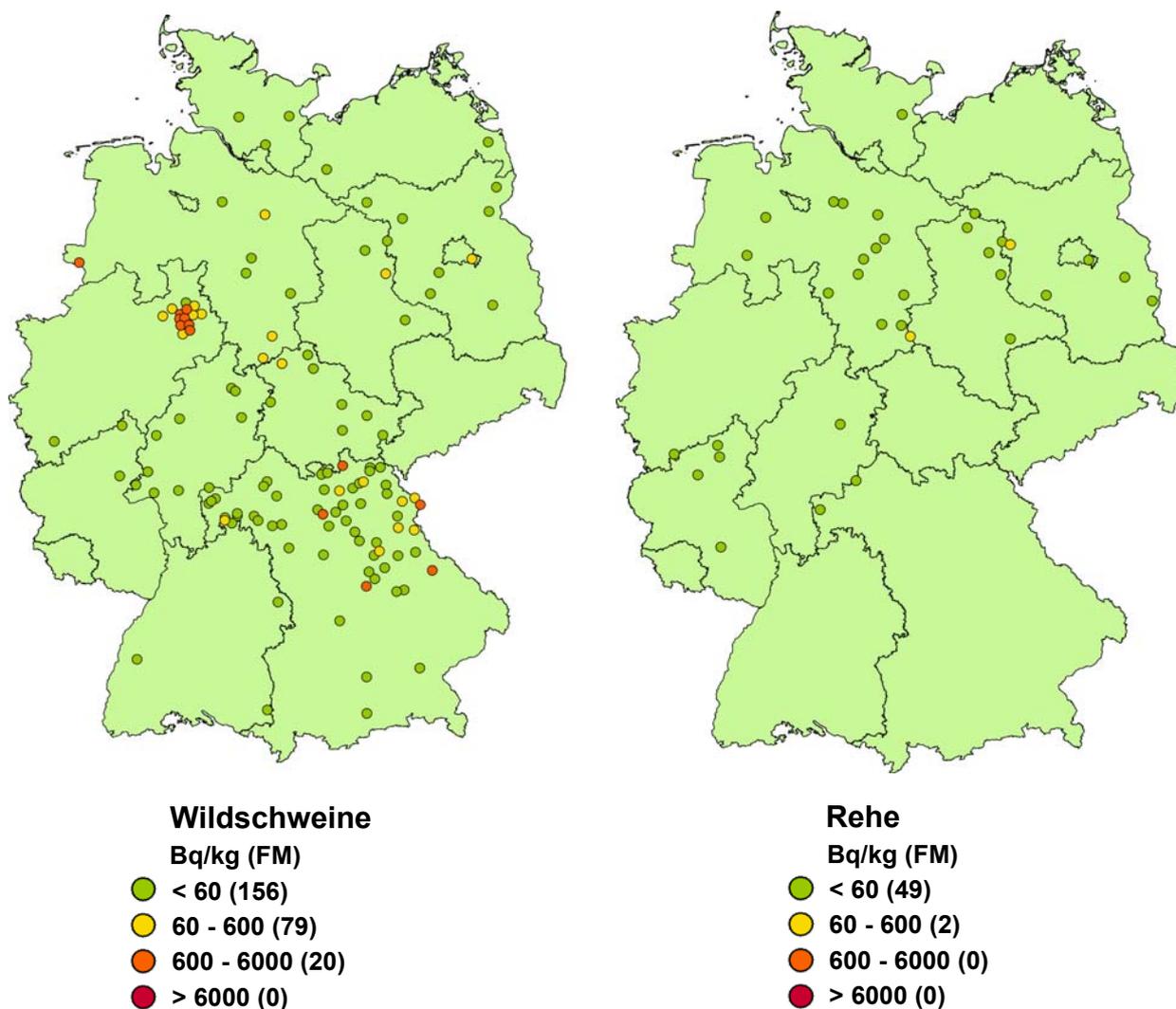
Ein wichtiges Anliegen ist die Förderung der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern und der CTBTO. Deutschland unterstützt diese Zusammenarbeit und die damit verbundene Thematik der wissenschaftlichen und zivilen Nutzung der Daten und Informationen aus dem Verifikationssystem. Die zivile Nutzung der Radionuklidaten für den Notfallschutz und die Information der Öffentlichkeit hat sich insbesondere 2011 nach der Reaktorkatastrophe in Fukushima bewährt.

1.3 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2018 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Cs-137 verursacht. Andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch ca. 47 % der 1986 deponierten Aktivität vor. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die äußere Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um 2,3 % ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten durch den Boden sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,009 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv).

Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zurzeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsiums am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch radioaktives Cäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig belastet. In einem umfangreichen Messprogramm nach § 163 StrlSchG im Rahmen des



**Abbildung B II 1.3-1 Cs-137-Gehalt (Mittelwerte) von Wildschweinen und Rehen im Jahr 2018
(Datenbasis des Bundes, Anzahl der Werte in Klammern)**

*(Specific Cs-137 activity (means) in wild boar and deer - year 2018 - data from IMIS,
number of values in brackets)*

Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) werden jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht. Dadurch wird eine bundesweite Überwachung der Radioaktivitätspegel in Lebensmitteln sichergestellt [1, 2].

Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen im Berichtsjahr wie in den Vorjahren in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wurde mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,21 Bq Cs-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv resultierte (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (K-40, radioaktive Nuklide von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen wurden in IMIS weiterhin höhere Werte gemessen. Die spezifischen Cs-137-Aktivitäten reichten bei einigen Arten von Wildpilzen, z. B. Pfifferlingen (21 Messungen) bis 434 Bq/kg oder Maronnröhrlingen (30 Messungen) bis 294 Bq/kg. Bei Fischen traten bis zu 25 Bq/kg bei Flussbarschen auf (7 Messungen).

Bei Wildschweinen wurden nach wie vor stellenweise Überschreitungen des Höchstwertes von 600 Bq/kg für Cs-137 gemessen; dieses Wildschweinfleisch darf nicht vermarktet werden.

In [Abbildung B II 1.3-1](#) werden Daten aus dem IMIS für Haarwildfleisch dargestellt. Diese sind allerdings nicht repräsentativ für das jeweilige Bundesland. Im Berichtsjahr wurden in Bayern (82 Messungen an Wildschweinfleisch), Niedersachsen (23 Messungen an Wildschweinfleisch, 28 Messungen an Rehfleisch), und Nordrhein-Westfalen (108 Mes-

sungen an Wildschweinfleisch) verstärkt Proben genommen. Diese zeigten in einigen Fällen Überschreitungen des Höchstwertes auch außerhalb der höher kontaminierten Gebiete Süddeutschlands.

In Bayern lag der Mittelwert von 82 Messungen der Aktivitätskonzentration von Wildschweinen bei 79 Bq/kg, die Werte reichten bis 840 Bq/kg. 108 Messungen an Wildschweinen in Nordrhein-Westfalen ergaben einen Mittelwert von 236 Bq/kg bei einem Höchstwert von 1250 Bq/kg. In Niedersachsen lag der Mittelwert bei 122 Bq/kg (23 Messungen), der Maximalwert bei 652 Bq/kg. Hier wurde der Höchstwert von 600 Bq/kg überschritten. In allen anderen Bundesländern und allgemein bei Rehfleisch wurde bei keiner weiteren Messung der Höchstwert überschritten.

Cs-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Die höchsten Aktivitäten weist das Fleisch von Wildschweinen aus großen geschlossenen Waldgebieten auf, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Aus demselben Grund sind Wildschweine aus Gehegen, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, nur geringfügig belastet.

Der einmalige Verzehr von 500 g Wildschweinfleisch des am höchsten kontaminierten Tieres (1250 Bq/kg Cs-137) würde bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,008 mSv führen. Das BfS rät grundsätzlich, jede Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Die Strahlenexposition durch den Verzehr von Nahrungsmitteln lässt sich durch das individuelle Ernährungsverhalten reduzieren. Wer für sich persönlich die Strahlenbelastung so gering wie möglich halten möchte, sollte deshalb auf den Verzehr von vergleichsweise hoch kontaminierten Pilzen und Wildbret verzichten (www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/pilze-wildbret/pilze-wildbret.html).

Literatur

- [1] BMUB (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland: Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz. Stand 2014. Daten und Bewertung, [urn:nbn:de:0221-2015103013753](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2015103013753), Bonn, April 2015
- [2] BMU (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland: Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz. Stand 2017. Daten und Bewertung, [nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018100516201](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2018100516201), Bonn, Oktober 2018

1.4 Anlagen nach Atomgesetz

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland existierten im Jahr 2018 folgende kerntechnische Anlagen:

- 7 in Betrieb befindliche Kernkraftwerke ([Tabelle T II.1](#)) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 10 013 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 76,0 TWh und einem Anteil von 11,8 % an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung im Jahr 2018. Acht Kernkraftanlagen wurden bereits im Jahr 2011 endgültig abgeschaltet. Davon betroffen waren die Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel. Die Reaktoren MZFR Karlsruhe, AVR Jülich, KNK Karlsruhe sowie die Leistungskraftwerke Rheinsberg, Gundremmingen A, Würgassen, Lingen, Greifswald, Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich, Stade, Obrigheim, Grafenrheinfeld und Gundremmingen B haben den Betrieb ebenfalls beendet.
- 3 Forschungsreaktoren ([Tabelle T II.2](#)) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 30,1 MW.
- 2 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau.
- 16 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente ([Tabelle T II.3](#)).
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Seit dem 25.09.1998 nimmt das ERAM keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung mehr an ([Tabelle T II.4](#)).
- Die Schachanlage Asse II ([Tabelle T II.4](#)).

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser der Kernkraftwerke, der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin, Garching sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren, des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben und der Schachanlage Asse II für das Jahr 2018 sind in den Kapiteln 1.5.1 und 1.5.2 getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. In den Aktivitätsableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2018 ermittelten Aktivitätsableitungswerten geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten und mit Ausnahme der Ableitungen von Tritium deutlich unterschritten wurden.

Die aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Strahlenexposition der Bevölkerung sind in Kapitel 1.6 zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Im benachbarten Ausland waren 2018 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in [Tabelle T II.5](#) aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wird trotz seiner großen Entfernung zur Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“ (<http://ec.europa.eu/>). Die jährlichen Emissionen der Schweizer Anlagen werden im Strahlenschutzbericht 2018 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI veröffentlicht (www.ensi.ch/de).

Zentrale und dezentrale Zwischenlager

Bei den in Betrieb befindlichen zentralen Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken wie dem Transportbehälterlager (TBL) Ahaus, dem TBL Gorleben sowie dem Zwischenlager Nord (Rubenow bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Für die in Betrieb befindlichen dezentralen Standort-Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten treten im Normalbetrieb ebenfalls keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist je nach Lagerbelegung lediglich die Dosis bzw. Dosisleistung der Gamma- und Neutronenstrahlung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Sie wird zusammen mit der Direktstrahlung der entsprechenden Kernkraftwerksanlage erfasst. [Abbildung B II 1.4-1](#) und [Tabelle T II.3](#) zeigen eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager, die Anzahl der Stellplätze und die Belegung im Jahr 2018.

Bei Einrichtungen wie z. B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Kernforschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Fortluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfasst und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

1.5 Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen nach Atomgesetz

Die für das Jahr 2018 ermittelten Daten über die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Kapiteln 1.5.1 bzw. 1.5.2 zusammengefasst. Sie dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der einzelnen Anlagen. Diese Berechnung wurde entsprechend der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen“ durchgeführt. Beim Endlager

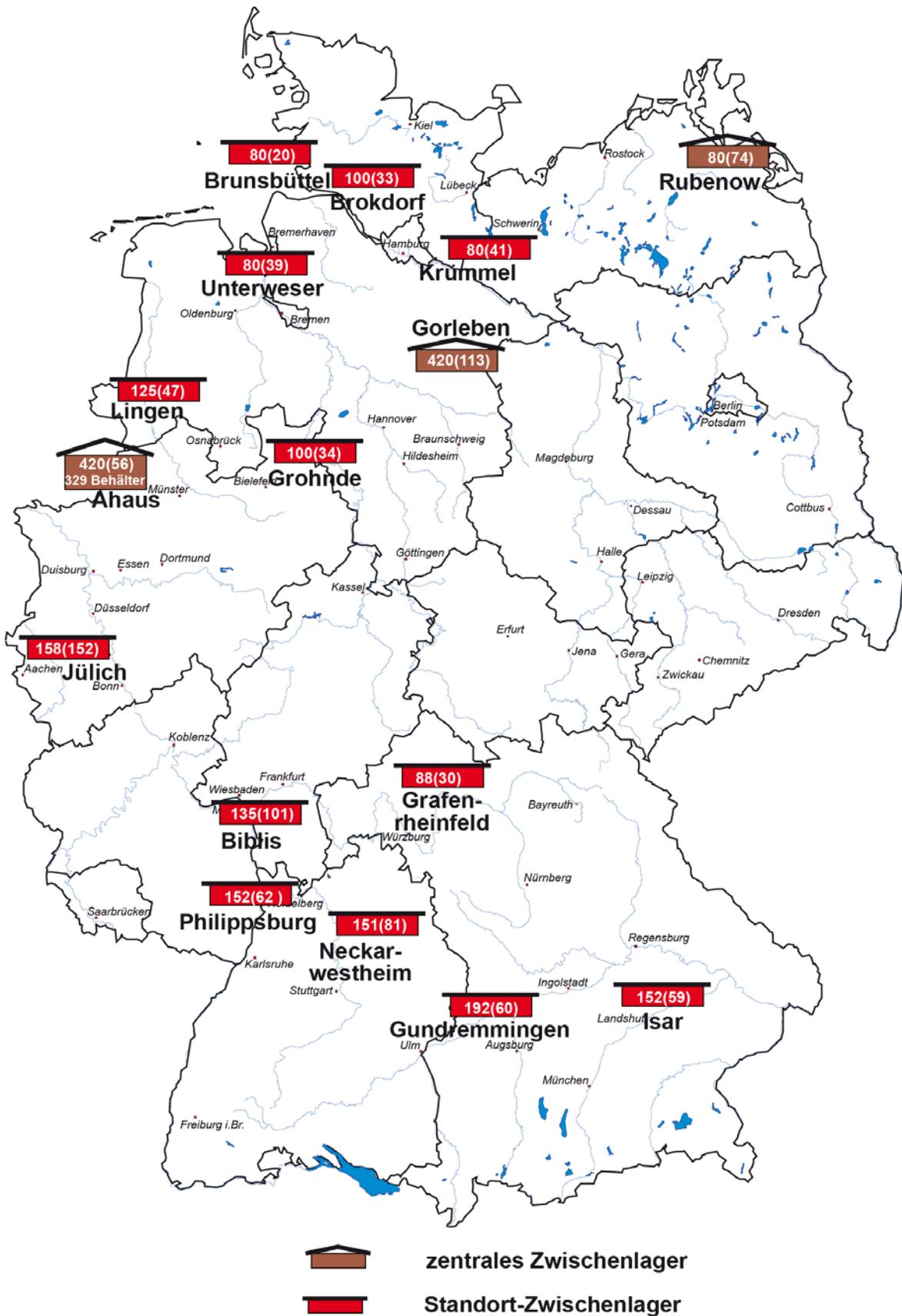


Abbildung B II 1.4-1 Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland im Jahr 2018 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern, Stand 31.12.2018)

(Interim storage for irradiated nuclear fuel in Germany in the year 2018 with number of storing positions (allocation in brackets, status 31.12.2018))

Morsleben und der Schachtanlage Asse II wurde für die Fortluft das Partikelmodell ARTM (Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell) zur Ausbreitungsrechnung sowie das verbesserte Modul DARTM zur Dosisberechnung verwendet.

1.5.1 Fortluft

Die nuklidspezifisch nachgewiesenen Aktivitätsableitungen werden vom Betreiber vierteljährlich und jährlich dokumentiert und an die zuständige Aufsichtsbehörde übermittelt. Aus der lückenlosen Bilanzierung der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen ermittelt und die Einhaltung der Dosisgrenzwerte des § 47 StrlSchV überprüft. Auf die Bestimmung der Strahlenexposition aus den Emissionsdaten muss deshalb zurückgegriffen werden, weil die Aktivitätskonzentrationen und spezifischen Aktivitäten der aus kerntechnischen Anlagen abgeleiteten Radionuklide in den Umweltmedien Luft und Wasser und in Nahrungsmitteln im Allgemeinen so gering sind, dass sie messtechnisch nicht nachgewiesen werden können. Die Aktivitätsableitungen sind dagegen genügend genau erfassbar (Tabelle T II.6 bis Tabelle T II.12).

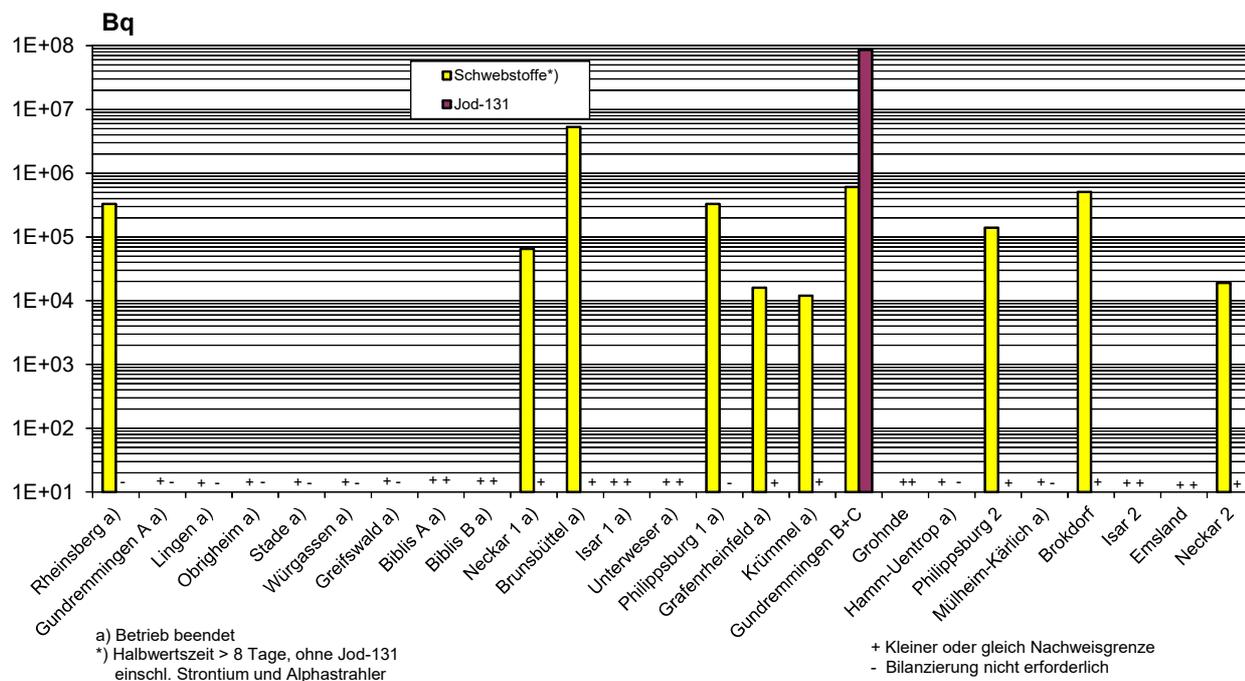


Abbildung B II 1.5-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018 (Schwebstoffe und I-131)

(Discharge of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants (particulates and I-131) during the year 2018)

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft der Kernkraftwerke im Jahr 2018 sind in Tabelle T II.6 für die Radionuklidgruppen radioaktive Edelgase und an Schwebstoffen gebundene Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als 8 Tage sowie für die Radionuklide I-131, C-14 (als Kohlenstoffdioxid) und H-3 aufgeführt (s. a. Abbildung B II 1.5-1 und B II 1.5-2). Die Jahresaktivitätsableitungen der Reaktoren MZFR, KNK und AVR (siehe Tabelle T II.1) sind in den Ableitungswerten der Forschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle T II.10 und Abbildung B II 1.5-3). Die einzelnen in einer Radionuklidgruppe zusammengefassten Radionuklide zeigen entsprechend ihrer chemisch-physikalischen Natur in den Umweltmedien und im menschlichen Körper unterschiedliches Verhalten. Daher ist für die Berechnung der Strahlendosis die Kenntnis der Zusammensetzung des abgeleiteten Radionuklidgemisches erforderlich. Die auf Grund von Einzelnuklidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 2018 abgeleiteten radioaktiven Edelgase ist aus Tabelle T II.7 zu ersehen. Tabelle T II.8 enthält die nuklidspezifischen Aktivitätsableitungen der an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide einschließlich der Betastrahler Sr-89 und Sr-90 sowie der Alphastrahler Pu-238, Pu-(239+240), Am-241, Cm-242 und Cm-244.

Tabelle T II.9 zeigt die zeitliche Entwicklung der jährlichen Gesamtaktivitätsableitungen für radioaktive Edelgase, an Schwebstoffen gebundene Radionuklide und I-131 mit der Fortluft und die Gesamt-Bruttostromerzeugung der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Edelgase war 2018 mit $1,9 \cdot 10^{13}$ Bq größer als 2017 mit $9,7 \cdot 10^{12}$ Bq. Die Summe der Jahresaktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden lag 2018 mit $7,3 \cdot 10^6$ Bq im Bereich des Vorjahreswertes von $6,6 \cdot 10^6$ Bq. Die Gesamtaktivitätsableitung von I-131 lag 2018 mit $8,6 \cdot 10^7$ Bq über dem Vorjahreswert von $6,9 \cdot 10^7$ Bq. Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Kernkraftwerke.

In Tabelle T II.10 und Abbildung B II 1.5-3 sind die Angaben über die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht, Berlin und den Forschungsre-

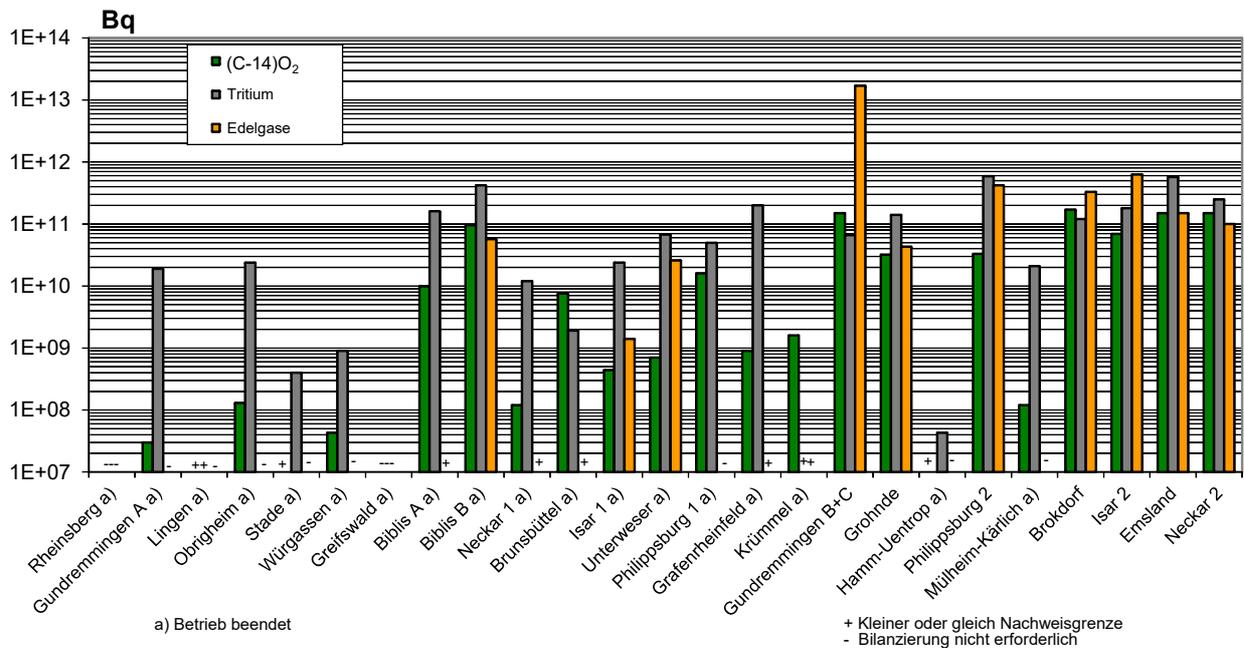


Abbildung B II 1.5-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018 (C-14 als Kohlenstoffdioxid, Tritium und Edelgase)
(Discharge of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants C-14 as carbondioxide, tritium and noble gases during the year 2018)

aktoren in Garching und Mainz im Jahr 2018 für die Radionuklidgruppen radioaktive Edelgase und an Schwebstoffen gebundene Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als 8 Tage, inklusive Strontiumisotope und Alphastrahler, sowie für die Radionuklide I-131, C-14 (in allen chemischen Verbindungen) und H-3 zusammengefasst.

Bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben werden die mit der Fortluft emittierten, an Schwebstoffen gebundenen, alphastrahlenden Radionuklide ermittelt (Tabelle T II.11). Die 2018 abgeleitete Gesamt-Alpha-Aktivität der Anlagen Gronau und Lingen betrug weniger als $4,8 \cdot 10^4$ Bq.

Einen Überblick über die Aktivitätsableitungen mit der Fortluft für das Endlager Morsleben und die Schachanlage Asse gibt Abbildung B II 1.5-4. Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Endlager Morsleben ist in Tabelle T II.12 zusammengestellt. An der Schachanlage Bartensleben und am Abwetterbauwerk Marie, welche Teile der Anlage „Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben“ (ERAM) und genehmigte Emittenten sind, werden jährlich etwa 2 Milliarden Kubikmeter Abwetter aus dem untertägigen Kontrollbereich über Stahlblech-Rohrleitungen (Abwetterluten) nach Übertage gefördert und in die Umgebung abgegeben.

Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachanlage Asse II ist in der Tabelle T II.12 für gasförmige Verbindungen von H-3 und C-14 sowie Rn-222 sowie für die an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide zusammengestellt.

Die für das Jahr 2018 ermittelten Werte für die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen entsprechen in der Summe etwa den Werten der vorhergehenden Jahre, wenn auch Einzelwerte je nach den betrieblichen Bedingungen erheblich voneinander abweichen können; sie unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte; dies zeigt beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Tabelle T I.6 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Bq für radioaktive Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für an Schwebstoffen gebundene Radionuklide und ca. 10^{10} Bq für I-131. Auch zusätzlich auftretende Strahlenexposition z. B. durch Direktstrahlung führt nicht zu einer Überschreitung des Dosisgrenzwertes von 1 mSv nach § 46 StrlSchV.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung ermittelten jährlichen Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen. Maß des Strahlenrisikos ist nicht die abgeleitete Aktivität, sondern die effektive Dosis (Grundlagen, Abschnitt 1.2). Die aus den Jahresaktivitätsableitungen unter Berücksichtigung von meteorologischen, ökologischen und biologischen Parametern berechneten Jahresdosen sind in Kapitel II 1.5 angegeben.

Aktivitätsableitungen aus Anlagen nach Beendigung des Betriebes werden bis zum Ablauf der atomrechtlichen Genehmigung berichtet. Die deutlich kleineren Aktivitätsableitungswerte werden vom restlichen radioaktiven Inventar sowie von Rückbau- und Dekontaminationsarbeiten verursacht.

C-14 wird in Abbildung B II 1.5-2 und Tabelle T II.6 als chemische Verbindung Kohlenstoffdioxid angegeben, hauptsächlich, weil Kohlenstoffdioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders von Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes C-14 abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber

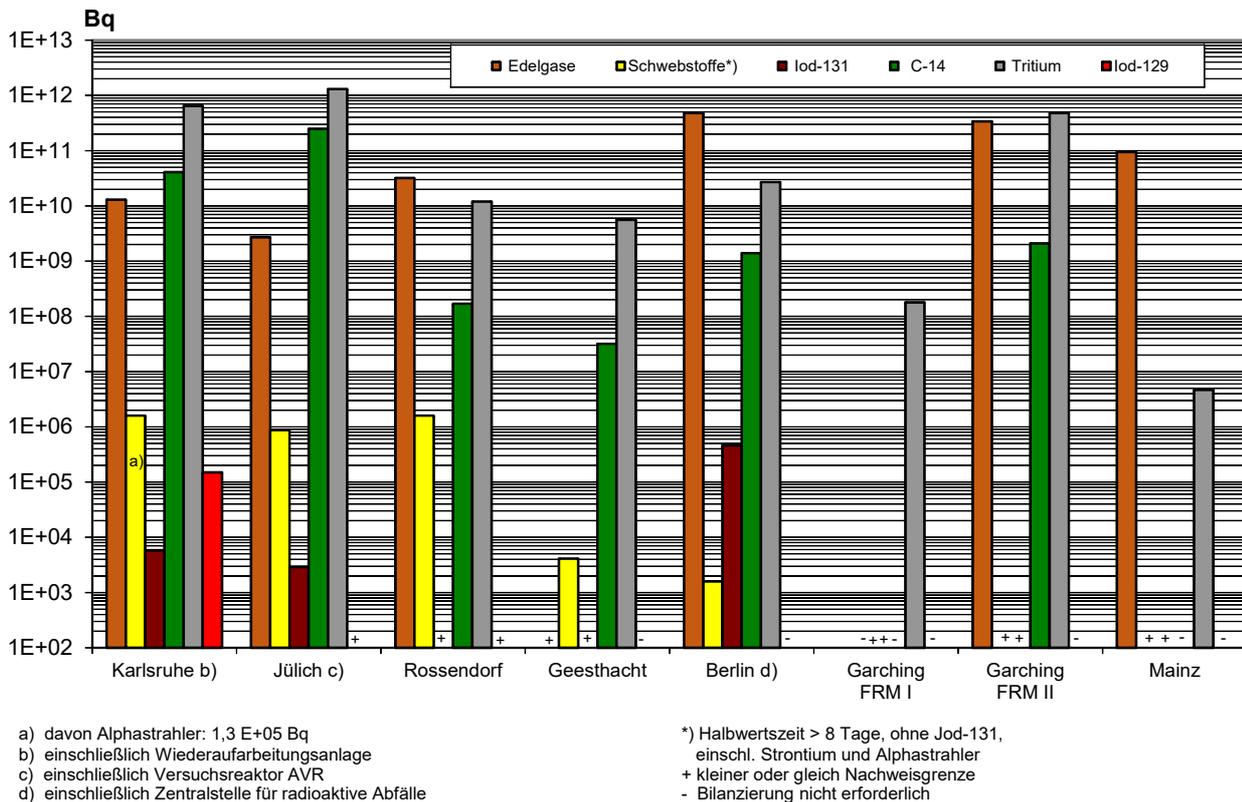


Abbildung B II 1.5-3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2018
Schwebstoffe, I-131 und I-129, C-14 (gesamt), Tritium und Edelgase

(Discharge of radioactive substances with exhaust air from research centres (particulates, I-131, I-129, C-14 (total), tritium and noble gases) during the year 2018)

vernachlässigbar ist, weil organisch gebundenes C-14 nicht über Assimilation in die Nahrungskette gelangt. Die gesamte abgeleitete Aktivität von C-14 in allen chemischen Verbindungen über die Fortluft im Jahr 2018 beträgt an den in [Abbildung B II 1.5-2](#) und [Tabelle T II.6](#) aufgeführten Standorten etwa $2,0 \cdot 10^{12}$ Bq.

Die Jahresaktivitätsableitungen der Forschungsreaktoren FRJ1, FRJ2, RFR, FRG1, FRG2 und BER II sind in den Ableitungen der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin enthalten ([Tabelle T II.10](#)).

1.5.2 Abwasser

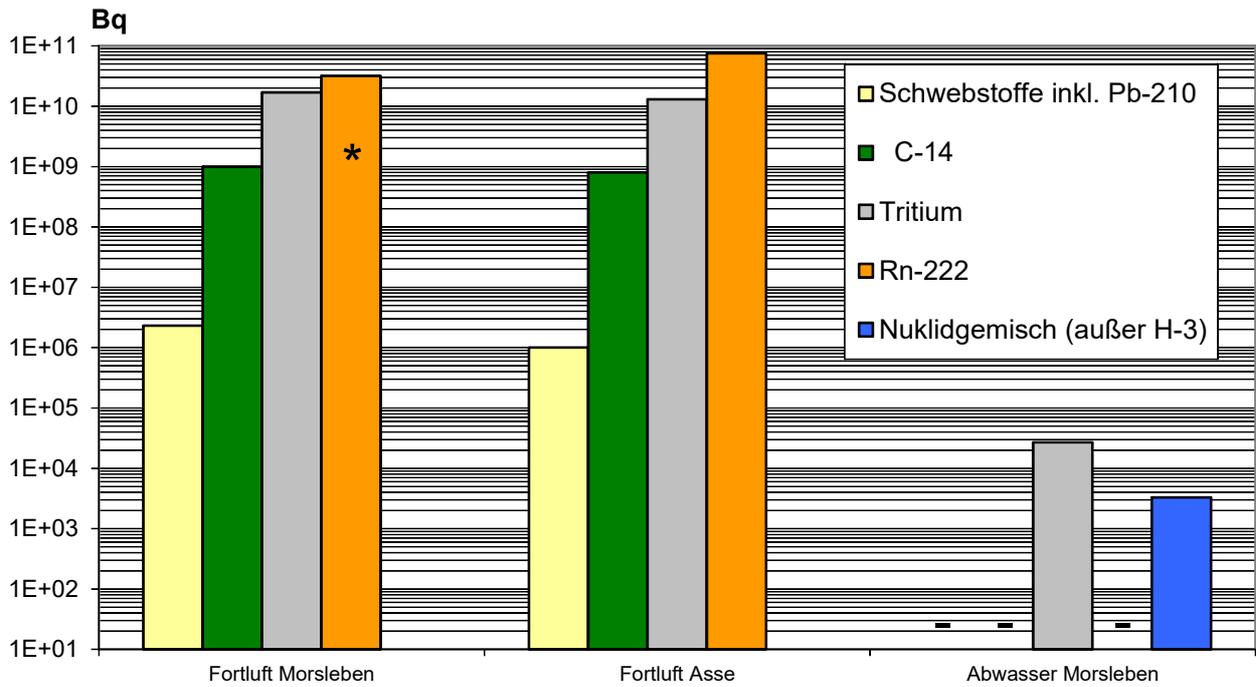
In den [Tabellen II.13](#) bis [II.16](#) sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren, Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben und Endlagern in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2018 mit dem Abwasser abgegebenen Aktivitäten zusammengestellt.

Sämtliche Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken ([Tabelle T II.13](#) und [Abbildung B II 1.5-5](#)) liegen in der Größenordnung der Abgaben der Vorjahre und unterschreiten - mit Ausnahme von Tritium - die entsprechenden Genehmigungswerte größtenteils deutlich.

Aus Druck- und Siedewasserreaktoren wurden mit dem Abwasser insgesamt 0,14 GBq bzw. 0,61 GBq Spalt- und Aktivierungsprodukte (ohne Tritium) abgegeben. Die Tritium-Abgaben aus Druckwasserreaktoren liegen mit 114 TBq und aus Siedewasserreaktoren mit 1,96 TBq in der Größenordnung des Vorjahres.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Forschungszentren ([Tabelle T II.14](#) und [Abbildung B II 1.5-6](#)), den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben ([Tabelle T II.15](#)) und dem Endlager Morsleben ([Tabelle T II.16](#) bzw. [Abbildung B II 1.5-4](#)) liegen bezüglich der einzelnen Radionuklidgruppen ebenfalls in der Größenordnung der Abgaben der letzten Jahre.

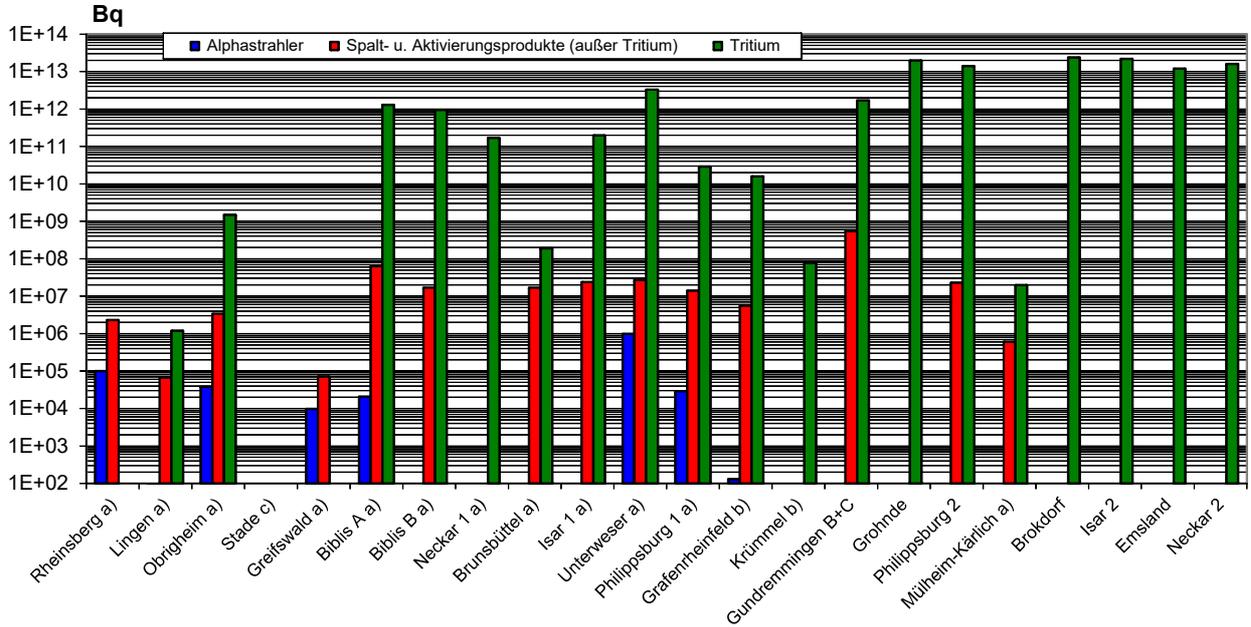
Wie in den Vorjahren wurden aus der Schachanlage Asse II keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet. Die Strahlenexposition in der Umgebung der Schachanlage Asse II resultiert daher ausschließlich aus Ableitungen über den Luftpfad (vgl. [Teil B II 1.5](#)). Für die aus dem Deckgebirge zutretende Salzlösung wurde das Lösungsmanagement der Schachanlage Asse II umgestellt. Die Entsorgung der Zutrittslösung geschieht seit 2009 über eine Freigabe nach § 29 StrlSchV.



* aus den Zerfallsprodukten errechnete, gleichgewichtsäquivalente Radon-222-Aktivitätskonzentration

- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung B II 1.5-4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben und der Schachanlage Asse im Jahr 2018
(Discharges of radioactive substances with exhaust air and waste water from the Asse mine and the radioactive waste repository Morsleben in 2018)



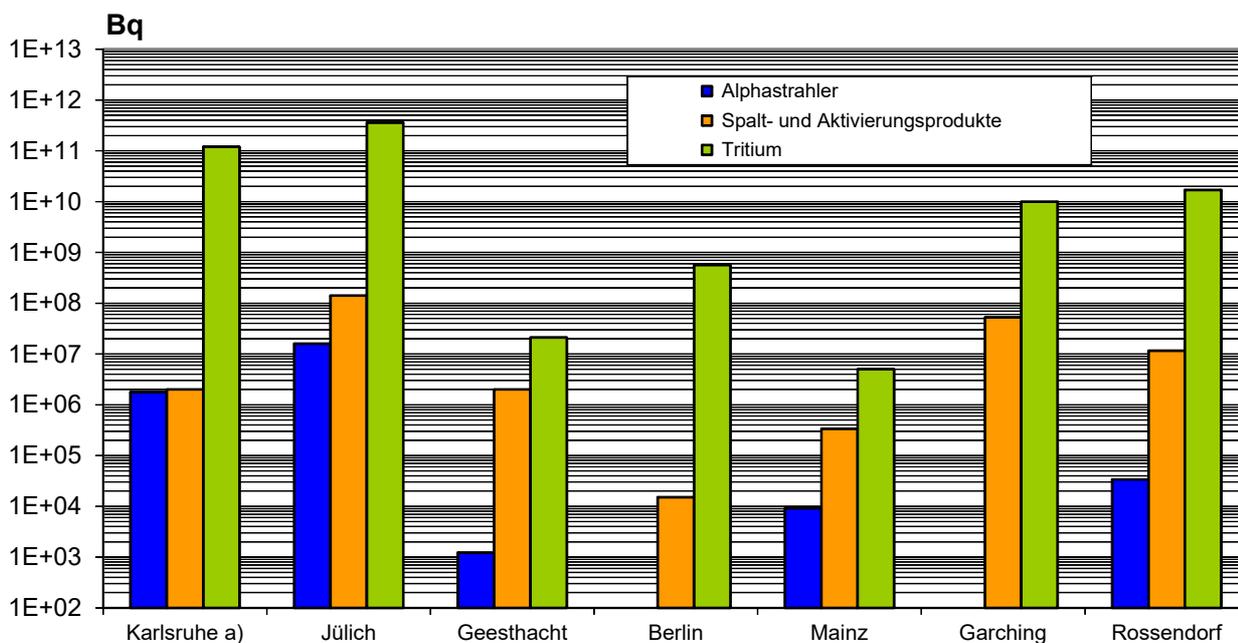
a) Anlage im Rückbau

b) Anlage im Nichtleistungsbetrieb

c) keine Abgabe

Ist kein Wert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze.

Abbildung B II 1.5-5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2018 (Alphastrahler, Summenwerte und Tritium)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in the year 2018 (alpha sources, summation values, and tritium))



a) einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage

Ist kein Wert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze.

Abbildung B II 1.5-6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2018 (Alphastrahler, Summenwerte und Tritium)
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2018 (alpha sources, summation values, and tritium))

1.6 Strahlenexposition durch Anlagen nach Atomgesetz

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Tabellen angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen stellen obere Werte dar, da sie gemäß § 47 Absatz 2 StrlSchV 2001 für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist. Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 μSv , die Schilddrüsens dosis höchstens 900 μSv und die Knochenoberflächendosis höchstens 1800 μSv pro Jahr betragen.

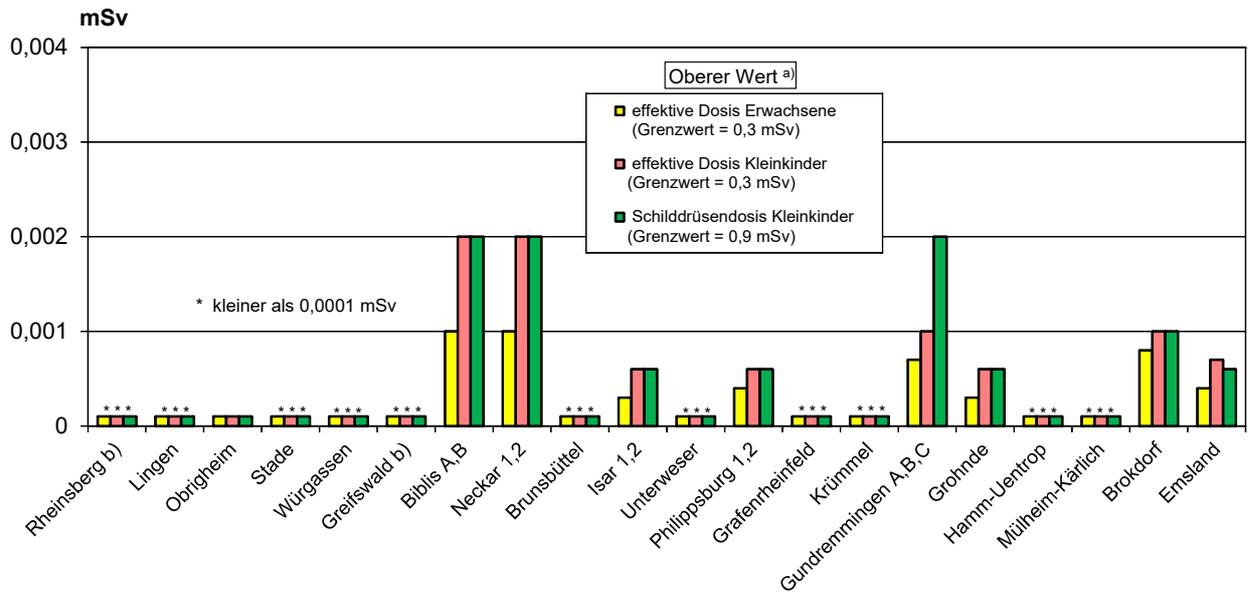
Für die Zwecke der Berichterstattung werden hier nur die effektiven Dosen für Kleinkinder und Erwachsene sowie die Organdosen für die kritische Gruppe angegeben.

In Fällen, in denen die Strahlenbelastung von Säuglingen unter der von Kleinkindern liegt, wird diese nicht angegeben. Außerdem werden maximale Organdosen nur für das am meisten betroffene Organ angegeben.

Kernkraftwerke

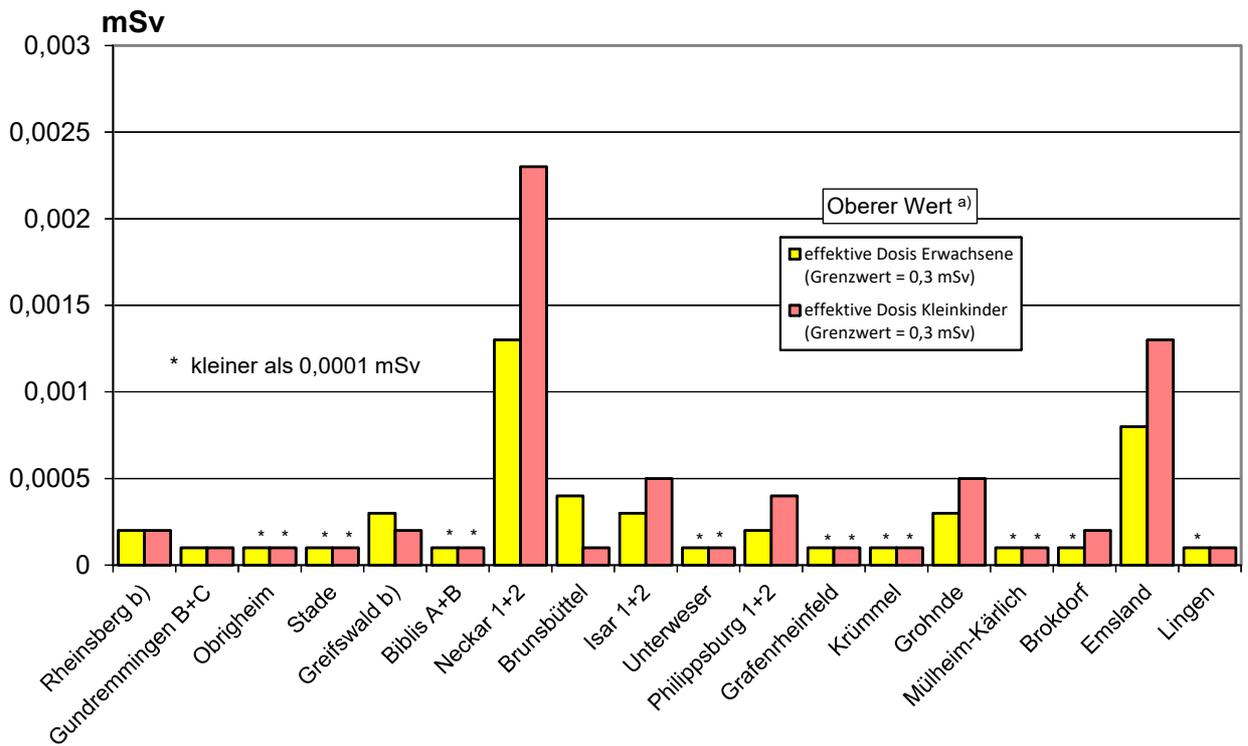
[Tabelle T II.17](#) enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2018 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft**. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe >17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe von >1 bis 2 Jahre) sowie die Schilddrüsens dosis für Kleinkinder. [Tabelle T II.17](#) zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 1 μSv (unter 1 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) sowie für Kleinkinder 2 μSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) jeweils bei den Standorten Neckarwestheim und Biblis. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsens dosis für Kleinkinder ergibt sich mit 2 μSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) ebenfalls für Neckarwestheim und Biblis sowie für Gundremmingen. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr zum Teil etwas angestiegen. (s. a. [Abbildung B II 1.6-1](#)).

In [Tabelle T II.18](#) sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der



- a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
- b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

Abbildung B II 1.6-1 Strahlenexposition im Jahr 2018 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with exhaust air during the year 2018)



- a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
- b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser der Jahre vor 1990 nicht vorliegen

Abbildung B II 1.6-2 Strahlenexposition im Jahr 2018 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis für Kleinkinder beträgt 2,3 μSv (entsprechend ca. 0,77 % des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Neckarwestheim (s. a. [Abbildung B II 1.6-2](#)). Der höchste berechnete Wert einer Organdosis beträgt 8,9 μSv und wurde für die Knochenoberfläche der Altersgruppe der 12- bis 17-Jährigen in der Umgebung des Kernkraftwerkes Greifswald berechnet.

Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Für das Mündungsgebiet des Neckar wurde eine effektive Jahresdosis von 0,7 μSv für Erwachsene und 1,1 μSv für Kleinkinder ermittelt; für den Main wurden für beide Personengruppen Werte von weniger als 0,1 μSv und für die Weser von 0,2 μSv für Erwachsene und 0,3 μSv für Kleinkinder berechnet; am Rhein liegen die berechneten effektiven Jahresdosen unterhalb von 0,1 μSv und an der Donau bei 0,3 bzw. 0,5 μSv . Zu diesen Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten und auf Ufersediment bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen aus früheren Jahren bedingt ist.

Forschungszentren

Die in [Tabelle T II.19](#) angegebenen Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** aus Forschungszentren stammen teilweise aus den Jahresberichten der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf und Geesthacht. Die Werte für das Forschungszentrum Garching sind vom BfS errechnet worden. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 2018 als höchsten Wert 11 μSv (unter 4 % des Grenzwertes) für Erwachsene beim Forschungszentrum Jülich sowie 20 μSv (unter 7 % des Grenzwertes) für Kleinkinder aus. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 19 μSv (ca. 2 % des Grenzwertes) ebenfalls am Standort Jülich (s. a. [Abbildung B II 1.6-3](#)).

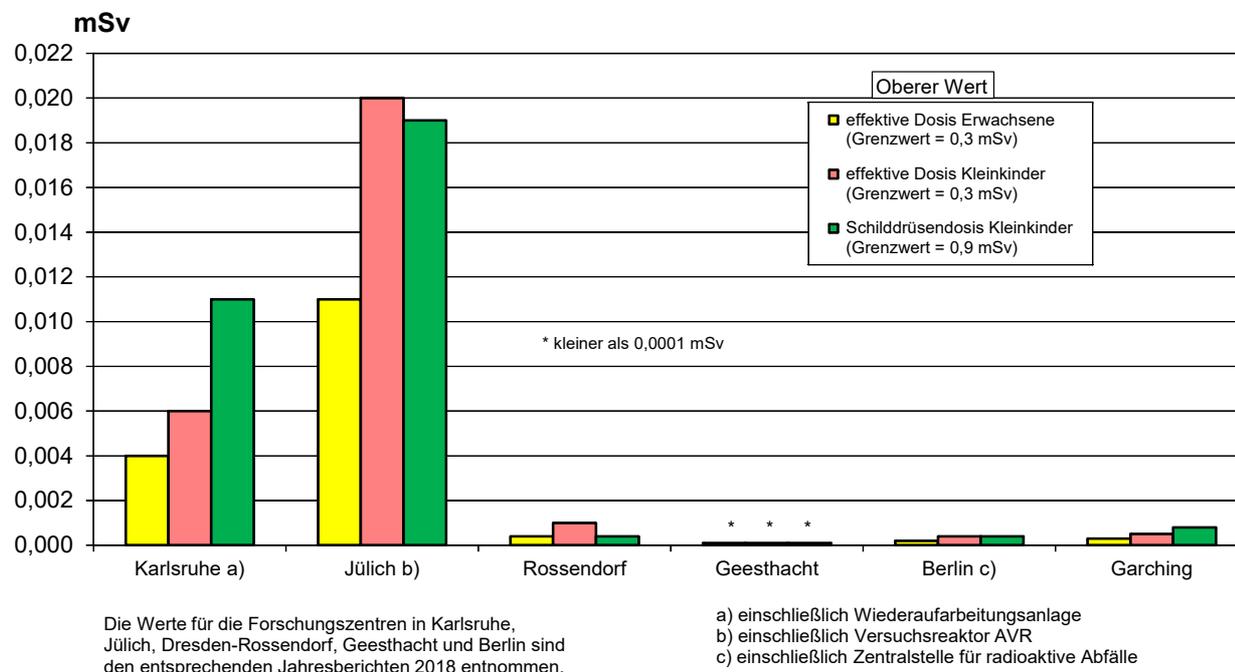


Abbildung B II 1.6-3 Strahlenexposition im Jahr 2018 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with exhaust air during the year 2018)

In [Tabelle T II.20](#) wird die Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe über das **Abwasser** aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich und Geesthacht angegeben. Der höchste Wert ergibt sich mit 5,5 μSv für Kleinkinder am Standort Jülich.

Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau sind in [Tabelle T II.21](#) die für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder sowie die oberen Werte der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** angegeben. Die Messwerte zur Direktstrahlung ([Tabelle T II.22](#)) beinhalten den natürlichen Untergrund.

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem **Abwasser** bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe sind ebenfalls in [Tabelle T II.21](#) aufgeführt. Wie in den Vorjahren liegen die Werte bei jeweils weniger als 0,1 μSv .

Endlager Morsleben

Die Strahlenexposition in Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und mit dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in [Tabelle T II.23](#) aufgeführt und in [Abbildung B II 1.6-4](#) dargestellt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene betrug im Jahr 2018 0,3 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,8 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 1 μSv ; dies sind 0,1 %, 0,3 % bzw. 0,5 % des Grenzwertes nach der StrlSchV von 0,3 mSv. Die Dosis des für alle Altersgruppen kritischen Organs Knochenoberfläche errechnete sich zu 8 μSv für Erwachsene, 8 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 15 μSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,4 %, 0,4 % bzw. 0,8 % des Grenzwertes von 1,8 mSv). Die Dosiswerte sind allerdings sehr konservativ, da kein Abzug der Radioaktivität natürlichen Ursprungs in der Fortluft erfolgt. Die berechneten Dosiswerte sind gegenüber dem Vorjahr etwas zurückgegangen. Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis liegen auch im Berichtsjahr 2018 unterhalb von 0,1 μSv für Erwachsene und Kleinkinder.

Schachanlage Asse II

Seit dem 1. Januar 2009 wird die Schachanlage Asse II verfahrensrechtlich wie ein Endlager für radioaktive Abfälle behandelt.

Auf Grund der Komplexität des Standorts mit Orografie, zahlreichen Gebäuden in Verbindung mit einer niedrigen Emissionshöhe wurde ab 2015 wie bereits am Standort Morsleben das Lagrange-Modell ARTM angewendet. Bei dieser realistischen Ausbreitungsrechnung mit ARTM wird eine deutlich größere Kaminüberhöhung simuliert und die konservative Berücksichtigung der Orografie im Gauß-Modell entfällt. Es erfolgten keine Ableitungen über das Abwasser.

Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis einschließlich der Inhalationsdosis durch Radonfolgeprodukte beträgt im Jahr 2018 für Erwachsene 0,2 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,4 μSv und für Säuglinge 0,8 μSv (unter 0,1 %, ca. 0,1 % bzw. 0,3 % des Grenzwertes nach der StrlSchV von 0,3 mSv). Die Dosis einschließlich der Inhalationsdosis durch Radon-Folgeprodukte für das kritische Organ Knochenoberfläche wurde mit 8 μSv für Säuglinge, 4 μSv für Kleinkinder und 4 μSv für Erwachsene (ca. 0,4 %, 0,2 % bzw. 0,2 % des Grenzwertes von 0,3 mSv) ermittelt.

Die potenzielle Strahlenexposition wird in der Schachanlage Asse II insbesondere durch das radioaktive Edelgas Radon und das Radionuklid Pb-210 verursacht. Das Radionuklid Pb-210 entsteht durch radioaktiven Zerfall aus Radon-222 und wird zum Teil bereits mit den Frischwetterern in die Grube eingebracht. Radon-222 ist ebenfalls bereits in den Frischwetterern vorhanden, wird aber auch aus den in der Schachanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfällen freigesetzt. Bei der Berechnung der potenziellen Strahlenexposition wurde nicht zwischen natürlichen und abfallbürtigen Radionukliden unterschieden, sondern konservativ angenommen, dass die in der Fortluft vorhandenen Radionuklide vollständig aus den eingelagerten Abfällen freigesetzt werden. Die berechneten potenziellen Strahlenexpositionen sind in [Tabelle T II.23](#) aufgeführt und in [Abbildung B II 1.6-4](#) dargestellt.

Zentrale Zwischenlager

Für das zentrale Zwischenlager Nord und die zentralen Transportbehälterlager (TBL) Ahaus und Gorleben ist die Strahlenexposition durch Direktstrahlung in [Tabelle T II.24](#) aufgeführt. Die Messwerte erfassen sowohl die Direktstrahlung aus den Zwischenlagern als auch den natürlichen Untergrund. Um den Beitrag der Anlage abzuschätzen, ist ein Vergleich mit Messwerten des natürlichen Untergrundes notwendig, die während der Beweissicherungsphase vor dem Betrieb der Anlage gemessen wurden oder an Referenzmessstellen gemessen werden. Im Falle des TBL Gorleben haben Messungen ergeben, dass auf Grund des die Anlage umgebenden Erdwalls die ermittelte Gamma-Ortsdosis am Zaun natürlichen Ursprungs ist und kein Anteil des TBL nachweisbar ist. Dies wurde durch Messprogramme der PTB zum natürlichen Untergrund im Bereich des nördlichen Anlagenzauns zur Ermittlung der Beiträge der natürlichen Strahlung im Jahr 2011 bestätigt. Der Beitrag der Höhenstrahlung zur Neutronen-Ortsdosis wurde zu 0,065 mSv/a bestimmt.

Bewertung

Die für 2018 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 7 % des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis einer Person der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2018 maximal 20 μSv pro Jahr.

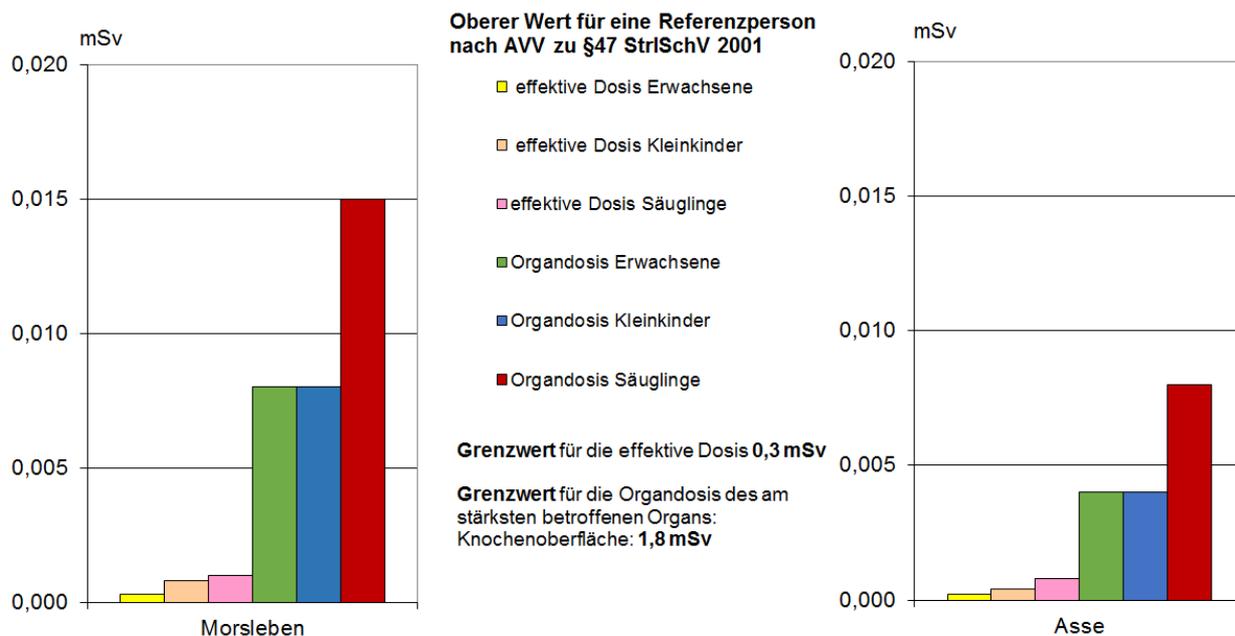


Abbildung B II 1.6-4 Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2018
(Radiation exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air in 2018)

2. Allgemeine Umweltüberwachung (Immissionen)

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse

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

Die Messnetze des BfS und des DWD sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS). Die geprüften Messergebnisse werden täglich der Zentralstelle des Bundes (ZdB) für IMIS bereitgestellt. Weitere Informationen zu den Radioaktivitätsmessnetzen von BfS und DWD sind in diesem Bericht im Grundlagenteil [II Grundlagen zur künstlichen Umweltradioaktivität](#) enthalten.

Messungen im Rahmen der Spurenanalyse dienen primär der Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen sowie der Beobachtung von Langzeittrends. Diese Messungen werden vom BfS, dem DWD, der PTB und dem Helmholtz-Zentrum München durchgeführt. Die von DWD, BfS und PTB erhobenen Daten werden nicht nur für IMIS, sondern auch für die Berichterstattung gegenüber der EU gemäß Artikel 35 des Euratom-Vertrages bereitgestellt.

Im vorliegenden Bericht kann die Vielzahl sämtlicher Einzelmesswerte nicht dokumentiert werden. Die Abbildungen und die Tabellen stellen repräsentative Beispiele dar. Die Einzelwerte sind in den Leitstellen verfügbar.

Ergebnisse der Routinemessungen

Die Messwerte der γ -Ortsdosisleistung sind auch im Jahr 2018, verglichen mit denen des Vorjahres, weitgehend unverändert geblieben. Die ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag lagen überwiegend im Bereich des Pegels, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

2.1.1 Radionuklide in der bodennahen Luft

Monitoring

Die Ergebnisse der 41 kontinuierlich arbeitenden Luftmonitore des DWD wiesen im Berichtsjahr keine Werte oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenze von typischerweise ca. 10 mBq/m³ Luft bezogen auf Cs-137 auf.

Edelgase

Auch im Jahr 2018 wurden am BfS Messungen des radioaktiven Xenons und des Kr-85 weitergeführt. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von Xe-133 an den sieben deutschen Probenentnahmestationen lagen, wie schon in den vergangenen Jahren, in der Regel zwischen unter 1 mBq/m³ und maximal ca. 20 mBq/m³ Luft. Die Probenentnahmen an diesen sieben Stationen werden teilweise durch das BfS selbst durchgeführt (Schauinsland, Freiburg, Bremgarten), an anderen Orten übernehmen dies der DWD (Offenbach, Potsdam, Trier) und die PTB (Braunschweig); die Analyse der Proben erfolgt im Edelgaslabor des BfS in Freiburg. Als Beispiel für die Messergebnisse ist in [Abbildung B II 2.1-1](#) die Zeitreihe der Aktivitätskonzentration des radioaktiven Xe-133 an der Messstation auf dem Schauinsland bei Freiburg dargestellt. Auch hier wird, wie an der deutschen Radionuklidmessstation des BfS für die CTBTO auf dem Schauinsland, in den letzten Jahren eine Abnahme der mittleren Aktivitätskonzentration beobachtet (siehe Kapitel [II 1.1 Kernwaffenversuche](#)). Bedingt durch den Rückgang der Emissionen von medizinischen Isotopenproduktionsanlagen liegt der Untergrundpegel für Xe-133 auf dem Schauinsland mittlerweile im Bereich der Nachweisgrenzen, die mit den manuellen Analysesystemen des BfS erreicht werden können.

Nachdem der Grundpegel von Kr-85 in der Luft über lange Zeit mit ca. 30 mBq/m³ pro Jahr kontinuierlich angestiegen ist, war in den Jahren 2003 bis 2013 ein Abflachen der Kurve zu beobachten (siehe [Abbildung B II 2.1-2](#)). In den letzten Jahren ist wieder eine Tendenz zu einer leichten Zunahme erkennbar, die auf den erneuten Anstieg der Kr-85-Emissionen zurückzuführen ist. Ein Ansteigen des Grundpegels wird dann hervorgerufen, wenn die Freisetzungsrate von Kr-85 größer ist als die durch die Halbwertszeit von 10,76 Jahren bestimmte Zerfallsrate.

Der Medianwert für die Aktivitätskonzentration von Kr-85, beispielsweise für den Probenentnahmeort Freiburg., betrug im Jahr 2018 1,52 Bq/m³. Kurzzeitige Schwankungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen können, sind auf Emissionen aus den europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen für Kernbrennstoffe (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen. Abhängig von der Wetterlage im jeweiligen Sammelzeitraum und ggf. mit Hilfe der Analyse von parallel genommenen Tagesproben am Probenentnahmeort Freiburg ist die Ermittlung der Quelle mit Hilfe atmosphärischer Ausbreitungsrechnungen möglich.

Im Jahr 2018 wurden wiederholt erhöhte Kr-85-Aktivitätskonzentrationen an einzelnen oder zeitweise auch allen deutschen Sammelstationen gemessen. Ein Beispiel für erhöhte Messwerte an mehreren deutschen Stationen ist der Probenentnahmezeitraum vom 13.08. bis 20.08.2018, dabei wurde die höchste Kr-85-Aktivitätskonzentration mit 6,15 Bq/m³ in Trier (DWD) erreicht. Der Jahreshöchstwert in Freiburg betrug 3,65 Bq/m³ in diesem Probenentnahmezeitraum. Diese Beobachtung passt zu den Kr-85-Emissionswerten der Wiederaufbereitungsanlage in La Hague, die auf eine hohe Auslastung der Anlage im Juli und August hindeuten.

Die Summe der Beiträge von Kr-85 und Xe-133 zur γ -Ortsdosisleistung liegt unter 30 nSv/a und ist gegenüber den durchschnittlichen Werten der γ -Ortsdosisleistung in Deutschland sehr klein.

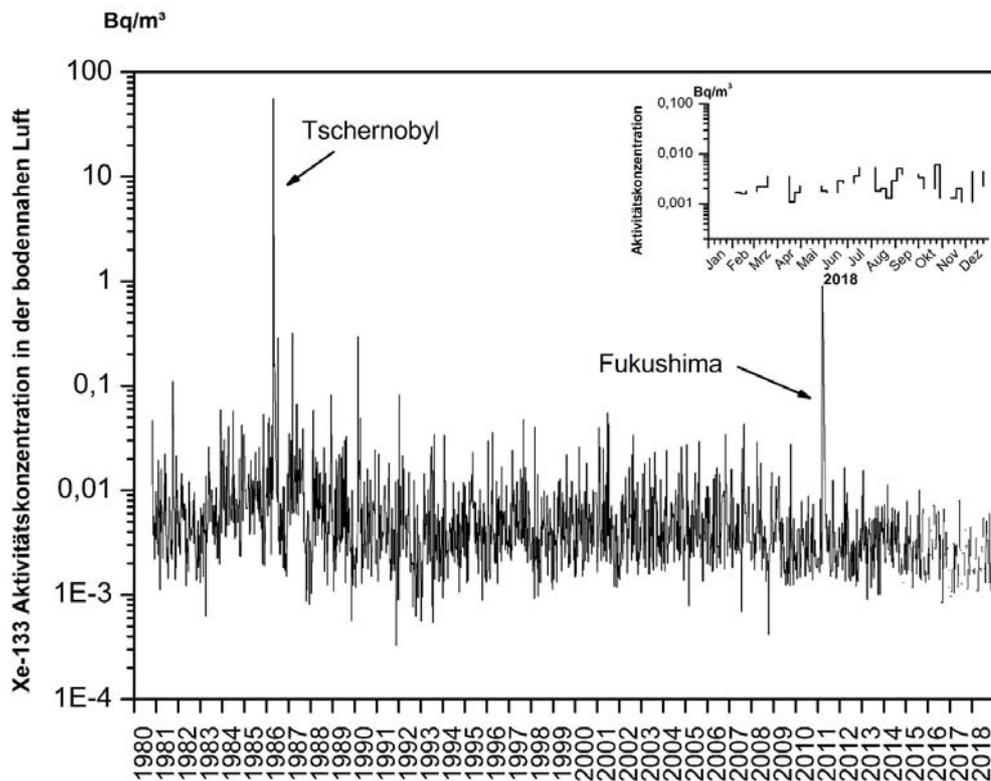


Abbildung B II 2.1-1 Xe-133-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmepunkt Freiburg/Schauinsland
(Xe-133-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Freiburg/Schauinsland)

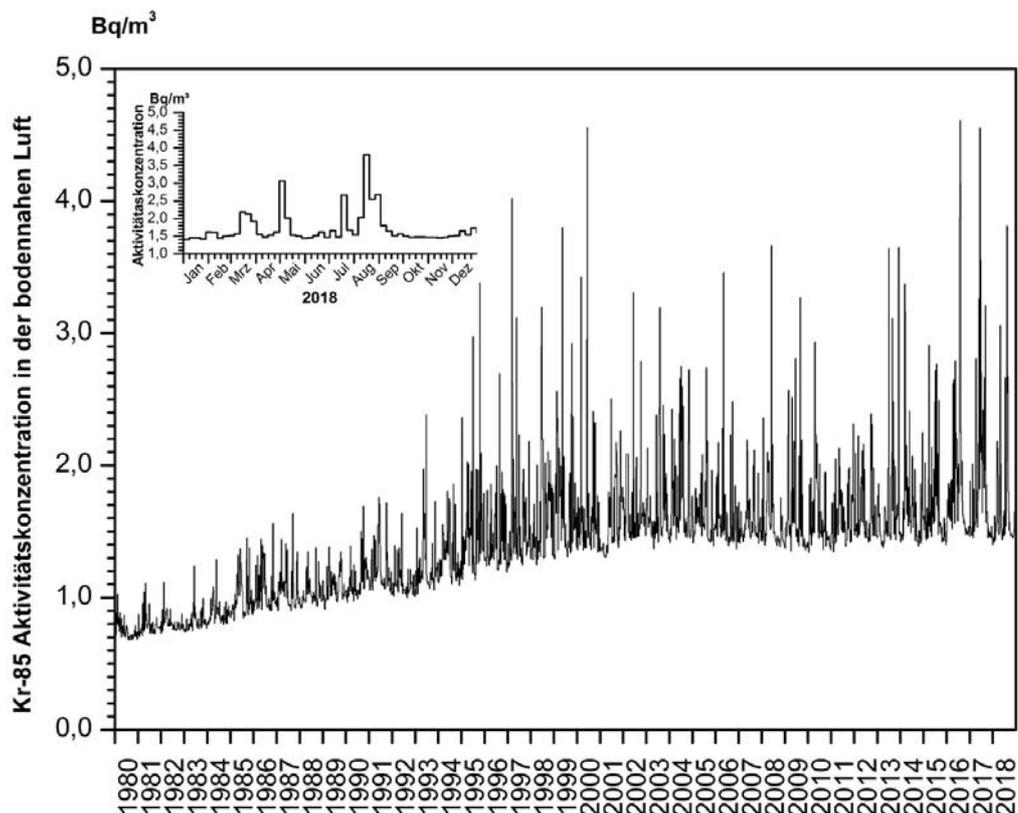


Abbildung B II 2.1-2 Kr-85-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmepunkt Freiburg/Schauinsland
(Kr-85-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Freiburg/Schauinsland)

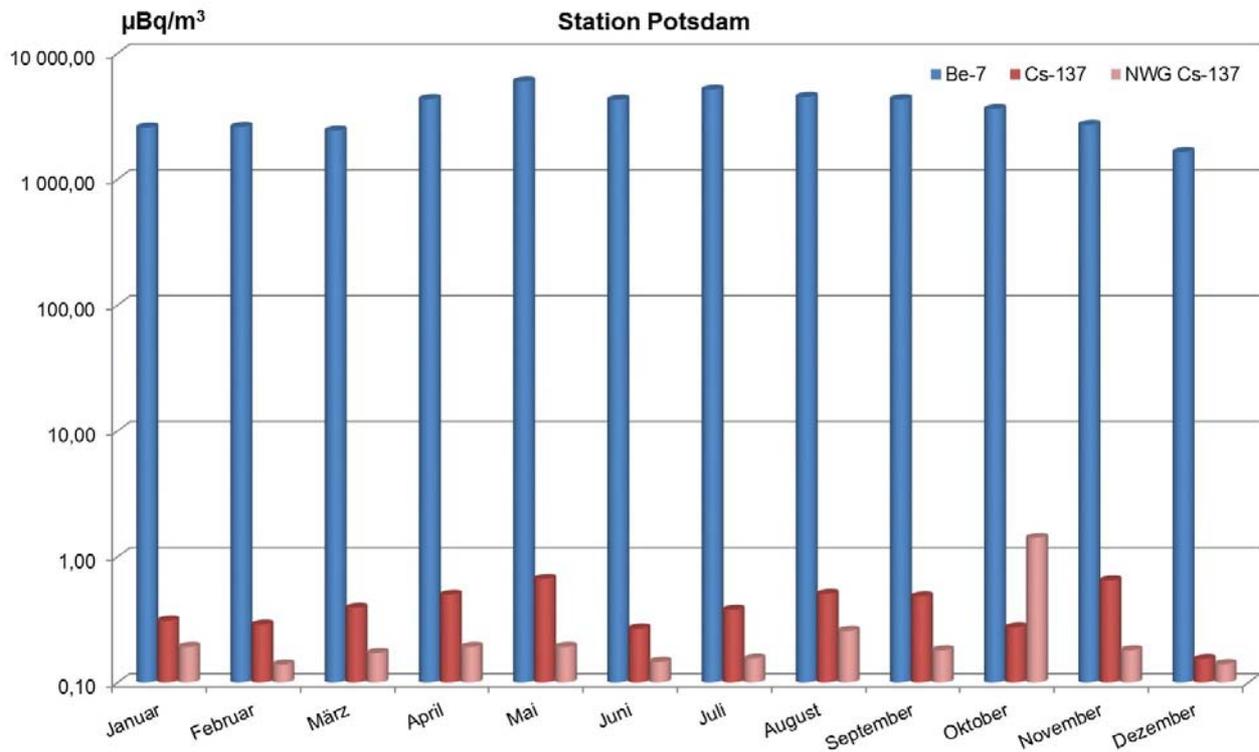
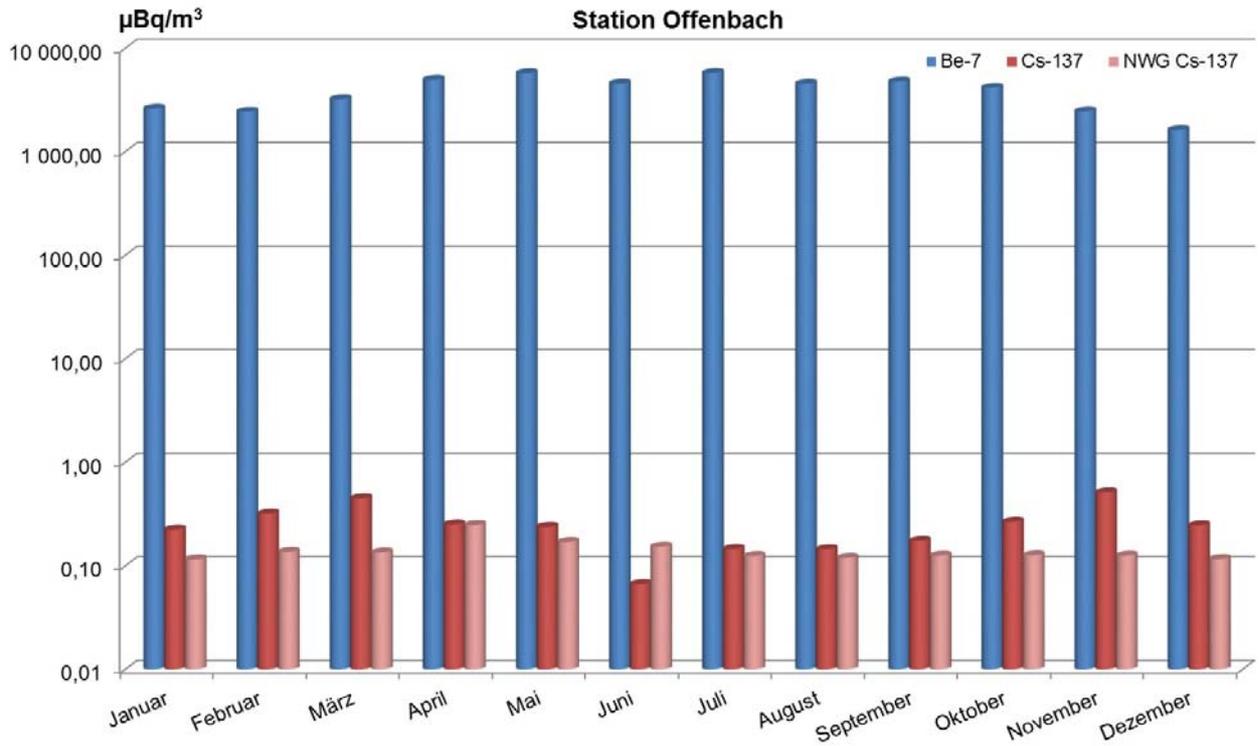


Abbildung B II 2.1-3 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2018 - DWD-Stationen Offenbach und Potsdam
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2018 at the DWD stations in Offenbach and Potsdam)

Gammaskpektrometrie

Für spurenanalytische Messungen werden wöchentlich beaufschlagte Staubfilter zunächst γ -spektrometrisch gemessen und anschließend ausgewertet. In [Tabelle T II.25](#) werden exemplarisch die Messergebnisse des DWD für Aachen, Potsdam, Offenbach und Schleswig dargestellt. Weiterhin sind die Ergebnisse des Helmholtz Zentrums München (München-Neuherberg), des BfS (Schauinsland) und der PTB (Braunschweig) enthalten. Es handelt sich um Monatsmittelwerte und die daraus abgeleiteten Jahresmittelwerte. Für 2017 und 2018 liegen keine Messwerte des Helmholtz Zentrums München vor.

Die Messergebnisse von Be-7 und Cs-137 an den Messstellen Potsdam und Offenbach werden in [Abbildung B II 2.1-3](#) grafisch dargestellt. Das Radionuklid Cs-137 ließ sich im Berichtsjahr in Potsdam mit Werten zwischen 0,15 und 0,67 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 0,14 und 0,51 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, das kosmogene Be-7 in Potsdam mit Werten zwischen 1,6 mBq/m^3 und 6,0 mBq/m^3 und in Offenbach mit Werten zwischen 1,6 und 5,8 mBq/m^3 Luft nachweisen, das heißt, die Werte liegen im üblichen Schwankungsbereich.

An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei 0,4 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft (vgl. [Abbildung B II 2.1-4](#), [Tabelle T II.25d](#)). Auch im Jahr 2018 lagen die Aktivitätskonzentrationen im Rahmen der üblichen Schwankungen der Werte der vergangenen Jahre. Kurzfristige Erhöhungen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft treten vereinzelt, insbesondere bei Ostwind-Wetterlagen, auf. Sie sind durch verstärkte Resuspension (z. B. bei langer Trockenheit) des Cäsiums aus höher belasteten Regionen wie der Gegend um Tschernobyl erklärbar. So wurden die Maximalwerte für Cs-137 mit 3,2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und 3,0 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ in den Wochenproben vom 30.04. bis 14.05.2018 ermittelt. Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt bei etwa 0,1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft. Die Aktivitätskonzentrationen für Be-7 in den Wochenproben lagen mit Werten von 1,3 mBq/m^3 bis zu 9,6 mBq/m^3 Luft innerhalb des für die Station Schauinsland üblichen Rahmens.

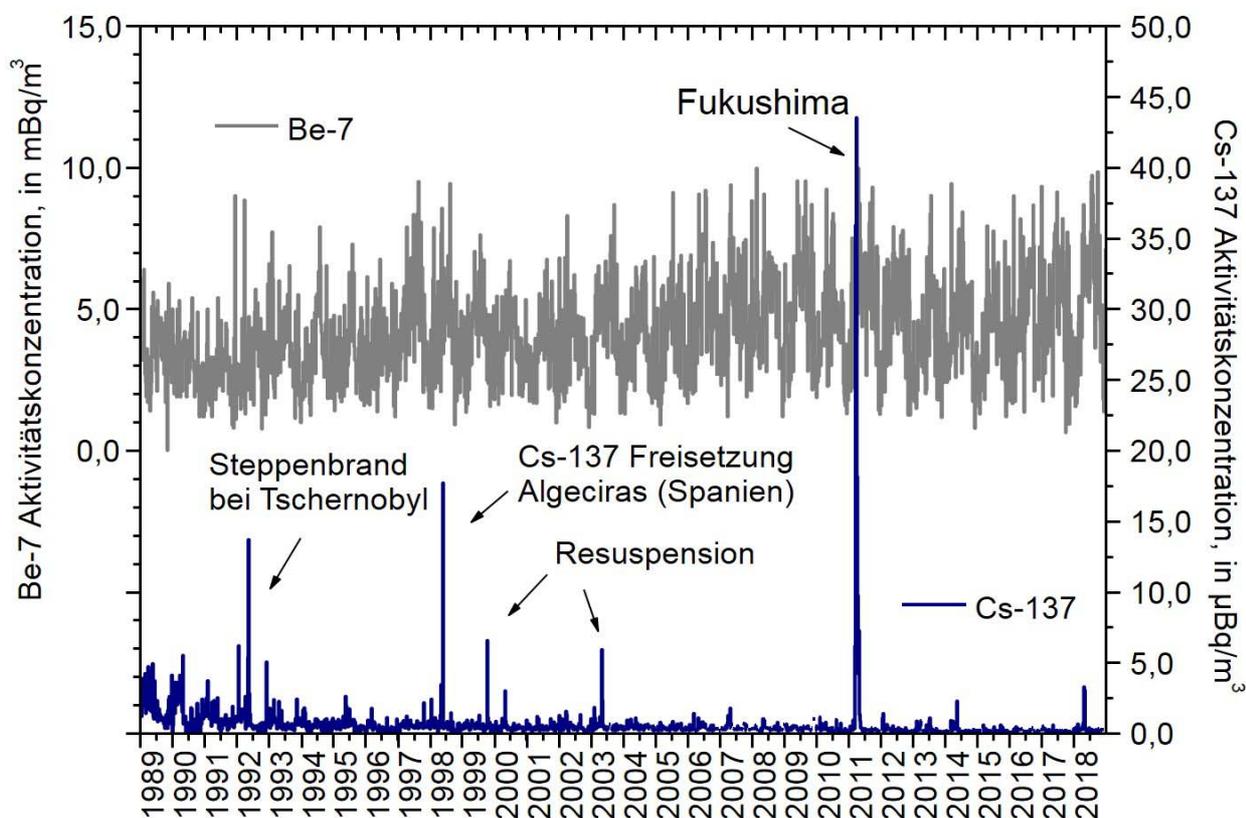


Abbildung B II 2.1-4 Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Schauinsland
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in ground level air at Schauinsland measuring station)

Im Berichtszeitraum lagen in Braunschweig (PTB) die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und der im Routinebetrieb zu bestimmenden natürlichen Radionuklide im üblichen Schwankungsbereich. Die Zeitreihe des Cs-137 für 2018 (vgl. auch [Abbildung B II 2.1-5](#)) zeigt keine Auffälligkeiten. Die Zeitreihe des K-40 zeigt den Einfluss der von März bis Ende Oktober 2018 andauernden Trockenperiode, in der ab April 2018 die als Folge der Trockenheit erhöhte Resuspension von Bodenstaub sichtbar ist.

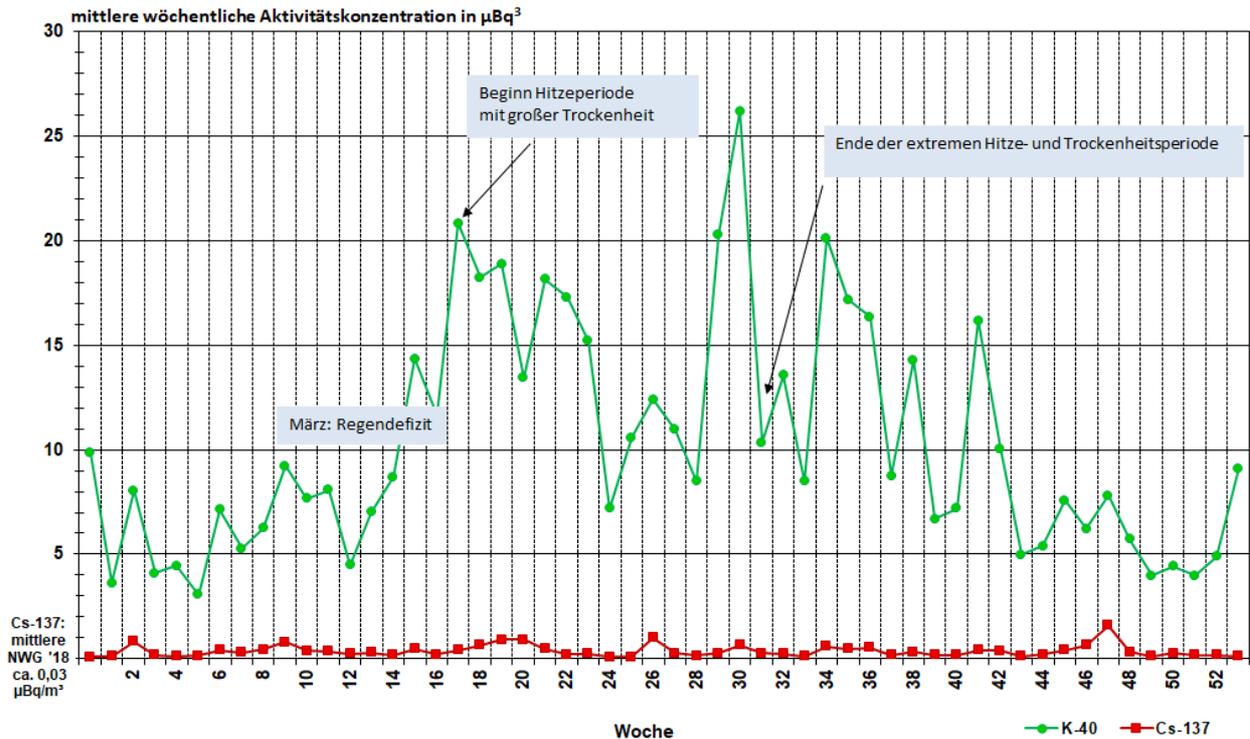


Abbildung B II 2.1-5 Aktivitätskonzentrationen von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft im Jahr 2018 am Probenentnahmepunkt Braunschweig
(Activity concentrations of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2018)

Besondere Beobachtungen

Über den „Ring of 5“, einem informellen Zusammenschluss europäischer Spurenmessstellen, wurden zunächst im Januar 2018 Spuren von I-131 in Finnland und Mittel-Norwegen nachgewiesen. Die Aktivitätskonzentrationen lagen bei etwa $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und darunter. Im Zeitraum vom 05.02. bis 12.03.2018 wurden in einigen Ländern erneut Spuren von I-131 nachgewiesen. Messergebnisse oberhalb der Nachweisgrenze meldeten Finnland, Polen, Norwegen und die Tschechische Republik. Die maximale Aktivitätskonzentration in einer Probe lag bei $4,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Da es sich i.d.R. um Wochenproben handelt, ist die Ermittlung einer Quelle durch Ausbreitungsrechnungen nur sehr eingeschränkt möglich.

Von den deutschen Spurenmessstellen wurden keine I-131-Nachweise berichtet.

Der Nachweis von I-131 ist nicht ungewöhnlich, da es in großen Mengen für medizinische Zwecke produziert und gehandelt wird. Dabei sind Freisetzungen im Rahmen der jeweiligen Genehmigung möglich. Je nach Wetterlage können diese Freisetzungen mit den Methoden der Spurenanalyse detektiert werden. In den Wintermonaten ist dies - bedingt durch die Wetterlage - in Nordeuropa wiederholt beobachtet worden.

Radiochemie

Im radiochemischen Labor des DWD in Offenbach wurden Luftfilter der Messstationen Potsdam, München, Offenbach und Schleswig zur Bestimmung von Sr-90 sowie Uran-, Plutonium- und Americium-Isotopen in Monatsmischproben radiochemisch analysiert. Gemäß der Vorgaben des Routinemessprogramms werden für die Alphastrahler in der Luft Nachweisgrenzen von $0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und für Sr-90 eine Nachweisgrenze von $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ gefordert.

Für das aerosolgebundene U-234 wurden Aktivitätskonzentrationen von $0,0280 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis zu einem Wert von $0,30 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ermittelt. Für U-238 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen $0,037 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,30 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ festgestellt. Diese Messwerte spiegeln die natürlich vorkommenden Aktivitätskonzentrationen wider.

In [Abbildung B II 2.1-6](#) sind die entsprechenden Monatswerte für U-234, U-235 und U-238 exemplarisch für die Messstation Potsdam dargestellt.

Die Aktivitätskonzentrationen von Sr-90 lagen unterhalb der erreichten Erkennungsgrenzen und unterhalb der geforderten Nachweisgrenze von $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. In sieben Fällen lagen die bei den Analysen erreichten Nachweisgrenzen leicht oberhalb der geforderten Nachweisgrenze. Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass ein Probenbeitrag von Sr-90 vorlag, da die jeweiligen Erkennungsgrenzen nicht überschritten wurden.

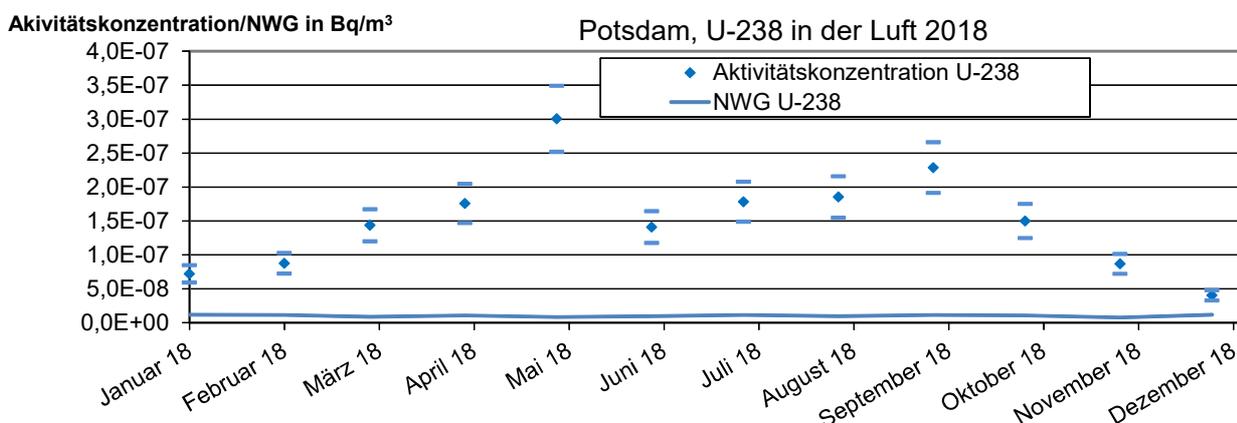
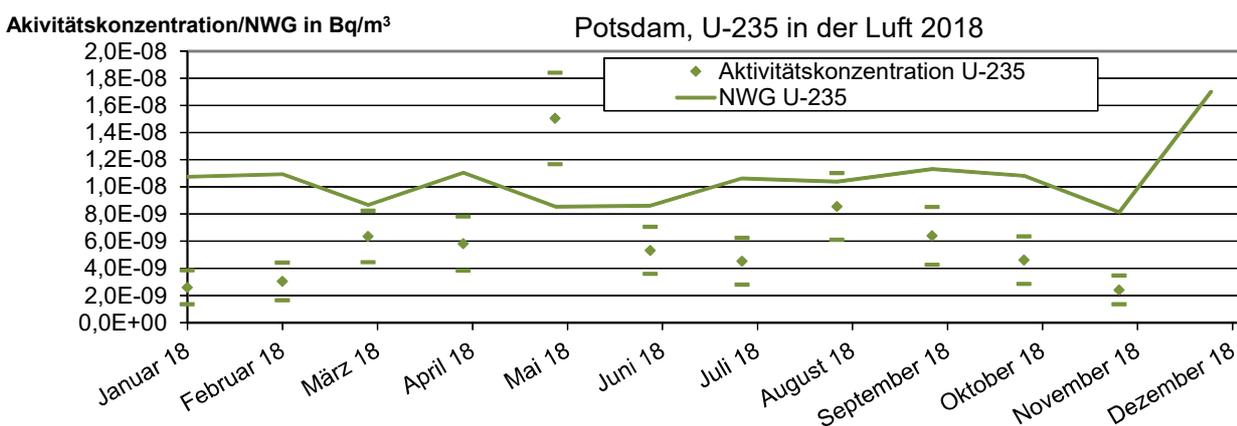
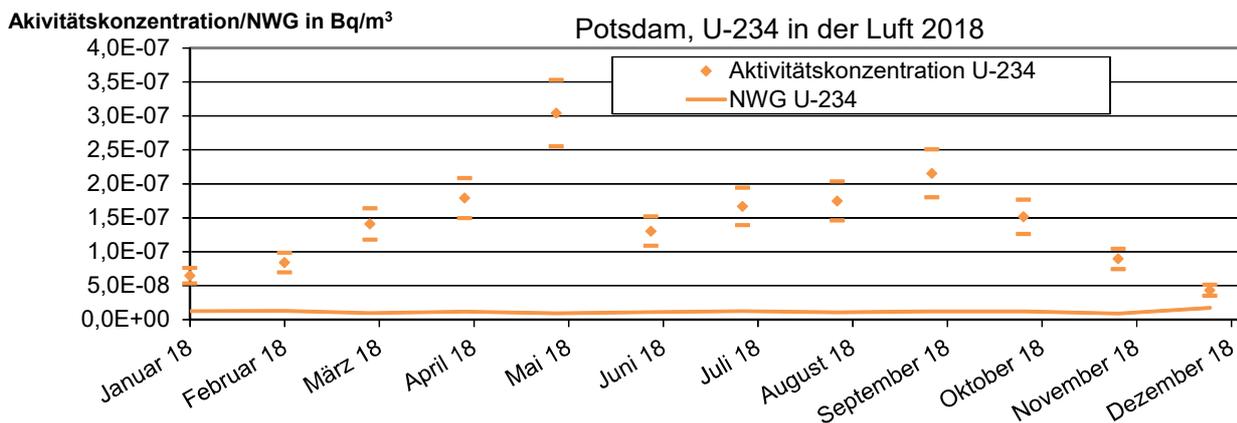


Abbildung B II 2.1-6 Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft von Uranisotopen für das Jahr 2018 am Probenentnahmepunkt Potsdam
(Activity concentrations of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Potsdam in 2018)

Bei der PTB in Braunschweig lagen im Jahr 2018 die gemessenen Aktivitätskonzentrationen der Uranisotope U-234 und U-238 zwischen $0,0414 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,8141 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Deren Nachweisgrenzen bewegten sich zwischen $0,00010 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,00023 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Das Radionuklid U-235 war in Aktivitätskonzentrationen zwischen $0,0019 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,0404 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ messbar. Für die Aktivitätskonzentration dieses Isotop wurden Nachweisgrenzen im Bereich von $0,00004 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis $0,000011 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ erreicht, vgl. [Abbildung B II 2.1-7](#).

Die messbaren Aktivitätskonzentrationen von Pu-238 lagen 2018 im Bereich von $0,00006 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis $0,00048 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, die erreichten Nachweisgrenzen zwischen $0,00003 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis $0,00021 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Die Messergebnisse für Pu-(239+240) bewegten sich 2018 im Bereich zwischen $0,00009 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,00624 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Hier wurden Nachweisgrenzen zwischen $0,00004 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,00026 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ erreicht, vgl. [Abbildung B II 2.1-8](#).

Die Aktivitätskonzentrationen des Sr-90 lagen zwischen $0,017 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,056 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, vgl. [Abbildung B II 2.1-8](#). Die in 2018 erreichten Nachweisgrenzen lagen zwischen $0,001 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,003 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$.

Die gegenüber den Vorjahren deutlich höheren Aktivitätskonzentrationen der Uran- und Plutonium-Isotope am oberen Ende der jeweiligen Wertebereiche sind auf die Trockenheit und die damit erhöhte Resuspension von Bodenaub in im Sommer des Berichtsjahres zurückzuführen. Der maximale Staubgehalt in der Luft trat im August auf.

Im Vergleich dazu ist der Pegel der Aktivitätskonzentration des Sr-90 im Jahresverlauf gleichmäßiger. Die im Januar und Februar 2018 gemessenen Aktivitätskonzentrationen erscheinen im Vergleich mit denen der Plutonium- und Uran-Isotope relativ hoch. Ursachen dafür konnten nicht ermittelt werden. Auch die zur Qualitätssicherung durchgeführten Nulleffekt-Kontrollmessungen sowie die radiochemisch bestimmten Blindwerte zeigen keinen Hinweis auf mögliche Beiträge zu den Zählraten der Y-90-Messpräparate.

Beim BfS in Freiburg wurden im Berichtsjahr die radiochemischen Analysen wieder aufgenommen, zunächst wurden Strontium-Analysen an den Monatsproben der Messstation Schauinsland aus den Jahren 2017 und 2018 durchgeführt. **Abbildung B II 2.1-9** zeigt die zum Berichtszeitpunkt verfügbaren Ergebnisse für Sr-90. Die Messergebnisse lagen im Mittel bei $0,075 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, die Nachweisgrenzen bei $0,009 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Im Mai 2018 wurde eine Sr-90-Aktivitätskonzentration von $0,47 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ermittelt. In diesem Zeitraum wurden an der Messstation ebenfalls erhöhte Cs-137 Messwerte beobachtet. Dies lässt sich durch die wetterbedingte erhöhte Resuspension zum Monatsbeginn mit verstärktem Eintrag von Bodenaub in die Atmosphäre erklären.

Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen für die Uranisotope U-234 und U-238 lagen zwischen $0,013 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,138 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Deren Nachweisgrenzen bewegten sich zwischen $0,0002 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,001 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Das Radionuklid U-235 wurde mit Aktivitätskonzentrationen zwischen $0,004 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,006 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ nachgewiesen, die Nachweisgrenzen lagen zwischen $0,0012 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis $0,00024 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$.

Für Pu-238 sowie für Pu-(239+240) wurden keine Aktivitätskonzentrationen oberhalb der erreichten Nachweisgrenzen zwischen $0,0003 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,01 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ beobachtet.

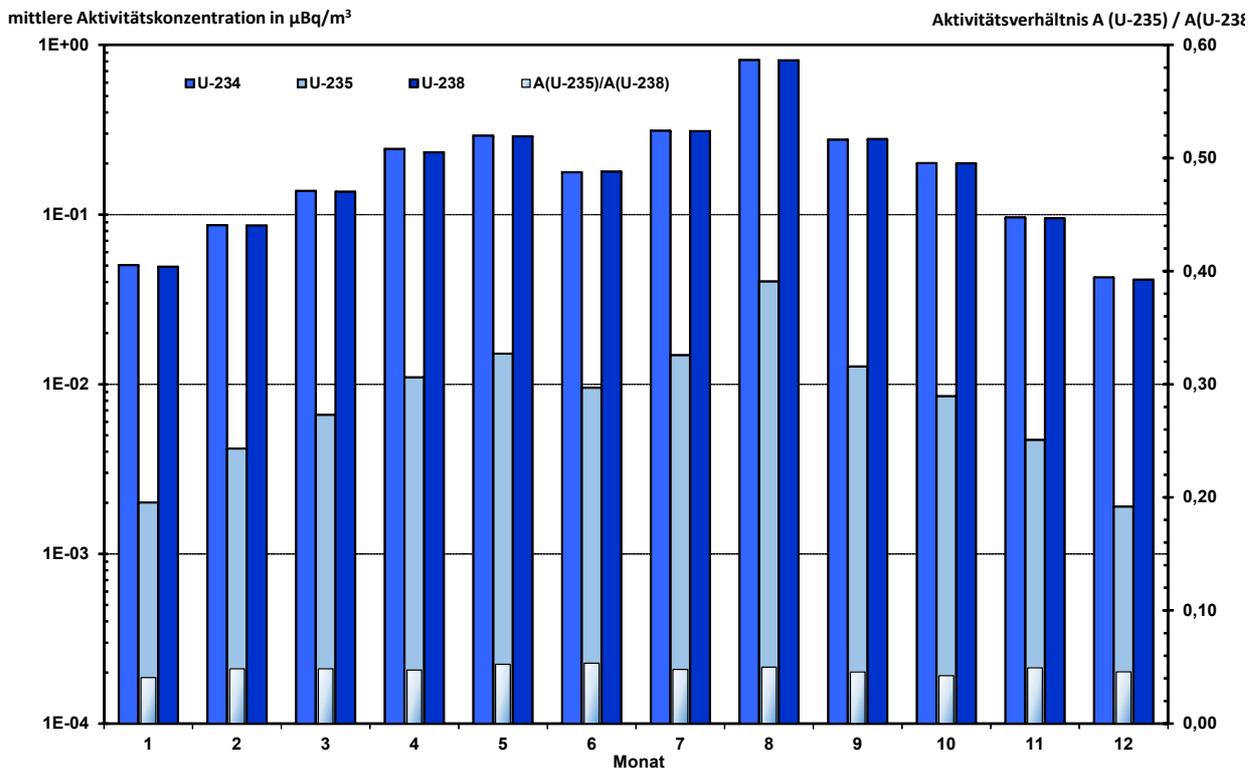


Abbildung B II 2.1-7 Aktivitätskonzentrationen der Uranisotope in der bodennahen Luft im Jahr 2018 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2018)

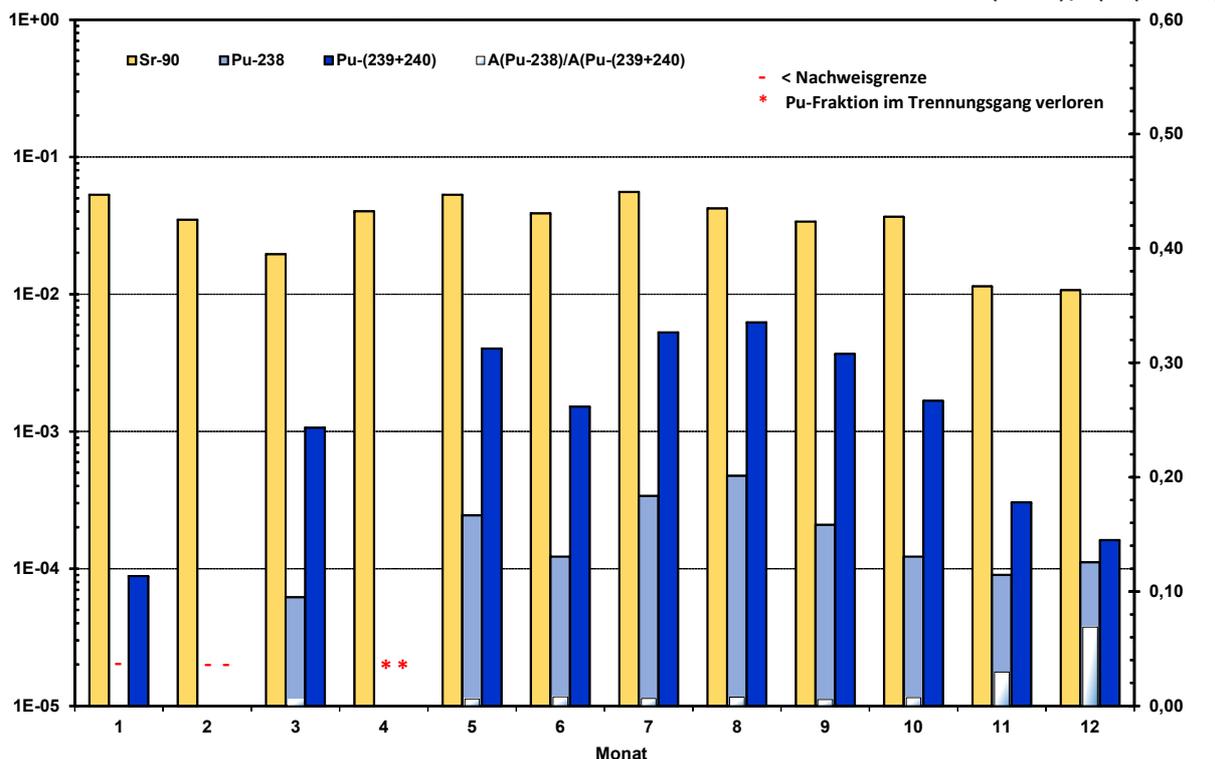


Abbildung B II 2.1-8 Aktivitätskonzentrationen der Plutoniumisotope und Sr-90 in der bodennahen Luft im Jahr 2018 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations of Plutonium and Sr-90 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2018)

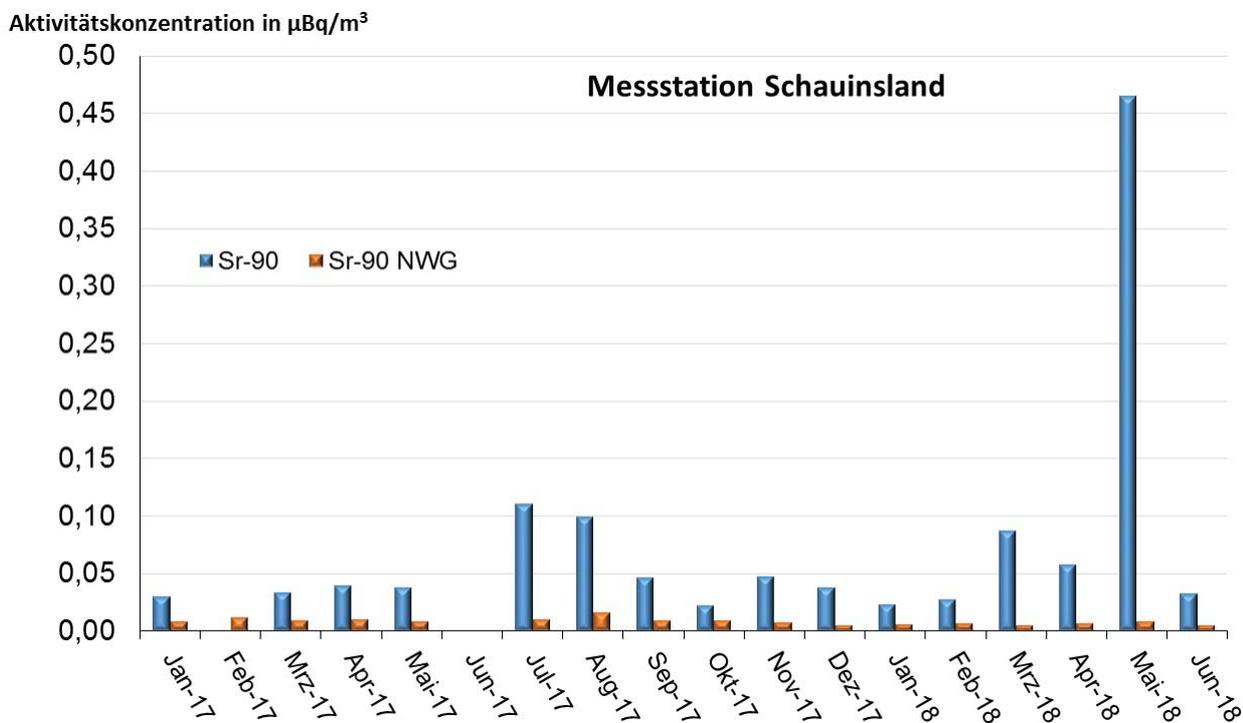


Abbildung B II 2.1-9 Aktivitätskonzentration von Sr-90 in der bodennahen Luft von Januar 2017 bis Juni 2018 am Probenentnahmeort Schauinsland
(Activity concentrations of Plutonium and Sr-90 in ground-level air at the sampling site Schauinsland in the period January 2017 to June 2018)

2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition)

Gesamt- β -Aktivität

Zur Fortsetzung der langjährigen Messreihe wurde die Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag (Gesamtdeposition) ermittelt. Der stationsspezifische Jahreswert der Deposition errechnet sich aus der Summe der Werte der Tagesproben. Für das Jahr 2018 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 38 Bq/m² (2017: 38 Bq/m²).

Für 2018 ist unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten keine Veränderung zum Vorjahr nachweisbar. Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl, das heißt im Bereich der natürlichen Schwankungen. [Abbildung B II 2.1-10](#) zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Deposition zugeführten Gesamt- β -Aktivität von 1957 bis 2018 in Bequerel pro Quadratmeter. Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bequerel pro Quadratmeter sind in [Abbildung B II 2.1-11](#) dargestellt. Hier heben sich besonders die niederschlagsreichen Bergstationen hervor.

Im Rahmen einer Automatisierung werden an den DWD-Stationen personalintensive Verfahren durch automatische Verfahren ersetzt. Dieser Automatisierungsprozess begann Ende 2017 und wird voraussichtlich Ende 2020 abgeschlossen sein. Dabei wird die tägliche Messung der Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag durch die kontinuierliche Überwachung der Deposition mit ortsfesten In-situ-Gammaspektrometriesystemen ersetzt. Der Niederschlag wird weiterhin anhand von Monatsproben gammaspektrometrisch analysiert, hierfür wird ebenfalls das - bisher personalintensive - Verfahren zur Probenaufbereitung schrittweise umgestellt.

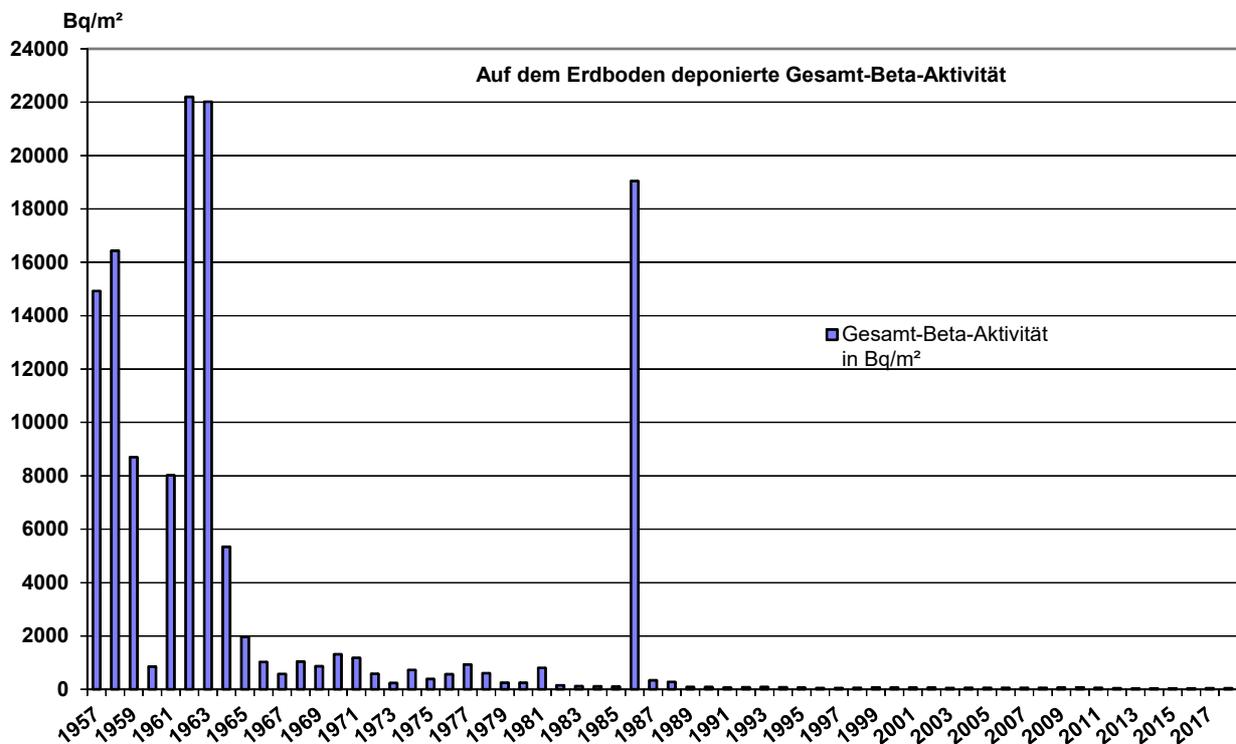


Abbildung B II 2.1-10 Langlebige Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag - Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messstationen von 1957 bis 2018
(*Long-lived total β -activity in precipitation - Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2018*)

Gammaspektrometrie

Monatssammelproben von 40 DWD-Messstationen wurden γ -spektrometrisch analysiert. Als Nachweisgrenze für die Aktivitätskonzentration bezogen auf Co-60 werden 0,005 Bq/l gefordert. Die Niederschlagsmenge liegt im Durchschnitt je nach Jahreszeit und Standort zwischen ca. 10 und ca. 100 Liter pro Quadratmeter und Monat, so dass für die Deposition Nachweisgrenzen zwischen 0,05 Bq/m² und 0,5 Bq/m² resultieren können. Die ermittelten Nachweisgrenzen für die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen zwischen 0,043 und 0,10 Bq/m² in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Potsdam, Offenbach, München und Schleswig in [Tabelle T II.26](#) als Monatswerte und als aufsummierte Jahreswerte zusammengefasst. Diese Daten dienen als Vergleichsgrößen, um Veränderungen gegenüber den Vorjahren festzustellen. Die Werte waren im Jahr 2018 ähnlich denen der Jahre vor dem Reaktorunfall von Fukushima. Die [Abbildung B II 2.1-12](#) zeigt für die Messstationen Offenbach und Potsdam die aus den Aktivitätskonzentrationen und der Niederschlagsmen-

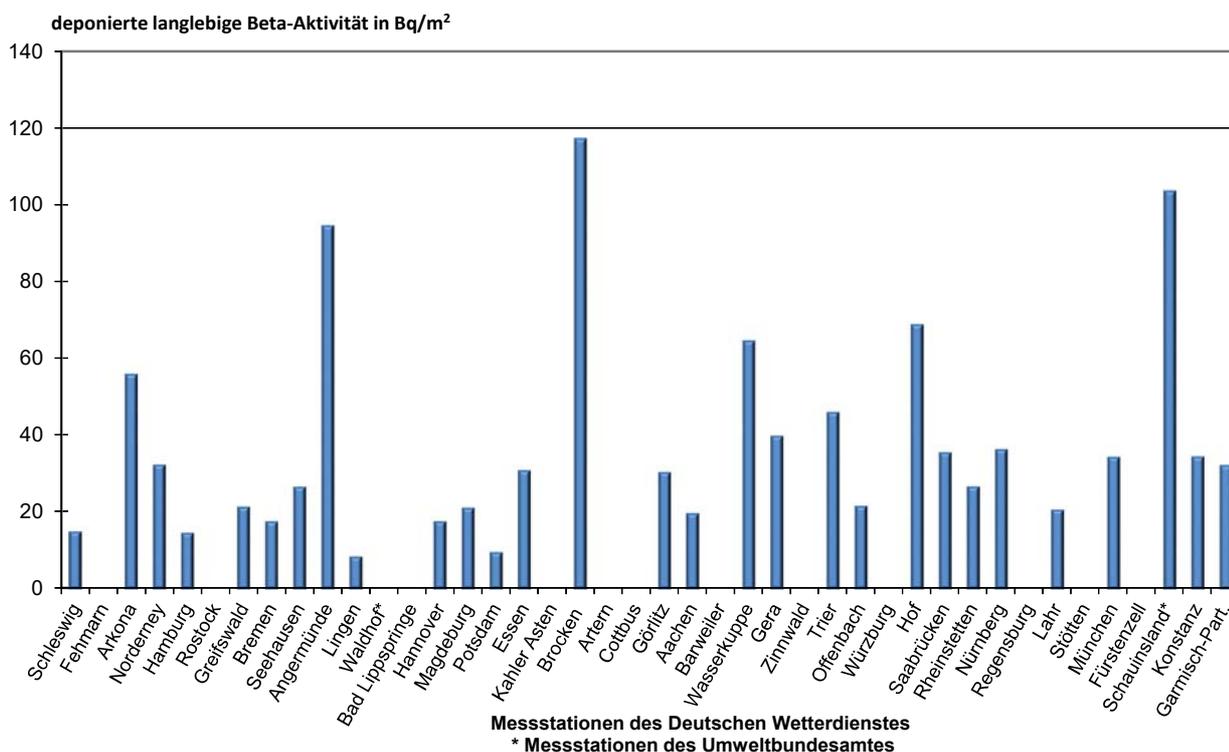


Abbildung B II 2.1-11 Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2018 zugeführte langlebige Gesamt- β -Aktivität - stationsspezifische Jahressummen
(*Deposition of additional long-lived total β -activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2018*)

ge errechneten Werte für die monatliche Deposition von Be-7 und Cs-137. Werte oberhalb der Nachweisgrenze wurden im Februar und Juni mit 0,08 Bq/m² bzw. 0,07 Bq/m² ermittelt. Für kosmogenes Be-7 wurden anhand von Monatsproben Messwerte zwischen 11,0 und 82,8 Bq/m² (Offenbach) und Messwerte zwischen 1,5 Bq/m² und 48,7 Bq/m² (Potsdam) bestimmt.

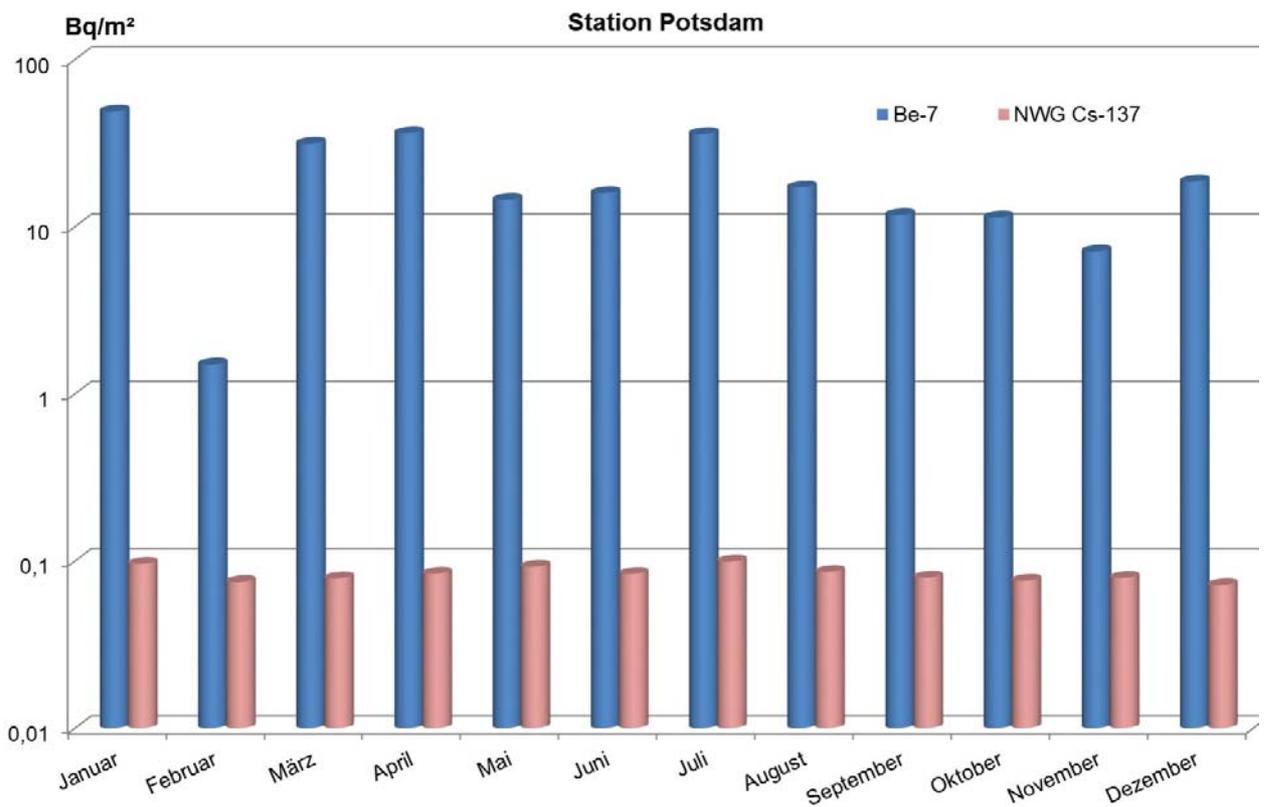
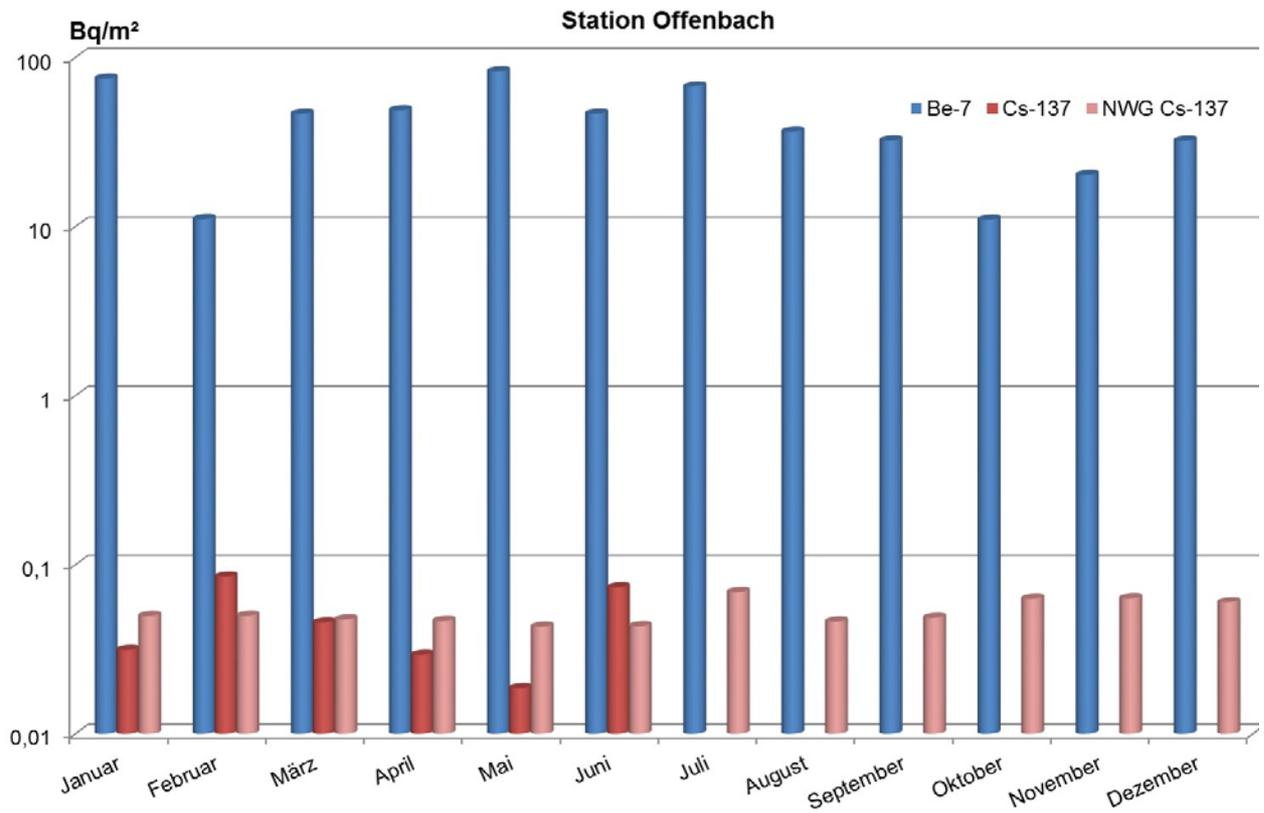
Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Niederschlagsproben der Messstationen Potsdam, München, Offenbach und Schleswig, bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat, analysiert. Das pro Probe zur Verfügung stehende Probenvolumen schwankte zwischen 2 l und 115 l. Es wurden Sr-90, H-3 sowie die Isotope von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betragen je nach Niederschlagsmenge für Sr-90 ca. 0,29 mBq/l bis 34,29 mBq/l, für Pu-238 0,0030 mBq/l bis 0,2285 mBq/l, für Pu-(239+240) 0,0015 mBq/l bis 0,1846 mBq/l und für Am-241 0,0093 mBq/l bis 1,250 mBq/l. In zehn Fällen lag die gemessene Aktivitätskonzentration von Pu-239/240 zwischen Erkennungs- und Nachweisgrenze, alle anderen Werte lagen unterhalb der jeweiligen Erkennungsgrenzen. Für H-3 wurden Messergebnisse zwischen 0,40 und 2,18 Bq/l nach der elektrolytischen Anreicherung ermittelt. Natürlich vorkommendes aerosolgebundenes U-234, U-235 und U-238 wurde ausgewaschen, die ermittelten Aktivitätskonzentrationen lagen für U-234 und U-238 zwischen $0,0084 \pm 0,0018$ mBq/l und $1,2620 \pm 0,2013$ mBq/L, für U-235 zwischen $0,0321 \pm 0,0315$ mBq/l und $0,1020 \pm 0,0209$ mBq/l. Die Aktivitätskonzentrationen von U-234 und U-238 lagen für alle Proben oberhalb der Nachweisgrenze. Für U-235 wurde bei zehn Proben eine Aktivitätskonzentration oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt, in den übrigen Proben lagen die Werte unterhalb der Erkennungsgrenze bzw. zwischen Erkennungs- und Nachweisgrenze. Die erreichten Nachweisgrenzen lagen für die Uranisotope zwischen 0,0023 mBq/l und 0,2931 mBq/l.

2.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung

Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz des BfS gemessenen Werte der γ -Ortsdosisleistung in Deutschland sind im Vergleich zum Vorjahr nahezu unverändert. Die geographischen Unterschiede sind Ausdruck des unterschiedlichen Gehaltes an natürlichen Radionukliden im Boden sowie der mit der Höhe zunehmenden kosmischen Strahlung. Typische Werte für die γ -Ortsdosisleistung in Norddeutschland liegen zwischen 60 nSv/h und 105 nSv/h, entsprechend einer Jahresdosis von 0,5 mSv bzw. 0,9 mSv, während in den Mittelgebirgen Spitzenwerte bis zu 230 nSv/h (Jahresdosis 2 mSv) beobachtet werden. Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 40 nSv/h (Jahresdosis 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1500 Höhenmeter.

Abbildung B II 2.1-13 gibt einen Überblick über die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition bei einem angenommenen Aufenthalt von täglich 5 Stunden im Freien.



**Abbildung B II 2.1-12 Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2018 -
DWD-Stationen Offenbach und Potsdam
(Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2018 -
DWD stations in Offenbach and Potsdam)**

Die auf den Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 zurückzuführenden künstlichen Beiträge zur γ -Ortsdosisleistung (praktisch ausschließlich von Cs-137) werden routinemäßig auch an den Sondenstandorten der ODL-Messstellen mit In-situ-Messfahrzeugen des Bundes und der Länder nuklidspezifisch ermittelt. Wegen der hohen Variabilität des natürlichen Untergrundes sind diese Gegenden in der Kartendarstellung praktisch nicht erkennbar. Mit Hilfe der im Ereignisfall durchzuführenden In-situ-Messungen lassen sich für eine eventuelle, frische Kontamination des Untergrundes/Bodens die Radionuklide und deren Aktivität schnell bestimmen.

Kurzzeitige, meist lokal auftretende Erhöhungen der γ -Ortsdosisleistung, die insbesondere bei starken Niederschlägen in den Sommermonaten zu beobachten sind, sind auf das Auswaschen von natürlichen Radon-Folgeprodukten aus der Luft zurückzuführen. Üblicherweise sind dabei nur wenige Messstellen betroffen und es stellen sich innerhalb weniger Stunden wieder die für die betroffenen Standorte typischen Werte ein.

Die Sonden und Messstellen im ODL-Messnetz unterliegen einem strengen Qualitätssicherungsverfahren wie z. B. wiederkehrende radiologische Sondenprüfung, elektrische Betriebsmittelprüfung und Standortdokumentation. Seit einigen Jahren läuft eine umfangreiche, langjährige Modernisierung der Messdatenaufnahme, -verarbeitung und Datenfernübertragung im ODL-Messnetz. Im Zuge der Modernisierung wird auch der Datenumfang nebst zusätzlich gemessenen Qualitätsparametern in den Sonden erweitert. Hierzu bedarf es auch eines Umbaus der vorhandenen Sonden im ODL-Messnetz, der durch das vorhandene Fachpersonal selbst bewerkstelligt wird. Im Berichtsjahr wurden im Messnetz weiterhin Messstellen auf neueste Sonden-, Messdatenlogger- und LTE-Technik umgerüstet. Die Integration einer kleinen Anzahl von autarken Sonden ohne Strom- und festem Telekommunikationsanschluss in den operationellen Betrieb des ODL-Messnetzes konnte 2018 ebenfalls fortgesetzt werden. Durch den Einsatz der neuen Technik konnten bisher rund 140 ODL-Messstellen an Liegenschaften des DWD kostenneutral durch Nutzung des gesicherten DWD-WAN (Weitverkehrsnetz) integriert werden. Diese Messstellen liefern ihre Daten online im Routinebetrieb alle 10 Minuten.

Seit 2012 liefen im ODL-Messnetz Feldversuche, bei denen spektrometrierende ODL-Sonden mit Cadmium-Zink-Tellurid- oder Lanthanbromid-Detektoren verschiedener Hersteller eingesetzt wurden. Diese können, mit Hilfe von spektrometrischen Messdaten mittlerer Energieauflösung, nuklidspezifische Informationen zusätzlich zur gemessenen ODL liefern. Im Vergleich zu den herkömmlichen In-situ-Messsystemen mit hochauflösenden Reinstgermaniumdetektoren zeigen diese Systeme zwar eine geringere Energieauflösung, sind aber erheblich preiswerter und robuster und können bei normaler Umgebungstemperatur betrieben werden. Auf Grund des neuen Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) werden seit 2017 spektrometrierende ODL-Sonden in der Zentralzone um Kernkraftwerke sukzessive aufgebaut und operationell betrieben.

Im Rahmen von groß angelegten jährlichen internationalen oder nationalen Messübungen konnte der operationelle Einsatz und Betrieb von zusätzlich ausgebrachten, quasistationären, spektrometrierenden ODL-Sonden, autarken ODL-Sonden und drohnen- und fahrzeuggestützten mobilen ODL-Messungen im ODL-Messnetz seit 2014 erfolgreich verifiziert werden. Ebenso konnte das Konzept des Einsatzes von mobilen In-situ-Messungen an nicht ortsfesten ODL-Messstellenstandorten erweitert und DV-technisch umgesetzt werden.

Seit dem zweiten Halbjahr 2007 wurde die Messstellendichte im ODL-Messnetz reduziert. Die mit den Ländern abgestimmte Abbaumaßnahme von Messstellen war zeitlich bis 2010 gestaffelt. Durch die Ausdünnung des ODL-Messnetzes ergab sich daher bis Ende 2010 eine reduzierte Gesamtanzahl von ODL-Messstellen in Deutschland von rund 1700.

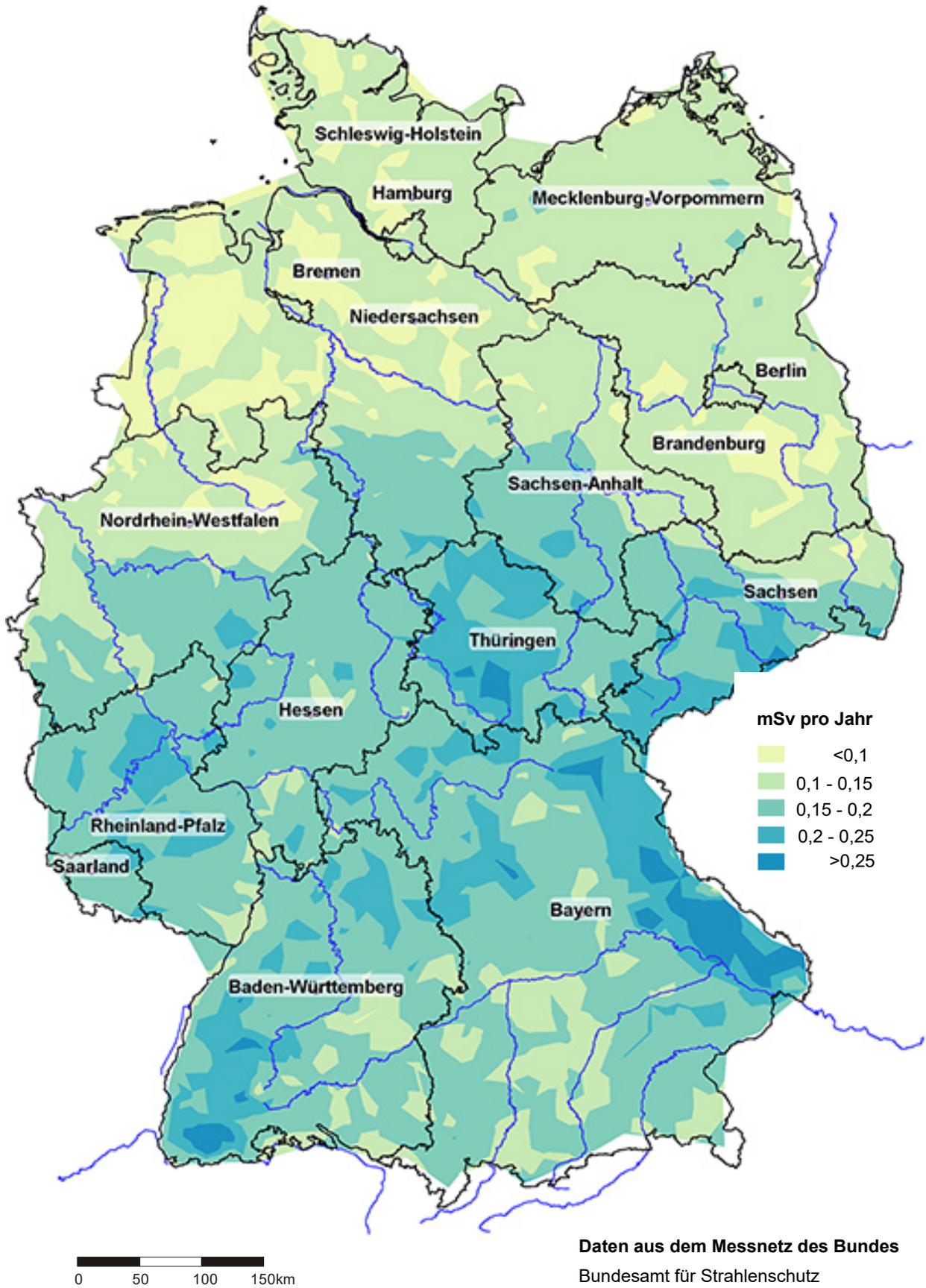


Abbildung B II 2.1-13 Externe Strahlenexposition im Jahr 2018 in Deutschland bei täglich 5 Stunden Aufenthalt im Freien
(External radiation exposure in Germany in 2018, spending 5 hours per day outdoors)

2.1.4 Radioaktivität in Luft und Niederschlag in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz

Luft

Gemäß der REI sind die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem I-131 und von schwebstoffpartikelgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch zu ermitteln. Die geforderten Nachweisgrenzen liegen für I-131 bei 5 mBq/m^3 und bei den schwebstoffpartikelgebundenen Radionukliden, bezogen auf Co-60, bei $0,4 \text{ mBq/m}^3$.

Für das gasförmige I-131 wurden im Allgemeinen nur Nachweisgrenzen gemessen - mit Ausnahme der zeitweise durch Fukushima beeinflussten Einzelmesswerte 2011 (siehe Tabelle B-II-2.1.4-1a im [Jahresbericht 2011](#) des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“). Im Berichtsjahr hat sich die Konzentration des emittierten I-131 gegenüber den Vorjahren nicht verändert ([Tabelle T II.27](#)). Dasselbe gilt für die Aktivitätskonzentrationen der schwebstoffpartikelgebundenen Radionuklide, die 2018 wie im Vorjahr an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen lagen. Die Messergebnisse sind in [Tabelle T II.28](#) für das Bezugsnuklid Co-60 zusammengefasst.

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der kontinuierlich gemessenen γ -Ortsdosisleistung ([Tabelle T II.29](#)) sind im Vergleich zum Vorjahr im Allgemeinen gering und entsprechen den natürlichen Schwankungen. Durch den Austausch von Messsystemen treten bauart- und empfindlichkeitsbedingte Veränderungen des gemessenen Pegels der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung auf. Zum einen können stark differierende Eigennulleffekte der Messgeräte oder die Überschätzung der kosmischen Komponente des Strahlungsfeldes hierfür der Grund sein, zum anderen bauartbedingte Einschränkungen der axialen oder radialen Empfindlichkeit des Messgerätes. Bauliche Veränderungen im Umfeld einer Messstelle, wie z. B. die Errichtung eines Gebäudes oder Bodenarbeiten, beeinflussen den vorhandenen Grundpegel an der Messstelle und können in den gemessenen Ortsdosisleistungswerten sichtbar werden.

Seit dem 1. August 2011 gilt verbindlich die neue dosimetrische Messgröße Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\text{dH}^*(10)/\text{dt}$ (siehe [Grundlagen und allgemeine Angaben](#)).

Niederschlag

Gemäß REI ist die Aktivitätskonzentration des Niederschlags gammaspektrometrisch zu ermitteln (siehe [Grundlagen und allgemeine Angaben](#)). Aus den Aktivitätskonzentrationen und den Niederschlagsmengen wird die Deposition berechnet. Aus den Monatsdepositionen in Becquerel pro Quadratmeter werden Jahresmittelwerte gebildet und berichtet. Als Nachweisgrenze für die Konzentrationsmessung, bezogen auf Co-60, werden $0,05 \text{ Bq/l}$ gefordert. Die Niederschlagsmenge liegt im Durchschnitt je nach Jahreszeit und Standort zwischen 10 und 100 Liter pro Quadratmeter und Monat, so dass für die Deposition Nachweisgrenzen zwischen $0,5 \text{ Bq/m}^2$ und 5 Bq/m^2 resultieren können. Es liegen keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen vor. In [Tabelle T II.30](#) sind die erzielten Nachweisgrenzen, bezogen auf Co-60, zusammengefasst. .

2.2 Nord- und Ostsee

In diesem Kapitel wird der aktuelle Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide beschrieben. Grundlage der Bewertung sind jährlich mindestens je eine Überwachungsfahrt in Nord- und Ostsee mit eigenen und gecharterten ausländischen Forschungsschiffen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Damit ist sowohl eine Beschreibung der räumlichen Verteilung als auch des zeitlichen Trends der Kontamination möglich. Grundsätzlich werden die Radionuklide Cs-137 bzw. Cs-134, Sr-90, Pu-(239+240), Pu-238, Am-241 und H-3 untersucht. Die in den letzten Jahren gefundenen Aktivitätskonzentrationen waren in allen Fällen sehr gering und daher für Mensch und Umwelt unbedenklich. Dies gilt für alle hier dargestellten Radionuklide in Nord- und Ostsee.

2.2.1 Radionuklide im Nordseewasser

Die Probenentnahme zur Überwachung der Nordsee erfolgte 2018 auf einer Fahrt im August. Zusätzlich wurden an den Positionen der früheren Feuerschiffe Borkumriff und Elbe 1 in der Deutschen Bucht Proben möglichst monatlich entnommen.

Die Zeitreihen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Sr-90 an den beiden Stationen seit 1961 bzw. 1980 ([Abbildung B II 2.2-1](#) und [Abbildung B II 2.2-2](#)) lassen seit einigen Jahren nur noch Aktivitätskonzentrationen zwischen 1 Bq/m^3 und 2 Bq/m^3 erkennen. Der Grund dafür ist, dass aus den Wiederaufarbeitungsanlagen (WAA) Sellafield (UK) und La Hague (F) nur noch sehr geringe Einleitungen dieser beiden Radionuklide zu verzeichnen sind. Zeitverzögert infolge des Reststroms innerhalb der europäischen Schelfmeere liegen die Konzentrationen nur noch sehr gering über den Kontaminationswerten des Oberflächenwassers des Atlantiks. Diese sind im Wesentlichen durch die Rückstände des Fallouts der oberirdischen Kernwaffentests der sechziger Jahre gekennzeichnet. Ein Eintrag von Cs-137 aus der Elbe ist nicht festzustellen. Der Fallout von Tschernobyl mit seinem charakteristischen Verhältnis der Nuklide Cs-134 zu Cs-137 war in der deutschen Bucht schon zwei bis drei Jahre nach dem Unfall nicht mehr messbar. Cs-134 ist im Wasser der Nordsee ebenfalls nicht mehr nachweisbar (NWG ca. $0,2 \text{ Bq/m}^3$).

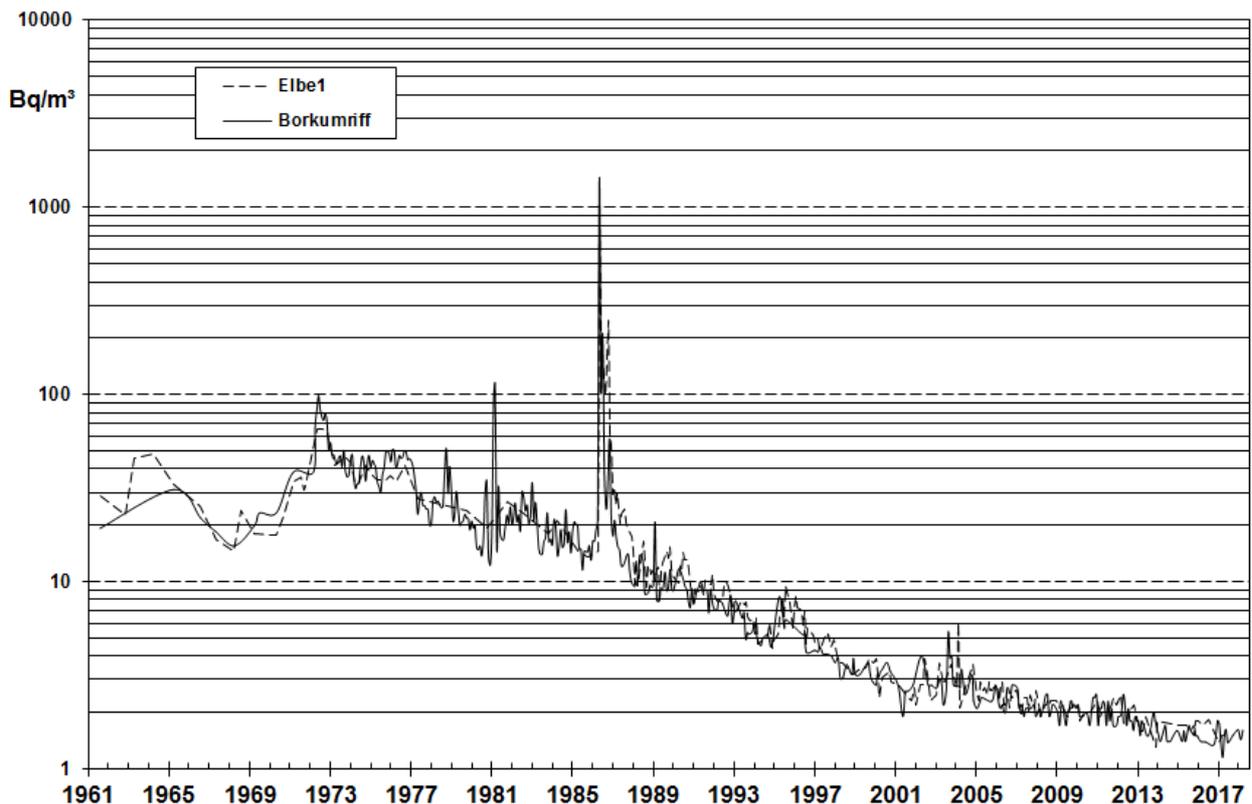


Abbildung B II 2.2-1 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961
(*Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1961*)

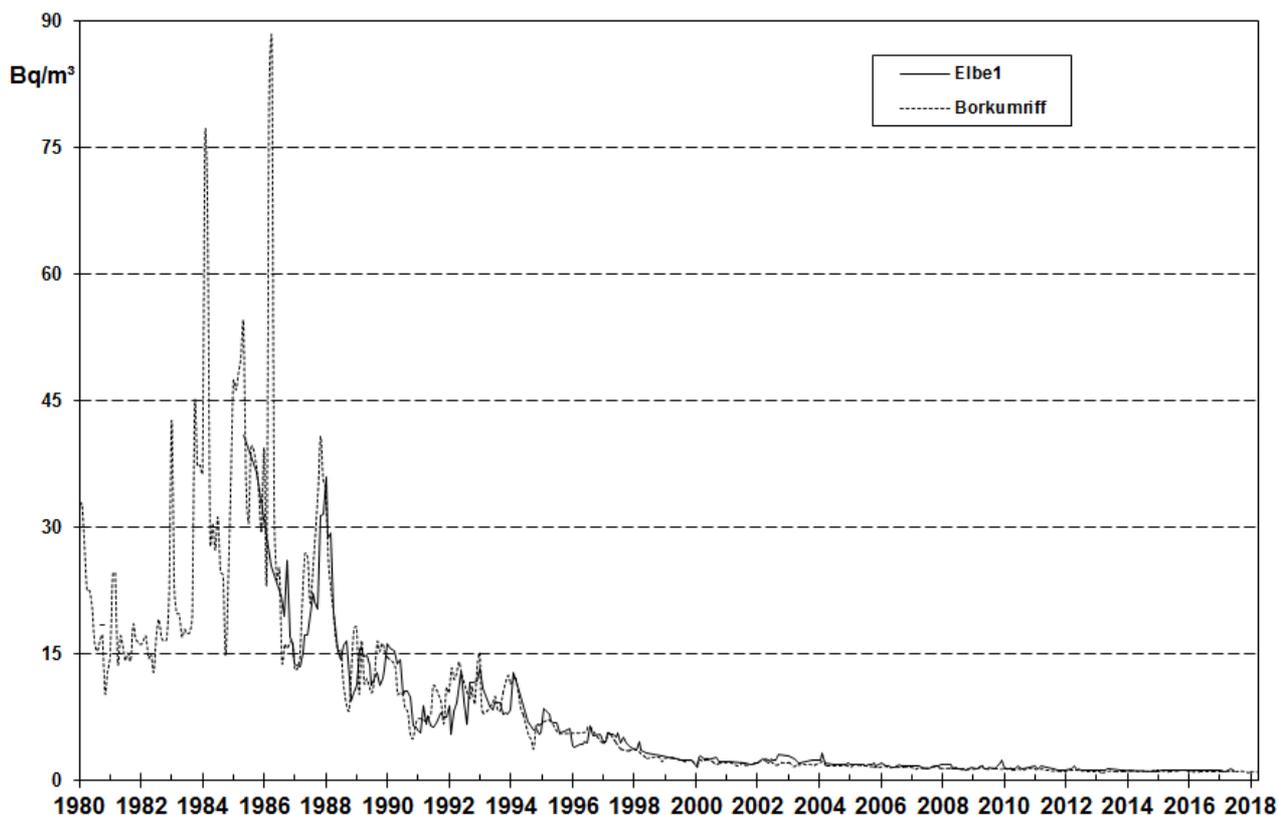


Abbildung B II 2.2-2 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der deutschen Bucht seit 1980

(Temporal trend of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1980)

Auf Grund technischer und personeller Probleme konnten die Cäsium-137-, Tritium-, Strontium-90- und Plutonium-/Americium-Analysen aus dem Jahr 2018 zum Redaktionsschluss nicht fertiggestellt werden. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen keine auffälligen Werte.

Sedimente in der Nordsee

Auf Positionen in der mittleren Deutschen Bucht (Weiße Bank) und in der Nähe von Helgoland werden in der Regel Sedimentproben entnommen. Auf Grund personeller Engpässe konnte 2018 eine Sedimentprobeentnahme in der deutschen Bucht nicht stattfinden.

2.2.2 Radionuklide in der Ostsee

Ostseewasser

Die Ostsee erfuhr nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl einen hohen Eintrag von Fallout, im Wesentlichen durch die Radionuklide Cs-137 und Cs-134. Die Schwerpunkte des Eintrages lagen in der südlichen Bottensee, dem Finnischen Meerbusen und - in geringerem Maße - in der Lübecker Bucht. Auf Grund des nur geringen Wasseraustausches mit der Nordsee dauert es Jahrzehnte, bis Schadstoffe aus der Ostsee durch Meeresströmungen verteilt werden. Dies ist seit über 30 Jahren auch für das Cs-137 aus dem Tschernobylfallout zu beobachten. Das ebenfalls eingetragene Cs-134 ist auf Grund der relativ kurzen physikalischen Halbwertszeit von etwa zwei Jahren in der Ostsee nicht mehr nachweisbar.

Die Ostsee ist das größte Brackwassermeer der Welt. Insgesamt besteht ein Süßwasserüberschuss, der mit dem salzarmen Oberflächenwasser über die Beltsee in die Nordsee transportiert wird. In der Tiefenschicht findet der Einstrom salzreichen Nordseewassers statt. Dieses Wechselspiel spiegelt sich auch in den Konzentrationen des Radionuklids Cs-137 wider. Im Oberflächenwasser befinden sich die höheren Konzentrationen aus dem Tschernobylfallout, im Tiefenwasser finden wir durchweg niedrigere Konzentrationen bei höherem Salzgehalt.

Abbildung B II 2.2-3 stellt den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser an der Position Schleimündung in der westlichen Ostsee dar: Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und von Cs-137 seit dem Reaktorunfall von Tschernobyl. Die Schwan-

kungen der Cs-137-Konzentrationen sind durch den jahreszeitlich variierenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegt an der Wasseroberfläche der westlichen Ostsee zwischen etwa 16 Bq/m³ im westlichen und 23 Bq/m³ im östlichen Teil des im Juni 2018 überwachten Gebietes ([Abbildung B II 2.2-4](#)). Gegenüber dem Vorjahr lässt sich keine signifikante Veränderung erkennen. Die Konzentrationen nehmen in west-östlicher Richtung nach wie vor leicht zu - in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobylfallouts. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich in den letzten Jahren insgesamt deutlich verringert hat, liegt sie immer noch um mindestens den Faktor 10 über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der zentralen Ostsee im überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine sehr homogene Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers mit deutlich geringerem Gehalt an Cs-137 nachweisen. Im Bereich des Fehmarnbelt zeigen die Messwerte die größten Unterschiede in der Cs-137-Konzentration zwischen Oberflächen- und Bodenwasser. Hier werden seit 2016 Aktivitätskonzentrationen unter 10 Bq/m³ im Bodenwasser nachgewiesen - erstmals seit dem Reaktorunfall von Tschernobyl.

Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss von Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen.

Die räumliche Verteilung der Aktivitätskonzentration von Tritium (H-3, kBq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser auf einigen ausgewählten Stationen im Untersuchungsgebiet im Juni 2018 ist in [Abbildung B II 2.2-5](#) dargestellt. Die Verteilung von H-3 ist sehr homogen, weil sie vom Kernwaffenfallout und von natürlichen Quellen und nicht vom Reaktorunfall von Tschernobyl bestimmt wird. Es gibt im Einzugsbereich der Ostsee keine kerntechnische Anlage, die vergleichbar starke Tritiumeinleitungen produziert wie z. B. die Anlage La Hague im englischen Kanal. Die Aktivitätskonzentrationen von Tritium haben sich innerhalb der letzten 10 Jahre um etwa ein Drittel verringert.

Es ist festzuhalten, dass während der über 30-jährigen Laufzeit der internationalen Radioaktivitätsüberwachungsprogramme (HELCOM-MORS EG) keinerlei Messwerte im Wasser der Ostsee gefunden wurden, die auf Einleitungen der nuklearen Anlagen der Ostseeanrainerstaaten zurückzuführen wären.

Schwebstoffe und Sedimente der Ostsee

Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall findet sich natürlich auch in den Schwebstoffen und Sedimenten der Ostsee. Die spezifische Aktivität in Schwebstoffen an einigen ausgewählten Stationen in der westlichen Ostsee ist in [Abbildung B II 2.2-6](#) dargestellt.

Die Messwerte liegen alle im Rahmen der langjährigen Messbereiche. Die gegenüber den anderen Stationen etwas erhöhte Aktivität im Greifswalder Bodden wird seit einiger Zeit dort beobachtet und variiert von Jahr zu Jahr. Auch die 2018 gemessene Aktivität ist im Schwankungsbereich der Vorjahre.

Sedimentproben wurden 2018 an den üblichen Stationen der westlichen Ostsee entnommen. Auf Grund personeller Engpässe konnten die Messungen und Auswertungen bis zum Redaktionsschluss nicht durchgeführt werden. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen keine auffälligen Werte.

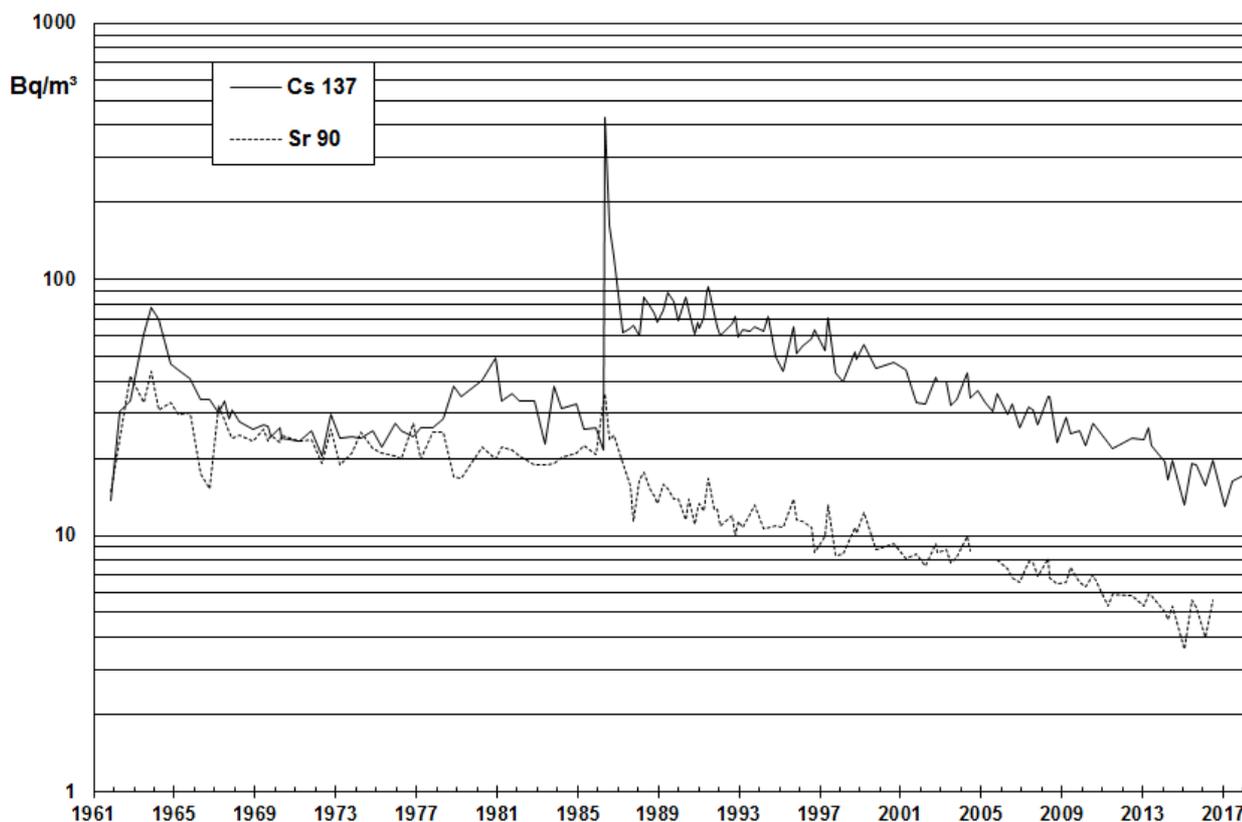


Abbildung B II 2.2-3 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentration (Bq/m³) an der Position „Schleimündung“ (50°40' N, 010°05' O) seit 1961.
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m³) at the position „Schleimündung“ (54°40' N, 010°05' E) since 1961)

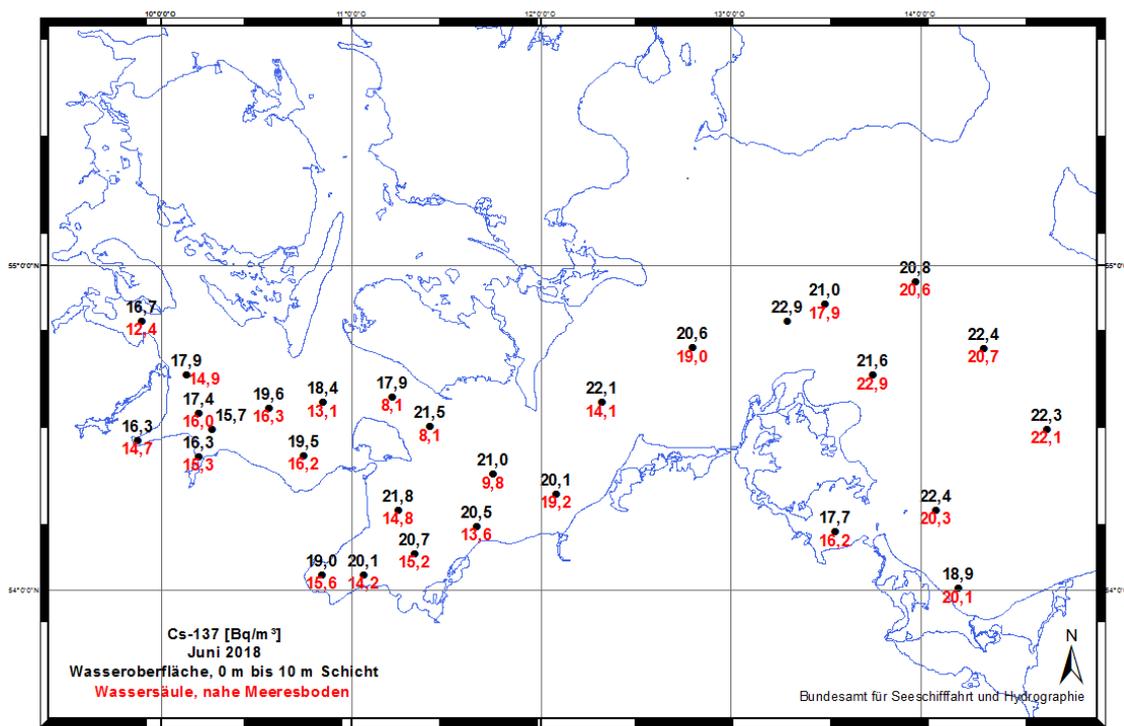


Abbildung B II 2.2-4 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2018.
(Spatial distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in surface and bottom sea water of the western Baltic Sea in June 2018)

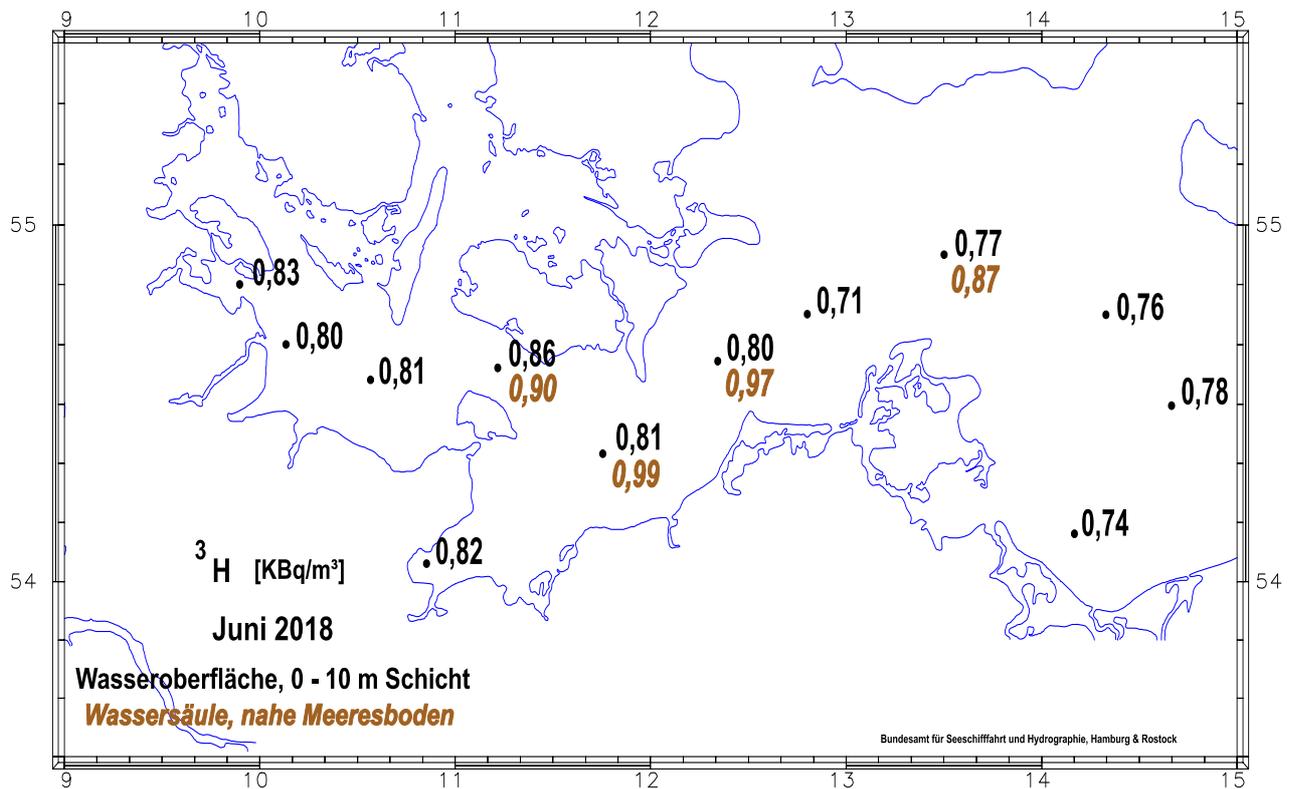


Abbildung B II 2.2-5 Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2018.
(Spatial distribution of the activity concentration of H-3 (kBq/m³) in surface and bottom sea water of the western Baltic Sea in June 2018)

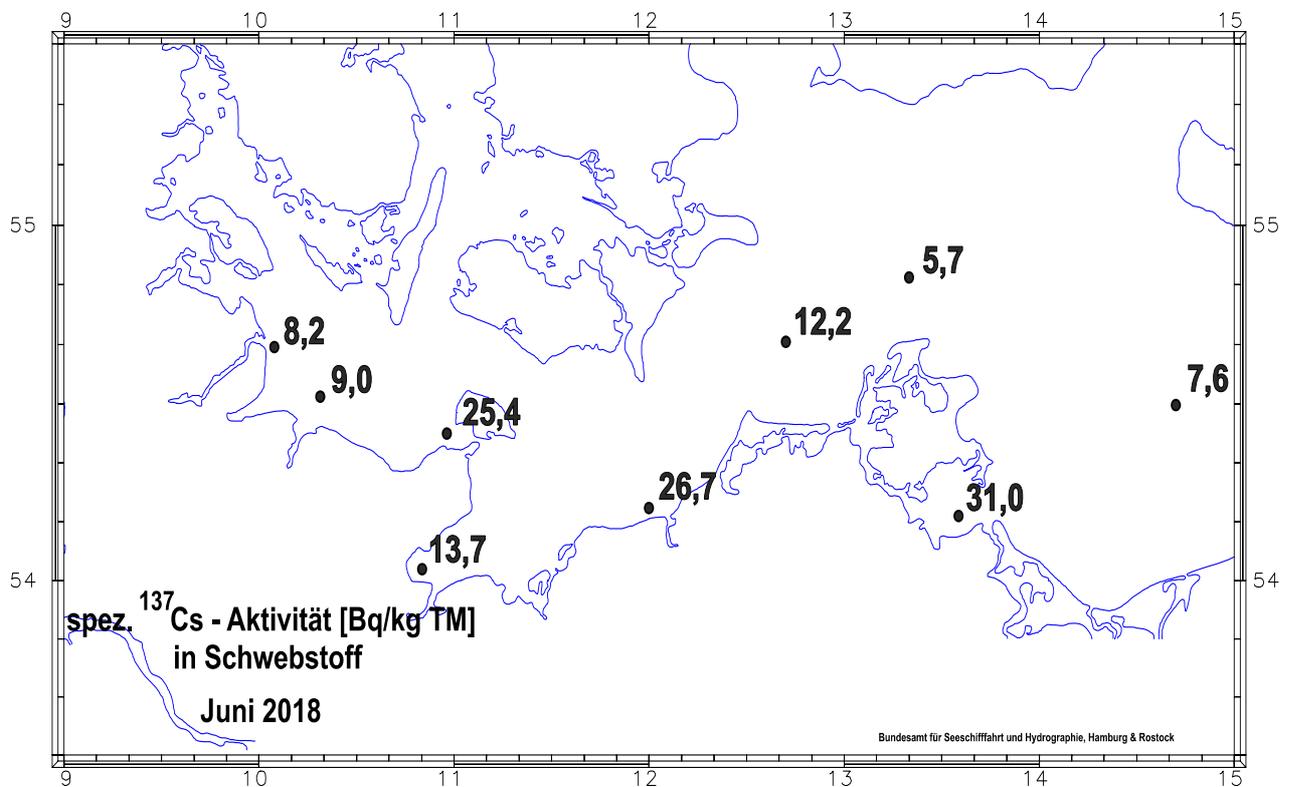


Abbildung B II 2.2-6 Spezifische Cs-137-Aktivität (Bq/kg TM) in Schwebstoff der westlichen Ostsee im Juni 2018
(Specific Cs-137-Activity (Bq/kg DW) in suspended matter of the western Baltic Sea in June 2018)

2.3 Binnengewässer

2.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer

In diesem Kapitel wird über die Ergebnisse der Messstellen der Länder sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) aus der großräumigen Überwachung der Binnengewässer gemäß dem Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzgesetz (StrlSchG, §§ 161, 162) für das Jahr 2018 berichtet.

Die gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern ermittelten Ergebnisse der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind in Kapitel 2.3.2 zusammengefasst und bewertet.

Hinweise zu den insgesamt erhaltenen Ergebnissen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrlSchG bzw. REI können der [Tabelle T II.31](#) entnommen werden.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrlSchG wurden im Berichtsjahr Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 165 Gewässern mit insgesamt ca. 21 600 Einzelwerten durchgeführt. Zur Auswertung wurden für repräsentative Entnahmestellen Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischen Aktivitäten berechnet und - zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten - den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt. Weiterhin sind die Anzahl der Werte (N) und die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) aufgelistet. Bei gemischten Datenreihen sind die Jahresmittelwerte stets derart berechnet worden, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit „<“ gekennzeichnet, so wurden auch die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Damit stellen diese Mittelwerte obere Grenzen dar, welche die tatsächlichen mittleren Aktivitätsgehalte eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Auftragung „nn“ angegeben. [Tabelle T II.32](#) enthält die Auswertungen für Fließgewässer und [Tabelle T II.33](#) die für Seen bzw. Talsperren. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte ausgewählter Entnahmestellen in den [Abbildungen B II 2.3-1 bis B II 2.3-8](#) beispielhaft aufgezeigt.

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrlSchG im Berichtsjahr erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasserproben wiesen H-3-Konzentrationen im Jahresmittel überwiegend unterhalb der geforderten Nachweisgrenze des RMP von 10 Bq/l auf. Selbst in Flüssen, in die H-3 aus kerntechnischen Anlagen eingeleitet wurde, betragen die Jahresmittelwerte höchstens 28 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit ebenfalls unter den Vorgaben der Nachweisgrenzen des RMP. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren - von H-3 abgesehen - im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen nicht mehr nachweisbar. I-131 trat sporadisch auf mit Einzelkonzentrationen bis 0,05 Bq/l. Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für U-234, U-235 und U-238 durchweg Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen. Für U-238 schwankten die Werte beispielsweise regional bis 0,05 Bq/l.

In **Schwebstoffproben** lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 vorwiegend unter 50 Bq/kg TM. Höhere Werte für Cs-137 wurden wiederum von einzelnen Seen berichtet: Der maximale Jahresmittelwert lag bei 186 Bq/kg TM (Steinhuder Meer, Niedersachsen). Co-58 und Co-60 konnten in Donau, Mosel und Rhein nachgewiesen werden, wobei die Werte aber meist unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM lagen. Für I-131 wurden Einzelwerte bis 42 Bq/kg TM (Oldenburger Graben, Schleswig-Holstein) gemessen.

In **Sedimentproben** betragen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 ebenfalls meist unter 50 Bq/kg TM. In einzelnen Seen traten auch hier immer noch höhere mittlere Gehalte an Cs-137 auf: Der maximale Jahresmittelwert ergab sich zu 186 Bq/kg TM (Schollener See, Sachsen-Anhalt). Co-60 konnte in Mosel und Rhein nachgewiesen werden mit Werten im Mittel unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

Aus radiologischer Sicht ist der Gütezustand der Binnengewässer im Berichtsjahr mit dem der letzten Vorjahre vergleichbar. Die Schwankungen der mittleren spezifischen Aktivitäten bzw. Aktivitätskonzentrationen der langlebigen künstlichen Radionuklide können - vom radioaktiven Zerfall abgesehen - mit den in Gewässern ablaufenden dynamischen Austausch- und Transportprozessen erklärt werden. Diese können zu sehr inhomogenen und instationären Verteilungen der Radionuklide innerhalb der Gewässer führen. In Sedimenten variieren die Radionuklidgehalte - wie bei anderen Schadstoffen auch - mit der Korngrößenverteilung (siehe auch Grundlagenteil). Zu beachten ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und von nuklearmedizinischen Anwendungen meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet bzw. eingetragen werden.

Strahlenexposition¹

Die aus den verschiedenen Quellen in die Binnengewässer anthropogen eingetragenen Radionuklide können über die für den aquatischen Bereich sensitiven Expositionspfade „Trinkwasser“ und „Aufenthalt auf Spülfeldern“ eine zusätzliche interne bzw. externe Strahlenexposition von Personen bewirken. Nimmt man beispielsweise, entsprechend der Daten, eine Kontamination von Oberflächenwasser mit H-3 von 10 Bq/l sowie mit Sr-90 und Cs-137 von jeweils 0,01 Bq/l an, so errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (>17 a; 350 l/a Konsum) auf dem „Trinkwasser“-Pfad zu ca. 0,21 µSv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (<=1 a; 215 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,69 µSv/a. Allein der von dem natürlichen Radionuklid K-40 für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt jedoch mit ca. 0,87 µSv/a bzw. 5,3 µSv/a deutlich über dem anthropogen verursachten.

Insbesondere Cs-137 war auch 2018 in Sedimenten noch deutlich nachweisbar. Würde Sediment mit einem Cs-137-Gehalt von 100 Bq/kg TM bei Ausbaumaßnahmen für die Schifffahrt gebaggert und an Land gelagert, so kann die auf dem Expositionspfad „Aufenthalt auf Spülfeldern“ für Standardbedingungen für Erwachsene (>17 a, 760 Stunden Aufenthalt pro Kalenderjahr) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis mit ca. 8,1 µSv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag der natürlichen Radionuklide K-40, Th-nat und U-nat bei typischen Gehalten von 500, 40 und 40 Bq/kg TM für diesen Expositionspfad mit insgesamt ca. 21 µSv/a wesentlich höher.

2.3.2 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung der Anlagen nach dem Atomgesetz

Dieses Kapitel enthält die Auswertung der Ergebnisse der Immissionsüberwachung des aquatischen Nahbereichs kerntechnischer Anlagen aus dem Berichtsjahr 2018 gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). In die Auswertung wurden insgesamt ca. 7 300 Einzelwerte von Messungen an Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben einbezogen; diese erfolgte wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in **Oberflächenwasserproben** aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte in Einzelfällen nachweisbar (Tabelle T II.34). Erhöhte H-3-Konzentrationen wurden in Proben gemessen, die direkt an Auslaufbauwerken genommen wurden: die Mittelwerte betragen hier maximal 986 Bq/l in der Ems (KKE Emsland). In Folge der Durchmischung gingen die H-3-Konzentrationen aber entlang der Fließstrecke auf niedrigere Konzentrationen zurück (siehe auch Kapitel 2.3.1). Die Aktivitätskonzentrationen anderer relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten meist die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l. Für Sr-90 und Cs-137 beispielsweise war der Einfluss kerntechnischer Anlagen wegen der Vorbelastung aus anderen Quellen (Kernwaffen-Fallout und Reaktorunfall in Tschernobyl) nicht explizit aufzuzeigen. Dies gilt auch für I-131, das auf nuklearmedizinische Anwendungen zurückgeführt wurde. Transurane wurden nicht nachgewiesen.

In **Sedimentproben** - und vereinzelt Schwebstoffproben - aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten der anlagentypischen Radionuklide meist unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. I-131 und Cs-137 wurden nachgewiesen, Einflüsse der jeweiligen kerntechnischen Anlagen waren aber auf Grund anderweitiger Vorbelastungen praktisch nicht aufzuzeigen bzw. auszuschließen. Für Alpha-Strahler wurden etwas erhöhte mittlere Werte für die Gesamt-Alpha-Aktivität (G-α) mit 525 Bq/kg TM, für Am-241 mit 4,9 Bq/kg TM im Hirschkanal (KIT Karlsruhe) und für Pu-(239+240) mit 0,15 Bq/kg TM in der Isar (Neutronenquelle FRM II) gemessen. Andere Transurane wurden nicht nachgewiesen.

Strahlenexposition¹

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser ist aus radiologischer Sicht vernachlässigbar. Geringfügig erhöhte H-3-Konzentrationen traten als Folge von Ableitungen aus Kernkraftwerken auf. Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser mit 25 Bq/l H-3 unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich die aus dem „Trinkwasser“-Pfad für Erwachsene (>17 a; 700 l/a Konsum) von H-3 resultierende effektive Dosis zu ca. 0,3 µSv/a. Für Kleinkinder (<=1 a; 430 l/a Konsum) beträgt der entsprechende Wert ca. 0,69 µSv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 µSv/a nach § 99 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu ca. 0,1 bzw. 0,2 % ausgeschöpft werden.

Co-60 wurde vereinzelt in Sedimentproben gemessen. Für den Fall, dass Sediment mit 10 Bq/kg TM Co-60 gebaggert und an Land gelagert werden würde, lässt sich die auf dem sensitiven Expositionspfad „Aufenthalt auf Spülfeldern“ zu erwartende zusätzliche externe effektive Dosis für Erwachsene (>17 a) für Standardbedingungen zu ca. 2,4 µSv/a abschätzen. Sie würde damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 99 StrlSchV von 300 µSv/a liegen.

¹ Die angenommenen Trinkwasser-Verzehrmengen und Aufenthaltsdauern sind der Strahlenschutzverordnung (Stand 2018) entnommen: Anlage 11 Teil B Tabellen 1 und 3. Nach § 101 sind für den Betrieb kerntechnischer Anlagen für Kleinkinder, die nicht gestillt werden, (55+160) Liter Trinkwasserverzehrmengen mit einem Faktor 2 anzusetzen. Dies ergibt eine Trinkwassermenge von 430 Liter.

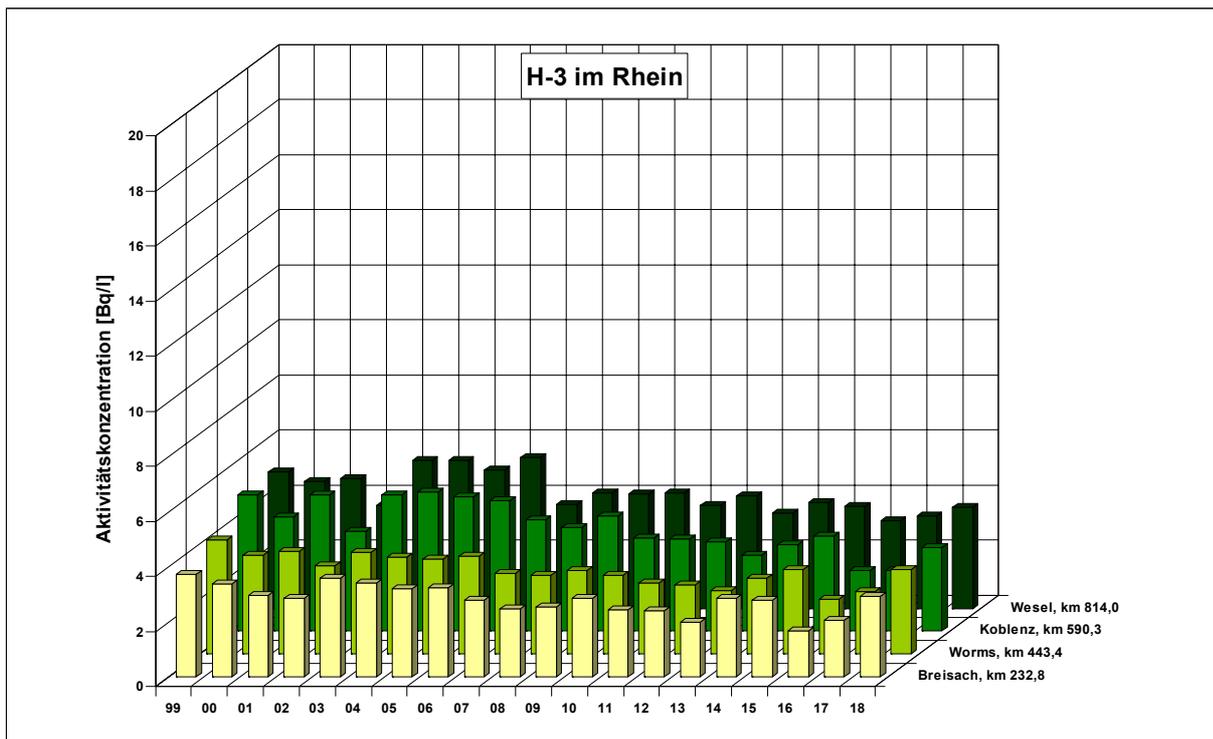


Abbildung B II 2.3-1 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)
(Contents of H-3 (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

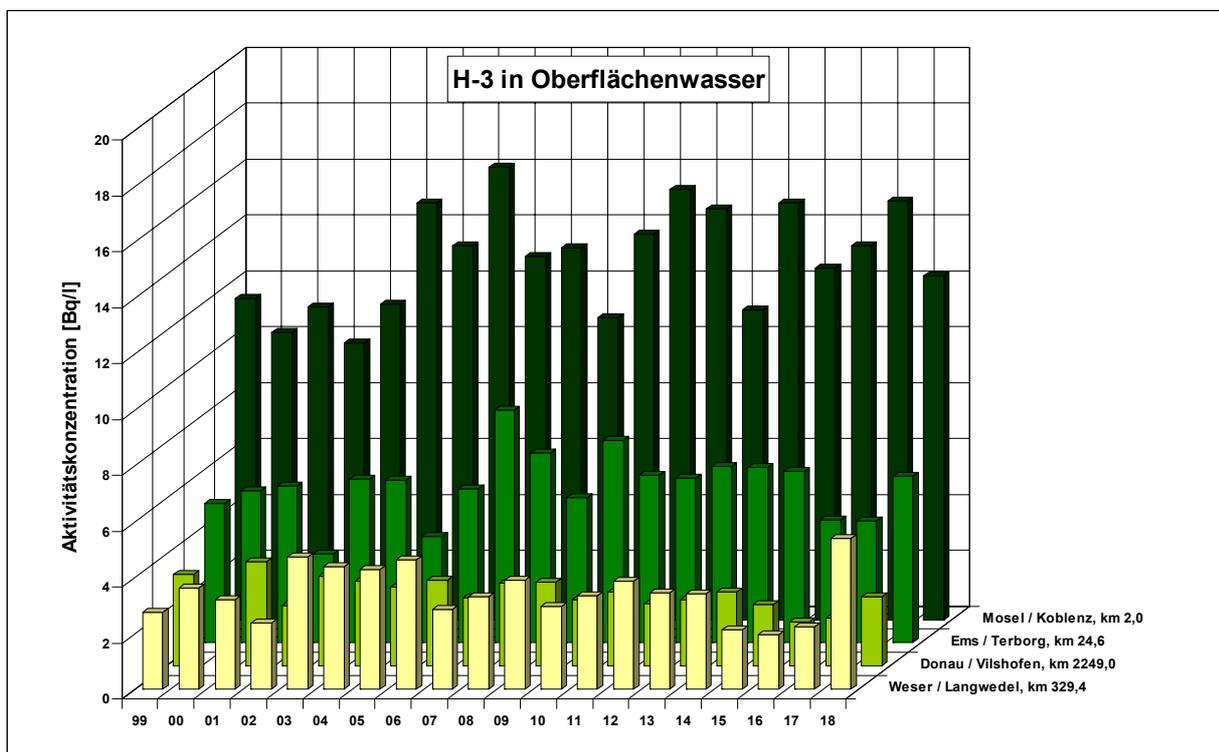


Abbildung B II 2.3-2 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Contents of H-3 (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

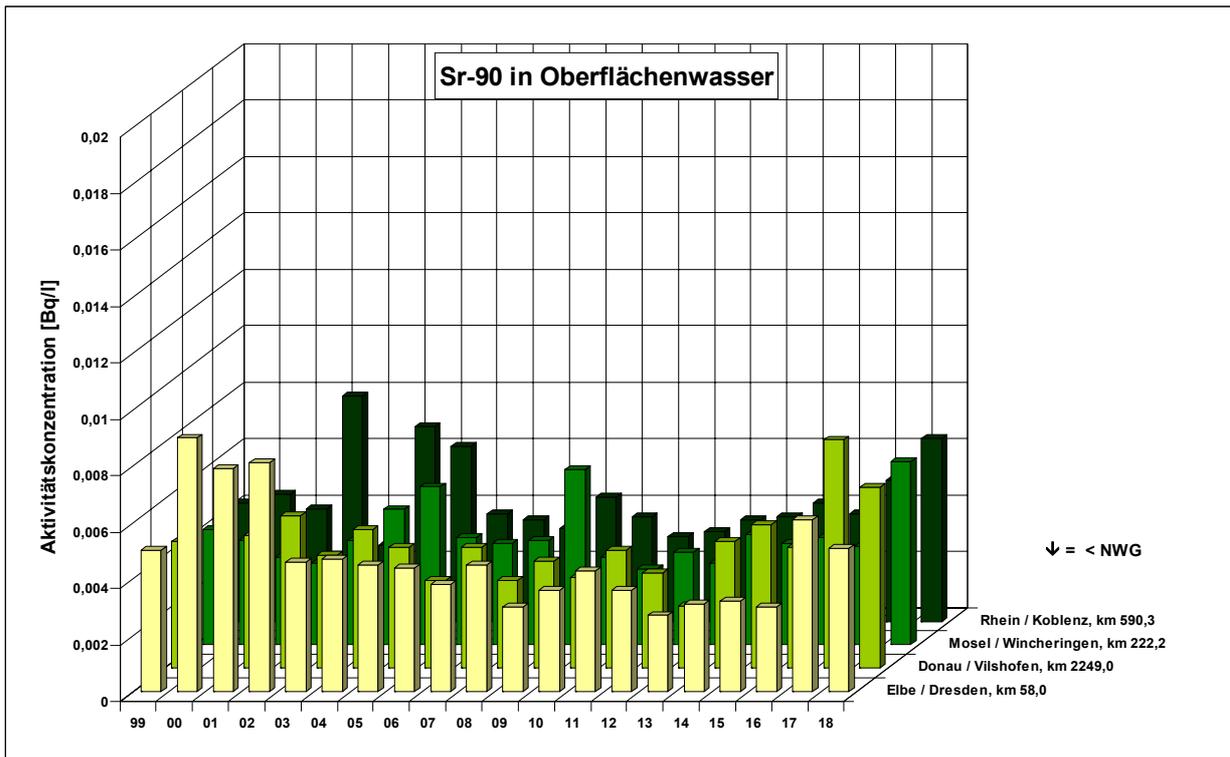


Abbildung B II 2.3-3 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Sr-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Sr-90 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

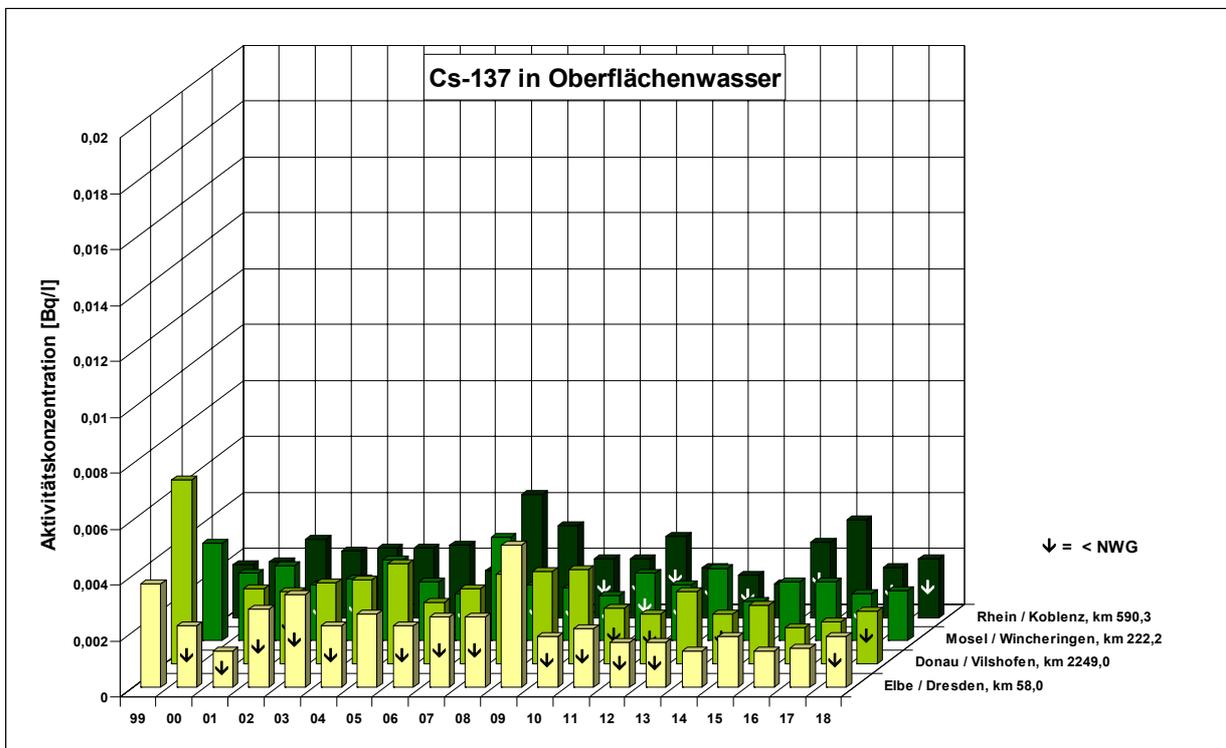


Abbildung B II 2.3-4 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cs-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

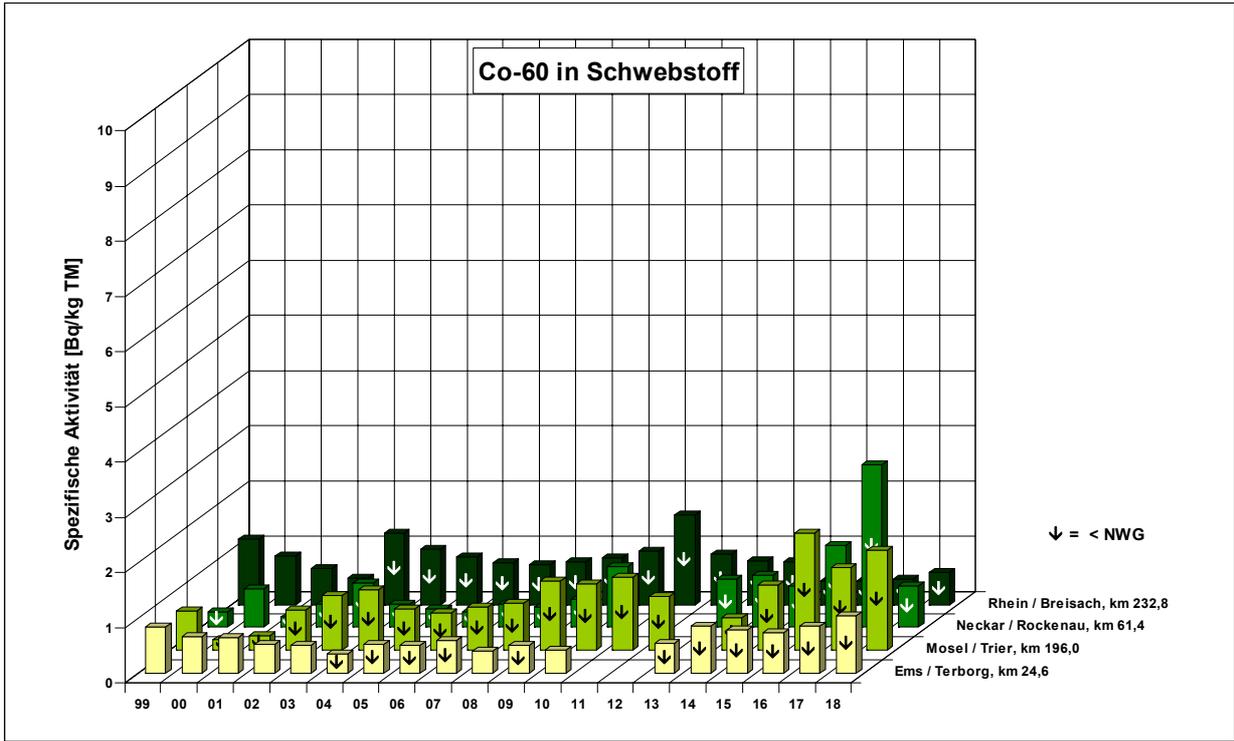


Abbildung B II 2.3-5 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Co-60 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

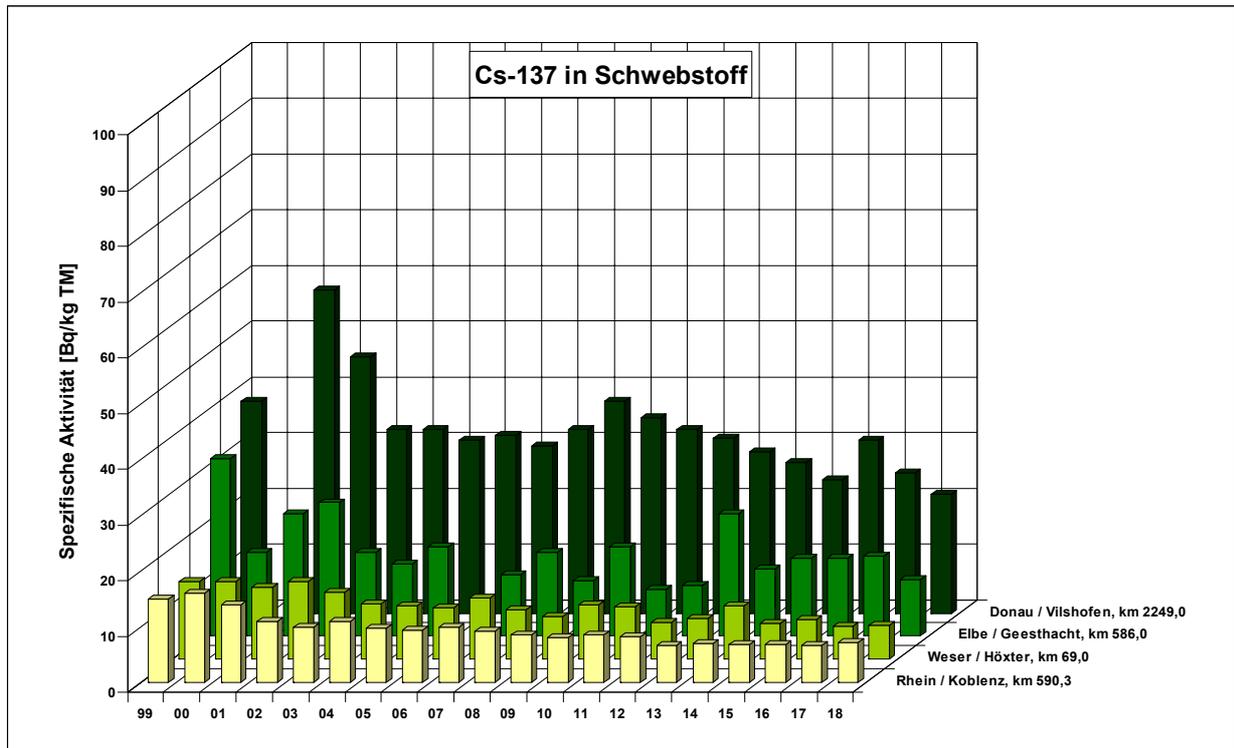


Abbildung B II 2.3-6 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

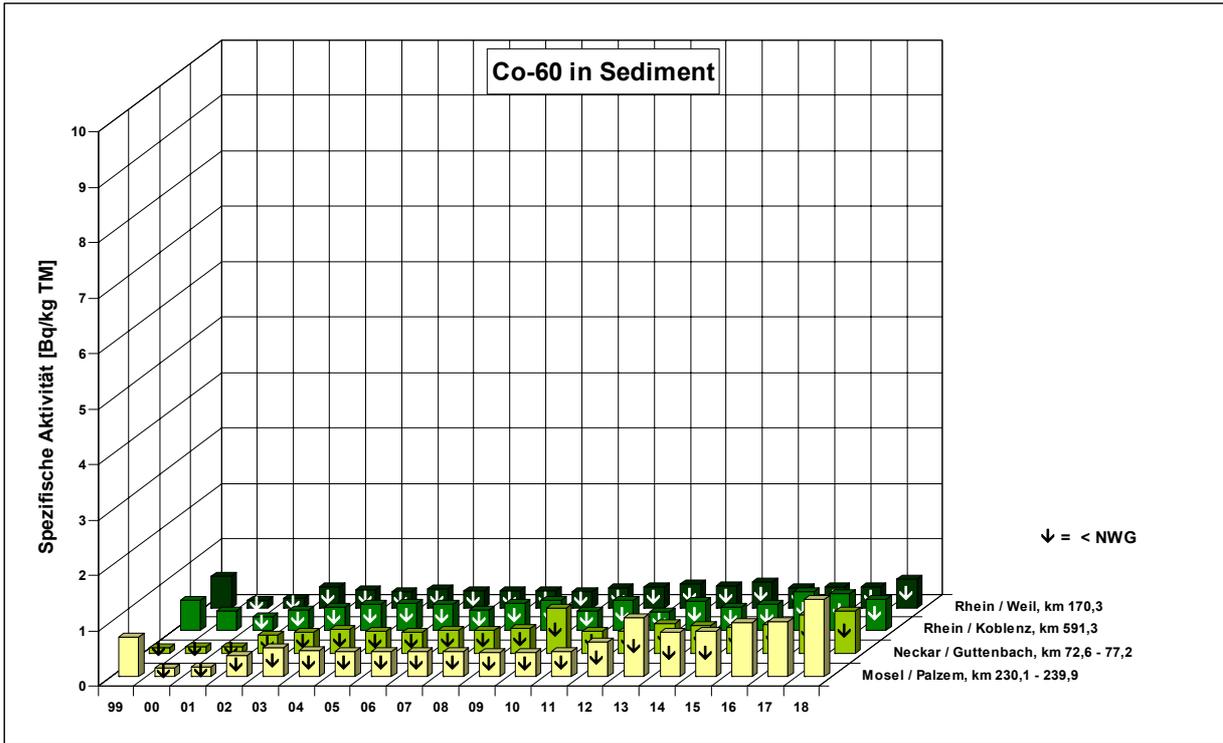


Abbildung B II 2.3-7 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Co-60 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

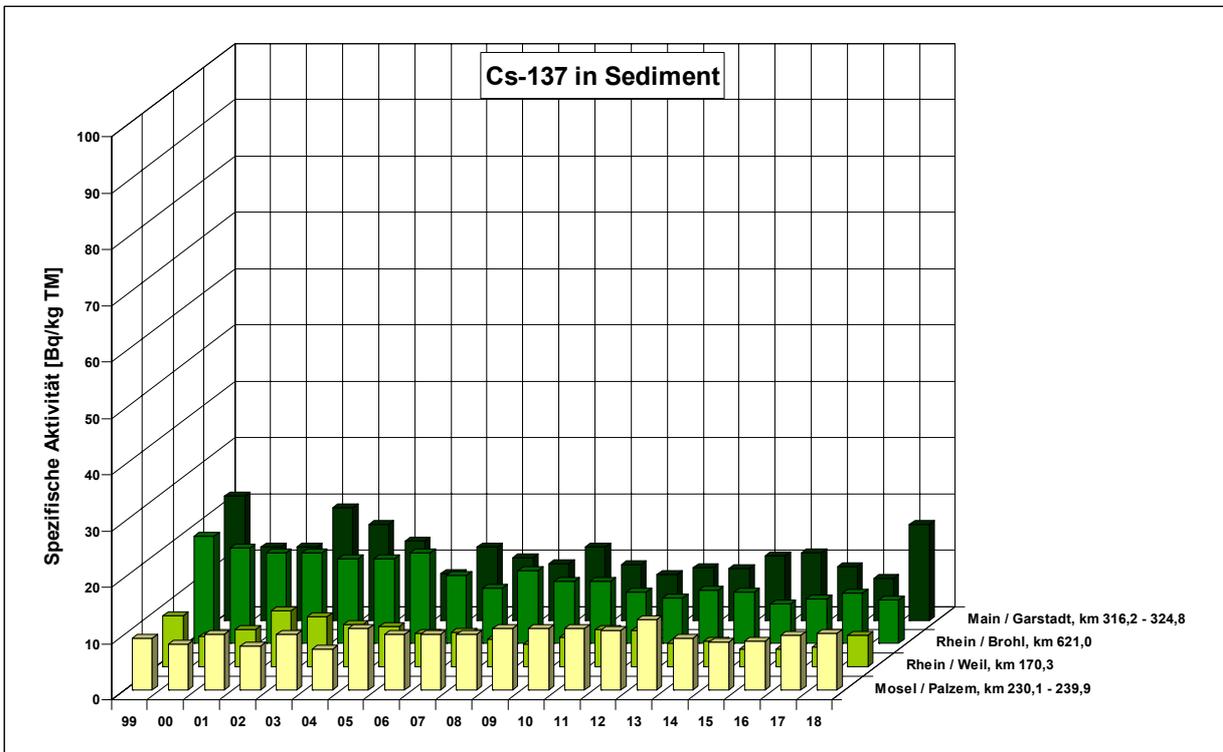


Abbildung B II 2.3-8 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

2.4 Böden

2.4.1 Boden, Pflanzen und Futtermittel

Die Daten für Boden, Pflanzen und Futtermittel werden im Rahmen des neuen Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 dokumentiert. Die Wanderung der Radionuklide Cs-137 und Sr-90 in den Boden hinein erfolgt nur sehr langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur geringfügig. Gelegentliche stärkere Schwankungen der Messwerte an einem Ort, wie sie in den Tabellen für Boden und Bewuchs ausgewiesen sind, gehen auf Probenentnahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 war natürlich auch im Jahr 2018 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

In [Tabelle T II.35](#) sind Messwerte für als Weiden oder Wiesen genutzte Böden zusammengefasst. In [Tabelle T II.36](#) sind entsprechende Werte für Ackerböden und in [Tabelle T II.37](#) für Waldböden wiedergegeben. Für nicht genannte Bundesländer liegen jeweils keine vergleichbaren Daten vor.

In der Vegetationsperiode 2018 wurden verschiedene Pflanzenproben gammaspektrometrisch gemessen. Im Vordergrund standen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination pflanzlichen Materials ist gegenüber dem Vorjahr wieder etwas zurückgegangen, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

In [Tabelle T II.38](#) sind für die genannten Aufwuchsarten die ermittelten Mittel- und Maximalwerte für Cs-137 und - sofern vorhanden - Sr-90 zusammengefasst. Zum Vergleich sind die entsprechenden Mittelwerte für die beiden Vorjahre aufgenommen worden. In einigen Ländern wurden weitere im Inland erzeugte und importierte Futtermittelrohstoffe überwacht. Entsprechende Messergebnisse sind in [Tabelle T II.39](#) und [Tabelle T II.40](#) zusammengestellt. In [Tabelle T II.41](#) sind Messergebnisse von pflanzlichen Indikatoren (Blätter, Nadeln, Gras, Farne) wiedergegeben. In [Tabelle T II.39](#), [Tabelle T II.40](#) und [Tabelle T II.41](#) sind die Ergebnisse aus Platzgründen nur summarisch für das Bundesgebiet und nicht für einzelne Länder aufgeführt.

2.4.2 Boden und Bewuchs in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz

In der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall von 1986 geprägt, wobei die aktuellen Aktivitätskonzentrationen auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Boden und Bewuchs in den [Tabellen II.42](#) und [II.43](#) zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Bei der Betrachtung des Bodens in der näheren Umgebung von Kernkraftwerken gelten die Erläuterungen in Abschnitt [2.4.1](#) analog. 2018 wurden verschiedene Pflanzenproben aus der näheren Umgebung von Kernkraftwerken spektrometrisch gemessen. Auch hier standen Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen (insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs) im Vordergrund. Die Kontamination des pflanzlichen Materials geht leicht zurück, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser

2.5.1 Grundwasser und Trinkwasser

Bezüglich allgemeiner Aspekte der Radioaktivitätsüberwachung von Grund- und Trinkwasser wird auf den Grundlagenteil **II Abschnitt 2.5** verwiesen.

Die von den amtlichen Messstellen der Länder im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzgesetz (StrSchG) im Jahr 2018 erhobenen Daten für K-40, Cs-137, Sr-90, H-3 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind in **Tabelle T II.44** zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Gesamtanzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben, die als kleiner Nachweisgrenze (NWG) bewertet wurden, der kleinste und der größte bestimmte tatsächliche Messwert sowie der daraus ermittelte arithmetische Mittelwert, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind. Zusätzlich wird der Median angegeben, bei dem Ergebnisse kleiner der Nachweisgrenze gleichrangig wie tatsächliche Messwerte mit dem Wert der erzielten Nachweisgrenze berücksichtigt wurden. Aus Kapazitätsgründen liegt für die Messstelle in Baden-Württemberg für das Berichtsjahr 2018 nur eine verminderte Anzahl an Ergebnissen für die U-234-, U-235-, U-238- und Sr-90-Bestimmung an Grund- und Trinkwasserproben vor. Die im Rahmen der routinemäßigen Überwachung der Umweltradioaktivität nach Strahlenschutzgesetz geforderten Nachweisgrenzen betragen für die gammaspektrometrische Untersuchung 50 mBq/l bezogen auf Co-60, für die H-3-Bestimmung 10 000 mBq/l, für die Sr-90-Bestimmung und für die Messung der Alphastrahler (Uran- und Plutoniumisotope) je 10 mBq/l.

K-40 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind natürlicher Bestandteil in Boden und Gestein und gelangen durch Lösungsprozesse ins Grundwasser. Diese Radionuklide sind demnach geogenen Ursprungs und variieren in ihrer Aktivitätskonzentration im Grund- und Trinkwasser in Abhängigkeit von regionalen geologischen Gegebenheiten.

Cs-137 und Sr-90 stammen aus den Kernwaffenversuchen der Jahre 1950 bis 1980 und aus Kontaminationen in Folge der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl im Jahr 1986. Diese Radionuklide gelangten aus der Atmosphäre (Fallout) und mit dem Niederschlag (Washout) auf die Erdoberfläche und von dort in das Grund- und Trinkwasser.

H-3 entsteht durch die kosmische Strahlung in der oberen Atmosphäre (kosmogenes Radionuklid) und gelangt mit dem Niederschlag in den Wasserkreislauf. Darüber hinaus wird H-3 als genehmigte Ableitung (nach Atomgesetz) mit der Abluft und dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen in die Umwelt abgegeben.

Grundwasser

Im Jahr 2018 wurde Grundwasser von 53 Probenentnahmestellen untersucht.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 liegen ausschließlich unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen von 0,68 mBq/l bis 45 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Nachweisgrenzen beträgt wie im Vorjahr <8,0 mBq/l.

In 49 % der gemessenen Proben konnte Sr-90 mit Aktivitätskonzentrationen von 0,23 mBq/l bis 14 mBq/l (2017: 0,21 bis 17 mBq/l) nachgewiesen werden. Ein Median von <3,8 mBq/l (2017: 4,0 mBq/l) wurde berechnet.

In 55 von 62 auf H-3 untersuchten Grundwasserproben wurde als Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ erhalten, wobei die Nachweisgrenzen zwischen 1,2 Bq/l und 10 Bq/l lagen. In den restlichen Proben wurden tatsächliche Messwerte deutlich unterhalb der mittleren Nachweisgrenze von ca. 5 Bq/l angegeben. Der Median liegt bei <4,5 Bq/l (2017: <3,9 Bq/l).

Im Rahmen des Routinemessprogramms wurden auch alphaspektrometrische Messungen von Uran- und Plutoniumisotopen durchgeführt. Die erhobenen Messwerte für die Uranisotope U-238 und U-234 im Jahr 2018 sind mit einer Aktivitätskonzentration von bis zu 130 mBq/l und einem Median von <1,9 und 2,3 mBq/l (2017: jeweils <2,5 mBq/l) mit den Daten aus der vom BfS durchgeführten Trinkwasserstudie in Deutschland [1][2] vergleichbar. In dieser wurde für 565 Rohwasserdaten ein Median für U-238 von 3,7 mBq/l ermittelt.

Für die Plutoniumisotope Pu-(239+240) wurden für eine Grundwasserprobe ein tatsächlicher Messwert übermittelt, welcher aber mit 0,00071 mBq/l um ein Vielfaches niedriger liegt als der aus allen 46 Ergebnissen berechnete Median mit <0,7 mBq/l. Die Übermittlung von tatsächlichen Messwerten ist in diesem konkreten Fall mit der überdurchschnittlich hohen Menge an eingesetztem Probenmaterial zu begründen. Zusammen mit dem gewählten messtechnischen Verfahren entscheidet die Probenmenge maßgeblich über die zu erreichende Größenordnung der Nachweisgrenze.

Der Medianwert für das natürliche Radionuklid K-40 im Grundwasser beträgt <170 mBq/l und entspricht der mittleren erreichten Nachweisgrenze. Die höchste K-40-Aktivitätskonzentration im Jahr 2018 wurde in einer Probe mit 580 mBq/l ermittelt (2017: 760 mBq/l).

Trinkwasser

Die 2018 untersuchten Roh- und Reinwässer stammten aus 85 bzw. 89 Probenentnahmestellen.

In der **Tabelle T II.44** wird zwischen Rohwasser (dem unbehandelten Grund- oder Oberflächenwasser als Zulauf der Wasserwerke) und Reinwasser (dem im Wasserwerk aufbereiteten Wasser, das als Trinkwasser in das Netz eingespeist wird) unterschieden.

In vier Rohwasserproben konnte Cs-137 mit Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,14 und 2,1 mBq/l belegt werden. Die Ergebnisse der restlichen 97 Proben liegen unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen von 0,15 bis 42 mBq/l. Der Median aller Ergebnisse beträgt <7,8 mBq/l (2017: <7,6 mBq/l).

Für Cs-137 im Reinwasser sind alle Ergebnisse als kleiner Nachweisgrenze bewertet worden, wobei die bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen zwischen 0,21 mBq/l und 60 mBq/l liegen. Als Median aller mitgeteilten Ergebnisse für das Jahr 2018 wurde <8,5 mBq/l (2017: <8,0 mBq/l) ermittelt.

In 51 % der untersuchten Proben im Rohwasser und in 51 % der untersuchten Proben im Reinwasser konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen sind mit 0,80 bis 18 mBq/l im Rohwasser und 0,90 bis 10 mBq/l im Reinwasser (2017: 0,89 und 8,5 mBq/l im Rohwasser und 0,90 mBq/l und 13 mBq/l im Reinwasser) angegeben worden, der Median sämtlicher Ergebnisse beträgt <3,5 mBq/l für das Rohwasser und 3,2 mBq/l für das Reinwasser (2017: 3,0 mBq/l sowohl im Rohwasser als auch im Reinwasser). Diese Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche herrührenden Einfluss auf Oberflächenwässer, oberflächennahe Grundwässer und damit auch auf Trinkwässer.

Die für 2018 angegebenen Mediane für die Uranisotope U-238 und U-234 von 2,0 bis 3,9 mBq/l liegen im Bereich des in der Trinkwasserstudie in Deutschland [1] für 582 Proben ermittelten Medians für U-238 von 3,2 mBq/l. Im Vergleich zum Vorjahr wurde nur für eine von 70 Reinwasserproben ein tatsächlicher Pu-(239+240)-Messwert angegeben. Mit einem Wert von 0,0036 mBq/l liegt dieser jedoch um ein Vielfaches unter den bestimmten Medianen von <2,1 mBq/l für das Rohwasser und <0,59 mBq/l für das Reinwasser. Für Pu-238 wurden keine tatsächlichen Messwerte berichtet. Ähnlich wie für das Grundwasser ist das Auftreten von tatsächlichen Messwerten für die Plutoniumisotope mit der Verwendung eines großen Probenvolumens zu begründen.

Die Medianwerte für das natürliche Radionuklid K-40 im Roh- und Reinwasser betragen 170 bzw. <170 mBq/l. Die höchste K-40-Aktivitätskonzentration im Jahr 2018 wurde sowohl im Rohwasser als auch im Reinwasser mit 870 mBq/l ermittelt (2017: 490 mBq/l im Reinwasser).

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe im Trinkwasser ist gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr klein. Legt man die maximale aus den Messungen erreichte Nachweisgrenze für Cs-137 von 60 mBq/l und den Maximalwert für Sr-90 von 10 mBq/l im Reinwasser zu Grunde, ergeben sich, mit einer angenommenen jährlichen Verzehrsgeschwindigkeit von 700 Liter für eine erwachsene Referenzperson gemäß StrlSchV Anlage VII Teil B, Ingestionsdosen von 0,55 bzw. 0,20 μ Sv/a. Für den Säugling (0 bis 1 Jahr) errechnen sich entsprechend einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 366 Liter Ingestionsdosen von 0,46 bzw. 0,48 μ Sv/a.

2.5.2 Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz

Die von den amtlichen Messstellen der Länder nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen im Jahr 2018 erhobenen Daten sind für Co-60, K-40, Cs-137, Sr-90 und H-3 sowie - wenn ermittelt - für die Rest-Beta- und Gesamt-Alpha-Aktivität in [Tabelle T II.45](#) zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Gesamtanzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit dem Ergebnis kleiner Nachweisgrenze (<NWG), der kleinste und größte bestimmte tatsächliche Messwert sowie der daraus ermittelte arithmetische Mittelwert, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte (>NWG) sind. Zusätzlich wird der Median angegeben, bei dem das Ergebnis kleiner Nachweisgrenze gleichrangig wie ein tatsächlicher Messwert (=NWG) berücksichtigt wird.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden der Leitstelle Messwerte von 146 Grundwassermessstellen mitgeteilt. Die Anzahl an dokumentierten Messwerten für die einzelnen Nuklide und Parameter ist geringer im Vergleich zum Vorjahr, da bis zum Redaktionsschluss nicht alle Betreiberdaten vorlagen.

Für Cs-137 liegen von 240 untersuchten Grundwasserproben alle Messwerte unter den angegebenen Nachweisgrenzen von 2,1 mBq/l bis 83 mBq/l, der Median aller Cs-137-Ergebnisse beträgt <29 mBq/l (2017: <30 mBq/l).

In 53 % der untersuchten Proben wurde Sr-90 nachgewiesen. Es wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,094 mBq/l und 21 mBq/l gemessen. Ein Median von <5,6 mBq/l (2017: 2,9 mBq/l) wurde ermittelt.

Die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 18 mBq/l und 120 mBq/l (2017: 16 bis 130 mBq/l), mit einem Median sämtlicher Ergebnisse von <50 mBq/l (2017: <50 mBq/l).

In 9 % der untersuchten Wasserproben wurde H-3 im Konzentrationsbereich von 1,1 Bq/l bis 32 Bq/l nachgewiesen (2017: 0,96 Bq/l bis 35 Bq/l), der Median aller Ergebnisse beträgt 5,5 Bq/l (2017: <5,7 Bq/l). Einige Werte liegen damit deutlich über den derzeitigen Messergebnissen für H-3 im Niederschlag im Bereich von 1 bis 2 Bq/l (siehe [2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag \(Gesamtdeposition\)](#)).

Die höchsten H-3-Aktivitätskonzentrationen von 22 Bq/l und 32 Bq/l wurden in einem Brunnen des KKW Obrigheim gemessen, weitere H-3-Aktivitätskonzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze wurden in einem Brunnen des KKW Philippsburg mit Werten zwischen 13 und 18 Bq/l gefunden. Für Co-60 wurden tatsächliche Messwerte mit 12 bis 18 mBq/l für die vier Messpegel des THTR Hamm-Uentrop angegeben mit erreichten Nachweisgrenze zwischen 21 und 28 mBq/l. An einem Pegel des Forschungszentrum Dresden-Rossendorf wurde ein Messwert für die Aktivitätskonzentration von Co-60 5,1 mBq/l ermittelt.

Trinkwasser

Im Jahr 2018 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz 21 Rohwasser- und 35 Reinwasser-Entnahmestellen beprobt.

In [Tabelle T II.45](#) sind die Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen getrennt nach Roh- und Reinwasser dokumentiert. Auf Grund des vollständigen Fehlens der Daten des KKW Cattenom für das Jahr 2018 sind die für die Auswertung vorliegenden Daten der einzelnen Nuklide und Parameter im Vergleich zum Vorjahr dezi- miert.

Für Cs-137 ist bei 96 untersuchten Reinwasserproben als Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ angegeben worden, wo- bei die Nachweisgrenzen zwischen 0,28 mBq/l und 40 mBq/l liegen. Der Median aller mitgeteilten Werte beträgt <5,0 mBq/l (2017: <9,7 mBq/l).

In 19 % der Reinwasserproben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,17 mBq/l und 2,1 mBq/l (2017: 0,10 und 6,2 mBq/l), der Median sämtlicher Ergebnisse liegt bei <10 mBq/l (2017: 5,0 mBq/l). Diese Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche herrührenden Einfluss auf Oberflä- chenwässer, oberflächennahe Grundwässer und damit auch auf Trinkwässer.

In zwei von 109 gemessenen Reinwasserproben wurde H-3 mit Aktivitätskonzentrationen von 9,9 Bq/l und 16 Bq/l (2017: 8,1 und 18 Bq/l) nachgewiesen; drei weitere Messwerte im Bereich von 1,1 bis 1,6 Bq/l überschreiten lediglich die erreichte Erkennungsgrenze. Der Median aller Ergebnisse liegt wie im Vorjahr bei <5,3 Bq/l. Erhobene Werte für Reinwasser über den durchschnittlich erreichten Nachweisgrenzen von etwa 5 Bq/l können auf den Eintrag von durch H-3-Emissionen kerntechnischer Anlagen geringfügig belastetes Oberflächenwasser (z. B. als Uferfiltrat) hindeuten. Alle H-3-Werte oberhalb 10 Bq/l stammen aus Einzelwasserversorgungen in der Nähe eines Altrheinarms, der in der Fließrichtung von Grund- und Oberflächenwasser des Karlsruher Institutes für Technologie, Campus Nord (KIT) liegt. Das Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen in den Ortschaften beim KIT weist lediglich H-3-Konzentrationen von <10 Bq/l auf. Selbst unter der Annahme, dass der gesamte Trinkwasserbedarf mit Wasser aus den Einzelwas- sersersorgungen gedeckt würde, ergäbe sich für die betroffenen Personen nur eine unwesentliche Erhöhung gegen- über der natürlichen Strahlenexposition.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Weg über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr gering.

Literatur

- [1] Rühle H, Bünger Th: Radioaktive Stoffe in Trinkwässern. In: Nießner R, (Hrsg): Höll Wasser - Nutzung im Kreis- lauf: Hygiene, Analyse und Bewertung, 10. Aufl., Kap. 4.14, Verlag de Gruyter, Berlin 2020
- [2] Beyermann M, Bünger T, Gehrcke K, Obrikat D: Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.), BfS SW 06/09, Salzgitter, 2009, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-20100319945>

2.5.3 Milch und Milchprodukte

Die Daten für Milch und Milchprodukte werden auf Grundlage des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 registriert. Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall depo- nierten Cs-137, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cs-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die Sr-90-Aktivitätskonzentration ist gegenüber dem Jahr 2017 auf extrem niedrigem Niveau ebenfalls nahezu konstant geblieben.

Die Messwerte, die für Milch und Milchprodukte ermittelt wurden, können in diesem Bericht wegen dessen begrenzten Umfangs nur in komprimierter Form wiedergegeben werden. In [Tabelle T II.46](#) sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte für Rohmilchproben aufgeführt. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre aufgenommen worden. Die Proben, an denen die Messungen vorgenommen wurden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks von Molkereien, so dass aus dieser Sicht eine Mittelung sinnvoll erschien. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen „<“ gekennzeichnet sind, die Realität, weil in die Berechnungen zahlreiche Werte von Nachweis- grenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Es verbleiben also einige Unsicherheiten, die es zu beachten gilt, wenn die in der Tabelle enthaltenen Jahresmittelwerte interpretiert werden. [Abbildung B II 2.5-1](#) gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte des Sr-90- und Cs-137-Gehaltes der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 2018. Der leichte Anstieg der Sr-90 Werte seit 2016 ist durch die Anwendung von Schnellmethoden, die mit bis zu 10 % einfließen, bedingt. Es werden Nachweisgrenzen bis zu 5 Bq in Abhängigkeit der entsprechenden Schnellmetho- de für Sr-90 mitgeteilt. Da die Sr-90- Messwerte bzw. Nachweisgrenzen über alle Bundesländer gemittelt werden, er- gibt sich der erkennbare Anstieg.

[Tabelle T II.47](#) gibt global für das Bundesgebiet einen Überblick über die Anzahl der Messwerte N und die Bereiche der Einzelwerte für wichtige Radionuklide in einigen Milchprodukten.

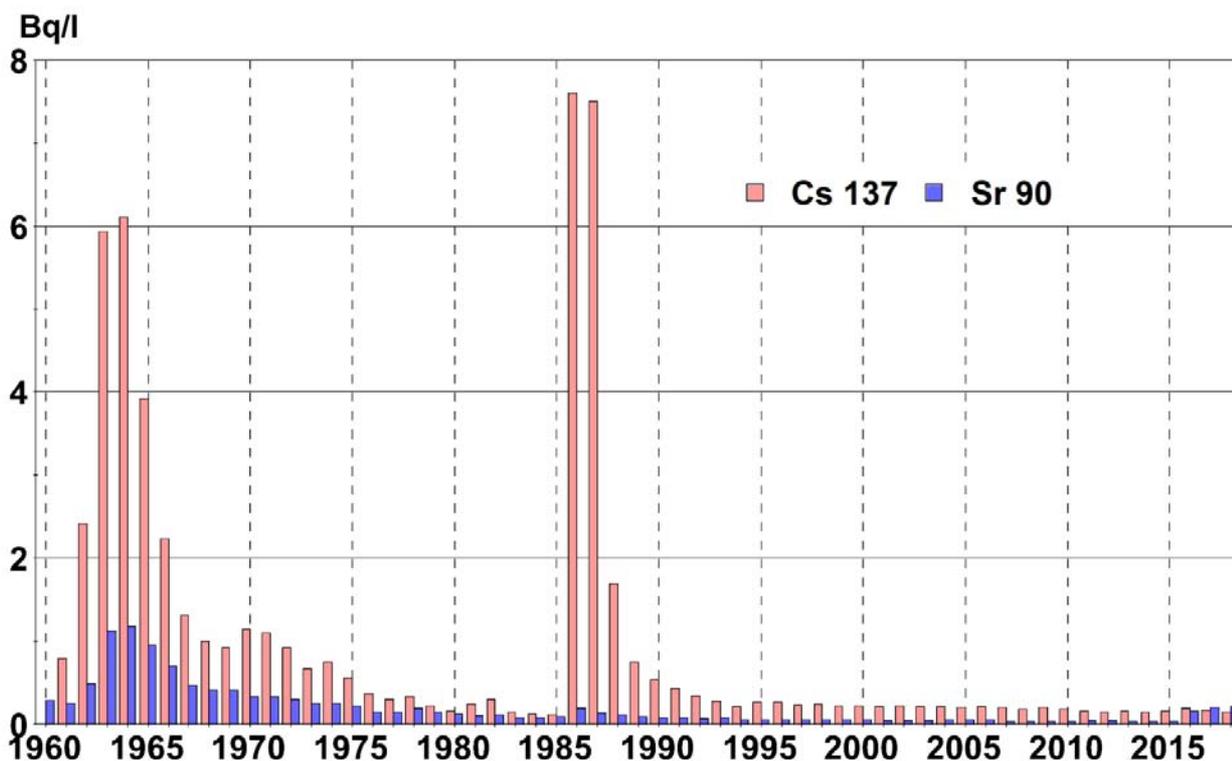


Abbildung B II 2.5-1 Jahresmittelwerte der Sr-90- und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland
(Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)

2.5.4 Milch in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz

Wie bei Boden und Bewuchs ist die Situation in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahr 1986 geprägt. Die aktuellen Aktivitätskonzentrationen liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind in [Tabelle T II.48](#) zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit Orten, die nicht in der Umgebung kerntechnischer Anlagen liegen, in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen. Die Milchproben aus der näheren Umgebung von Kernkraftwerken, an denen die Messungen vorgenommen werden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammel tanks/Stapeltanks von Molkereien/Betrieben, so dass aus dieser Sicht Mittelwertbildungen sinnvoll erscheinen. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden konnte.

2.5.5 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer

Im Folgenden werden Messergebnisse über spezifische Aktivitäten einzelner Radionuklide in Fischen, Fischereiprodukten, Krusten- und Schalentieren der Binnengewässer und der Meere für das Jahr 2018 vorgestellt und diskutiert.

Methodik

Bei der Auswertung der Daten wird im Allgemeinen nicht zwischen Fischarten unterschieden. Die Aktivitätsangaben von Fischen, Fischereiprodukten, Krusten- und Schalentieren sind in Bq/kg Feuchtmasse (FM) der essbaren Muskulatur angegeben, außer es wird explizit auf eine andere Bezugsgröße hingewiesen.

Für die Auswertung der Daten aus dem Süßwasserbereich nach dem IMIS-Routinemessprogramm werden jeweils mehrere Bundesländer zu Regionen zusammengefasst:

- Norddeutschland mit Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Berlin und Brandenburg
- Mitteldeutschland mit Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen
- Süddeutschland mit Baden-Württemberg und Bayern.

Bei der Bestimmung der spezifischen Aktivität einer Umweltprobe kann es aus diversen Gründen vorkommen, dass der ermittelte Messwert unterhalb der Nachweisgrenze des Messverfahrens liegt. Die Anzahl solcher Messwerte im Daten-

satz ist in den Tabellen jeweils in der Spalte „nn“ ausgewiesen. Für die statistische Auswertung der Messwerte in den oben genannten Regionen wird der Median als repräsentativer Mittelwertschätzer verwendet, weil die ermittelten Messwerte eher log-normalverteilt sind und der Mittelwert daher nicht verwendet werden darf. Um dabei auch die Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze einbeziehen zu können, wird das Verfahren nach „Helsel und Cohn“ eingesetzt [1].

Diskussion der Ergebnisse der Messstellen der Bundesländer und der Leitstelle

Die mittleren Cs-137-Aktivitäten von Fischen aus Binnenseen Norddeutschlands (Abbildung B II 2.5-2) lagen auch im Jahr 2018 etwa eine Größenordnung höher als jene aus Fischteichen und Fließgewässern (Tabelle T II.49). Dagegen verblieben die gemessenen spezifischen Aktivitäten in Fischen Süddeutschlands seit dem Jahr 2017 auf gleichbleibendem Niveau.

Die höchste spezifische Aktivität in Binnenseen wurde im Jahr 2018 in der Region Norddeutschland (25 Bq/kg in einem Flussbarsch, *Perca fluviatilis* im Stechlinsee) ermittelt (Tabelle T II.49). Die nächst-niedrigeren Messwerte stammten aus „Mitteldeutschland“. Dort wurden 16,7 Bq/kg FM (Tabelle T II.49) in einer Probe von Rapfen aus dem Schollener See in Sachsen-Anhalt, von 13,7 Bq/kg in einer Probe von Maränen (*Coregonus sp.*) aus dem Arendsee und von 13,3 Bq/kg in Hechten (*Esox lucius*) aus dem Schollener See ermittelt. Damit ist ein deutlicher Rückgang der maximalen Messwerte von Fischen aus Seen Sachsens-Anhalts seit dem Jahr 2007 zu verzeichnen (bis zu 190 Bq/kg im Schollener See und 45 Bq/kg im Arendsee; siehe auch Bericht 2007) [2].

In Fischen aus Teichhaltung wurden seit 1990 regelmäßig höhere Cs-137-Mittelwerte in der Region Norddeutschland verglichen mit der Region Süddeutschland beobachtet (Abbildung B II 2.5-3). Die ab 1994 vorliegenden Cs-137-Werte von Proben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands unterscheiden sich nicht von den in Abbildung B II 2.5-3 und Abbildung B II 2.5-4 dargestellten Verläufen für dieselben Gewässertypen Nord- und Süddeutschlands.

Für Forellen und Karpfen, den wirtschaftlich bedeutsamsten Nutzfischarten der Binnengewässer, wurden die mittleren Cs-137-Aktivitäten (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle T II.50 zusammengestellt. Der Vergleich der Cs-137-Werte ergibt, dass Forellen bis 1999 weniger Cäsium enthielten als Karpfen; ab 1999 sind die festgestellten Unterschiede nicht mehr signifikant (vgl. Abbildung B II 2.5-5).

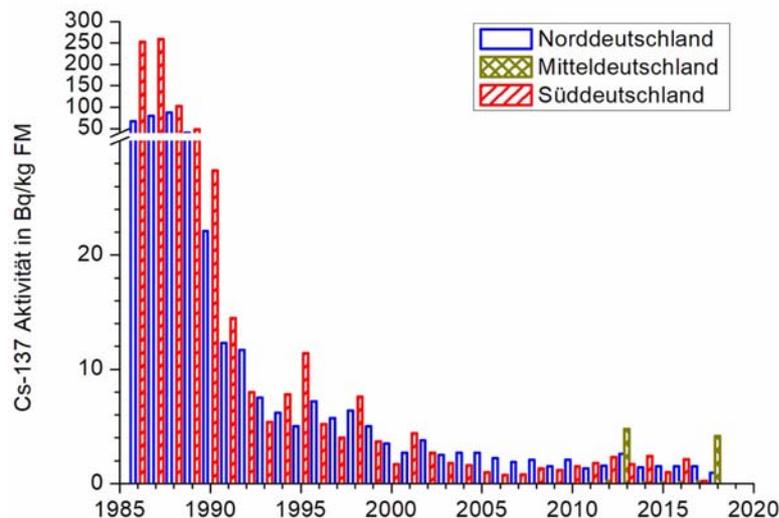


Abbildung B II 2.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität
in Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity
in fish from lakes in Bq/kg WW)

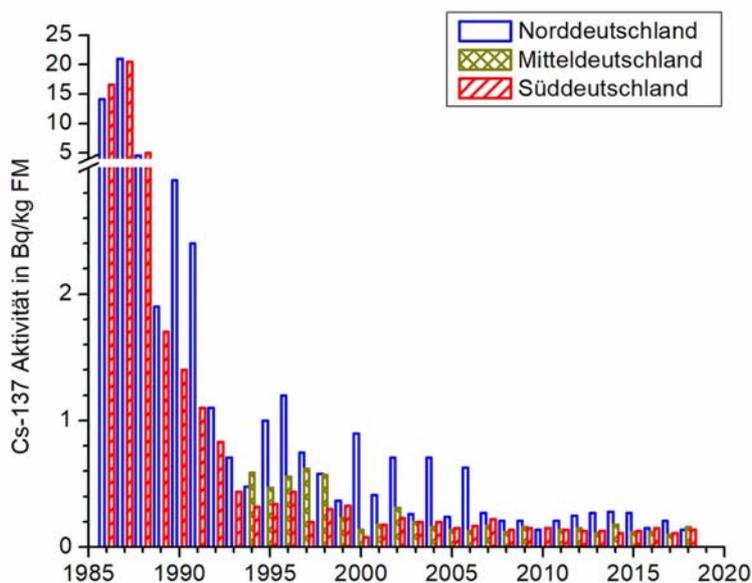


Abbildung B II 2.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms in Bq/kg WW)

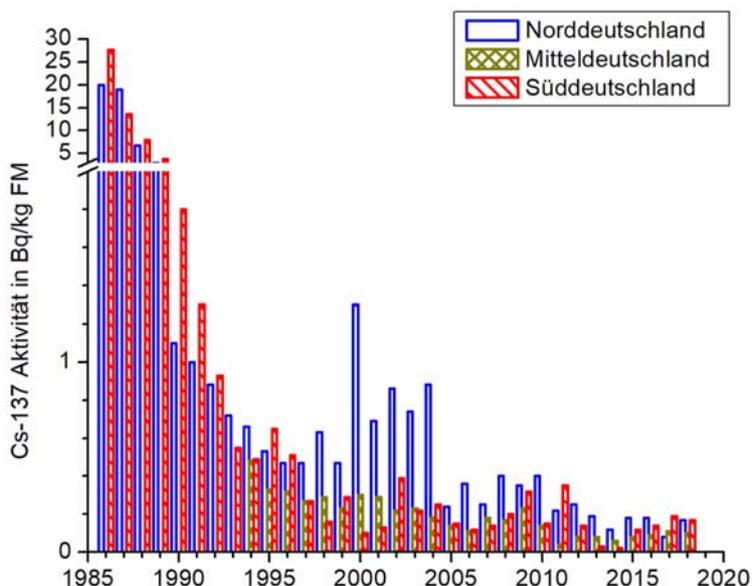


Abbildung B II 2.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers in Bq/kg WW)

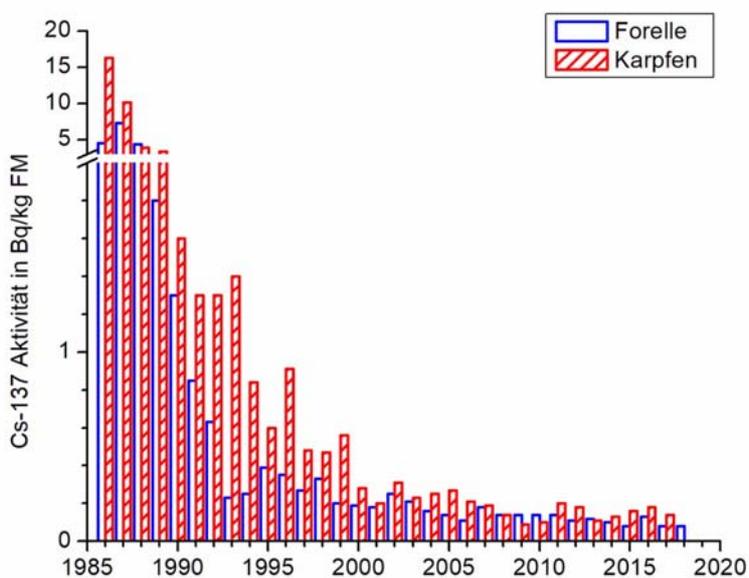


Abbildung B II 2.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in carp and trout in Bq/kg WW)

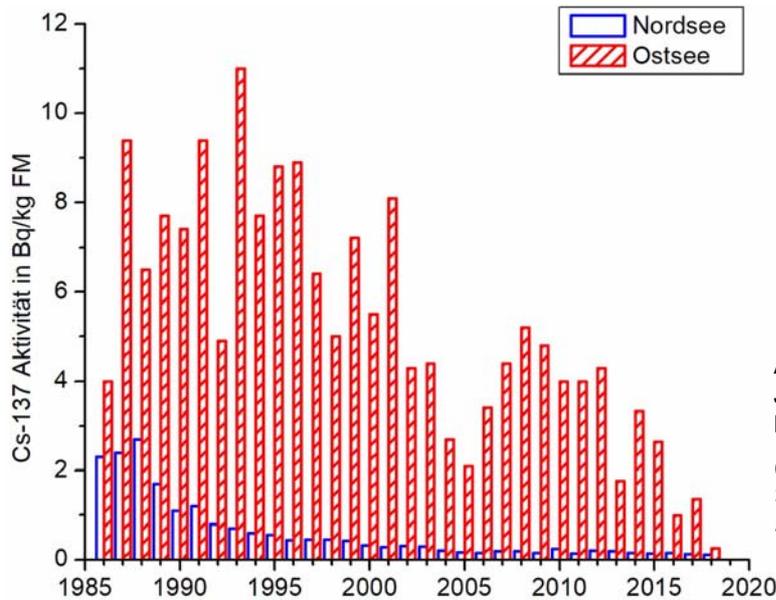


Abbildung B II 2.5-6
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas in Bq/kg WW)

In [Tabelle T II.51](#) sind die mittleren spezifischen Cs-137-Aktivitätswerte für Fische aus der Nord- und Ostsee zusammengestellt. In Biota aus der Nordsee blieben die Messwerte im Jahr 2018 unterhalb von 6,99 Bq/kg. Dieser Wert ist vergleichsweise hoch und wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Fische in dieser Probe aus der Ostsee im Skagerrak gefangen und dann der Nordsee zugeordnet wurden. Die mittlere Cs-137-Aktivität in Fischen der Nordsee beträgt 0,11 Bq/kg. Auch im Jahr 2018 waren die spezifischen Aktivitäten von Cs-137 in Fischen der Ostsee im Mittel höher als jene der Nordsee ([Tabelle T II.51](#)). Das liegt am höheren Wasseraustausch der Nordsee im Vergleich zur Ostsee, wodurch der Eintrag von Cs-137 aus dem Reaktorunglück von Tschernobyl in Fischen aus der Nordsee seit Mitte der 1990er Jahre nicht mehr nachweisbar ist (siehe [Abbildung B II 2.5-6](#)). Im Gegensatz dazu dominiert der Eintrag aus dem Reaktorunglück von Tschernobyl noch immer die ermittelte Cs-137-Aktivität in Fischen aus der Ostsee. Die in [Abbildung B II 2.5-6](#) festzustellende Variation der Jahresmittelwerte in Fischproben der Ostsee geht im Wesentlichen auf den stark schwankenden Anteil von Fischproben aus der östlichen Ostsee (in diesem Fall östlich Rügen) zurück, in denen in vergangenen Jahren eine höhere Cs-137-Aktivität nachgewiesen wurde. Gleichzeitig spiegeln sich auch Einbrüche von Frischwasser aus der Nordsee in den Messdaten wider. Insgesamt nähern sich die aktuellen Messwerte von Fischen aus der Ostsee den vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessenen Werten immer weiter an [3].

In Proben von Nordseeergarnelen (*Crangon crangon*) und Miesmuscheln (*Mytilus edulis*), die an der Nordseeküste entnommen wurden, wurde auch im Jahr 2018 keine Cs-137-Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt (vgl. [Tabelle T II.51](#)). Für Garnelen ist dieses seit dem Jahr 2006 und für Miesmuscheln seit dem Jahr 2013 ununterbrochen der Fall.

Wie in den vergangenen Jahren lagen die ermittelten Mediane für Cs-137 in Proben von Importen aus Fischerei und Aquakultur ([Tabelle T II.52](#)) auch im Jahr 2018 nur für Seefisch oberhalb der Nachweisgrenze.

Wegen der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 werden Importe aus dem Pazifik weiterhin separat betrachtet. Die Ergebnisse der Untersuchungen der deutschen Landesmessstellen auf Cs-137 sind in [Tabelle T II.53](#) zusammengestellt. Die im Jahr 2018 in Seefischen aus dem Pazifik nachgewiesenen Aktivitäten von Cs-137 lagen mit einem Median von 0,09 Bq/kg und einem Maximalwert von 0,29 Bq/kg in derselben Größenordnung wie die von Seefischen der Nordsee (Vergleich [Tabelle T II.53](#) und [Tabelle T II.51](#)). In Fischereierzeugnissen aus dem Pazifik konnte kein Wert für die spezifische Cs-137-Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt werden. Da in Krusten- und Schalentieren bereits seit dem Jahr 2011 kein Messwert oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt werden konnte, wurden diese im Berichtsjahr nicht mehr beprobt.

Die Ergebnisse der Sr-90-Analysen aus dem IMIS-Routinemessprogramm sind in [Tabelle T II.54](#) aufgeführt. Insgesamt bewegen sich die nachgewiesenen spezifischen Sr-90-Aktivitäten auf einem sehr niedrigen Niveau. In der Bewertung ist generell zu beachten, dass bereits geringfügige Änderungen der Haut- bzw. Grätenanteile der analysierten Fischproben einen erheblichen Einfluss auf die gemessenen spezifischen Sr-90-Aktivitäten bewirken können. Für Fische aus Nord- und Ostsee lagen der Leitstelle für das Jahr 2018 noch keine Ergebnisse von Sr-90-Bestimmungen vor.

Messergebnisse der Leitstelle im Routinemessprogramm

Während diverser Reisen mit dem Fischereiforschungsschiff (FFS) „Walther-Herwig III“ wurden Fischproben aus Ostsee, Nordsee und der Grönlandsee genommen. Die Ergebnisse sind, geordnet nach Seegebieten, Probentyp (Fischfilet- oder Gesamtfischproben) und Radionukliden, in [Tabelle T II.55](#) zusammengestellt.

Die Messwerte für Fische aus der Nordsee unterscheiden sich kaum von den Hintergrundwerten (z. B. Grönlandsee oder Barentssee (siehe auch [4]). Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield (UK, Irische See) und La Hague (F, Englischer Kanal), verglichen mit den 1980er und 1990er Jahren, deutlich geringere Mengen radioaktiver Stoffe ins Meer einleiten.

Literatur

- [1] Kanisch G, Kirchhoff K, Michel R, Rühle H, Wiechen A: „Genauigkeit von Messwerten, Empfehlungen zur Dokumentation“. Kapitel IV.4. In: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen. Stand: 1.10.2000, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/strisch_messungen_dokum_genau.pdf
- [2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 2008: „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2007, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-20100331975>
- [3] HELCOM, 2018: Thematic assessment of radioactive substances in the Baltic Sea, 2011-2015. Baltic Sea Environmental Proceedings No.151, 76 Seiten
- [4] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Bonn 2016: „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2014, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016091514109>

2.5.6 Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz

Im Berichtsjahr 2018 wurden für 27 kerntechnische Anlagen Werte gamma-spektrometrischer Messungen (vor allem Cs-137) an 80 Fischfiletproben und 9 Proben von Wasserpflanzen gemeldet. Sr-90-Messungen wurden an 14 Fischfiletproben berichtet. Die Proben stammen von 15 Fischarten bzw. ihren Mischungen inkl. „Friedfischen“ und „Raubfischen“ sowie Fischen ohne Angabe der Artbezeichnung. Die statistische Auswertung der Daten wurde wie im vorangegangenen [Kapitel 2.5.5](#) beschrieben durchgeführt. Die spezifischen Aktivitäten verschiedener Radionuklide, die in Fischen und Wasserpflanzen ermittelt wurden, sind in [Tabelle T II.56](#) - nach Fließgewässer und überwachter Anlage sortiert - zusammengestellt.

Die im Vergleich höheren Cs-137-Aktivitäten in Fischen aus dem Greifswalder Bodden, die im Rahmen der Überwachung des sich im Rückbau befindlichen Kernkraftwerks Greifswald genommen wurden, werden auf die höheren spezifischen Aktivitäten im Bereich der östlichen Ostsee zurückgeführt (siehe dazu auch [Kapitel 2.5.5](#)).

Bei den in [Tabelle T II.56](#) enthaltenen Messdaten von Wasserpflanzen, die als Indikatoren für im Wasser vorhandene künstliche Radionuklide aus genehmigten Ableitungen kerntechnischer und klinischer Anlagen dienen, sind wie in den vorherigen Jahren keine Auffälligkeiten festzustellen.

2.5.7 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung

Einzellebensmittel

Die Daten für Einzellebensmittel werden im Rahmen des neuen Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 erfasst. Das vor und nach dem Tschernobylunfall deponierte Cs-137 in Nahrungsmitteln führte auch 2018 zu Kontaminationen, die auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Im Vergleich zu den Vorjahren vermindert sich die Aktivitätskonzentration von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Wegen der kürzeren Halbwertszeit war Cs-134 nicht mehr nachweisbar. Auf einem sehr niedrigen Niveau befindet sich ebenfalls die Sr-90-Aktivitätskonzentration. Daten zu Weizen aus dem Inland ([Tabelle T II.57](#)) und aus Import ([Tabelle T II.58](#)), sonstige Getreide ([Tabelle T II.59](#)), Kalbfleisch ([Tabelle T II.60](#)), Rindfleisch ([Tabelle T II.61](#)), Schweinefleisch ([Tabelle T II.62](#)) und sonstiges Fleisch ([Tabelle T II.63](#)) finden sich im Tabellenteil. Ebenfalls niedrige Aktivitätskonzentrationen finden sich in Kartoffeln ([Tabelle T II.65](#)) und Gemüse ([Tabelle T II.66](#)). Allerdings werden bei Gemüse zum Teil höhere Nachweisgrenzen für Strontium gefunden als in früheren Jahren. Dies ist durch die Verwendung von Schnellmethoden begründet. Eine Übersicht über den zeitlichen Verlauf der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in einigen ausgewählten Lebensmitteln seit Beginn der Messungen 1960 findet sich in [Tabelle T II.70](#).

Eine Ausnahme bilden die meisten Wildfleischarten ([Tabelle T II.64](#)), Speisepilze ([Tabelle T II.67](#)) mit Ausnahme von Kulturpilzen, Wildbeeren ([Tabelle T II.68](#)) und Blütenhonig ([Tabelle T II.69](#)). Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln.

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung können in diesem Bericht wegen dessen begrenzten Umfangs nur in komprimierter Form wiedergegeben werden ([Tabelle T II.70](#), [Tabelle T II.71](#) und [Tabelle T II.72](#)).

In den Tabellen sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte aufgeführt. Bei den Messwerten fehlen in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keine Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen „<“ gekennzeichnet sind, die Realität, weil in der Berechnung zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegan-

gen sind, die über den realen Werten lagen. Aus diesen Gründen beinhaltet der gebildete Mittelwert einige Unsicherheiten, die bei der Interpretation der Jahresmittelwerte berücksichtigt werden müssen.

Gesamtnahrung

Die Daten für die Gesamtnahrung werden im Rahmen des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 aufgenommen. Die Beprobung der Gesamtnahrung (siehe [Tabelle T II.71](#)) dient der Abschätzung der ingestionsbedingten Strahlendosis gesunder Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. Dazu werden verzehrfertige Menüs der Gemeinschaftsverpflegung aus Kantinen, Heimen, Krankenhäusern und Restaurants vermessen. Daraus resultiert eine Mittelung der Verzehrsmenge und der Zusammensetzung.

Die mittlere tägliche Cs-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2018 mit 0,21 Bq/(d·p) (d = Tag; p = Person) nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. [Abbildung B II 2.5-7](#) zeigt die Aktivitätszufuhr in Bq pro Tag (d) und Person (p) seit 1960.

[Bq/(d·p)]

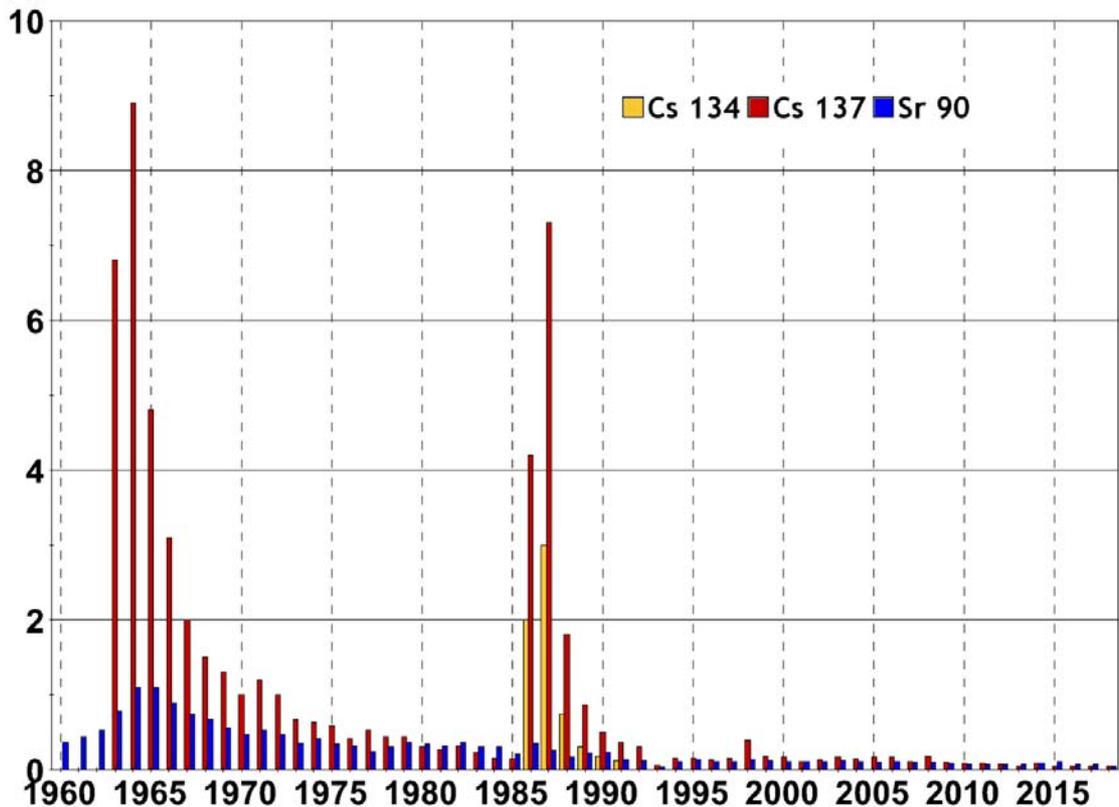


Abbildung B II 2.5-7 Jahresmittelwerte der Sr-90-, Cs-134- und Cs-137-Aktivitäten in der Gesamtnahrung (Annual mean values of Sr-90, Cs-134 and Cs-137 activities of whole diet)

Da in diese Mittelung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss. Für Sr-90, mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von 0,05 Bq/(d · p), gilt die gleiche Betrachtungsweise wie für Cs-137, allerdings muss hier noch berücksichtigt werden, dass die Messwerte nahe oder unterhalb der Nachweisgrenzen der angewendeten Analyseverfahren liegen, was zu einer zusätzlichen Unsicherheit führt.

Die mittlere jährliche ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr lässt sich somit wie folgt abschätzen:

Cs-137: 76,65 Bq/(a·p) (Vorjahr 80,30 Bq/(a·p))

Sr-90: 18,25 Bq/(a·p) (Vorjahr 29,20 Bq/(a·p))

2.5.8 Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz

Die Aktivitätskonzentrationen in Pflanzen in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Sie spiegeln damit die Situation bei den Böden wider, die nach wie vor durch die Depositionen nach den Kernwaffenversuchen und dem Unfall in Tschernobyl geprägt ist. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Gemüse und Getreide in [Tabelle T II.73](#) und [Tabelle T II.74](#), für Obst in [Tabelle T II.75](#) und für Kartoffeln in [Tabelle T II.76](#) zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

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

2.6 Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände

Die Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände überwacht routinemäßig vor allem Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel und Tees dienen. Der Schwerpunkt der Überwachung liegt bei gammastrahlenden Radioisotopen, insbesondere Cs-137, einem Falloutbestandteil der oberirdischen Kernwaffenversuche sowie des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Die spezifischen Aktivitäten des Radionuklids Cs-137 können je nach Art und lokalen Gegebenheiten, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaubereichen, erheblich variieren.

Im Jahr 2018 wurden 24 Proben untersucht, die mit Cäsium-137 am höchsten belastete Arzneimittelprobe war der Bitterklee ([Tabelle T II.77](#)). Die Messdaten von Islandmoos der Jahre 2000 - 2018 sind in [Tabelle T II.78](#) dargestellt. In [Tabelle T II.79](#) und [Tabelle T II.80](#) sind die Messdaten von Bitterkleeblättern der Jahre 2000-2018 und Gänsefingerkraut von 2000 bis 2015 aufgelistet. Bitterkleeblätter und Islandmoos zählten in den vergangenen Jahren zu den pflanzlichen Ausgangsstoffen mit den höchsten Cs-137-Kontaminationen.

Die spezifischen Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 lagen 2018 mit maximal 2 100 Bq/kg (TM) bei Edelsüßpaprika und minimal 73 Bq/kg (TM) bei Islandmoos im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite. Die Aktivitäten von K-40 schwanken im Wesentlichen entsprechend dem Kaliumgehalt der untersuchten Proben.

Zusätzlich wurden in der Leitstelle auch stichprobenartig Sonderproben untersucht. Die Ergebnisse sind in [Tabelle T II.81](#) zusammengefasst.

2.7 Abwasser und Klärschlamm

Bezüglich allgemeiner Aspekte zur Radioaktivitätsüberwachung von Abwasser und Klärschlamm wird auf den Grundlagenteil II Abschnitt 2.7 verwiesen.

Dem Bericht für das Jahr 2018 liegen die von den amtlichen Messstellen der Länder erhobenen Messergebnisse aus 90 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Messwerte für Abwässer beziehen sich auf gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und die Messwerte für Klärschlämme auf konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen, z. B. als teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme.

In [Tabelle T II.82](#) sind die Ergebnisse für K-40, Co-60, I-131, Cs-137, Sr-90 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 aus der allgemeinen Überwachung der Umweltradioaktivität von Abwasser und Klärschlamm für das Jahr 2018 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben, die als kleiner Nachweisgrenze (NWG) bewertet wurden, der kleinste und größte bestimmte tatsächliche Messwert sowie der daraus ermittelte arithmetische Mittelwert, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind. Zusätzlich wird der Median angegeben, bei dem das Ergebnis kleiner Nachweisgrenze (<NWG) gleichrangig wie ein tatsächlicher Messwert (=NWG) berücksichtigt wird. Zum Vergleich werden die Medianwerte des Vorjahres ebenfalls mit angegeben. Die im Rahmen der routinemäßigen Überwachung der Umweltradioaktivität im Abwasser nach Strahlenschutzgesetz (StrSchG) geforderten Nachweisgrenzen betragen für die gammaspectrometrische Untersuchung, bezogen auf Co-60, für die Sr-90-Bestimmungen und für die Bestimmung von Alphastrahlern (Uran- und Plutoniumisotopen) jeweils 0,1 Bq/l, im Klärschlamm jeweils 5 Bq/kg TM.

K-40 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind natürliche Bestandteile des Bodens und damit geogenen Ursprungs. Die Gehalte in Abwasser und Klärschlamm können in Abhängigkeit von den regionalen geologischen Gegebenheiten beträchtlich variieren. Die Messwerte im Jahr 2018 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 1 200 Bq/kg TM (Vorjahr bis 1 600 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 280 bzw. 250 Bq/kg TM (Vorjahr 150 bzw. 120 Bq/kg TM). Aus Kapazitätsgründen konnte die Messstelle in Baden-Württemberg für das Berichtsjahr 2018 keine U-234-, U-235-, U-238- und Sr-90-Bestimmungen an den Abwasser- und Klärschlammproben durchführen.

Das in der oberen Atmosphäre durch Einwirkung der kosmischen Strahlung gebildete und daher an der Erdoberfläche allgegenwärtige kurzlebige Be-7 (Halbwertszeit: 53 Tage) wurde wie stets im Klärschlamm mit spezifischen Aktivitäten bis zu 1 400 Bq/kg TM (Vorjahr 1 900 Bq/kg TM) bestimmt.

Das hauptsächlich in der Nuklearmedizin eingesetzte Radionuklid I-131 (Halbwertszeit: 8 Tage) wurde nur in einem Teil der Abwasser- und Klärschlammproben nachgewiesen (Medianwert für Klärschlamm: 24 Bq/kg TM; Maximalwert: 3 400 Bq/kg TM; Vorjahr 23 bzw. 690 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch Indium-111 (In-111; Maximalwert 20 Bq/kg TM). In vier Klärschlammproben der Kläranlage Hamburg-Köhlbrandhöft konnten sehr geringe Mengen von Plutonium nachgewiesen werden (Maximalwert Pu-238: 7,9 mBq/kg TM; Pu-(239+240): 11 mBq/kg TM). Zusätzlich wurde für die Anlage Arnsberg ein Pu-(239+240) Wert von 687 mBq/kg erhoben; mit 771 mBq/kg wurde diese Größenordnung bereits im Jahr 2007 für eine Probe in dieser Anlage dokumentiert.

Von den infolge der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten sind für Abwässer und Klärschlämme nur noch Cs-137 und Sr-90 von Bedeutung, wobei die Kontaminationen teilweise und bei Sr-90 sogar hauptsächlich durch den Fallout aus der Zeit der atmosphärischen Kernwaffenversuche von 1945 bis etwa 1980 bedingt sind. Das kurzlebigere Cs-134 (Halbwertszeit ca. 2 Jahre) war bis 2010 dagegen nicht mehr nachzuweisen. Infolge der Havarien mehrerer Reaktoren des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi konnten im Jahr 2011 in einigen wenigen Klärschlammproben erstmals auch wieder geringe Mengen an Cs-134 nachgewiesen werden (Maximalwert 2011: 1,4 Bq/kg TM). Für das Berichtsjahr 2018 wurde erstmalig seit 2012 ein tatsächlicher Cs-134-Messwert für die Kläranlage in Mainz mit 0,12 Bq/kg TM bei einer Nachweisgrenze von 0,14 Bq/kg TM ermittelt. Nachbeprobungen in dieser Kläranlage blieben ergebnislos, so dass die Ursache des einzelnen Auftretens dieser geringen spezifischen Cs-134-Aktivität nicht gänzlich zu klären ist.

Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 in Abwasserproben lag nahezu zu 100 % unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenze. Lediglich ein tatsächlicher Messwert für die Cs 137-Aktivitätskonzentration wurde für die Kläranlage in Gießen mit 0,025 Bq/l (NWG 0,031 Bq/l) angegeben. Der Median sämtlicher Werte lag bei <0,032 Bq/l (2017: <0,022 Bq/l). In 51 % der Proben konnte Sr-90 mit Werten zwischen 0,001 und 0,098 Bq/l nachgewiesen werden. Der Median aller Ergebnisse beträgt <0,0098 Bq/l (2017: 0,0064 Bq/l).

Die im Vergleich zu der Zeit vor der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl z. T. noch immer erhöhten Cs-137-Kontaminationen der Klärschlämme dürften vorwiegend auf mit dem Niederschlagswasser in die Kläranlagen eingeschwemmte kontaminierte Bodenpartikel zurückzuführen sein. Deutliche Unterschiede in den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme können dabei bis heute auf den regional unterschiedlichen Eintrag radioaktiver Stoffe nach der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl in Folge der starken Niederschläge Anfang Mai 1986 zurückgeführt werden. Die höchsten Werte treten etwa östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel auf. In [Tabelle T II.82](#) werden daher die Daten der süddeutschen Länder ergänzt durch Angaben, bei denen jeweils zwischen den gering und den höher kontaminierten Landesteilen unterschieden wird, z. B. Nord-Bayern und Süd-Bayern.

Die höchsten Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten im Jahr 2018 - wie seit bereits mehr als 15 Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 35 Bq/kg TM für Cs-137. Seit

2000 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittlere spezifische Aktivitäten: 140, 140, 110, 110, 98, 86, 71, 65, 56, 56, 47, 43, 46, 40, 31, 31, 25, 23 und 31 Bq/kg TM.

In **Abbildung B II 2.6-1** sind für alle Bundesländer die Cs-137-Gehalte der Klärschlämme der letzten Jahre dargestellt.

In den vorangegangenen Jahren war eine kontinuierliche Abnahme der Kontamination der Klärschlämme zu erkennen. Ergaben Messungen des Klärschlammes im südlichen Bayern im Jahr 1988 noch einen Jahresmittelwert an Cs-137 von 970 Bq/kg TM, so schwanken die spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm seit 2007 zwischen 8 und 20 Bq/kg TM. Auf

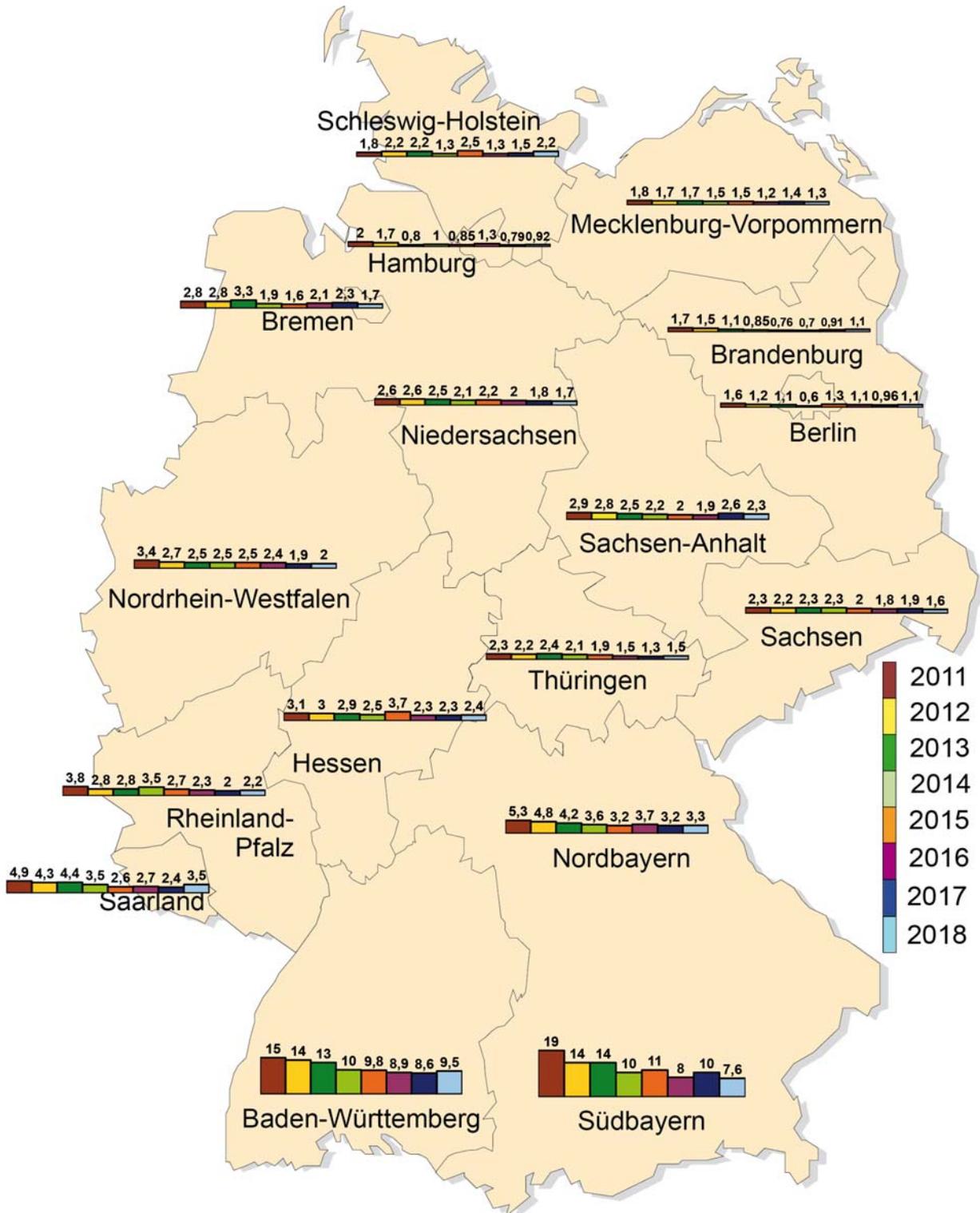


Abbildung B II 2.6-1 Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)
(Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal states)

Grund dieses inzwischen erreichten sehr niedrigen Niveaus der spezifischen Aktivität der Klärschlämme sind die zu beobachtenden Schwankungen hauptsächlich durch die messtechnisch bedingten Unsicherheiten erklärbar.

Zur Bewertung der Klärschlammkontamination aus radioökologischer Sicht ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 31 Bq/kg TM (Jahresmittelwert der Kläranlage Tannheim) in einer Menge von 0,5 kg auf einer Fläche von einem Quadratmeter innerhalb von drei Jahren (gemäß Klärschlammverordnung) ausgebracht, entspricht dies einer mittleren jährlichen Aktivitätszufuhr von etwa 5 Bq/m² Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flächenbelastung von zurzeit ca. 15 000 Bq/m² Cs-137 eine jährliche Aktivitätszufuhr in den Boden von weniger als 0,05 %. Hierbei ist aber anzumerken, dass eine solche berechnete Erhöhung der Cs-137-Aktivität durch den radioaktiven Zerfall von 2,3 % pro Jahr des bereits im Boden befindlichen Cs-137 in der Höhe um ein Vielfaches kompensiert wird.

2.8 Abfälle

Bezüglich allgemeiner Aspekte zur Radioaktivitätsüberwachung von Abfällen wird auf den Grundlagenteil [II Abschnitt 2.8](#) verwiesen.

Die Leitstelle Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Abfälle und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen überprüft routinemäßig die im Rahmen des Strahlenschutzgesetzes (StrSchG) erhobenen Messdaten von Abfällen (zur Beseitigung) und wieder verwertbaren Reststoffen, die von radioökologischer Bedeutung sein könnten. Zu überwachen sind nach dem Messprogramm für den Normalbetrieb dabei folgende Medien:

- Sickerwasser und oberflächennahes Grundwasser von Hausmülldeponien
- Asche, Schlacke, feste und flüssige Rückstände aus Rauchgasreinigungen von Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll, sowie
- in den Handel gelangender Kompost aus Kompostierungsanlagen.

Die im Jahr 2018 von den amtlichen Messstellen der Bundesländer übermittelten und in der Leitstelle ausgewerteten Daten für Co-60, Cs-137, I-131, K-40 und H-3 sind in [Tabelle T II.83](#) zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Gesamtanzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben, die als kleiner Nachweisgrenze (NWG) bewertet wurden, der kleinste und größte bestimmte tatsächliche Messwert sowie der daraus ermittelte, arithmetische Mittelwert, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind. Zusätzlich wird der Median angegeben, bei dem das Ergebnis kleiner Nachweisgrenze (<NWG) gleichrangig wie ein tatsächlicher Messwert (=NWG) berücksichtigt wird. Die im Rahmen des Strahlenschutzgesetzes in der routinemäßigen Überwachung geforderten Nachweisgrenzen betragen für die gammaspktrometrische Untersuchung der festen Medien 5 Bq/kg TM und für die flüssigen Medien 0,1 Bq/l, jeweilig bezogen auf Co-60. Für das Sickerwasser und oberflächennahe Grundwasser von Hausmülldeponien wird zusätzlich die Bestimmung von H-3 mit einer Nachweisgrenze von 10 Bq/l gefordert.

In [Tabelle T II.83](#) erfolgt für Cs-137 eine zusätzliche Differenzierung zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel, da diese etwa die Grenze zwischen den durch die Reaktor-katastrophe von Tschernobyl höher belasteten Gebieten in Bayern und im südöstlichen Baden-Württemberg und den weniger belasteten Gebieten in der übrigen Bundesrepublik bildet. Da eine regionale Abhängigkeit auf Grund der geringen Menge an Datenpunkten im südlichen Raum jedoch nicht valide zu stützen ist, werden in der Auswertung die Daten des gesamten Bundesgebietes betrachtet.

Im **Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien** wurde in 46 % der untersuchten Proben Cs-137 nachgewiesen. Die Werte der Cs-137-Aktivitätskonzentration liegen zwischen 0,0047 und 0,20 Bq/l (2017: 0,0072 und 0,18 Bq/l). Der Median aller Ergebnisse beträgt 0,043 Bq/l (2017: <0,047 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,29 Bq/l und 39 Bq/l gemessen und aus sämtlichen Ergebnissen ein Median von 12 Bq/l (2017: 0,32 bis 47 Bq/l, Median: 11 Bq/l) berechnet.

H-3 wurde in 80 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 0,88 Bq/l und 430 Bq/l (2017: 1,4 bis 220 Bq/l) nachgewiesen. Der Median liegt bei 20 Bq/l (2017: 18 Bq/l).

Bei den **Abfällen der Verbrennungsanlagen** ergibt sich folgendes Bild:

Der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche / Filterstaub** wurde in der Müllverbrennungsanlage Landshut mit 310 Bq/kg TM (2017: 230 Bq/kg TM ebenfalls in Landshut) gemessen. Der Median sämtlicher Ergebnisse wurde für Cs-137 mit 17 Bq/kg TM (2017: 16 Bq/kg TM) bestimmt.

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 290 Bq/kg TM bis 6 200 Bq/kg TM, der Median aller mitgeteilten Ergebnisse bei 1400 Bq/kg TM (2017: 260 bis 5 200 Bq/kg TM, Median: 1 400 Bq/kg TM).

Für das Berichtsjahr 2018 wurde in einer Reststoffprobe aus der Verbrennungsanlage Mannheim ein tatsächlicher Messwert für Co-60 mit 0,24 Bq/kg TM und einer Nachweisgrenze von 0,30 Bq/kg TM angegeben. Alle weiteren Proben wurden als kleiner Nachweisgrenze bewertet. Der Median aller Co-60-Ergebnisse beträgt <0,48 Bq/kg TM (2017: <0,45 Bq/kg TM).

In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,51 Bq/kg TM bis 310 Bq/kg TM bestimmt werden. Der Median aller I-131 Ergebnisse ist mit <1,2 Bq/kg TM (2017: <1,2 Bq/kg TM) angegeben worden.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt die maximale bestimmte spezifische Aktivität von Cs-137 47 Bq/kg TM (2017: 42 Bq/kg TM). Der Median aller Ergebnisse liegt bei 1,4 Bq/kg TM (2017: 1,4 Bq/kg TM).

In fast allen Proben konnte K-40 mit spezifischen Aktivitäten zwischen 120 Bq/kg TM und 2 100 Bq/kg TM (2017: 120 bis 2 200 Bq/kg TM) nachgewiesen werden. Für I-131 wurden für 8 von 66 Proben tatsächliche Messergebnisse im Bereich von 0,41 Bq/kg TM bis 34 Bq/kg TM (2017: 0,97 bis 32 Bq/kg TM) ausgewiesen.

Für den Berichtszeitraum sind wie im Vorjahr alle Co-60-Werte als kleiner Nachweisgrenze bewertet worden. Ein Median von <0,22 Bq/kg TM (2017: <0,29 Bq/kg TM) wurde für das Jahr 2018 berechnet.

Bei den **festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** (Gips und Sorptionsprodukte) konnte in 69 % der untersuchten Proben Cs-137 nachgewiesen werden. Der größte tatsächlich bestimmte Messwert lag bei 55 Bq/kg TM (2017: 100 Bq/kg TM). Der Median sämtlicher Ergebnisse des Bundesgebietes beträgt 1,6 Bq/kg TM (2017: 2,5 Bq/kg TM).

Die spezifischen K-40-Aktivitäten liegen im Bereich von 1,8 Bq/kg TM bis 1 800 Bq/kg TM (2017: 2,5 bis 2 900 Bq/kg TM) mit einem Median sämtlicher Ergebnisse von 190 Bq/kg TM (2017: 220 Bq/kg TM).

Für I-131 wurden in 66 % der Proben spezifische Aktivitäten von 0,50 Bq/kg TM bis 160 Bq/kg TM (2017: 0,23 bis 44 Bq/kg TM) bestimmt.

Bei den **flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** wurden Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 zwischen 0,046 Bq/l und 1,7 Bq/l (2017: 0,042 Bq/l bis 3,9 Bq/l) angegeben. Der Median aller Ergebnisse liegt bei <0,091 Bq/l (2017: <0,099 Bq/l).

I-131 wurde in 25 von 33 untersuchten Proben mit Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,18 Bq/l und 500 Bq/l (2017: 0,12 und 440 Bq/l) bestimmt; ein Median von 4,0 Bq/l (2017: 1,8 Bq/l) wurde über sämtliche Werte berechnet.

Die Untersuchung des **Kompostes** ergab für Cs-137 spezifische Aktivitäten zwischen 1,7 Bq/kg TM und 34 Bq/kg TM (2017: 1,3 bis 28 Bq/kg TM). Der Median aller Ergebnisse beträgt 4,4 Bq/kg TM (2017: 4,9 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 240 Bq/kg TM bis 780 Bq/kg TM, der Median aller erhobenen Daten bei 490 Bq/kg TM (2017: 250 bis 830 Bq/kg TM, Median: 500 Bq/kg TM).

Zur radiologischen Beurteilung des Kompostes aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnereien, Baumschulen, Parkanlagen usw.) verwendet wird. Inwiefern dieser zusätzlich aufgebrachte Kompost zu einer signifikanten Erhöhung der Cs-137-Aktivität im angebauten Produkt führen kann, hängt nicht nur von der Cs-137-Aktivitätskonzentration im Kompost und im Boden ab. Vielmehr beeinflussen chemische, physikalische und biologische Prozesse im Boden, physiologische Prozesse in der Pflanze selbst sowie externe Faktoren wie Klima oder Bodenbearbeitungspraxen, in welcher Größenordnung Cs-137 in einer Pflanze angereichert werden kann [1, 2]. In der Literatur sind Transferfaktoren Boden-Pflanze für Böden mit hohem Anteil an organischer Substanz tendenziell höher angegeben als für ton- bzw. lehmhaltige Böden [1, 2, 3]. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (siehe [Seite 132](#)) differenziert in diesem Zusammenhang nicht und gibt unabhängig von Bodentyp und Pflanze einen Transferfaktor von 0,05 an. Vorausgesetzt, eine Pflanze würde auf einem Boden nur bestehend aus dem maximal mit Cs-137 angereicherten Kompost von 34 Bq/kg TM angepflanzt werden, so würde das nach § 47 StrSchV zu einer Aktivitätskonzentration in der Pflanze von bis zu 1,7 Bq/kg TM führen. Wäre die Pflanze als Importprodukt für den Handel in Deutschland vorgesehen, so würde dieses den für landwirtschaftliche Erzeugnisse (ausgenommen Milch und Kleinkindnahrung) in der EU-Verordnung (Nr. 733/2008 und Nr. 1048/2009 [siehe [Seite 134](#)]) hinterlegten Grenzwert von 600 Bq/kg für Cs-137 bezogen auf die Frischmasse weit unterschreiten. Berechnet man die Dosis anhand der maximal aufgenommenen Aktivitätskonzentration von 1,7 Bq/kg TM in der Pflanze (Annahme: Wurzelgemüse, Kartoffel, Säfte) für die Altersgruppe <1 a und den Erwachsenen (>17 a), würde man Werte von 3,2 und 3,6 μ Sv/a erhalten (siehe [Seite 132](#)), welche deutlich unterhalb des Dosisgrenzwertes von 1 mSv/a liegen. Somit würde die Nutzung des Kompostes bzw. der Verzehr des angebauten Produktes keine gesundheitliche Gefährdung für die Bevölkerung darstellen.

Literatur

- [1] Rigol A, Vidal M, Rauret G: An overview of the effect of organic matter on soil-radiocaesium interaction: implications in root uptake. *Journal of Environmental Radioactivity* (58): 191-216, 2002
- [2] Ehlfen S, Kirchner G: Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review. *Journal of Environmental Radioactivity* (58): 97-112, 2002
- [3] IAEA Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Reports Series 472: 47-48, Vienna 2010

2.9 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Körperaktivitäten von Cs-137 und Cs-134 durchgeführt. Seit 1998 konnte bei den Messungen kein Cs-134 mehr nachgewiesen werden. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind in den Tabellen T II.84, II.85 und T II.86 zusammengefasst und in den Abbildungen B II 2.8-1 bis B II 2.8-4 dargestellt. Unter Jahresmittelwert wird hier der Mittelwert über die Monate verstanden, in denen Messwerte vorliegen. Dargestellt sind die Ergebnisse der Ganzkörpermessstelle der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS am Standort Neuherberg für die Referenzgruppe München sowie der Messstelle des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Die übrigen Messstellen haben die Messungen an Referenzgruppen größtenteils eingestellt. Ein Trend für den Gehalt an Cs-137 im Körper kann nicht mehr angegeben werden, da fast alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

In den Abbildungen B II 2.8-5 und B II 2.8-6 sind die bisher vorliegenden Ergebnisse von Referenzgruppenmessungen (getrennt für Frauen und Männer) an verschiedenen Orten in Deutschland zusammengefasst dargestellt. Es ist die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichte kumulierte Dosis aus inkorporiertem Cs-137 angegeben. Dieser Dosiswert ergibt sich aus der fortlaufenden Summierung der monatlichen effektiven Dosen. Allerdings liegen die Messergebnisse in den letzten Jahren überwiegend unterhalb der Erkennungsgrenze der Messanlagen, so dass die effektiven Dosen Maximalwerte darstellen. Für Männer aus dem Raum München z. B. beträgt diese kumulierte Dosis für die Zeit seit dem Unfall in Tschernobyl maximal 0,23 mSv.

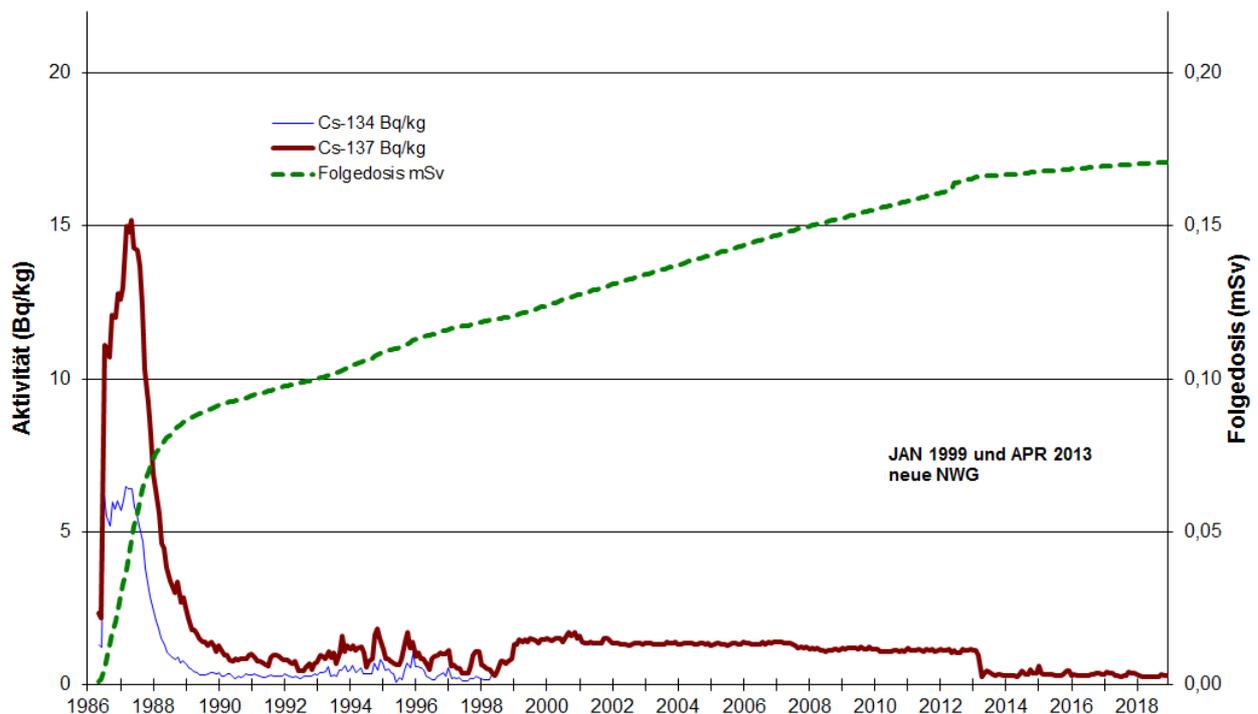


Abbildung B II 2.8-1 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: BfS-München, Frauen
(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: BfS Munich, women)

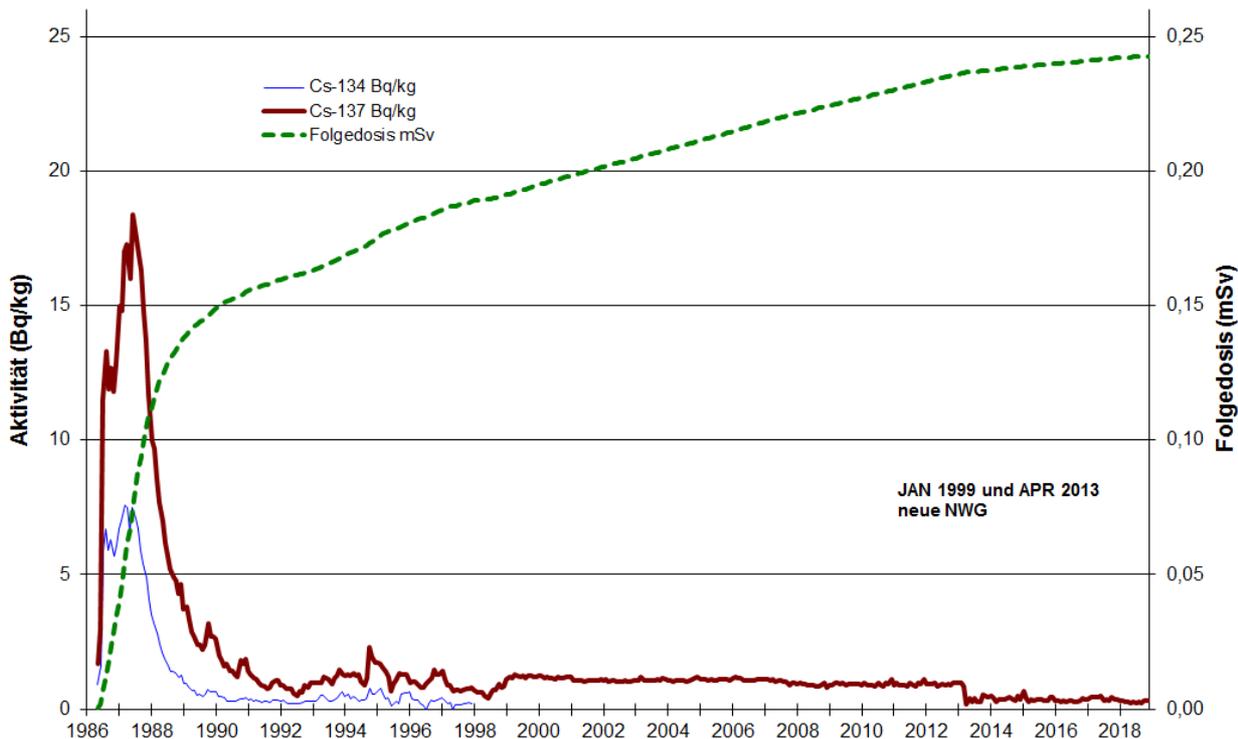


Abbildung B II 2.8-2 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: BfS-München, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: BfS Munich, men)*

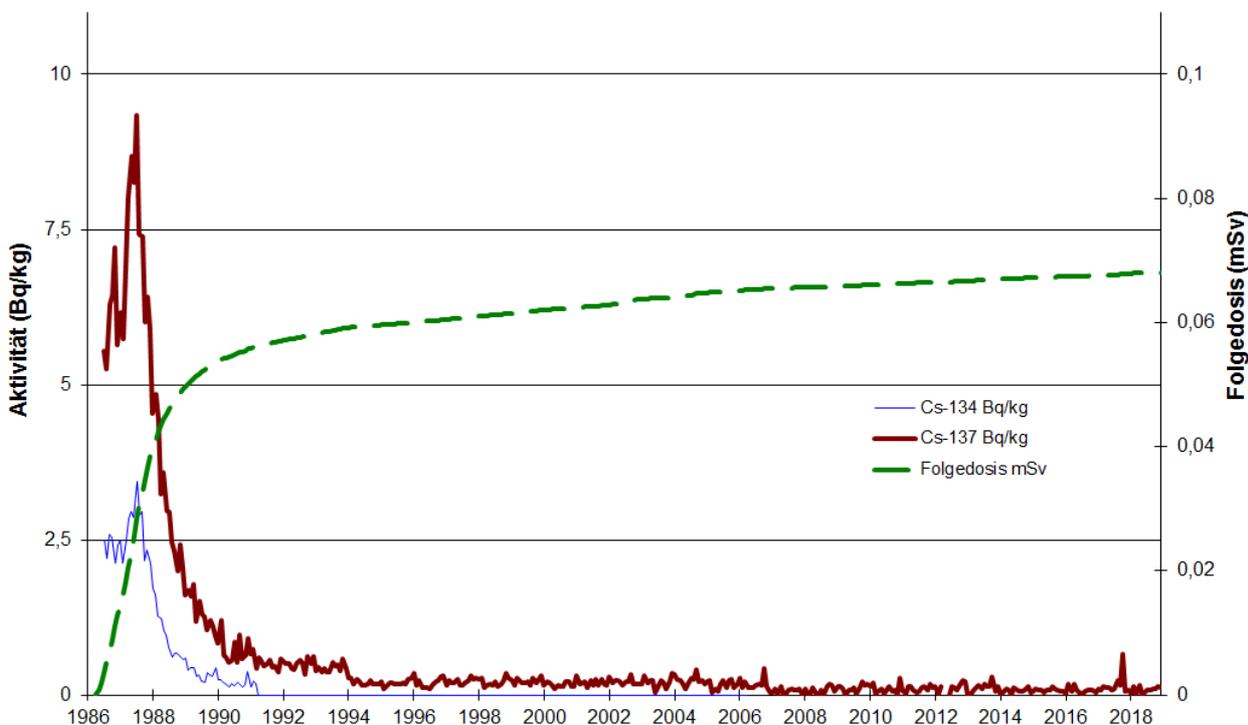


Abbildung B II 2.8-3 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: Karlsruhe, women)*

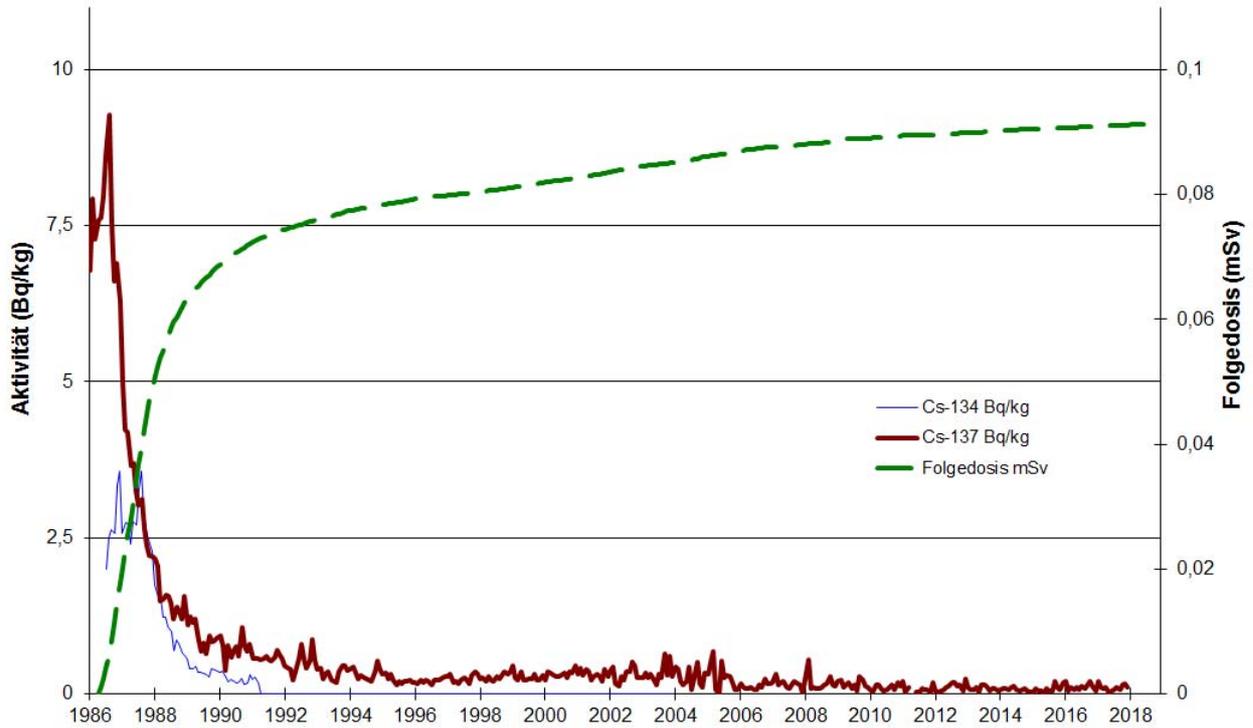


Abbildung B II 2.8-4 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: Karlsruhe, men)*

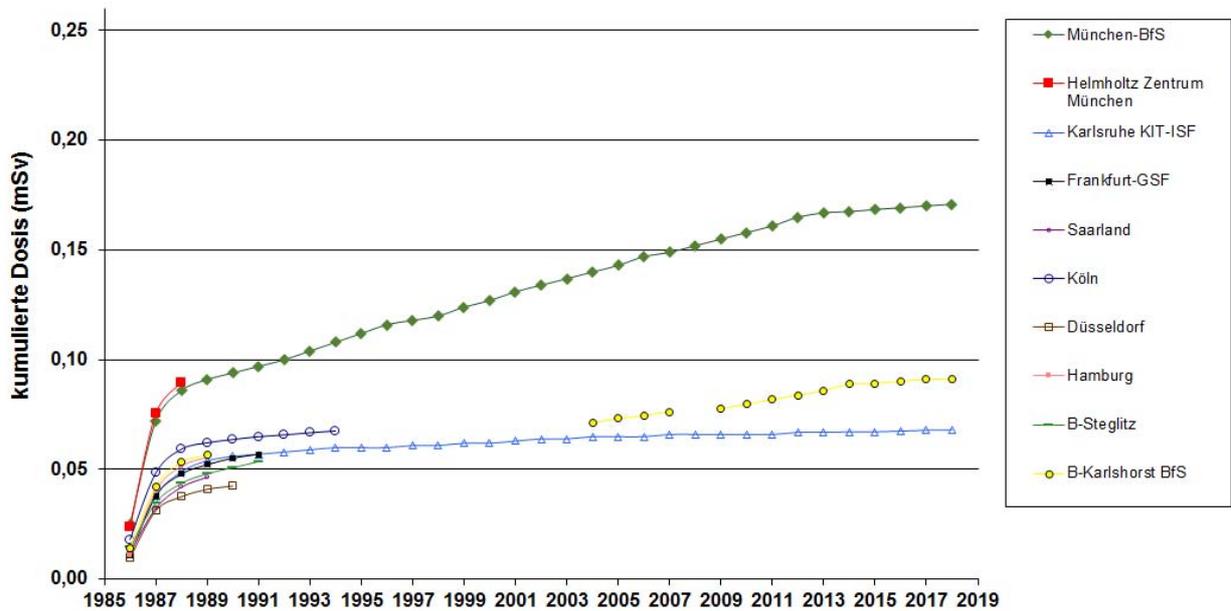


Abbildung B II 2.8-5 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
 Vergleich der Referenzgruppen: Frauen
*(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
 Comparison of reference groups: women)*

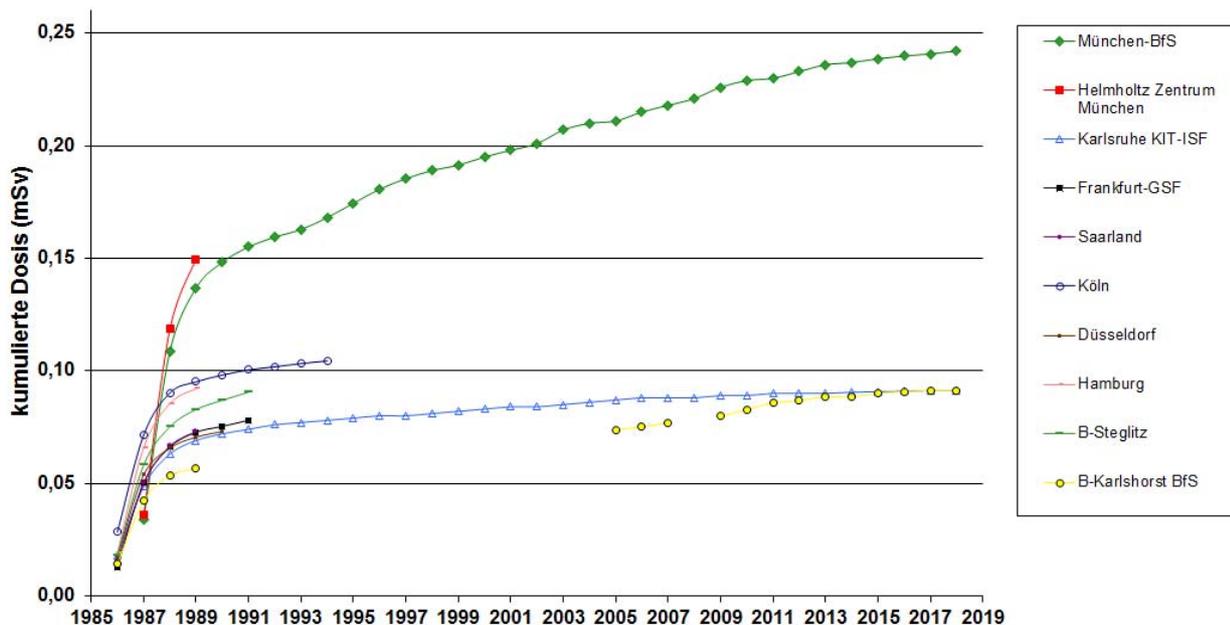


Abbildung B II 2.8-6 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Männer
(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
Comparison of reference groups: men)

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

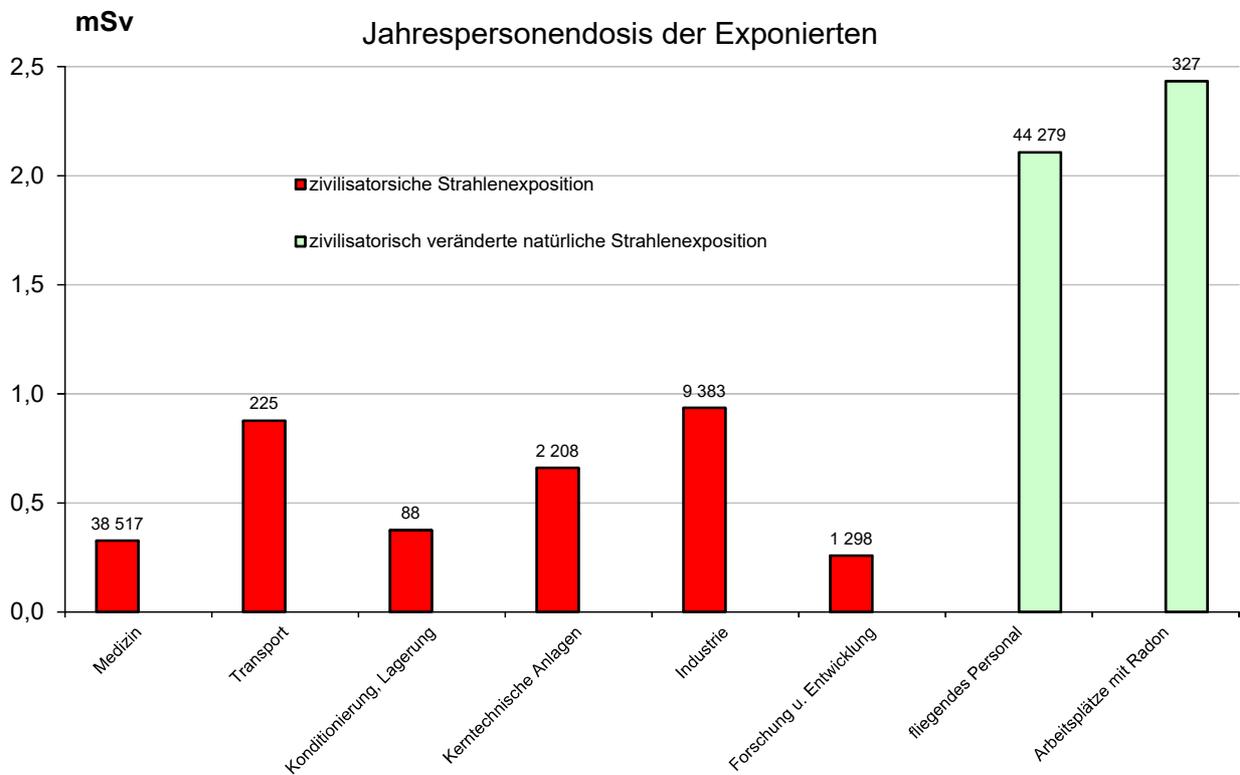


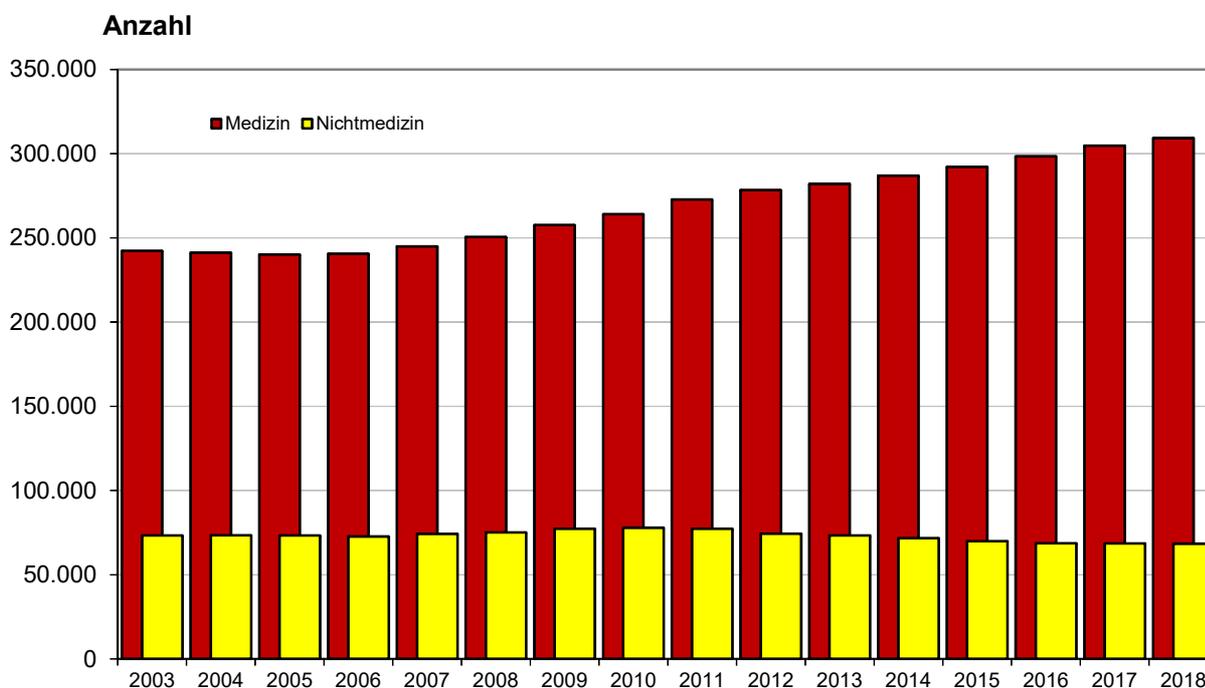
Abbildung B III-1 Mittlere Jahrespersonendosis und Anzahl der beruflich strahlenexponierten Personen mit Jahresdosen > 0 mSv in Deutschland im Jahr 2018 in ausgewählten Tätigkeitsbereichen (Zahlen über den Balken: Anzahl der exponierten Personen)

(Mean annual personal dose and number of occupationally exposed persons with annual personal doses exceeding 0 mSv in selected fields of activity in Germany during 2018 - numbers above the bar: number of persons)

1. Personendosisüberwachung

1.1 Dosimeterüberwachte Personen

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen - mit Ausnahme der kosmischen Strahlung (siehe 2. „Überwachung des fliegenden Personals“) und beruflicher Radonexposition - besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Nicht immer führt die Ausgabe eines Dosimeters an eine überwachte Person zu einer Dosisermittlung durch eine Messstelle (Dosimeter gehen verloren oder werden beschädigt, Filmplaketten werden falsch eingelegt oder außerhalb der Kassette bestrahlt u. a. m.). Wenn aus solchen Gründen die zuständige Messstelle für eine Person im Überwachungszeitraum keine Dosis ermitteln kann, dann teilt sie dies der zuständigen Aufsichtsbehörde mit. Diese kann dann anhand definierter Kriterien und unter Berücksichtigung der Expositionsumstände eine amtliche Ersatzdosis festsetzen. Es kommt auch vor, dass nach einer Dosisfeststellung eine Nachprüfung der Expositionsumstände veranlasst wird, weil z. B. die Überprüfungsschwelle von 5 mSv überschritten wurde (z. B.: Arbeitsmittel mit Dosimeter hing im Röntgenraum und sein Besitzer war im Urlaub, Dosimeter wurde absichtlich im Direktstrahl bestrahlt). Auch in diesen Fällen, in denen der festgestellte Dosiswert keine Personendosis sondern eine Ortsdosis ist, wird von der Aufsichtsbehörde eine Ersatzdosis festgesetzt. Sofern in solchen Fällen Ersatzdosiswerte festgesetzt und dem Strahlenschutzregister mitgeteilt wurden, sind diese in der folgenden Auswertung berücksichtigt. Die Gesamtzahl der überwachten Personen, aufgeteilt in die Bereiche „Medizin“ und „Nichtmedizin“, ist der [Abbildung B III 1.1-1](#) zu entnehmen.



**Abbildung B III 1.1-1 Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen
(Number of persons monitored with dosimeters)**

Die amtliche Personendosimetrie bietet den zuständigen Aufsichtsbehörden die Möglichkeit, die Einhaltung der Grenzwerte der Körperdosis nach § 78 StrlSchG bei den beruflich strahlenschutzüberwachten Personen zu kontrollieren. Der Grenzwert der effektiven Dosis ist dabei gegenüber dem alten Strahlenschutzrecht unverändert und beträgt 20 mSv im Kalenderjahr. Er gilt für die Mehrzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen; ausgenommen sind Jugendliche und Schwangere, für die strengere Grenzwerte gelten. Der Grenzwert von 20 mSv wurde im Jahr 2018 von drei Personen überschritten. Bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten sind dies 0,0008 % ([Abbildung B III 1.1-2](#)).

Die Zusammenstellung der Fälle mit Jahrespersonendosen über 20 mSv gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte. Ein quantitatives Bild der Strahlenexposition aller Überwachten vermitteln die Häufigkeitsverteilungen der Jahrespersonendosen. Die Jahrespersonendosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister mitgeteilten, gültigen Personendosiswerte einer Person im Kalenderjahr. Die Dosisanteile durch natürliche externe Strahlenexposition werden dabei subtrahiert. In der [Abbildung B III 1.1-3](#) ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die Anzahl von Personen in verschiedenen Dosisintervallen angegeben. Liegt die Strahlenexposition während des ganzen Jahres unterhalb der unteren Erkennungsgrenze für Ganzkörperdosimeter von 0,05 mSv, dann wird von der Messstelle für die überwachte Person eine Jahrespersonendosis von 0 mSv festgelegt. Dosiswerte zwischen 0,05 mSv und 0,09 mSv werden auf 0,1 mSv aufgerundet. Dies traf für den größten Teil der über-

Anzahl

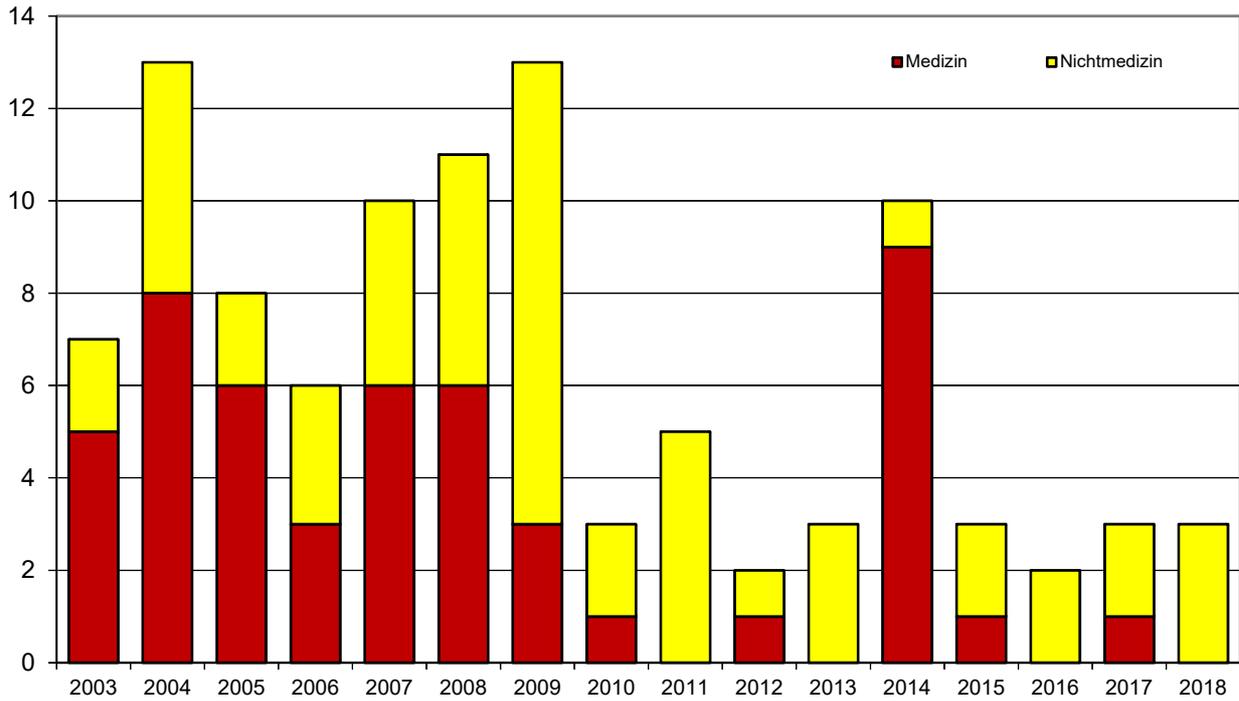


Abbildung B III 1.1-2 Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv
(Number of persons monitored using dosimeters exhibiting annual personal doses above 20 mSv)

Anzahl der Überwachten

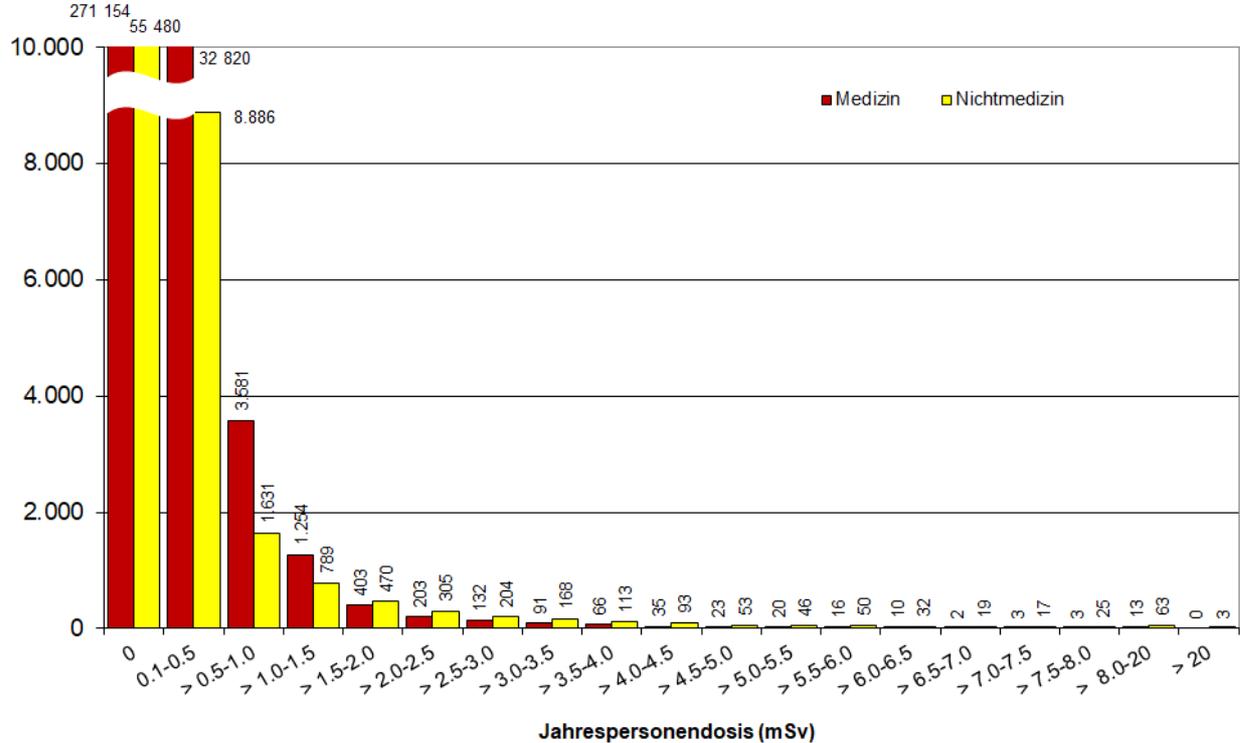


Abbildung B III 1.1-3 Verteilung der Jahrespersonendosen der mit Dosimetern überwachten Personen im Jahr 2018
(Distribution of annual personal doses of employees - monitored using dosimeters in 2018)

wachten Personen zu. Eine messbare berufliche Strahlenexposition erhielten deshalb nur 14 % aller mit Personendosimetern überwachten Personen.

Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister gemeldeten gültigen Personendosiswerte im Kalenderjahr. [Abbildung B III 1.1-4](#) zeigt die Zeitreihe der Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis im Jahr 2018 betrug 0,06 mSv. Bildet man den Mittelwert über jene Personen, die einer messbaren Strahlenexposition ausgesetzt waren (ca. 51 000 Personen), so ergibt sich für diese Gruppe der Exponierten eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,46 mSv (Vorjahr: 0,45 mSv).

Ist vorauszusehen, dass im Kalenderjahr die Teilkörperdosis für die Hände, die Haut oder die Augenlinse festgelegte Dosiswerte überschreiten kann, so ist die Dosis für diese Körperteile durch weitere Dosimeter festzustellen. Diese Überwachung wurde im Jahr 2018 für die Hände bei ca. 24 000 Personen durchgeführt. Von diesen 24 000 Überwachten wiesen ca. 7 000 Personen Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv auf (untere Erkennungsgrenze für Teilkörperdosimeter). Im Jahr 2018 kam es zu drei Überschreitungen des Grenzwertes für Hände. Diese drei Personen haben den Grenzwert der effektiven Dosis von 20 mSv nicht überschritten.

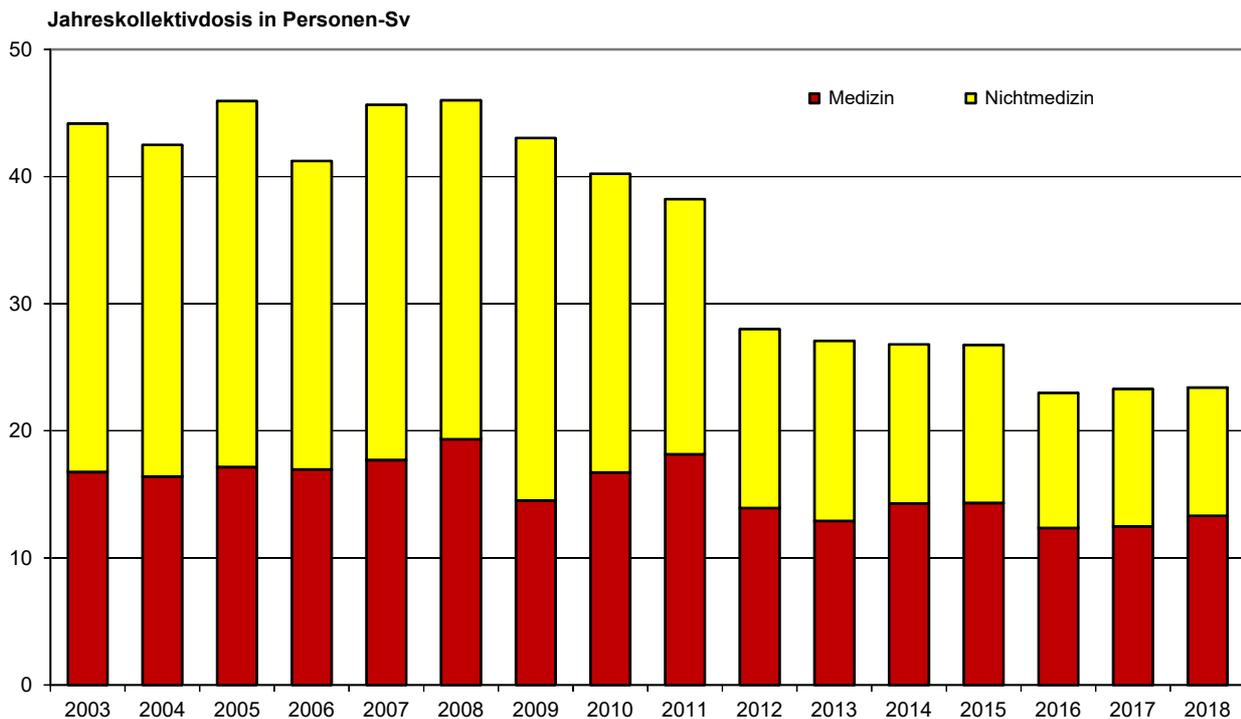


Abbildung B III 1.1-4 Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(Annual collective dose of the persons monitored with personal dosimeters)

1.2 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen

Eine wichtige Teilgruppe der mit Personendosimetern Überwachten ist das Eigen- und Fremdpersonal in kerntechnischen Anlagen, insbesondere in Kernkraftwerken zur Stromproduktion. Grundlage für die folgenden Zeitverläufe sind Erhebungen der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Schwankungen bei der Jahreskollektivdosis hängen überwiegend mit Änderungen bei der Anzahl des eingesetzten Fremdpersonals zusammen. In Jahren mit vermehrten Revisionen wird verstärkt Fremdpersonal eingesetzt, das dosisintensive Wartungsarbeiten durchführt. Die Werte verringerten sich in den letzten Jahren. Ursache des Rückgangs ist das Abschalten der Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel im Jahr 2011, Grafenrheinfeld im Jahr 2015 sowie Gundremmingen B im Jahr 2017. Jahrespersonendosen von mehr als 20 mSv traten 2018 bei Beschäftigten in Kernkraftwerken und sonstigen kerntechnischen Anlagen nicht auf. Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Kernkraftwerken sind in den Abbildungen [B III 1.2-1](#) und [B III 1.2-2](#) enthalten.

2. Überwachung des fliegenden Personals

Mit der Strahlenschutzverordnung vom 20.07.2001 wurden die Anforderungen der EU-Richtlinie 96/29 Euratom in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist damit auch fliegendes Personal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann. Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit Computerprogram-

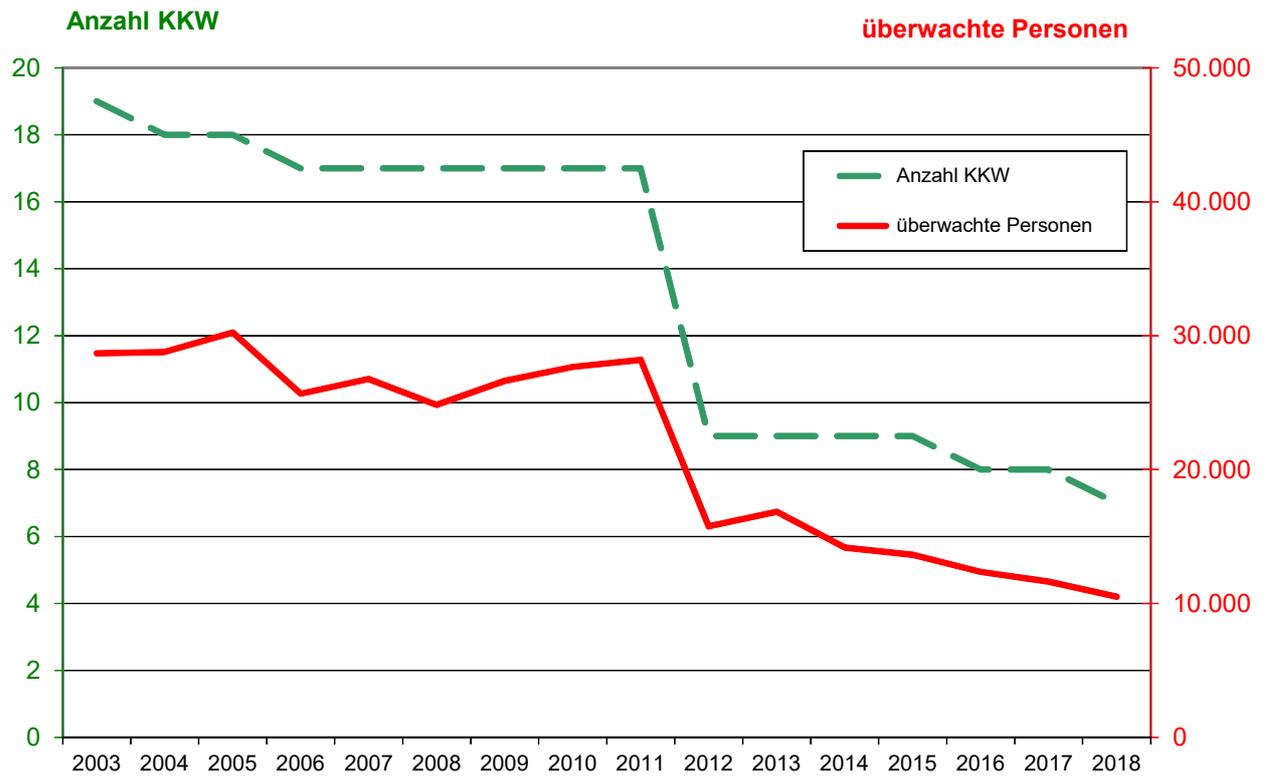


Abbildung B III 1.2-1 Anzahl Kernkraftwerke zur Stromerzeugung und überwachtetes Personal
(Number of NPPs for power generation and occupationally exposed persons)

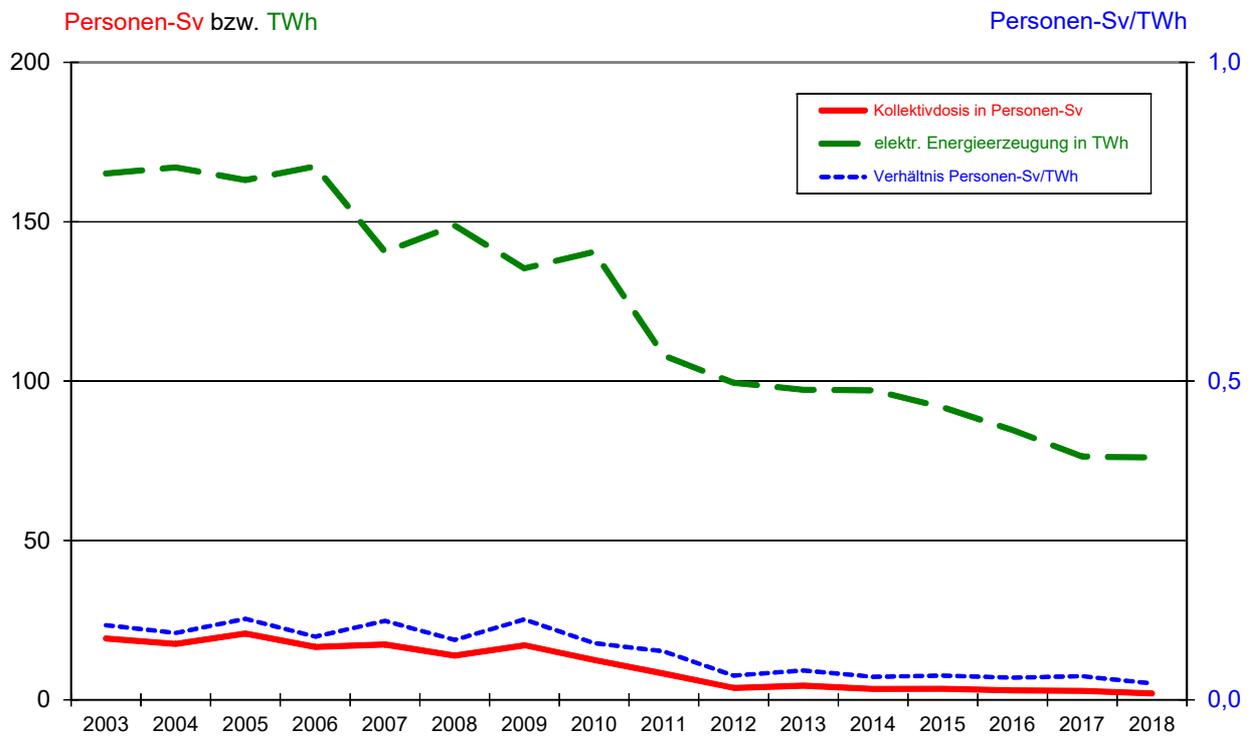


Abbildung B III 1.2-2 Erzeugte Energie, Kollektivdosis und Dosis pro Energie
(Produced energy, collective dose and dose/energy)

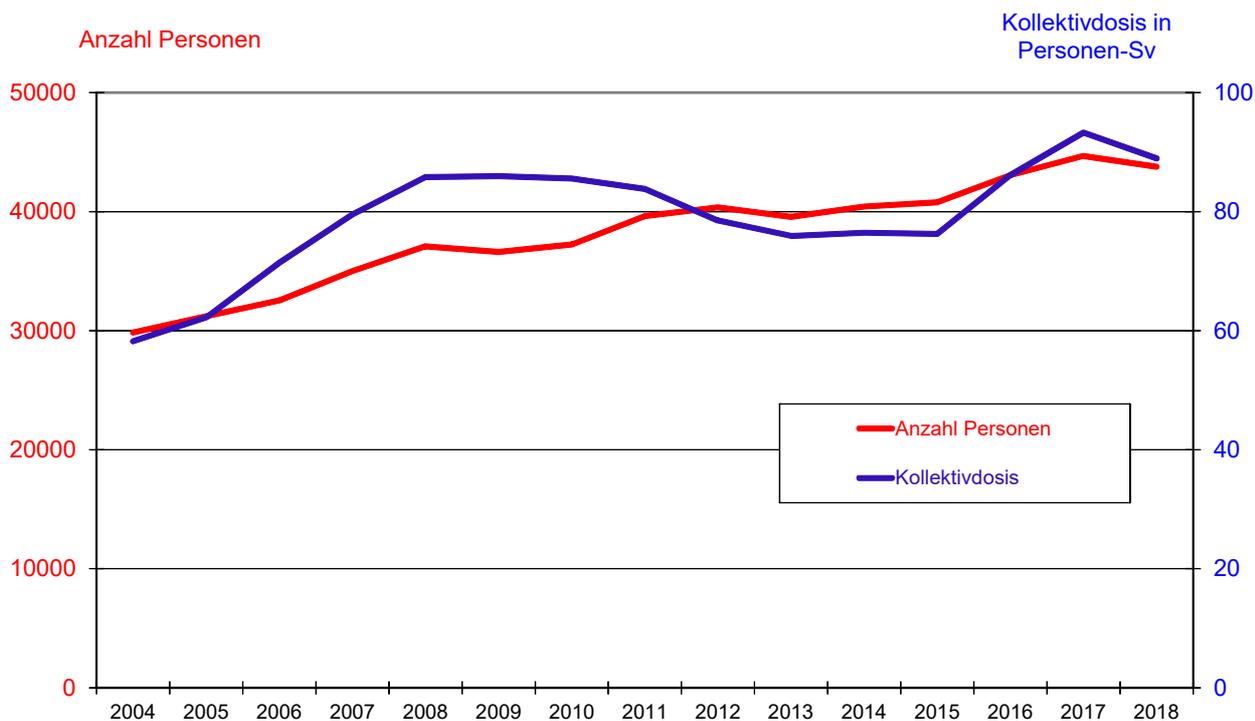


Abbildung B III 2-1 Anzahl Personen des fliegenden Personals und Jahreskollektivdosis (Number of aircraft crew personnel and annual collective dose)

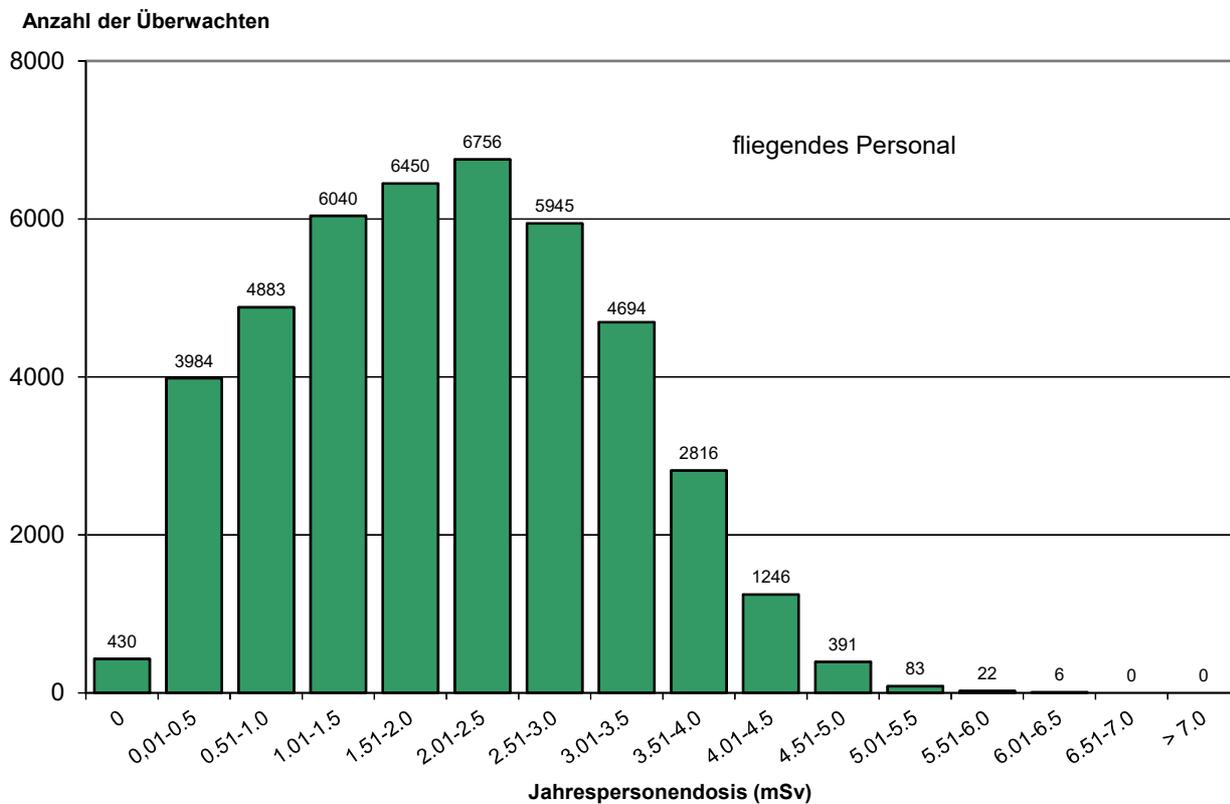


Abbildung B III 2-2 Verteilung der Jahrespersonendosis für fliegendes Personal 2018 (Distribution of the annual personal doses of aircraft crew personnel 2018)

men die Dosiswerte der kosmischen Strahlenexposition, ordnen diese personenbezogen ihrem Personal zu und geben diese über das Luftfahrt-Bundesamt an das Strahlenschutzregister des BFS weiter.

In Deutschland wurden im Jahr 2018 insgesamt ca. 44 000 „fliegende“ Personen (Vorjahr: 45 000) überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis betrug 2,0 mSv (Vorjahr: 2,1 mSv). Der höchste Jahrespersonendosiswert liegt bei 6,2 mSv. Die Verteilung ist in [Abbildung B III 2-2](#) wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2018 beträgt ca. 89 Personen-Sv. Damit zählt das fliegende Personal bezüglich der Kollektivdosis und der mittleren Jahresdosis zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen Deutschlands. Auch die Form der Dosisverteilung und ihre zeitliche Schwankung ([Abbildung B III 2-1](#)) ist nicht mit anderen Berufsgruppen vergleichbar. Wichtige Einflussgröße auf die Jahresdosis ist die zyklische Schwankung der Sonnenaktivität, die physikalisch bedingt die Höhenstrahlung beeinflusst.

3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition

Für Personen, bei denen am Arbeitsplatz eine Radonexposition von mehr als 6 mSv auftreten kann, ist unter Umständen eine Dosisermittlung durchzuführen (§ 130 Absatz 3 StrlSchG). Dies betrifft z. B. untertägige Bergwerke, Schauhöhlen und Anlagen der Wassergewinnung sowie Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen des Uranerzbergbaus (Beschäftigte der Wismut GmbH).

Insgesamt wurden im Jahr 2018 dem Strahlenschutzregister im BFS für 382 Personen (Vorjahr: 396 Personen) Dosiswerte übermittelt. Von diesen 382 Personen führten 43 Personen (Vorjahr: 38 Personen) Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH aus. Die Kollektivdosis der 384 Beschäftigten betrug 0,8 Personen-Sv, die mittlere Jahrespersonendosis 2,4 mSv (Vorjahr: 1,6 mSv). Im Jahr 2018 gab es wie im Vorjahr keine Überschreitung des Jahressgrenzwertes von 20 mSv. Der höchste Wert der effektiven Jahresdosis betrug 14 mSv (Vorjahr: 16 mSv). Die Dosisverteilung zeigt [Abbildung B III 3-1](#).

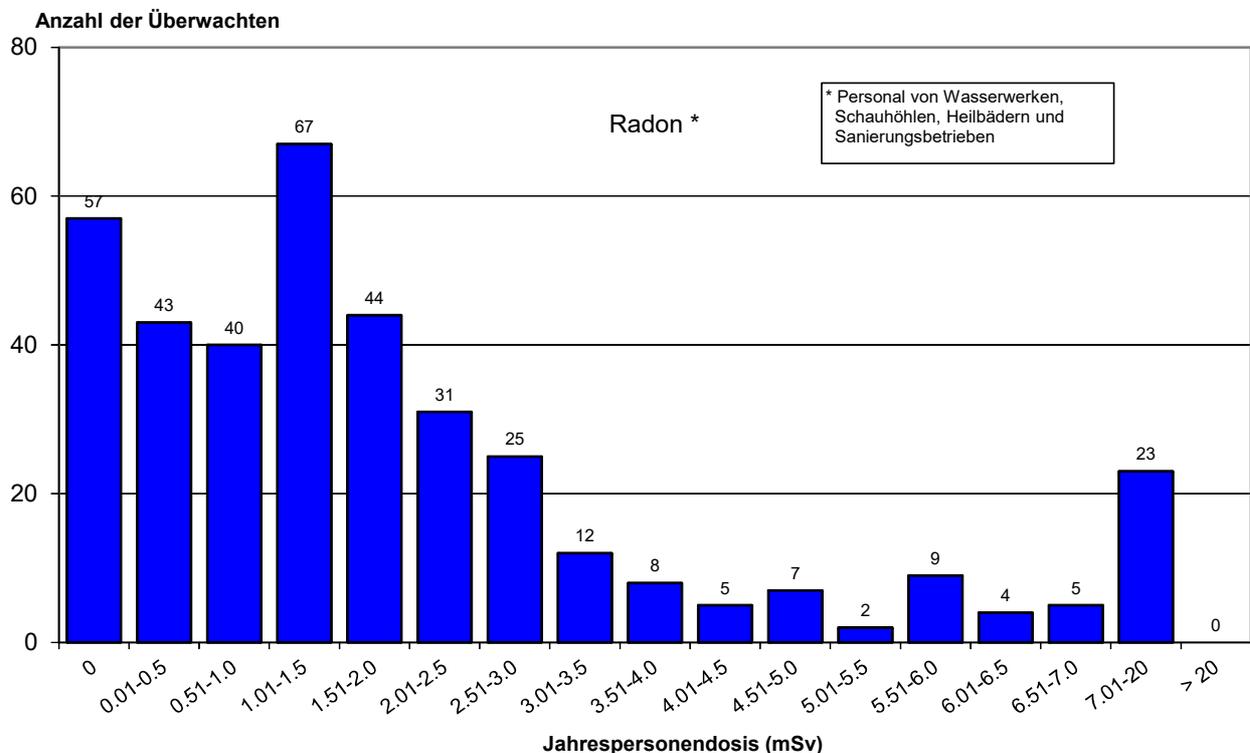


Abbildung B III 3-1 Verteilung der Jahrespersonendosen durch natürlich erhöhte Radonexposition 2018
(Distribution of annual personal doses from naturally enhanced radon exposure 2018)

4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Von den Inkorporationsmessstellen wurden 1 355 Personen im Jahr 2018 (Vorjahr: 1324) überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,06 Personen-Sv. Die höchste Jahrespersonendosis infolge von Inkorporation lag bei 16 mSv. Von den 1 355 Überwachten hatten lediglich 86 Personen Dosiswerte oberhalb der Nachweisgrenze.

IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN *(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Diagnostische Strahlenanwendungen

1.1 Röntgendiagnostik (*X-ray diagnostics*)

Im Folgenden beinhaltet der Begriff „Untersuchung“ – gemäß internationaler Standards – alle Röntgenleistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels einer Röntgenmodalität (konventionelle Röntgenuntersuchung, Durchleuchtung, CT) notwendig sind. So wird z. B. bei einer Angiographie am Herzen nicht jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Zahnaufnahmen werden als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.

Bezüglich der Quellen für die Erfassung der Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen wird auf den Gundlagenteil [IV Grundlagen zur Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen](#) verwiesen. In diesem Bericht werden die zum Redaktionsschluss (November 2019) vorliegenden Daten dargestellt. Diese beziehen sich auf die Jahre 2007 bis 2016. Es wird darauf hingewiesen, dass Abweichungen zu Ergebnissen vorliegen, die in älteren Berichten präsentiert wurden. Diese beruhen im Wesentlichen auf veränderten Datenquellen für den stationären Bereich, siehe auch die Jahresberichte 2015 und 2017. Zum einen werden - insbesondere für CT-Untersuchungen - Daten des statistischen Bundesamtes berücksichtigt. Zum anderen liegen für den stationären Bereich seit 2017 nun auch aktuellere Daten zu den Häufigkeiten konventioneller Röntgenaufnahmen vor, für die keine Daten des statistischen Bundesamtes existieren und die bislang mithilfe von Ergebnissen eines deutlich zurückliegenden Forschungsvorhabens abgeschätzt werden mussten.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis bzw. der mittleren effektiven Dosis pro Kopf werden überwiegend repräsentative Werte aus Daten der ärztlichen Stellen berücksichtigt, die für häufige und/oder dosisintensive Untersuchungen regelmäßig zum Zweck der Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte an das BfS übermittelt werden. Für Untersuchungen, die hiermit nicht abgedeckt werden, wird jeweils eine über die Jahre konstante Einzeldosis pro Untersuchungsart angenommen.

In [Tabelle T IV.1](#) sind für häufige Röntgenuntersuchungen die Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis dargestellt. Sie basieren größtenteils auf Dosiswerten, die von den ÄS (Ärztlichen Stellen) an das BfS übermittelt wurden, jedoch auch auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen, auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMU gefördert wurden, und auf Literaturangaben. Es handelt sich dabei um Dosisangaben, die aus Messwerten von an Patientinnen und Patienten durchgeführten Untersuchungen ermittelt wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten „Normalpatienten“.

Auswertung der Jahre 2007 bis 2016 – Häufigkeit von Röntgenanwendungen

Für das Jahr 2016 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 137 Millionen Röntgenanwendungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 78 Mio. Röntgenuntersuchungen). Die mittlere Anzahl von Röntgenanwendungen in Deutschland lag während des betrachteten Zeitraums 2007 bis 2016 nahezu konstant bei etwa 1,7 pro Einwohner und Jahr (siehe [Abbildung B IV 1.1-1](#)). Die Häufigkeit von zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen (Zähne und Kiefer) nahm zwischen 2007 und 2016 von etwa 0,6 auf 0,7 Untersuchungen pro Einwohner und Jahr zu, was 2016 etwa mehr als 40 % der Gesamtanzahl aller Röntgenanwendungen entspricht. Dieser Anstieg ist durch Röntgenuntersuchungen des Kiefers bedingt, die inzwischen etwa 20 % aller zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen ausmachen. Neben den Röntgenuntersuchungen im zahnmedizinischen Bereich entfällt der größte Teil aller Röntgenanwendungen auf konventionelle Untersuchungen des Skeletts (Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und des Thorax (Brustkorb, siehe [Abbildung B IV 1.1-3](#)).

Die Anzahl der meisten konventionellen Röntgenuntersuchungen hat im betrachteten Zeitraum abgenommen (z. B. Schädel um mehr als 15 %, Thorax und Wirbelsäule um etwa 25 %, Verdauungs- und Urogenitaltrakt um etwa 40 %). Die Häufigkeit von Mammographien nahm infolge der Einführung des Mammographie-Screening-Programms zwischen 2007 und 2009 um ca. 35 % zu und verläuft - nach anschließender geringfügiger Abnahme – ab 2011 weitgehend konstant.

In der Trendanalyse am auffälligsten ist die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen - insgesamt hat sich die Anzahl der CT-Untersuchungen zwischen 2007 und 2016 um gut 45 % erhöht (siehe [Abbildungen B IV 1.1-1](#) und [B IV 1.4-1](#)). Ein noch deutlicherer Anstieg ist auch bei der Magnetresonanztomographie (MRT) zu verzeichnen, einem Schichtbildverfahren, das keine ionisierende Strahlung verwendet (Zunahme um gut 65 %, siehe Kapitel 1.4). Inzwischen ist die Anzahl von CT- und MRT-Untersuchungen nahezu gleich (siehe 1.4). Welches der beiden Verfahren im Einzelfall anzuwenden ist, hängt von der diagnostischen Fragestellung, der klinischen Situation (z. B. Notfall) und natürlich auch der Verfügbarkeit ab.

Auswertung der Jahre 2007 bis 2016 – kollektive effektive Dosis

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2016 auf 1,6 mSv. Über den Beobachtungszeitraum 2007 bis 2016 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen (siehe [Abbildung B IV 1.1-2](#)). Dieser Trend ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit und der damit einhergehenden Zunahme der effektiven Dosis pro

Kopf verursacht. Der Anstieg der CT-bedingten pro-Kopf-Dosis fiel wegen der über die Jahre leicht abnehmenden Dosis pro CT-Untersuchung mit etwa 30 % etwas moderater aus als die zugehörige Zunahme der CT-Häufigkeit. Demgegenüber nahm die effektive Dosis pro Einwohner für die Summe der restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 2007 bis 2016 ab (siehe [Abbildung B IV 1.1-2](#)). Diese Abnahme ist bedingt sowohl durch die zurückgehende Häufigkeit konventioneller Röntgenuntersuchungen als auch den Rückgang der effektiven Dosis einiger dieser Untersuchungen. Erwartungsgemäß ist der relative Anteil konventioneller Röntgenuntersuchungen an der kollektiven effektiven Dosis eher gering. Die CT und die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich vaskulärer interventioneller Maßnahmen) tragen dagegen zwar nur etwa 10 % zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2016 jedoch mehr als 80 % (siehe [Abbildung B IV 1.1-3](#)) [1].

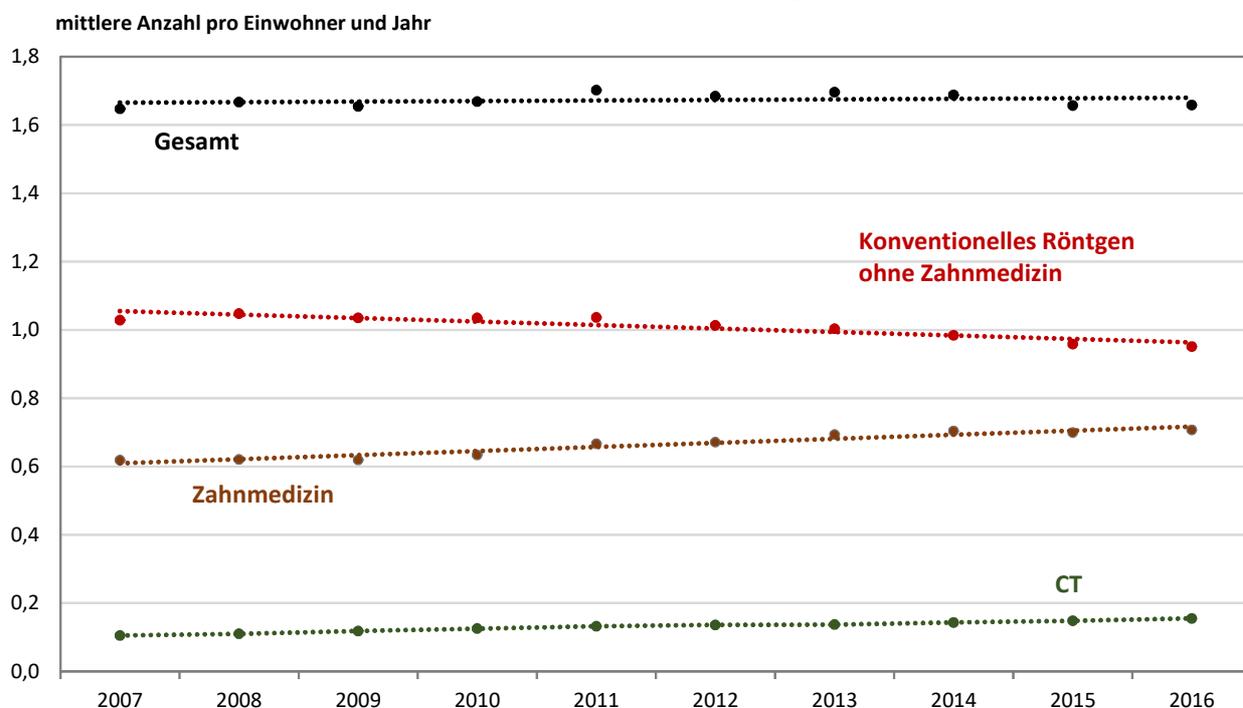


Abbildung B IV 1.1-1 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland
(Frequency of x-ray examinations in Germany)

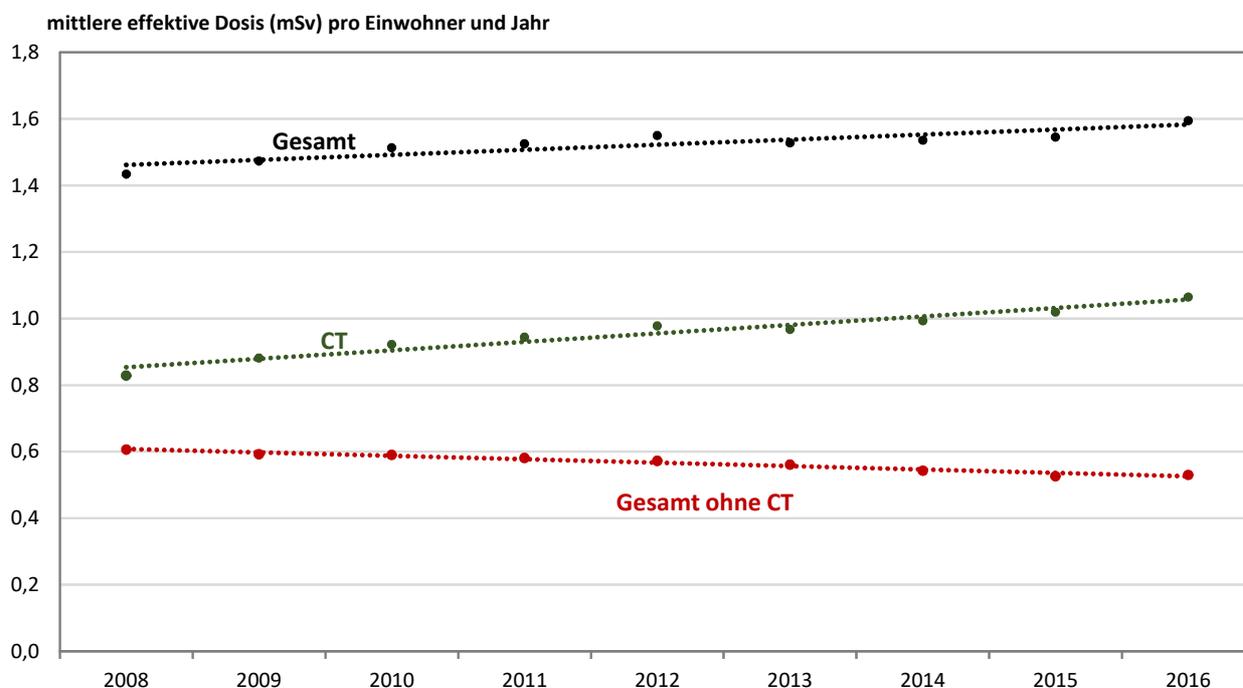


Abbildung B IV 1.1-2 Mittlere effektive Dosis (in mSv) pro Einwohner und Jahr durch Röntgen- und CT-Untersuchungen in Deutschland
(Mean effective dose (mSv) per capita and year due to x-ray and CT diagnostics in Germany)

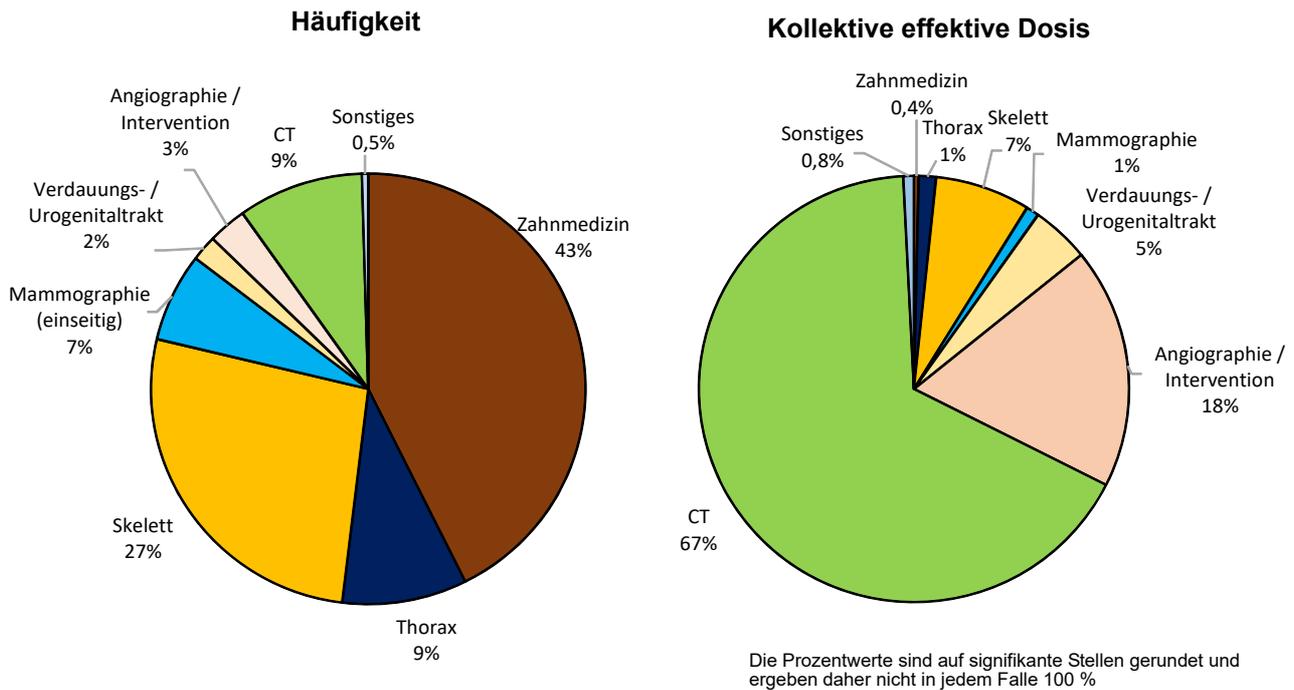


Abbildung B IV 1.1-3 Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der Röntgendiagnostik 2016 in Deutschland
(Contribution to the overall frequency and to the collective effective dose from different examinations in x-ray diagnostics 2016 in Germany)

Röntgenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Im Jahr 2016 wurde laut Robert-Koch-Institut („Krebs in Deutschland für 2015/2016, S. 78, www.krebsdaten.de, abgerufen am 16. Juni 2020) bei etwa 68 950 Frauen eine Brustkrebsdiagnose gestellt (mittleres Erkrankungsalter: 64 Jahre; Prognose für 2020: rund 70 000 Fälle). Die 5-Jahres-Prävalenz für Brustkrebs, also die Zahl der lebenden Frauen, bei denen innerhalb der vorherigen fünf Jahre diese Erkrankung neu diagnostiziert wurde, ist verglichen mit den restlichen Krebserkrankungen relativ hoch (ca. 314 000 Fälle Ende 2016). Nach Angaben des Robert-Koch-Instituts verstarben im Jahr 2016 insgesamt 18 600 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Wird Brustkrebs frühzeitig erkannt, kann dies den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenschancen der Betroffenen erhöhen.

Die Röntgenuntersuchung der Brust (Mammographie) gilt als effektive Methode zur Früherkennung von Brustkrebs bei Frauen zwischen 50 und 69 Jahren. Daher hatte sich der Deutsche Bundestag bereits 2002 für die Einführung eines organisierten und qualitätsgesicherten Mammographie-Screening-Programms (MSP) auf der Grundlage der europäischen Leitlinien ausgesprochen und die gemeinsame Selbstverwaltung der Ärzte und Krankenkassen gebeten, die hierzu erforderlichen Voraussetzungen - in Form von Richtlinien nach Maßgabe des Sozialrechts - zu schaffen.

Zur schrittweisen Einführung des MSP wurde 2003 die Kooperationsgemeinschaft Mammographie (www.mammo-programm.de) gegründet. Im Jahr 2005 wurde die erste Screening-Einheit (SE) zertifiziert und konnte ihren Betrieb aufnehmen; 2009 ist die letzte der insgesamt 94 SE in Betrieb gegangen. Zielgruppe des MSP sind alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren. Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Anspruchsberechtigt sind etwa 11 Mio Frauen. Die Teilnehmerate lag laut „Jahresbericht Evaluation 2017“, S. 13 bei 49 % [2].

In den in [Abbildung B IV 1.1-3](#) gezeigten Anteilen, die aus Mammographien stammen, wurden zu etwa einem Drittel Mammographien berücksichtigt, die als „kurative Mammographien“ über die Kassen abgerechnet wurden, also als Mammographien, für die zur Abklärung eines Symptoms in der Brust eine Indikation für die Untersuchung bestand. Bei einem gewissen Prozentsatz dieser „kurativen Mammographien“ könnte es sich jedoch auch um Früherkennungs-Mammographien handeln, die außerhalb des Mammographie-Screening-Programms und damit ohne die hier gültige Qualitätssicherung durchgeführt wurden („opportunistisches Screening“). Die Anzahl der als „kurative Mammographie“ abgerechneten Untersuchungen hat in den ersten fünf Jahren nach Einführung des Mammographie-Screening-Programms im kassenärztlichen Bereich um ca. ein Drittel abgenommen und ist seither in etwa konstant.

Übergeordnetes Ziel des Mammographie-Screening-Programms ist die nachhaltige Verringerung der Brustkrebs-Mortalität. Im Jahr 2010 wurden vom BMU in Kooperation mit dem BfS erste konkrete Schritte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität in die Wege geleitet. An der Finanzierung des seit Juli 2012 laufenden komplexen Vorhabens beteiligen sich das BMU, das BMG sowie die Träger des Mammographie-Screening-Programms. Die Geldgeber sowie das BfS,

das Robert-Koch-Institut, ein Vertreter der obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) und die Patientenvertretung bilden ein so genanntes Steuerungsgremium. Die Aufgaben des Steuerungsgremiums sind u. a. die Schaffung der organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abwicklung der Vorhaben zur Mortalitäts-evaluation sowie die Festlegung der Konzeption und des Inhalts der Evaluation des deutschen Mammographie-Screening-Programms. Das Steuerungsgremium wird hinsichtlich der Konzeption und Gestaltung der Inhalte des Forschungsvorhabens sowie der Projektbegleitung von einem Wissenschaftlichen Beirat unterstützt. Die administrative Abwicklung der Mortalitäts-evaluation erfolgt seitens des BMU im Rahmen eines Ressort-Forschungsvorhabens über einen geplanten Zeitraum von zehn Jahren. Auf Grund der komplexen Situation in Deutschland mit seiner föderalen Struktur - z. B. liegen unterschiedliche Datenschutzbestimmungen mit jeweils hohem Schutzniveau in den einzelnen Bundesländern vor - wurde zunächst in einer Machbarkeitsstudie geprüft, auf welche Weise in Deutschland eine Evaluation der Brustkrebsmortalität organisatorisch und technisch realisiert werden kann. Die Machbarkeitsstudie begann im Juli 2012 mit einer Laufzeit von zwei Jahren (siehe Programmreport 2014, S. 249, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015082013351). An diese schloss sich eine erweiterte Machbarkeitsphase bis September 2016 an (siehe Programmreport 2015, S. 128, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016080114068, Programmreport 2016, S. 45, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426). Auf der Grundlage der Ergebnisse der beiden Machbarkeitsstudien startete im Januar 2018 die eigentliche Hauptstudie (siehe Programmreport 2017, S. 192, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018071915600 und Programmreport 2018, S. 143, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808).

Literatur

- [1] Nekolla EA, Schegerer AA, Griebel J, Brix G: Häufigkeit und Dosis diagnostischer und interventioneller Röntgenanwendungen. Trends zwischen 2007 und 2014. Radiologe 57: 555-562, 2017
- [2] Jahresbericht Evaluation 2017. Deutsches Mammographie-Screening-Programm. Kooperationsgemeinschaft Mammographie, Berlin, Oktober 2019, abgerufen am 17. Juni 2020 (fachservice.mammo-programm.de/publikationen-und-stellungnahmen#evaluation)

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

Die im Grundlagenteil ([IV Grundlagen zur Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen](#)) beschriebene Vorgehensweise wurde folgendermaßen geändert:

Ähnlich der Vorgehensweise bei der Röntgendiagnostik werden für den ambulanten kassenärztlichen Bereich vollständige Datensätze bezüglich der Abrechnungen nuklearmedizinischer Untersuchungsleistungen von der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) verwendet. Die Gesamthäufigkeiten der nuklearmedizinischen Untersuchungen von privaten ambulanten Patienten werden aus den Abrechnungsstatistiken des Verbandes der privaten Krankenversicherung (PKV) bestimmt. Für den stationären Bereich stehen wiederum Daten des statistischen Bundesamtes zur Verfügung (Statistiken der Operationen- und Prozedurenschlüssel OPS). In die Abschätzung fließen zudem die Resultate aktueller Literatur ein [1, 2].

Für die Abschätzung der mittleren effektiven Dosis pro nuklearmedizinischer Untersuchung müssen sowohl repräsentative Werte der applizierten Aktivität pro Untersuchung als auch Dosiskoeffizienten für die Umrechnung in die effektive Dosis berücksichtigt werden. Basis für Erstere sind die diagnostischen Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen aus dem Jahr 2012. Grundlage hierfür waren die Ergebnisse einer umfangreichen Erhebung der in Deutschland durchgeführten nuklearmedizinischen Untersuchungen sowie Meldungen der ärztlichen Stellen. Die Dosiskoeffizienten stammten aus der Publikation 128 der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2015. Hierbei ist zu beachten, dass die ICRP-Publikation 128 die Koeffizienten aus den ICRP-Publikationen 80 (von 1998) und 106 (von 2008) im Wesentlichen zusammenfasst; es wurden lediglich einige Dosiskoeffizienten neu berechnet bzw. Fehler korrigiert.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis werden für die verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungsarten - beispielsweise Schilddrüsenszintigraphien - jeweils das Produkt von Häufigkeit und effektiver Dosis pro Untersuchung ermittelt und anschließend aufsummiert.

Auswertung der Jahre 2011 - 2016

Die Ergebnisse der aktuellen Auswertung zur Häufigkeit und Dosis von nuklearmedizinischen Untersuchungen beziehen sich auf den Fünfjahres-Zeitraum 2012 bis 2016. Pro Jahr wurden 2012 bis 2016 in Deutschland im Mittel ca. 2,5 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von etwa 30 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. [Abbildung B IV 1.2-1](#) gibt die Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für einzelne Untersuchungskategorien für das Jahr 2016 wieder. Am häufigsten wurden Szintigraphien (bzw. Einzelphotonen-Emissionscomputertomographien = SPECT- Untersuchungen) der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt, gefolgt von Myokard(Herz)-Untersuchungen. Hier ist zu beachten, dass die nuklearmedizinischen Untersuchungen des Herzens in Ruhe und unter körperlicher Belastung jeweils separat gezählt wurden, auch wenn diese meistens im Rahmen einer Untersuchung hintereinander (während eines Tages oder über zwei Tage) stattfinden. Untersuchungen der Schilddrüse und des Skeletts nahmen im betrachteten Fünfjahreszeitraum stetig ab, die des Herzens hingegen zu.

Wie bei der Röntgendiagnostik finden auch in der Nuklearmedizin im ambulanten Bereich deutlich mehr Untersuchungen statt als in Krankenhäusern. Nahezu alle Szintigraphien der Schilddrüse und jeweils mehr als 80 % aller Untersuchungen des Skeletts und des Herzens werden im ambulanten Sektor durchgeführt.

Es wurde eine über den Zeitraum 2012 bis 2016 gemittelte effektive Dosis von rund 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr abgeschätzt. Rund drei Viertel der kollektiven effektiven Dosis werden durch Skelett-, Myokard(Herz)- und Schilddrüsenuntersuchungen verursacht (**Abbildung B IV 1.2-1**).

Die Anzahl von Positronenemissionstomographen (PET) nimmt kontinuierlich zu. Auf Grund der relativ hohen Dosis pro Untersuchung spielt die PET daher bei der durch alle nuklearmedizinischen Untersuchungen verursachten kollektiven effektiven Dosis zunehmend eine Rolle. Für den kassenärztlichen ambulanten Bereich wurde erst im Jahr 2016 eine Gebührensatz für PET eingeführt. Daher ließ sich hier die Anzahl von PET für den Zeitraum vor 2016 mit der üblichen Methodik nicht bestimmen. In den Jahresberichten der letzten Jahre erfolgte die Abschätzung der PET-Häufigkeiten auf Basis von Daten aus der Literatur [1]. Verwendet man diese Methode auch für das Jahr 2016, so ergäbe dies eine deutlich höhere Anzahl von PET. **Abbildung B IV 1.2-1**, die sich auf das Jahr 2016 bezieht, richtet sich nach der Anzahl tatsächlich abgerechneter PET. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es sich hierbei um eine Unterschätzung handelt. PET/CT-Untersuchungen ersetzen immer mehr reine PET-Untersuchungen. Im stationären Bereich wurden 2016 bereits mehr als 85 % aller PET-Untersuchungen mittels eines PET/CT-Systems durchgeführt. Der Dosisbeitrag durch die CT ist bei **Abbildung B IV 1.2-1** nicht berücksichtigt. Bei Berücksichtigung der CT wäre der Dosisbeitrag der PET und PET/CT schätzungsweise doppelt so hoch.

Die mittleren effektiven Dosiswerte pro nuklearmedizinischer Untersuchung waren bei der Entzündungsdiagnostik mit 7,7 mSv sowie bei PET-Untersuchungen mit 6,4 mSv (ohne CT) am höchsten. Fasst man die Dosis durch Herzsintigraphien (bzw. SPECT) in Ruhe und unter Belastung zusammen, so erhält man ebenfalls eine vergleichsweise hohe Dosis von etwa 7 bis 8 mSv (Protokoll über zwei Tage bzw. einen Tag) pro Untersuchung. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsen-szintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von durchschnittlich 0,9 mSv pro Untersuchung auf. Die insgesamt selten, bei Kindern jedoch relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (durchschnittlich 0,7 mSv pro Untersuchung). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis - ohne CT - pro Untersuchung 2,3 mSv.

Literatur

- [1] Kotzerke J, Oehme L, Grosse J, Hellwig D, Arbeitsausschuss PET der DGN: Positronenemissionstomographie 2013 in Deutschland - Ergebnisse der Erhebung und Standortbestimmung. Nuklearmedizin 54: 53-59, 2015
- [2] Lindner O, Burchert W, Schäfer W, Hacker M: Myocardial perfusion SPECT 2015 in Germany. Results of the 7th survey. Nuklearmedizin 56: 31-38, 2017

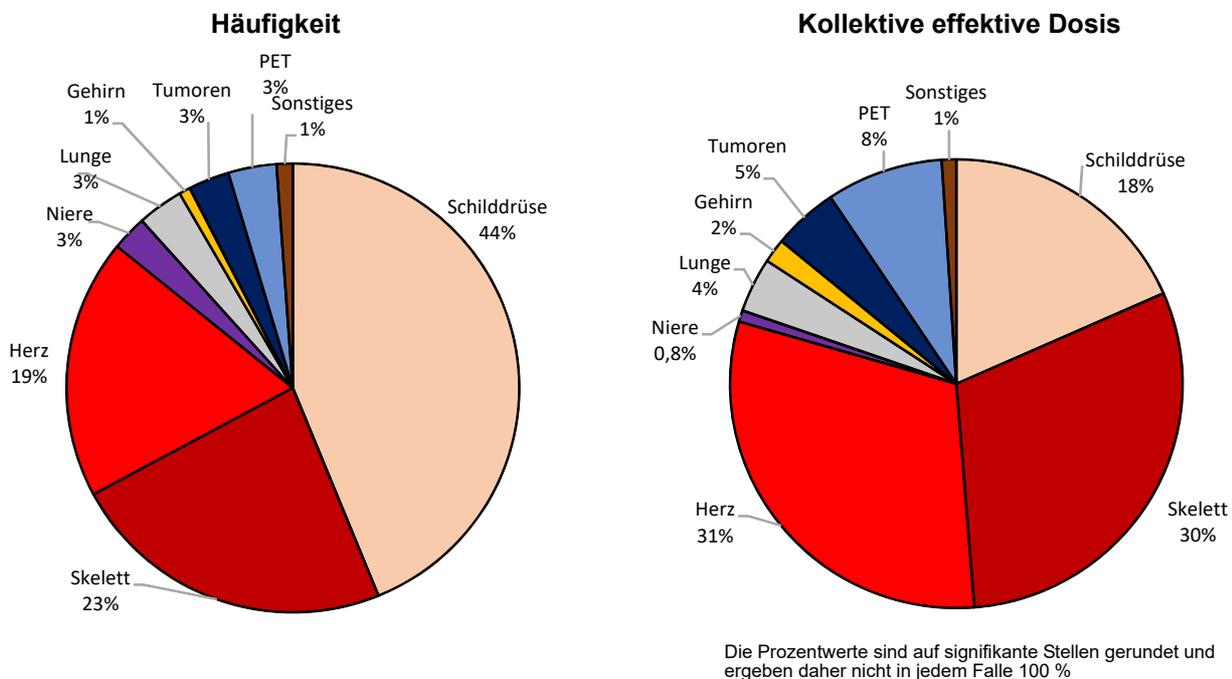


Abbildung B IV 1.2-1 Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der nuklearmedizinischen Diagnostik 2016 in Deutschland
(Contribution to the overall frequency and to the collective effective dose from different examinations in nuclear medicine diagnostics 2016 in Germany)

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen betrug im Jahr 2016 etwa 1,7 mSv pro Einwohner und Jahr. Damit resultiert die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland in der Hauptsache aus medizinischen Strahlenanwendungen. Ins Gewicht fällt dabei insbesondere die Röntgendiagnostik mit ca. 1,6 mSv pro Person im Jahr 2016. Verglichen damit ist die Exposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering (etwa 0,1 mSv).

Bei der Abschätzung des Strahlenrisikos wird von einem linearen Zusammenhang zwischen Dosis und Krebsrisiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT) ausgegangen. Da sich für den niedrigen Dosisbereich keine sicheren Angaben zum Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve machen lassen, ist man auf eine Extrapolation der im höheren Dosisbereich beobachtbaren Wirkungen hin zu kleinen Dosen angewiesen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar. Unter dieser Annahme birgt jede strahlenmedizinische Untersuchung ein - wenn auch entsprechend geringes - zusätzliches Risiko für eine strahlenbedingte Krebserkrankung. Eine strahlenhygienische Bewertung muss jedoch berücksichtigen, dass medizinische Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen. Betroffen sind in erster Linie Patientinnen und Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Strahlenexposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen ziehen kann. Eine eingehende Nutzen-Risiko-Abwägung vor jeder Anwendung einer strahlendiagnostischen Maßnahme ist daher von zentraler Bedeutung (sogenannte „rechtfertigende Indikation“). Wird die sorgfältige Feststellung der rechtfertigenden Indikation durch den fachkundigen Arzt sowie eine Minimierung der Dosis vorausgesetzt, dann überwiegt für den Einzelnen der Nutzen der radiologischen Untersuchung das damit einhergehende Strahlenrisiko.

Weiterhin ist bei einer Bewertung der medizinischen Strahlenexposition einzubeziehen, dass es sich bei der Mehrheit der Patienten um ältere Menschen handelt, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. Angaben zur Altersverteilung von Personen, bei denen strahlendiagnostische Untersuchungen durchgeführt werden, sind über die KBV bzw. PKV bislang leider nicht zu erhalten. Für häufige und/oder dosisintensive Röntgenverfahren stellt jedoch das europäische Dose Datamed 2-Projekt [1] Informationen zur Altersverteilung zur Verfügung. Ebenso gibt es Statistiken zum Alter für den stationären Bereich in Deutschland. Demnach werden dosisintensivere Untersuchungsverfahren, wie die Computertomographie oder Untersuchungen des Herzens oder der Blutgefäße, vor allem im höheren Alter durchgeführt. Beispielsweise werden mehr als 80 % aller CT-Untersuchungen des Abdomens oder des Beckens bei Patientinnen oder Patienten vorgenommen, die 50 Jahre oder älter sind. In jungen Jahren überwiegen Röntgenuntersuchungen des Skelettsystems.

Auch schwer erkrankte Patientinnen und Patienten werden häufig auf Grund ihrer Erkrankung - und dann in kurzer Zeit oftmals mehrfach - radiologisch untersucht. Im Vergleich zur Normalbevölkerung ist die Lebenserwartung dieser Patientinnen und Patienten oft deutlich verkürzt. In die strahlenhygienische Bewertung muss somit neben dem Alter insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Studien zu dieser Fragestellung sind allerdings rar. Die vorliegenden Arbeiten für Deutschland bestätigen jedoch, dass z. B. Krebspatienten oder Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen eine weit überdurchschnittliche Anzahl von zumeist auch dosisintensiveren Röntgenuntersuchungen erhalten [2],[3].

Im Rahmen des europäischen Dose Datamed 2 (DDM2)-Projektes [1] wurden für die europäische Bevölkerung (27 EU-Länder sowie Norwegen, Island und die Schweiz) eine mittlere Häufigkeit von Röntgenmaßnahmen von 1,1 und eine daraus resultierende mittlere effektive Dosis von 1,1 mSv pro Einwohner und Jahr abgeschätzt. Gemäß diesen Daten liegt Deutschland im europäischen Vergleich vor allem bezüglich der jährlichen Anzahl der Röntgenanwendungen pro Einwohner im oberen Bereich. Insgesamt unterscheiden sich die Schätzwerte zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen pro Einwohner zum Teil erheblich. Nach DDM2 reichen die Werte von ca. 0,3 (Rumänien) bis 2,1 (Island). Teilweise können die Differenzen auf die verschiedenen Gesundheitssysteme zurückgeführt werden. Charakteristisch für Deutschland ist beispielsweise, dass der Großteil aller Röntgenuntersuchungen im ambulanten Bereich - und hier oftmals von Teilgebietsradiologen - durchgeführt wird. In Ländern, in denen radiologische Maßnahmen vorwiegend in Kliniken stattfinden, wie beispielsweise im Vereinigten Königreich, ist in der Regel auch die Untersuchungsfrequenz niedriger. Für Deutschland ist zu berücksichtigen, dass es sich bei einem großen Teil der im ambulanten Bereich durchgeführten Untersuchungen um konventionelle Röntgenaufnahmen - insbesondere auch Zahnuntersuchungen - mit entsprechend niedrigerer Dosis handelt.

Die hohe Pro-Kopf-Anzahl röntgendiagnostischer Maßnahmen für Deutschland spiegelt den Stand der hiesigen Gesundheitsversorgung wider. Eine Bewertung der vergleichsweise hohen Häufigkeit bzw. der resultierenden Dosis durch die medizinische Röntgendiagnostik darf den Nutzen für die Patientinnen und Patienten nicht unberücksichtigt lassen. Hier existiert sicherlich noch ein gewisses Einsparpotenzial ohne Beeinträchtigung der Patientenversorgung. Hierzu können die diagnostischen Referenzwerte zur Optimierung der medizinischen Exposition (bessere Qualität der Untersuchung, niedrigere Dosis) ebenso einen wesentlichen Beitrag leisten wie strengere Kriterien bei der Indikationsstellung zur Durchführung röntgendiagnostischer Maßnahmen, die Vermeidung von Doppeluntersuchungen (höhere Transparenz zwischen Arztpraxen; Röntgenpass) und die vermehrte Nutzung „alternativer“ diagnostischer Verfahren ohne die Verwendung ionisierender Strahlung (Sonographie, MRT, siehe auch 1.4). Nur bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen kann das Strahlenrisiko für die einzelne Patientin bzw. den einzelnen Patienten gegenüber dem Nutzen in den Hintergrund treten.

Literatur

- [1] European Commission, Radiation Protection No.180, Part 1: Medical Radiation Exposure of the European Population; Part 2: Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. Directorate-General for Energy (Directorate D, Unit D 3) 2014, ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180.pdf; ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180%20part2.pdf
- [2] Brix G, Berton M, Nekolla E, Lechel U, Scheegerer A, Süselbeck T, Fink C: Cumulative radiation exposure and cancer risk of patients with ischemic heart diseases from diagnostic and therapeutic imaging procedures. Eur J Radiol 82:1926-1932, 2013
- [3] Brix G, Nissen-Meyer S, Lechel U, Nissen-Meyer J, Griebel J, Nekolla EA, Becker C, Reiser M: Radiation exposures of cancer patients from medical X-rays: how relevant are they for individual patients and population exposure? Eur J Radiol 72:342-347, 2009

1.4 Magnetresonanztomographie als alternatives Untersuchungsverfahren

Für die Jahre 2007 bis 2016 ist für MRT-Untersuchungen (siehe [Abbildung B IV 1.4-1](#)) eine stetige Zunahme der Häufigkeit zu verzeichnen (Anstieg um rund 65 %). Bemerkenswert ist die gleichzeitige Zunahme von MRT- und CT-Untersuchungen, wobei inzwischen beinahe ebenso viele MRT- wie CT-Untersuchungen durchgeführt werden. Wird der stationäre Bereich getrennt betrachtet, so ist hier die Anzahl von CT-Untersuchungen allerdings deutlich höher als die von MRT-Untersuchungen (beinahe Faktor 3).

Ganz anders ist dagegen die Situation im ambulanten Bereich: Hier ist eine deutlich höhere Anzahl von MRT-Untersuchungen festzustellen. Gleichzeitig nimmt die Häufigkeit von MRT-Untersuchungen in stärkerem Maße zu als die von CT-Untersuchungen. Aus Sicht des Strahlenschutzes ist dies eine begrüßenswerte Entwicklung. Die vermehrte Nutzung der MRT - sofern als Alternative zum Röntgen und nicht als zusätzliche Maßnahme eingesetzt - kann wesentlich zur Verringerung der Strahlenexposition beitragen.

Der entgegengesetzte Trend im stationären Bereich ist wahrscheinlich dem Umstand geschuldet, dass hier akute Fälle vorherrschen, bei denen die schneller durchzuführende CT bei vielen Fragestellungen die Methode der Wahl ist. Diese Annahme wird von den deutlich unterschiedlichen Indikationsspektren der durchgeführten CT- und MRT-Untersuchungen im ambulanten bzw. stationären Bereich gestützt: Im ambulanten Bereich überwiegen MRTs der Wirbelsäule und Extremitäten, im stationären Sektor dagegen CTs des Schädels und Abdomens/Beckens.

Insgesamt wurden 2016 etwa ein Fünftel aller MRT-Untersuchungen im Bereich des Schädels und jeweils etwa 30 % im Bereich der Wirbelsäule und der Extremitäten durchgeführt.

mittlere Anzahl von Untersuchungen pro Einwohner und Jahr

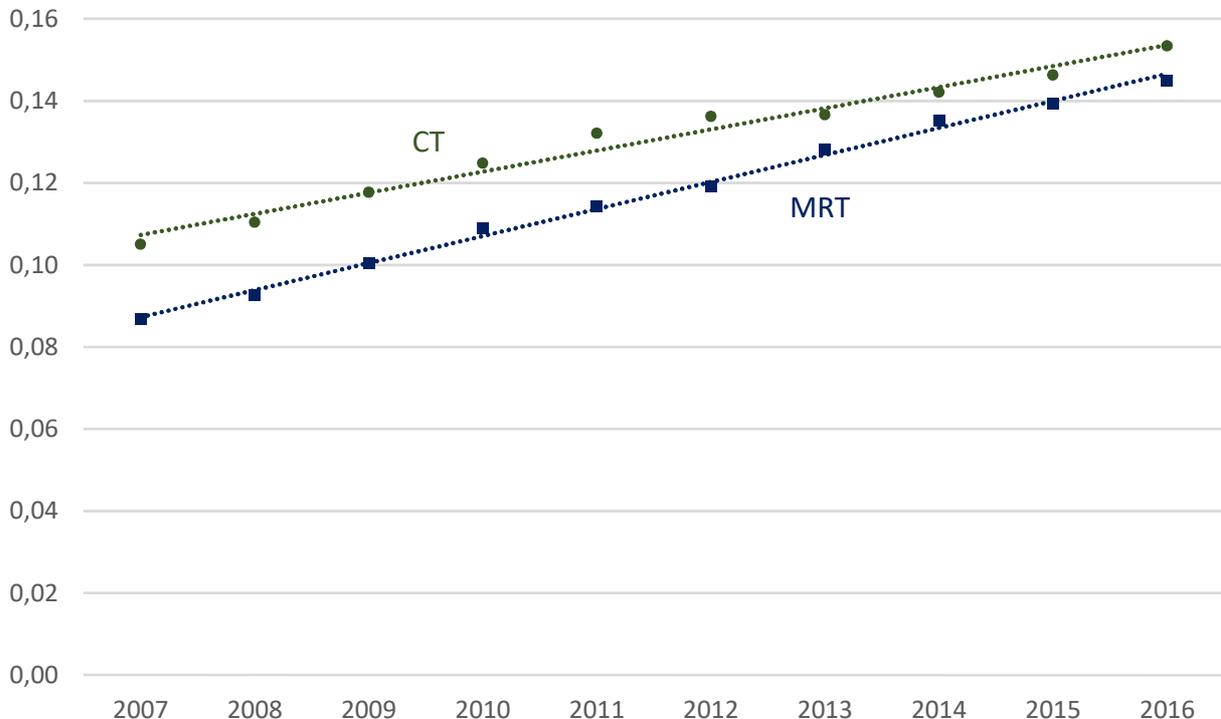


Abbildung B IV 1.4-1 Vergleich der Häufigkeit von CT- und MRT-Untersuchungen in Deutschland
(Comparison of frequencies of CT/MRT examinations in Germany)

2. Therapeutische Strahlenanwendungen

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird für das Jahr 2016 auf ca. 258 520 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 233 570 bei Frauen geschätzt [1]. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer bei etwa 70 und für Frauen bei etwa 69 Jahren. Die Therapie einer Krebserkrankung erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat. Bei der Strahlentherapie wird zwischen perkutaner Therapie (oder Teletherapie) und Brachytherapie unterschieden. Bei der perkutanen Therapie wirkt die Strahlung (zumeist Photonenstrahlung, erzeugt in einem Linearbeschleuniger) von außen auf den Körper ein. Bei der Brachytherapie wird hingegen ein umschlossenes Radionuklid als Strahlenquelle in die unmittelbare Nähe des Zielvolumens gebracht. Auch gutartige Erkrankungen können mittels Strahlentherapie behandelt werden, nicht nur gutartige Tumoren, sondern beispielsweise auch degenerativ-entzündliche Erkrankungen wie „Tennisellbogen“ oder Fersensporn. Die Strahlendosen sind in diesen Fällen allerdings deutlich niedriger als bei der Therapie bösartiger Erkrankungen.

2.1 Therapie mit ionisierender Strahlung

Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ [2] wurden im Jahr 2013 in den sechs Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (insgesamt 17,2 Mio. Einwohner, ca. 21 % der bundesdeutschen Bevölkerung) ca. 71 200 Patientinnen und Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhielten im Jahr 2013 etwa 340 000 Patientinnen und Patienten eine Strahlentherapie. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ nimmt die Anzahl der Patienten, die eine Strahlentherapie erhielten, stetig zu, in den zehn Jahren zwischen 2004 und 2013 um ca. 50 %. Ausgehend von dieser Steigerungsrate könnte im Jahr 2017 bei rund 415 000 Patientinnen und Patienten eine Strahlentherapie erfolgt sein. Auch nach Daten der KBV, also im kassenärztlichen, ambulanten Bereich, ist die Zunahme von Strahlenbehandlungen deutlich zu erkennen. Zwischen 2007 und 2016 nahmen diese um rund 50 % zu. Besonders auffällig ist in diesem Zeitraum der Anstieg der Häufigkeit von Strahlentherapien bei Patienten mit gutartigen Erkrankungen (mehr als Verdoppelung), so dass in diesem Bereich 2016 etwa ebenso oft eine Strahlentherapie stattfand wie bei Krebspatienten. Im Gegensatz zu Teletherapien haben Brachytherapien, die jedoch nur einen kleinen Bruchteil aller Strahlentherapien ausmachen, im Laufe der Zeit abgenommen. Insgesamt werden ambulant deutlich mehr Strahlentherapien durchgeführt als stationär.

Um aktuelle, valide und detailliertere Zahlen für Gesamtdeutschland zu erhalten, hat das BfS ein Ressortforschungsvorhaben initiiert. Dieses hat auch zum Ziel, ein Verfahren zur regelmäßigen Aktualisierung der Daten zu schaffen.

2.2 Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen

In der Radionuklidtherapie wird die Möglichkeit genutzt, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der (Tumor-)Zelle zu bestrahlen. Das bekannteste Beispiel ist die Behandlung von Schilddrüsentumoren mit dem Radionuklid Iod-131. Radioiodtherapien finden im stationären Bereich statt. Nach Daten der Krankenhausstatistik des statistischen Bundesamtes belief sich die Zahl im Jahr 2016 auf ca. 30 000, zu 70 % waren hiervon Frauen betroffen. Die Häufigkeit von Radioiodtherapien ist rückläufig. Die Radiosynoviorthese, d. h. die Behandlung spezieller Gelenkerkrankungen, findet hingegen vorwiegend im ambulanten Bereich statt, wo sie im Jahr 2016 in ca. 61 000 Fällen durchgeführt wurde.

Literatur

- [1] Krebs in Deutschland für 2015/2016. 12. Ausgabe. Robert Koch-Institut (Hrsg) und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e. V. (Hrsg) Berlin, 2019; www.krebsdaten.de/
- [2] Brodersen HJ: Strahlentherapie in Norddeutschland 13/14 - Radioonkologie in den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, 20. Auflage, 21. März 2014, www.strahlentherapie-nord.de, inzwischen eingestellt

3. Medizinische Forschung

Vom BfS wurden im Jahr 2018 nach § 23 StrlSchV und § 28 a RöV 367 Genehmigungen zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) am Menschen in der medizinischen Forschung erteilt (Vorjahr 329).

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, vom Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit und vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe

1.1 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe

Mit dem Begriff „hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ)“ werden ab dem Berichtsjahr 2009 Quellen bezeichnet, deren Aktivität den durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten, nuklidspezifischen Grenzwert überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A1-Wertes gemäß Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3a, StrlSchV). In dieser Statistik sind umschlossene Strahlenquellen nicht mehr ab dem allgemeinen Limit von 1850 GBq erfasst, sondern ab den nuklidspezifischen Werten „Aktivität HRQ/1/100 A1“ der Spalte 3a der Anlage III der StrlSchV.

Die Gesamteinfuhr an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) ([Tabelle T V.1](#)) ist gegenüber dem Vorjahr um ca. 50 % gefallen, was in der zurückgegangenen Einfuhr von Co-60 aus Kanada begründet ist (Spalte 4). Die starken Schwankungen der Ein- bzw. Ausfuhr von Co-Quellen ist in der Halbwertszeit von ca. 5 Jahren begründet (Quellentausch).

Der Wert für die Gesamteinfuhr enthält nicht die sonstigen radioaktiven Gemische, wie z. B. Nuklidgemische (0,015 GBq) bzw. kontaminierte Werkzeuge und Gegenstände (17,55 GBq). Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wurden 2018 in Höhe von 0,016 GBq eingeführt.

Die Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist im Rahmen üblicher Schwankungen konstant geblieben.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq ([Tabelle T V.2](#)) zeigt im Jahr 2018 einen sehr deutlichen Rückgang, was in der rückläufigen Ausfuhr von Co-60 nach Kanada und die Russische Föderation begründet ist.

Der Wert für die Gesamtausfuhr enthält nicht die sonstigen radioaktiven Gemische, wie z. B. Nuklidgemische (0,92 GBq) bzw. kontaminierte Werkzeuge und Gegenstände (1,002 GBq). Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wurden 2018 nicht ausgeführt.

Die Ausfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist auf das Jahresniveau von 2016 gesunken.

1.2 Einfuhrstatistik

Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne umschlossene Strahlenquellen ab A1/100

[Tabelle T V.3](#) (a-b) gibt die Aktivitäten der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab A1/100 und Aktivierungsprodukte sowie sonstige radioaktive Gemische.

Es ist in der Gesamtsumme ein Anstieg zum Vorjahr auf das Niveau von 2015 zu verzeichnen ([Tabelle T V.1](#)). Diese Zunahme wird in der Hauptsache durch gestiegene Lieferungen von Tritium aus Kanada bestritten.

Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100

[Tabelle T V.4](#) zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75, Sr-90, Cs-137, Ir-192, und Cf-252, jeweils ab deren Werten für A1/100 gemäß Anlage III Spalte 3a StrlSchV.

Es findet sich erwartungsgemäß der größte Posten wieder bei Co-60 mit diesmal 96 % der in dieser Rubrik eingeführten Gesamtaktivität.

Einfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

[Tabelle T V.5](#) zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2018 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Die Schwerpunkte liegen bei Natururan als größtem Posten, gefolgt von angereichertem Uran mit 3-10 % U-235.

Das unter „sonstige“ (Länder) aufgeführte abgereicherte Uran stellt Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen dar und findet sich naturgemäß in ähnlichen Größen auch bei der Ausfuhr (vgl. 1.3).

1.3 Ausfuhrstatistik

Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne umschlossene Strahlenquellen ab A1/100

Die Gesamtausfuhr gemäß [Tabelle T V.6](#) (a-b) und [Tabelle T V.2](#) ist enorm gestiegen. Diese Zunahme wird in der Hauptsache durch gestiegene Lieferungen von Tritium nach Kanada bestritten. Das Nuklidspektrum ist gegenüber dem Vorjahr unverändert geblieben.

Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen ab A 1/100 ([Tabelle T V.7](#) und [Tabelle T V.2](#)) ist gegenüber dem Vorjahr um die Hälfte gesunken. Diese Abnahme findet sich in den stark gesunkenen Exporten von Co-60 auf ca. 11 % des Vorjahres der in dieser Rubrik ausgeführten Gesamtaktivität wieder.

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

[Tabelle T V.8](#) zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm.

Die Ausfuhrmenge ist 2018 mit 835 530 kg gegenüber 941 521 kg (2017) etwas gesunken. Die größten Posten finden sich bei angereichertem Uran mit >3-10 %igem Anteil an U-235.

Uran mit höheren Anreicherungsgraden ist im Berichtszeitraum ebenso wenig in relevanten Mengen ausgeführt worden wie Plutonium und Thorium.

Das unter „sonstige“ (Länder) aufgeführte abgereicherte Uran stellt Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen dar und findet sich naturgemäß auch bei der Einfuhr (vgl. 1.2).

1.4 Genehmigungen und Anzeigen

[Tabelle T V.9](#) zeigt die Anzeigen und Genehmigungen im Jahr 2018. In der Rubrik „Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“ sind die Genehmigungen zur Einfuhr für jene hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ) aufgeführt, deren grenzüberschreitende Verbringung auf Grund des HRQ-Gesetzes vom 12. August 2005 i. V. m. § 20 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) nicht im Anzeigeverfahren zulässig und daher genehmigungspflichtig ist.

Die Genehmigungen zur Ausfuhr solcher HRQ sind sinngemäß in der Rubrik „Ausfuhr § 19 Abs. 2 StrlSchV“ enthalten, wo sich vor dem Inkrafttreten des HRQ-Gesetzes lediglich Genehmigungen für diejenigen sonstigen radioaktiven Stoffe fanden, deren Aktivität das 10^9 -fache der Freigrenzen gemäß Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 StrlSchV pro Versandstück überschritt. Diese weiterhin bestehende Genehmigungspflicht richtet sich nur nach der Aktivität eines Versandstückes, und zwar unabhängig davon, ob es sich um offene oder umschlossene radioaktive Stoffe handelt.

Ferner wurden im Jahr 2018 22 Genehmigungen für Konsumgüter gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 18 StrlSchV für die Ein- und Ausfuhr erteilt. Da nach § 108 StrlSchV genehmigte grenzüberschreitende Verbringungen derartiger Konsumgüter jedoch nicht von einem Meldeverfahren begleitet werden, wird in dieser Spalte lediglich die Anzahl der im Berichtszeitraum erteilten Genehmigungen angegeben, welche jeweils eine Gültigkeit von zwei Jahren haben.

Die vorliegende Statistik enthält keine Daten bezüglich innergemeinschaftlicher Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe, da hierfür die Verordnung (Euratom) Nr. 1493/93 Anwendung findet. Ferner enthält die vorliegende Statistik auf Grund der „Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung“ (AtAV) keine Daten über radioaktive Abfälle und bestrahlte Kernbrennstoffe; Informationen hierüber sind vielmehr den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Es wurden im Berichtszeitraum vom BAFA 28 Einfuhr- und 56 Ausfuhrgenehmigungen für unbestrahlte Kernbrennstoffe nach § 3 Abs. 1 AtG sowie 37 Einfuhr- und 37 Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe nach § 19 StrlSchV erteilt.

Im Jahr 2018 gingen 2277 (2017: 2980) Einfuhranzeigen sowie 6051 (2017: 5531) Ausfuhranzeigen nach § 20 StrlSchV ein. Die Zahl der bearbeiteten Belege ist damit im Vergleich zum Vorjahr stabil geblieben.

Die Daten für die jeweils erfassten Radionuklidpositionen lassen sich nicht mehr mit Statistiken für die vorangegangenen Jahre vergleichen, da durch die Einfügung eines Multiplikators in das Erfassungssystem Quellen gleicher Aktivität zusammengefasst werden können (Bsp. 5 Quellen Ir-192 werden nicht mehr als 5 Positionen mit jeweils einer Quelle geführt, sondern als eine Position mit 5 x Ir-192).

2. Beförderung radioaktiver Stoffe

Auf dem Gebiet des Transports radioaktiver Stoffe ist das BfE die zuständige Behörde zur Erteilung von atomrechtlichen Beförderungsgenehmigungen für alle Verkehrsträger gemäß § 4 Atomgesetz für Kernbrennstoffe und §§ 27 und 29 Strahlenschutzgesetz für Großquellen.

Gemäß Gefahrgutbeförderungsgesetz und den darauf beruhenden Verordnungen ist das BfE außerdem zuständig für die Erteilung von verkehrsrechtlichen Beförderungsgenehmigungen sowie für die Zulassung und Anerkennung von Transportbehältern.

Für die Entsorgung von beschädigten, undichten Brennstäben sowie Brennstababschnitten aus Siedewasserreaktoren wurde im April 2018 eine Revision (Aufnahme einer Beladevariante für Sonderbrennstäbe in Köchern - KSBS) der Zu-

lassung für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR® V/52 erteilt. Im Berichtszeitraum wurden außerdem Anträge bearbeitet, die für die Entsorgung von Kraftwerken wesentliche Bedeutung besitzen. Im Einzelnen handelt es sich um die Erweiterung der Beladevariante für Sonderbrennstäbe in Köchern durch Einsatz eines alternativen Innenkorbes des KSBS für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR® V/19 sowie um die Erweiterung des Inventars des Transport- und Lagerbehälters CASTOR® V/52 durch die Aufnahme neuer BE-Typen und Nicht-Standard-BE. Die Erteilung der Revisionen der Zulassungen ist für 2019 vorgesehen. Außerdem wurde im Juli 2018 die Gültigkeitsdauer der Zulassung für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR HAW28M, der für die Beförderung und Zwischenlagerung von hochaktiven HAW-Glaskokillen sowie mittelaktiven CSD-B-Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung der COGEMA (jetzt Orano) und von hochaktiven Sellafield-Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung der British Nuclear Fuels plc (BNFL) verwendet wird, verlängert.

Im Mai 2018 wurden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit neue Richtlinien für den Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkung Dritter (SEWD) bei der Beförderung von Kernbrennstoffen in Kraft gesetzt. Dabei wurden die zu unterstellenden Lastannahmen, die Durchführung von Sicherungsmaßnahmen während des Transports von Kernbrennstoffen und die Anforderungen an das Transportpersonal neu geregelt.

Auf internationalem Gebiet wurde die Mitarbeit des BfE bei der Weiterentwicklung der Sicherheitsstandards zum Transport radioaktiver Stoffe bei der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) fortgesetzt. Nach der Veröffentlichung der neuen Ausgabe der IAEO-Empfehlungen zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe (Specific Safety Requirements No. SSR-6) im Jahr 2018, wurde der bereits laufende Überarbeitungs-/Überprüfungsprozess für das erläuternde Material der SSR-6 (SSG-26) fortgesetzt.

2.1 Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe

Im Jahr 2018 wurden vom BfE insgesamt 81 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt. Weitere Informationen über die vom BfE erteilten Beförderungsgenehmigungen nach § 4 AtG für Kernbrennstoffe sowie nach §§ 27 und 29 StrlSchG für Großquellen und über die durchgeführten Kernbrennstofftransporte können den Internetseiten des BfE (www.bfe.bund.de) entnommen werden.

2018 wurden insgesamt 466 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. [Tabelle T V.10](#)) durchgeführt, davon entfallen 27 auf Transporte innerhalb Deutschlands, 198 auf den Export, 81 auf den Import und 160 Transporte entfallen auf den Transitverkehr. Mit Großquellen wurden 13 Transporte durchgeführt.

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2018 vom BfE insgesamt 17 Zulassungen für Transportbehälter und sechs deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen erteilt.

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen

Daten des Eisenbahn-Bundesamtes

Das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) fungiert als Aufsichtsbehörde für die Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen (§ 24, Abs. 1 AtG) und als Genehmigungsbehörde für die Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen (§ 16 StrlSchV) im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen. Auf Grundlage der §§ 4 AtG, 23, Abs. 2 AtG und § 17 StrlSchV wurden seit 2012 keine Beförderungen mehr durchgeführt. Im Jahr 2018 wurden nach § 16 der bis 30.12.2018 gültigen Strahlenschutzverordnung zwei Genehmigungen für die Beförderung radioaktiver Stoffe durch das EBA erteilt.

Die gesamte Anzahl der im Jahr 2018 beförderten Wagenladungen mit radioaktiven Stoffen beläuft sich auf 217 Stück.

Gegenüber dem Vorjahr wurden 62 Wagenladungen weniger befördert. Gleichzeitig ist die Gesamtaktivität um das 40-fache gestiegen. Die deutliche Zunahme der Aktivität lässt sich auf eine Transportkampagne aus dem KKW Isar 1 (KTA) zurückführen, während der insgesamt 52 Behälter mit Kerneinbauten zur Zwischenlagerung befördert wurden. Diese allein wiesen eine Gesamtaktivität von 6541 TBq und somit mehr als 90 Prozent der Gesamtaktivität aller Beförderungen auf. Eine weitere Beförderung aus einer anderen KTA wies eine Aktivität von 460 TBq auf. Somit entfallen 97 % der Gesamtaktivität auf 25 % der für 2018 genehmigten Beförderungen bzw. 10,5 % aller Wagenladungen.

Ein Vergleich zu den Vorjahren ist in [Tabelle T V.11](#) aufgeführt. Die Anzahl der Wagenladungen ist im Vergleich zum Vorjahr um etwa 20 % zurückgegangen. Gleichzeitig wurden in der Summe 6 Beförderungen mehr durchgeführt, d. h. pro Beförderung wurden weniger Wagenladungen bewegt. [Abbildung B V 2.2-1](#) zeigt die Entwicklung der transportierten Wagenladungen seit 2009.

[Tabelle T V.12](#) gibt einen Überblick hinsichtlich der Anzahl der Transporte mit der Eisenbahn in Abhängigkeit der jeweiligen rechtlichen Grundlage der erteilten Beförderungsgenehmigung.

[Tabelle T V.13](#) listet die Anzahl der Wagenladungen auf, spezifiziert nach der atomrechtlichen Bezeichnung der beförderten radioaktiven Stoffe und nach den gefahrgutrechtlichen UN-Nummern. Beförderungen nach § 4 AtG (Kernbrennstoffe) fanden nicht statt.

Tabelle T V.14 zeigt die Gesamtaktivität für den Wagenladungsverkehr. Die Gesamtaktivität im Wagenladungsverkehr ist auf Grund der ausschließlichen Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen in TBq angegeben.

Tabelle T V.15 listet den Anteil der überprüften Transporte sowie die bei den Überprüfungen festgestellte Mängelquote auf. Auf Grund einer geänderten Erfassung (Transporte statt Wagenladungen) weichen die Zahlen deutlich von den Vorjahresberichten ab. Die Prüfquote ergibt sich aus der Anzahl aller Kontrollen im Verhältnis zur Gesamtzahl der genehmigten Beförderungen. Die Beanstandungsquote stellt den Anteil an Kontrollen dar, die nicht ohne Beanstandung verliefen.

In Tabelle T V.16 ist die Anzahl der Mängel, differenziert nach der Gefahrenkategorie, aufgelistet. Mängel mit radiologischer Relevanz traten nicht auf.

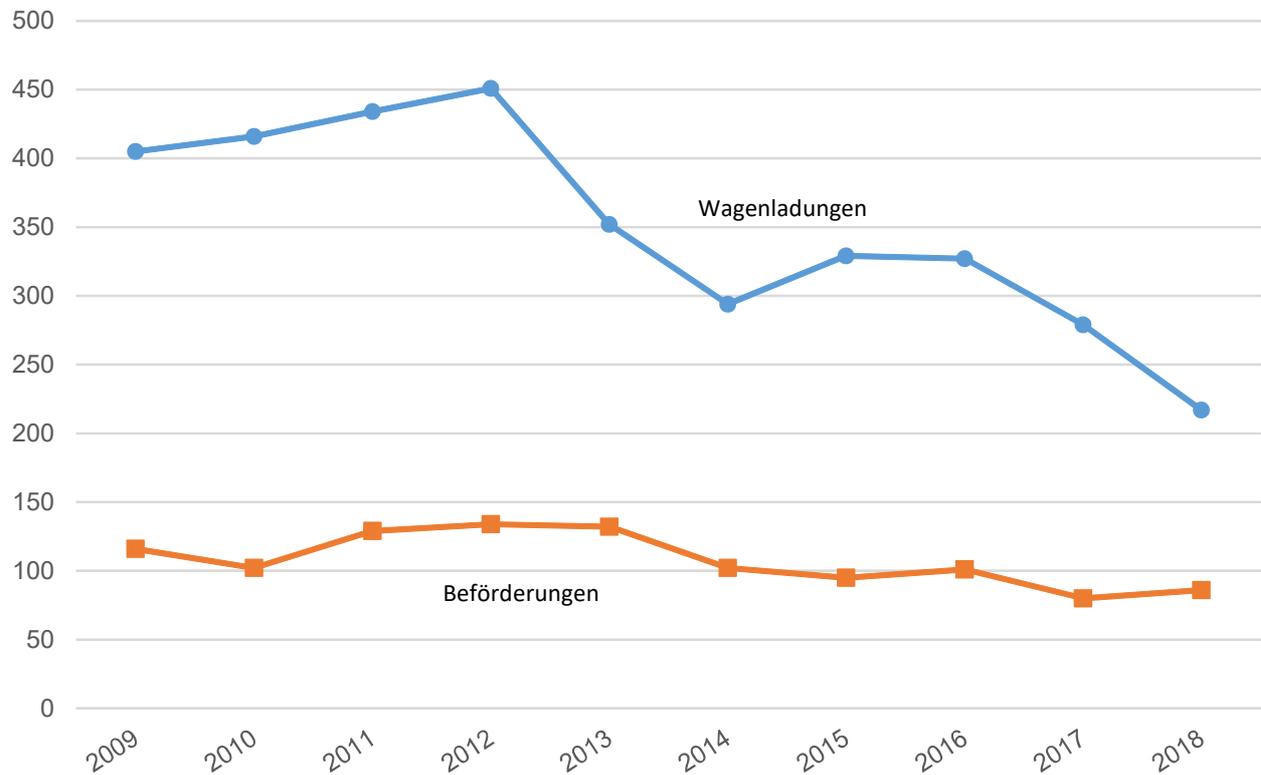


Abbildung B V 2.2-1 Entwicklung der transportierten Wagenladungen seit 1999

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

Die rechtlichen Grundlagen des sogenannten Umgangs mit radioaktiven Stoffen sind im Grundlagenteil G V 3 erläutert.

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe

Im Jahr 2018 waren in Deutschland 9 989 Genehmigungen zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen gemäß § 7 StrlSchV / § 12 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchG gültig. § 12 StrlSchG ist am 31.12.2018 in Kraft getreten. Die Zahl dieser Genehmigungen ist in [Tabelle T V.17](#) aufgeschlüsselt; es waren

- 26 % im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 19 % im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 48 % im Bereich Industrie, gewerblicher Wirtschaft und
- 7 % in sonstigen Bereichen (z. B. Behörden) registriert.

Die Zahl der Genehmigungen von ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen gemäß § 7 StrlSchV / § 12 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchG betrug insgesamt 5 116 und ist in [Tabelle T V.18](#) aufgelistet.

In [Tabelle T V.19](#) ist die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen nach § 11 StrlSchV / § 10 bzw. § 12 Abs. 1 Nr.1 StrlSchG im Jahr 2018 in einer Übersicht, aufgeschlüsselt auf die Bundesländer, wiedergegeben. Von diesen im Rahmen einer Betriebsgenehmigung laufenden Anlagen haben 9 % auch einer Genehmigung zur Errichtung bedurft. Insgesamt sind die o. g. Anlagen zu 64 % auf Anwendung am Menschen, zu 9 % auf Anlagen in Forschung und Lehre, zu 26 % auf Anlagen in Industrie bzw. gewerblicher Wirtschaft und zu gut 1 % auf Anlagen in sonstigen Bereichen verteilt.

[Tabelle T V.20](#) ist eine Übersicht der gültigen Genehmigungen im Jahr 2018 für den Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen nach § 7 StrlSchV / § 12 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchG, den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Strahlen nach § 11 StrlSchV / § 10 bzw. § 12 Abs. 1 Nr.1 StrlSchG, für die Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen nach § 15 StrlSchV / § 25 StrlSchG, für die Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe nach § 16 StrlSchV / § 27 StrlSchG, für den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern nach § 106 StrlSchV / § 40 StrlSch und für den Umgang mit Kernbrennstoffen nach § 9 ATG.

In [Tabelle T V.21](#) ist in einer Übersicht die Zahl der im Jahr 2018 erstatteten Anzeigen aufgeführt. Dies betrifft Anzeigen über Anlagen nach § 12 StrlSchV / § 17 StrlSchG, Anzeigen über Arbeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen nach § 95 Absatz 2 i.V.m. Anlage XI Teil A StrlSchV und § 95 Absatz 1 Satz 3 StrlSchV, nach § 95 Absatz 2 i.V.m. Anlage XI Teil B StrlSchV sowie nach § 96 Absatz 5 StrlSchV und § 95 Absatz 1 Satz 3 StrlSchV / § 56 i.V.m. Anlage 3 StrlSchG und Anzeigen über Bauartzulassungen (BAZ) nach § 117 Absatz 7 Satz 2 StrlSchV / § 208 Abs. 3 StrlSchG.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfungen umschlossener radioaktiver Stoffe nach § 66 StrlSchV / § 89 StrlSchG im Jahr 2018 kann der Übersicht in [Tabelle T V.22](#) entnommen werden. Bei den insgesamt 13 481 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 32 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. vier Nickel-63-Quellen, eine Krypton-85-Quelle, eine Radium-226-Quelle, vier Americium-241-Quellen, zehn Caesium-137-Quellen, zwei Tritium-Quellen (H-3), eine Barium-133-Quelle, eine Natrium-22-Quelle, drei Cobalt-60-Quellen und fünf Quellen ohne Angaben. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls der [Tabelle T V.22](#) zu entnehmen.

In den [Tabellen T V.23](#), [T V.24](#) und [V.25](#) ist eine Übersicht über die Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen für Röntgeneinrichtungen im Jahr 2018, unterteilt auf die Bereiche „Humanmedizin“, „Zahnmedizin und Tiermedizin“ sowie „Technik / Nichtmedizin“, für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1526 und ist für die Bundesländer in [Tabelle T V.25](#) gesondert aufgeführt. 20 % der nach § 3 Abs.1 RöV / § 4 Abs. 1 Nr. 8 StrlSchG genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2018 wurden im technischen Bereich 11234 Röntgeneinrichtungen gemäß § 4 Abs.1 und 2 RöV / § 19 Abs. 1 Nr. 1 und 2 StrlSchG angezeigt.

3.2 Industrierzeugnisse und technische Strahlenquellen

Radioaktive Stoffe unterschiedlicher Art und Aktivität können in Industrierzeugnissen, wie z. B. wissenschaftlichen Instrumenten, elektronischen Bauteilen, Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchmeldern, Gasglühstrümpfen, Schweißelektroden und keramischen Gegenständen, enthalten sein. Der Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang vorsieht, z. B. nach einer Bauartzulassung des Gerätes oder bei Unterschreiten gesetzlich festgelegter Aktivitätswerte. Auf Grund dieser vielschichtigen gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen ist gewährleistet, dass der Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Industrierzeugnissen kleiner als 0,01 mSv pro Jahr ist [1].

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z. B. für Füllstands-, Dichte- und Dichtemessung) oder zur Qualitätskontrolle bei der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Der Umgang mit diesen technischen Strahlenquellen bedarf in der Regel der Genehmigung oder einer Bauartzulassung.

3.3 Hochradioaktive Quellen (HRQ)

Bis zum Ende des Jahres 2018 wurden insgesamt 712 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten in das Register für hochradioaktive Strahlenquellen aufgenommen. 74 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt.

In der Datenbank der hochradioaktiven Strahlenquellen wurden bis Ende 2018 210 000 Meldungen zu 49 200 registrierten Strahlenquellen über deren Erhalt und Abgabe aufgenommen. Von diesen 49 200 registrierten Strahlenquellen waren nur knapp 30 % „hochradioaktive Strahlenquellen“ im Sinn der Strahlenschutzverordnung, da sich ein Großteil dieser Strahlenquellen zum Berichtszeitpunkt nicht mehr im Geltungsbereich der deutschen Strahlenschutzverordnung befand (also z. B. ins Ausland verbracht worden ist) oder auf Grund des radioaktiven Zerfalls (insbesondere Nuklide mit einer geringen Halbwertszeit wie Ir-192 oder Se-75) wieder eine Aktivität unterhalb des HRQ- Grenzwertes aufwies.

[Tabelle T V.26](#) zeigt die Entwicklung des Datenbestandes im HRQ-Register seit 2006.

3.4 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte oder Vorrichtungen (z. B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter), bei deren Betrieb ungewollt Röntgenstrahlung entsteht, die selbst nicht genutzt wird. Sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, falls keine Bauartzulassung vorliegt oder sie nach § 5 Absatz 2, 3 oder 4 RÖV ausgenommen sind. Zu den Störstrahlern gehören u. U. auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten wie z. B. in Fernsehgeräten älterer Bauart. Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung ist sehr gering. In der Vergangenheit wurde ein Wert von weniger als 0,01 mSv abgeschätzt.

3.5 Konsumgüter und sonstige Anwendungen

Die StrlSchV / das StrSchG verbietet zum Schutz des Verbrauchers den Zusatz von radioaktiven Stoffen zu bzw. die Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Produkten wie z. B. Spielwaren, Schmuck, Lebensmittel und Tabakerzeugnisse.

Sie / es regelt den genehmigungsbedürftigen Zusatz von radioaktiven Stoffen und die genehmigungsbedürftige Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Industrieerzeugnissen bzw. Konsumgütern und die Rückführung von diesen Produkten nach Beendigung des Gebrauchs.

3.6 Bestand radioaktiver Abfälle

Nachfolgend ist der Bestand an radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen zum 31. Dezember 2018 aufgeführt. Die angegebenen Werte sind gerundet, so dass sich dadurch marginale Abweichungen ergeben können.

Abfälle werden nach dem Stand ihrer Bearbeitung untergliedert in Rohabfälle (RA), d. h. Abfälle in ihrer Entstehungsform, und in „vorbehandelte Abfälle“ (VA), die z. B. eine Vorkonditionierung zur besseren Handhabung erhalten haben. Für die Zwischenlagerung werden die Abfälle in der Regel konditioniert. Aus dem Konditionierungsprozess entstehen die Abfallprodukte, die meist in Fässern, die einen Innenbehälter darstellen (P1), oder auch schon in Konradbehältern (G1) lagern. Soll das Abfallprodukt bis zur Endlagerung nicht weiter behandelt werden, kann in der Produktkontrolle durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) festgestellt werden, dass dieses Abfallprodukt, bei Erfüllung der Endlagerungsbedingungen, für das Endlager Konrad geeignet ist. Aus dem Abfallprodukt der Kategorie P1 entsteht so ein „produktkontrolliertes Abfallprodukt“ (P2). Die Abfallprodukte der Kategorie P2 werden dann für die Endlagerung noch in Konradbehälter eingestellt (G1). Wird das Abfallgebilde (G1) von der BGE als endlagerfähig bestätigt, liegt ein „produktkontrolliertes Abfallgebilde“ (G2) vor, welches vom Endlager zur Einlagerung abgerufen werden kann. Eine Übersicht über die Mengen vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Stoffe für das Jahr 2018 liefert

[Tabelle T V.27](#).

Insgesamt existierte bei allen Abfallverursachern am 31. Dezember 2018 ein Bestand an Rohabfällen und vorbehandelten Abfällen - mit dem Endlagerziel Konrad oder einem anderen - von 19 417 t. Der Bestand an Abfallprodukten in Innenbehältern belief sich auf 16 791 m³, von denen 3 131 m³ schon produktkontrolliert sind. Dies beinhaltet zum derzeitigen Zeitpunkt mindestens den radiologischen Teil der Produktkontrolle. Der größte Bestand entfällt auf die Abfallprodukte in Konradbehältern mit 106 717 m³, von denen 2 936 m³ vollumfänglich produktkontrolliert sind und vom zukünftigen Endlager Konrad abgerufen werden könnten. Lediglich 138 m³ und 4 554 t an radioaktiven Abfällen sind derzeit nicht für das Endlager Konrad vorgesehen.

Detaillierte Angaben zum Bestand der vernachlässigbar Wärme entwickelnden radioaktiven Abfälle ohne Differenzierung des Endlagerziels zum 31. Dezember 2018 für die einzelnen Abfallverursachergruppen sind in [Tabelle T V.28](#) aufgeführt.

Zu den Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen, ohne bestrahlte Brennelemente, zählen Abfälle aus der Forschung und vor allem der Wiederaufarbeitung wie die HAW (high active waste)-Kokillen aus der Wiederaufbereitung in Frank-

reich (544 m³), die im Zwischenlager in Gorleben, und zirka 25 m³ aus der Wiederaufarbeitung in Karlsruhe (WAK), die im Zwischenlager Nord gelagert werden. Eine Übersicht nach Verursachergruppen gibt [Tabelle T V.29](#).

Bis zum 31.12.2018 sind in Deutschland 15 643 Tonnen Schwermetall (tSM) in Form von bestrahlten Brennelementen aus Leistungsreaktoren angefallen (Vorjahr: 15 374 tSM). Hierin enthalten sind bestrahlte Brennelemente aus den in Betrieb befindlichen und den stillgelegten Kernkraftwerken sowie aus den Kernkraftwerken, die keine Genehmigung zum Leistungsbetrieb mehr besitzen. Von der o. a. Gesamtmenge wurden ca. 6670 Tonnen Schwermetall an die Wiederaufarbeitungsanlage AREVA NC (vormals COGEMA) in Frankreich, an die Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield Ltd. (vormals BNFL) in Großbritannien und an die WAK in Karlsruhe abgegeben sowie in sonstigen Anlagen im europäischen Ausland entsorgt.

Zusätzlich sind in Deutschland insgesamt ca. 190 Tonnen Schwermetall in Form von bestrahlten Brennelementen aus Versuchs- und Demonstrationsreaktoren angefallen, von denen der Großteil wiederaufgearbeitet wurde.

4. Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Bisher erfolgte die Meldung derartiger Vorkommnisse auf Grund von § 51 (Maßnahmen bei sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignissen) und § 71 (Abhandenkommen, Fund, Erlangung der tatsächlichen Gewalt) StrlSchV und § 42 RöV (Außergewöhnliche Ereignisabläufe oder Betriebszustände), im StrlSchG regelt § 90 die Melde- und Informationspflichten. Derartige Vorkommnisse werden jährlich in diesem Bericht zusammengefasst ([Tabelle T V.30](#)). Meldungen nach der Atomrechtlichen Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung (AtSMV) sind nicht enthalten.

Ein Großteil der für das Jahr 2018 gemeldeten Vorkommnisse sind Funde von radioaktivem Material, die meist durch eine nicht ordnungsgemäße Entsorgung des radioaktiven Stoffes verursacht wurden. Dabei kam es in keinem Fall zu einer hohen radiologischen Gefährdung.

Ein Teil der gemeldeten Vorkommnisse trat im medizinischen Anwendungsbereich auf. Durch menschliche Fehler (z. B. falsche Einstellungen, Patientenverwechslungen, Übertragungsfehler) wurden im Jahr 2018 zwei Vorkommnisse mit unbeabsichtigten Expositionen von Patienten in der Medizin bekannt.

Literatur

- [1] ausführlich erläutert (mit Tabelle) im Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltra dioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1977“, Bundestagsdrucksache 8/31 19, Bonn 1979

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen

1.1 Elektromagnetische Felder allgemein

Mit der zunehmenden Technisierung der Umwelt steigt auch die Zahl künstlicher Quellen, die zu einer Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern beitragen. Mit dem Begriff „elektromagnetische Felder“ werden statische und langsam veränderliche (niederfrequente) elektrische und magnetische Felder sowie hochfrequente elektromagnetische Felder zusammengefasst. Der Frequenzbereich erstreckt sich von 0 Hertz (Hz) bis 300 Gigahertz (GHz). Details sind im Grundlagenteil [VI 1. Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung](#) beschrieben.

Der Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder ist über gesetzliche Immissionsgrenzwerte geregelt, die von bestimmten Anlagen einzuhalten sind. Für elektrisch betriebene Geräte ist das Produktsicherheitsrecht anwendbar, dessen abstrakte Anforderungen in harmonisierten Normen konkretisiert sind.

Aktuelle Herausforderungen für den Strahlenschutz betreffen die begleitende Forschung zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau, neue Technikentwicklungen und das gleichzeitige Einwirken elektromagnetischer Felder von mehreren Quellen.

Technische Weiterentwicklungen sind vor allem bei der drahtlosen Kommunikations- und Energieübertragungstechnik, wie zum Beispiel dem neuen Mobilfunkstandard 5 G, der Sicherheitstechnik und der Elektrizitätsversorgung zu beobachten. Die Elektromobilität wirft neue Fragen auf, aber auch Anwendungen elektromagnetischer Felder zu medizinischen oder kosmetischen Zwecken sind stark im Kommen.

1.2 Statische elektrische und magnetische Felder

Statische Magnetfelder üben Kräfte auf elektrisch geladene Teilchen im menschlichen Körper aus, wenn sich die Teilchen quer zum Magnetfeld bewegen. Das betrifft insbesondere den Blutstrom oder Bewegungen des Körpers im Magnetfeld. Ältere wissenschaftliche Untersuchungen haben für magnetische Flussdichten unterhalb von etwa 4 Tesla keine direkten negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper gefunden.

Forschungsvorhaben zeigten, dass es durch die Einführung von Magnetresonanztomographen (MRT) mit höheren magnetischen Flussdichten zu keiner Beeinträchtigung des bedienenden Personals kommt.

Beim Stromnetzausbau werden auch Anlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) errichtet. In der Umgebung der Leitungen treten statische Magnetfelder auf. Der Grenzwert von 500 μT für magnetische Flussdichten der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26.BImSchV) muss jedoch eingehalten werden. Zudem sind bei der Errichtung und wesentlichen Änderung von Anlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Feldern nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren.

Die zusätzlichen statischen Magnetfelder in der Nähe von HGÜ-Trassen werden voraussichtlich in der Größenordnung der Feldstärken des natürlichen Erdmagnetfeldes liegen. Angesichts der erwähnten Forschungsergebnisse in wesentlich stärkeren Feldern der Magnetresonanztomographie ist nicht mit einer Beeinträchtigung der Bevölkerung und der Umwelt zu rechnen.

Im Gegensatz zu Wechselstromfreileitungen treten in der Nähe von Gleichstromtrassen auch statische elektrische Felder auf, die bisher wenig erforscht sind. Es wird auch verstärkt zur Ionisierung von Luftpartikeln kommen. Beide Phänomene müssen in naher Zukunft verstärkt erforscht werden.

1.3 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (NF)

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder können im menschlichen Körper elektrische Ströme hervorrufen. Das Schutzkonzept zielt darauf ab, negative gesundheitliche Wirkungen durch diese Einflüsse auf den Körper zu vermeiden. Die Basisgröße für den Strahlenschutz ist die im Körper induzierte elektrische Feldstärke. Die Grenzwerte, zum Beispiel in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV), werden davon abgeleitet. Diese Grenzwerte beziehen sich auf die außerhalb des menschlichen Körpers auftretenden elektrischen und magnetischen Felder. Auch in technischen Gerätesicherheitsnormen wird auf diese Werte Bezug genommen.

Epidemiologische Studien deuten bei beruflicher Exposition mit starken niederfrequenten Magnetfeldern darauf hin, dass verstärkt neurodegenerative Erkrankungen auftreten könnten. Es scheint vor allem bei der Alzheimer-Demenz und der amyotrophen Lateralsklerose (ALS: Schädigung der Nervenzellen, die Muskelbewegungen steuern), nicht aber bei der Parkinson-Krankheit und der Multiplen Sklerose einen statistischen Zusammenhang zu geben. Ein Zusammenhang zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und diesen Krankheiten konnte jedoch bislang nicht nachgewiesen werden. Die Fragen zu Mechanismen, die an der Entstehung und am Verlauf von Alzheimer-Demenz und ALS beteiligt sind, sind ungeklärt und werden im neuen Forschungsprogramm untersucht.

Strahlenschutz beim Stromnetzausbau

Um den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu erhöhen, werden die bestehenden Stromnetze ausgebaut und verstärkt. Hierfür werden nicht nur bestehende Wechselstromleitungen ertüchtigt, sondern auch neue Wechselstromleitungen sowie erstmals Hochspannungsgleichstromleitungen (HGÜ-Leitungen) errichtet, letztere vorzugsweise als Erdkabel. Die vom Ausbau betroffene Bevölkerung steht den notwendigen Maßnahmen zum Teil kritisch bis ablehnend gegenüber. Dabei werden u. a. Befürchtungen zu gesundheitlichen Risiken als Argumente angeführt.

Beim Ausbau des Stromnetzes müssen Fragen des Gesundheits- und Strahlenschutzes von Anfang an berücksichtigt werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) leistet mit dem Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ einen wichtigen Beitrag zur Klärung der offenen Fragen in diesen Themenbereichen.

Offene Fragen bei bestehenden Grenzwerten

Die Grenzwerte der 26. BImSchV schützen vor allen nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken statischer und niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder, die von Stromleitungen ausgehen. Es gibt jedoch wissenschaftliche Hinweise auf mögliche gesundheitliche Wirkungen unterhalb der bestehenden Grenzwerte und weitere offene Fragen, die im Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ geklärt werden müssen.

So kann der in mehreren Studien beobachtete statistische Zusammenhang von Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und Leukämien im Kindesalter derzeit nicht zufriedenstellend erklärt werden. Auch Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von degenerativen Erkrankungen des Nervensystems (z. B. Amyotrophe Lateralsklerose/ALS, Alzheimer-Demenz) können derzeit nicht abschließend beurteilt werden. Bei den HGÜ-Freileitungen sind es vor allem Fragen zu einer erhöhten Wahrnehmung beziehungsweise Wahrnehmbarkeit elektrischer Felder und zu einer möglicherweise verstärkten Corona-Ionen-Wirkung, die mit dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht zufriedenstellend beantwortet werden können.

Begleitendes Forschungsprogramm des BfS

Um bestehende wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern und offene Fragen beantworten zu können, führt das BfS ein begleitendes Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ durch. Es sind 36 Projekte aus 8 Themenfeldern im Laufe der Jahre geplant. Die Beschreibung des Forschungsprogramms kann sowohl im BMU-Jahresbericht 2017 als auch auf der Seite des BfS eingesehen werden:

http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html.

Einige dieser Forschungsvorhaben wurden bereits im Rahmen des Ressortforschungsplans begonnen bzw. sind beendet:

- Erfassung der Magnetfeldexposition der allgemeinen Bevölkerung (siehe Programmreport 2018, Seite 210 ff, (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808>))
- Untersuchung der Machbarkeit und Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und Magnetfeldexposition, Universität Mainz, 01.09.2018 - 31.08.2019
- Internationaler Workshop zum Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldexposition – Stand des Wissens und Forschungsperspektiven (siehe Programmreport 2017, Seite 90 ff, (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018071915600>))
- Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell) (siehe Programmreport 2018, S 207 ff(<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808>))

1.4 Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF)

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Mobilfunk oder Fernsehen verwendet werden. Der wesentliche Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung, da in wissenschaftlichen Untersuchungen erst bei einer dauerhaften Erhöhung der Körpertemperatur um 1°C gesundheitlich relevante Beeinträchtigungen beobachtet wurden.

Gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge nichtthermischer Wirkungen im Bereich niedriger Intensitäten hochfrequenter Felder konnten bisher - trotz intensiver jahrzehntelanger Forschung - wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden.

Wissenschaftliche Unsicherheiten verbleiben jedoch hinsichtlich der Frage zu möglichen Langzeitrisiken für Handynutzung von mehr als 15 Jahren durch Kinder und Erwachsene. Diese Unsicherheiten führten dazu, dass 2011 die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) auch hochfrequente elektromagnetische Felder in die Gruppe 2b („möglicherweise krebserregend“) eingestuft hat.

Folgende Forschungsvorhaben wurden begonnen bzw. sind beendet:

- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähig-

keit älterer Männer

(siehe Programmreport 2018, S.204 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808>))

Frequenzübergreifende Forschungsvorhaben (Hoch- und Niederfrequenz, gehört zu 1.3 und 1.4)

- Kosmetik, Wellness und die Gesundheit - EMF-Quellen außerhalb der Medizin. Systematische Erfassung und Charakterisierung von hoch- und niederfrequenten Quellen einschl. Ultraschall im gewerblichen Bereich und in der Anwendung für zuhause

(siehe Programmreport 2018, S. 99 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808>))

Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber

Ein wichtiges Element, das die Vorsorgemaßnahmen der Bundesregierung im Mobilfunkbereich unterstützt, ist die freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber, die diese im Nachgang zur Versteigerung der UMTS-Lizenzen im Jahr 2001 gegenüber der Bundesregierung abgegeben hatten. Damit sollten die Konflikte beim Netzausbau verringert und die Vorsorge im Bereich Mobilfunk auf freiwilliger Basis verstärkt werden. Teil der freiwilligen Selbstverpflichtung war 2001 die Zusage, das vom BMU initiierte Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) anteilig mit 8,5 Millionen Euro zu unterstützen. Es wurden insgesamt 54 Forschungsvorhaben zu den Teilbereichen Biologie, Dosimetrie, Epidemiologie und zur Risikokommunikation durchgeführt. Diese Forschungsvorhaben sind alle abgeschlossen (siehe www.emf-forschungsprogramm.de).

Im Jahr 2008 wurde die freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber erneuert und im Februar 2012 ergänzt. Die Ergänzung der Selbstverpflichtung 2012 beinhaltet erneut die Förderung von wissenschaftlicher Forschung mit dem Schwerpunkt im Bereich Wissensmanagement und Risikokommunikation.

Ein letztes Forschungsvorhaben wurde 2018 begonnen:

- Nutzung von Mobiltelefon und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979

(siehe Programmreport 2018, S. 223 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018071915600>))

Berichte über Forschungsvorhaben, die über die freiwillige Selbstverpflichtung mitfinanziert wurden, sind auf <http://doris.bfs.de> abrufbar.

Risikokommunikation

Die Risikokommunikation des BMU und des BFS basiert auf den Ergebnissen aller durchgeführten Forschungsvorhaben. Die Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen über mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch HF und NF werden zielgruppengerecht und bevölkerungsnah vermittelt.

Die Forschungsvorhaben des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms sind abgeschlossen. Neu auftretende Fragen zu veränderten Expositionsszenarien, z. B. durch neue Mobilfunkstandards, werden jedoch weiterhin untersucht.

Der Bereich Niederfrequenz wird im aktuellen Forschungsprogramm beim Stromnetzausbau ausführlich untersucht. Näheres siehe http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html.

Ein erhebliches Informationsbedürfnis besteht hinsichtlich der Frage, auf welcher Grundlage gesundheitliche Risiken von Expositionen bewertet und Grenzwerte festgelegt werden.

Runder Tisch Elektromagnetische Felder

Im Jahr 2004 wurde unter Leitung des Bundesamtes für Strahlenschutz ein Runder Tisch eingerichtet. Aus dem ursprünglichen, das DMF-Forschungsprogramm begleitenden Runden Tisch (RTDMF) wurde inzwischen ein auch den Strahlenschutz beim Ausbau der Stromnetze begleitender Runder Tisch (RTEMF). Er ist ein unabhängiges Beratungs- und Diskussionsgremium, das mehr Transparenz bei der Vermittlung und Kommunikation von Erkenntnissen im Bereich Strahlenschutz schaffen soll. Fragen, wie wissenschaftliche Forschungsergebnisse verständlich kommuniziert werden können, wie eine kritische Öffentlichkeit informiert und betroffene Bürgerinnen und Bürger rechtzeitig und angemessen in Entscheidungsprozesse eingebunden werden können, sind sowohl für den Mobilfunk als auch für den Stromnetzausbau zu betrachten. Der RTEMF hat sich als Forum etabliert, auf dem unterschiedliche Akteure ihre Sichtweisen und Erkenntnisse zu Fragen des Strahlenschutzes bei EMF diskutieren und austauschen können. Die aktuelle Mitgliederliste ist unter www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/runder-tisch/runder-tisch_node.htm einzusehen.

Umweltzeichen „Blauer Engel“

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat bereits im Jahr 2001 empfohlen, „bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen“. Für Verbraucher stellt die Nutzung strahlungsarmer Produkte eine Möglichkeit zur Vorsorge gegenüber möglichen aber nicht nachgewiesenen Wirkungen elektromagnetischer Felder dar.

In den Folgejahren sind unter Mitwirkung des BfS für unterschiedliche Verbraucherprodukte Vergabegrundlagen für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ erarbeitet worden, in denen Anforderungen an die Strahlungseigenschaften beschrieben sind. Hersteller können die definierten Qualitätskriterien für die Geräteentwicklung nutzen.

Für strahlungsarme Mobiltelefone gilt der Kriterienkatalog DE-UZ 106: Geräte mit einem unter Laborbedingungen gemessenen SAR-Wert von höchstens 0,6 W/kg (also deutlich unter dem empfohlenen Expositionsgrenzwert von 2 W/kg), die zudem besonders umweltfreundlich konstruiert sind, konnten bis Mitte 2017 ausgezeichnet werden. Anders als Grenzwerte zum Schutz vor nachgewiesenen Wirkungen orientiert sich der niedrigere Wert am technisch Machbaren. Mitte 2017 erfolgte eine Überarbeitung der Vergabekriterien. Im Zuge dessen wurden für die Anwendungsfälle „Betrieb am Ohr“ und „Betrieb am Körper“ neue Höchstwerte von 0,5 W/kg und 1,0 W/kg festgelegt.

Das BfS stellt die von Herstellern oder deren Beauftragten unter standardisierten Laborbedingungen ermittelten SAR-Werte der auf dem deutschen Markt verfügbaren Mobiltelefone in einer Liste zusammen und veröffentlicht die Daten unter http://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html. Die Liste umfasst insgesamt 3225 klassische Mobiltelefone und Smartphones, wobei für 2940 Geräte ein SAR-Wert vorliegt. In [Tabelle T VI.1](#) erfolgt eine statistische Auswertung der Daten dieser 2940 Geräte aus der SAR-Liste (www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/schutz/vorsorge/blauer-engel.html).

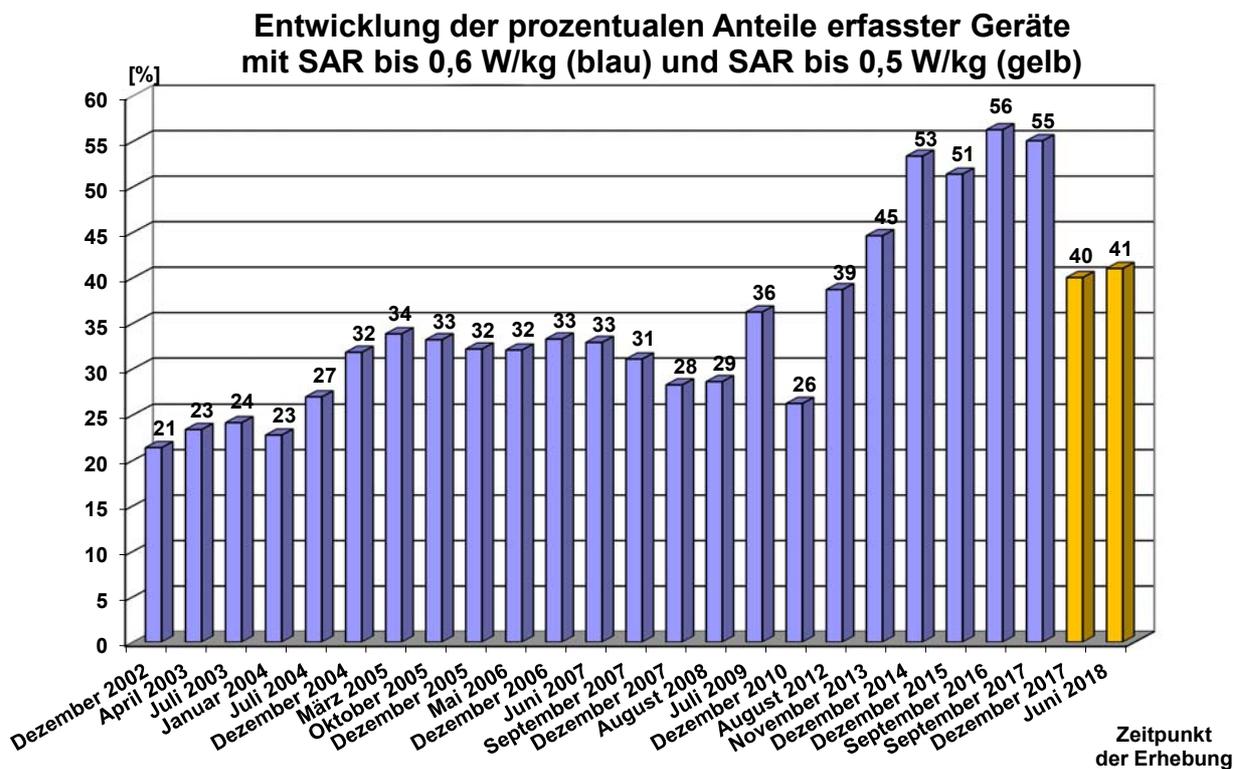


Abbildung B VI 1.4-1 Entwicklung des Anteils „strahlungsarmer“ Mobiltelefone (gemäß Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens „Blauer Engel“)
(Enhancement of the number of low-radiation mobile phones according to the radiation protection criterion of the ecolabel "Blue Angel")

Das Angebot strahlungsarmer Geräte blieb bis September 2017 auf gleich hohem Niveau wie in den Vorjahren. In der Dezember-Erhebung 2017 weisen 40 % und im Juni 2018 dann 41 % der aktuell erhältlichen klassischen Mobiltelefone und Smartphones einen am Kopf ermittelten SAR-Wert von „kleiner/gleich 0,5 W/kg“ auf. Für eine Auszeichnung mit dem Umweltzeichen aus strahlenhygienischer Sicht müsste aber auch das neue zweite Strahlenschutzkriterium „SAR-Wert kleiner/gleich 1,0 W/kg in 0 mm Abstand gemessen“ für den Anwendungsfall „Betrieb des Handys am Körper“ erfüllt sein ([Abbildung B VI 1.4-1](#)).

Die für die Bewertung herangezogenen SAR-Werte beschreiben die von dem Gerät ausgehende maximale Exposition des Nutzers, wenn das Gerät zum Telefonieren am Ohr betrieben wird. Besonders Smartphones werden zunehmend, z. B. bei Datenübertragung, in unmittelbarer Nähe zu anderen Körperteilen verwendet. In der Prüfvorschrift für diese Expositionssituation war die Messposition nicht exakt festgelegt und die Messergebnisse für verschiedene Geräte daher nur eingeschränkt vergleichbar: Durfte früher bei einem Abstand von bis zu 25 Millimetern gemessen werden, sind seit 2017 nur noch Messungen in einem einheitlichem Abstand von 5 Millimetern zulässig. Das BfS gibt die bei den Herstellern abgefragten Werte zusammen mit den Messpositionen auf seiner Internetseite an und weist darauf hin, dass die Exposition bei geringeren Gebrauchsabständen höher als angegeben sein kann. Die vom BfS befürwortete Anpassung der entsprechenden Prüfvorschrift ist erfolgt. Damit sind die Messergebnisse nun vergleichbarer und Geräte, die den international empfohlenen SAR-Höchstwert unter den neuen Nutzungsbedingungen nicht einhalten, werden vom Markt ferngehalten. Bei der 2017 erfolgten Überarbeitung des Kriterienkatalogs für den Blauen Engel wurde der Sachverhalt berücksichtigt.

Da nur eines von insgesamt 3 225 Geräten der SAR-Werteliste des BfS einen am Körper in 0 mm Abstand gemessenen SAR-Wert aufweist, kann zur prozentualen Einhaltung des neuen Strahlenschutzkriteriums für diesen Anwendungsfall noch keine genaue Aussage gemacht werden. Um trotz dieser schlechten Datenlage abschätzen zu können, wie viele Geräte aus der SAR-Werteliste einen SAR-Wert von 1 W/kg direkt am Körper einhalten könnten, wird in [Tabelle T VI.1](#) auch der Prozentsatz der Geräte eingegeben, die bei einem Messabstand von 0,5 cm zum Körper einen SAR-Wert „<0,5 W/kg“ einhalten. Zumindest bei einigen dieser Geräte kann man erwarten, dass sie dann auch in einem Abstand von 0 mm zum Körper einen SAR-Wert ≤ 1 W/kg einhalten würden.

Außer für Mobiltelefone gibt es bereits seit längerem einen Kriterienkatalog für digitale Schnurlostelefone: Geräte, die im Standby das Basisstations-Sendesignal abschalten und weitere Bedingungen erfüllen, können ausgezeichnet werden. 2018 waren wie in den Vorjahren mehrere Modelle eines deutschen Herstellers mit dem „Blauen Engel“ ausgezeichnet.

Weitere Produkte, die ausgezeichnet werden können, wenn bestimmte Anforderungen an die Strahlungseigenschaften nachgewiesen werden, sind:

- Babyüberwachungsgeräte,
- Mikrowellenkochgeräte für den Hausgebrauch,
- Haushaltslampen,
- Router,
- programmierbare Heizkörperthermostate.

Hersteller strahlungsarmer Produkte nutzen den „Blauen Engel“ bislang leider nur vereinzelt.

2. Optische Strahlung

2.1 Solares UV-Monitoring

(ausführliche Informationen siehe Teil [Grundlagen - VI - 5.1 UV-Strahlung](#))

Im Rahmen des deutschlandweiten solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html) wurde auch im Jahr 2018 an elf repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich die bodennahe, solare UV-Strahlung spektral aufgelöst gemessen. Im Dezember 2018 wurde mit dem Aufbau einer zusätzlichen spektralen UV-Messstation in Sachsen durch das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung begonnen.

Um alle Bürger*innen verlässlich über die aktuelle solare UV-Belastung zu informieren, erweitert das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sein UV-Messnetz mit zusätzlichen 20 Breitbandradiometer-Stationen (siehe [Abbildung B VI 2.1-1](#)). Den Startschuss für die Erweiterung gab Bundesumweltministerin Svenja Schulze am 27. August 2018 bei ihrem Besuch im BfS in Neuherberg bei München. Für die Infrastruktur des Ausbaus nutzt das BfS sein Ortsdosisleistungs (ODL) -Messnetz (<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/luft-boden/odl/odl.html>) und ergänzt passende ODL-Sonden mit kompakten Breitbandradiometern. Ende 2018 nahmen zwei Breitbandradiometer-Stationen in Chieming und Waldmünchen den aktiven Messbetrieb im solaren UV-Messnetz auf.

Die Messdaten aller Stationen werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim dokumentiert, gesundheitlich bewertet und regelmäßig veröffentlicht.

Von den ermittelten Messwerten der bodennahen, solaren UV-Bestrahlungsstärke wird der so genannte UV-Index (UVI) abgeleitet und die Bevölkerung auf den Internetseiten des BfS (http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-index_node.html) und über das BfS Geoportal (<https://www.imis.bfs.de/geoportal>) darüber informiert.

In den Sommermonaten werden zusätzlich 3-Tages-Prognosen der UVI-Werte vom BfS im Internet unter www.bfs.de/uv-prognose veröffentlicht und per Newsletter (http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-newsletter/uv-newsletter_node.html) an Abonnenten verschickt. In den Wintermonaten von Oktober bis März werden 3-Monats-Prognosen veröffentlicht.

Die kontinuierlichen Messungen der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke im Rahmen des solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA ergaben, dass im Jahr 2018 die höchsten ermittelten Tagesspitzenwerte des UV-Index in Nord- und Mitteldeutschland bei UV-Index-Werten von 7 bis 8 im Juni und Juli lagen. Im gleichen Zeitraum wurden in Süddeutschland UV-Index-Werte von 8 bis 9 und im alpinen Hochgebirgsraum UV-Index-Werte von 9 bis 10 gemessen. An zwei Tagen im Juli und August lag der UV-Index-Tagesspitzenwert im alpinen Hochgebirgsraum bei 11.

Laut WHO (<http://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf>) sind ab einem UVI von 3 Sonnenschutzmaßnahmen (siehe hierzu http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/schutz_node.html) erforderlich, ab einem UVI von 8 sind sie dringend erforderlich.

Gemäß den Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes war das Jahr 2018 - analog zum Jahr 2003 - auffallend sonnig (siehe hierzu <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html?nn=480164>). Auswertungen des BfS der UV-Messdaten der Messstationen in Dortmund von 1999 bis einschließlich 2018 zeigten, dass die aufsummierten Tagessummen für das Jahr 2018 - ebenso wie für das Jahr 2003 - deutlich höher als die Summen aller anderen Jahre liegen (siehe [Abbildung B VI 2.1-2](#)). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass eine erhöhte Anzahl an sonnigen Tagen



Abbildung B VI 2.1-1

Übersicht aller Messstationen des solaren UV-Messnetzes; blaue Punkte: spektral-aufgelöst messende Stationen, weiße Punkte: Breitbandradiometer-Stationen (Ausbau geplant bis Ende 2020)
 (Overview of all measuring stations of the solar UV measuring network; blue dots: spectral resolved measuring stations, white dots: broadband radiometer stations (expansion planned by the end of 2020))

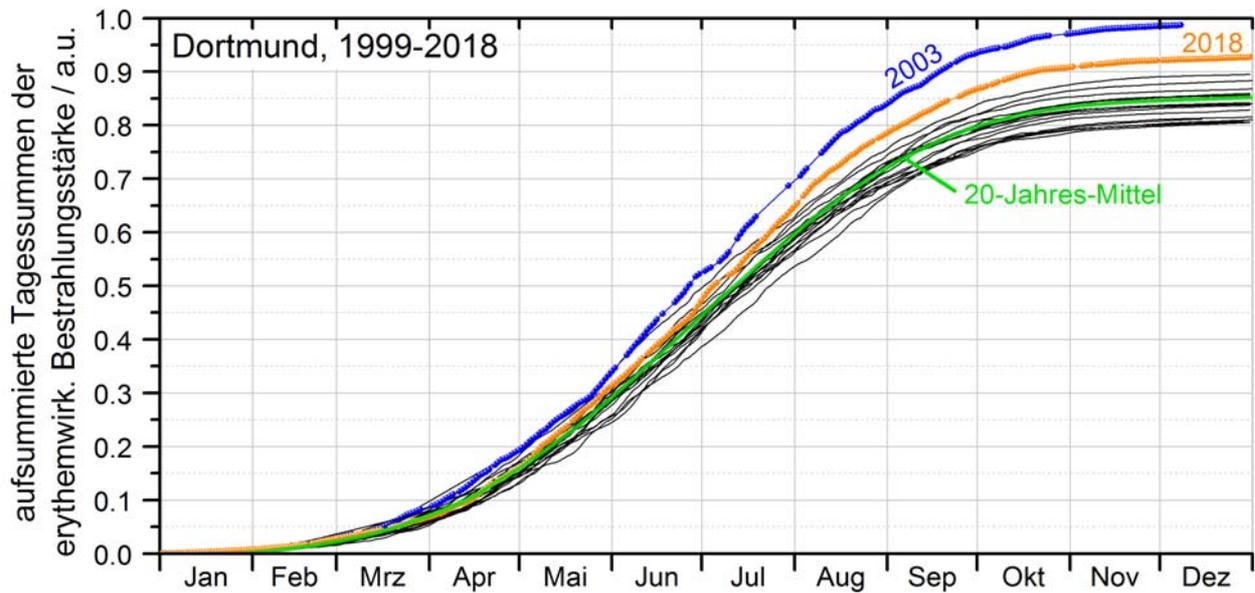


Abbildung B VI 2.1-2 Normierte Darstellung der über das Jahr aufsummierten Tagessummen der gemessenen erythemgewichteten Bestrahlungsstärken in Dortmund der Jahre 1999-2018 (a. u. "arbitrary unit"; willkürliche Einheit)
 (Standardized presentation of the daily totals of the measured erythema-weighted irradiance levels in Dortmund for the years 1999-2018 added up over the year)

und damit eine erhöhte Sonnenscheindauer über das Jahr direkt mit einer erhöhten erythemwirksamen UV-Jahresdosis korreliert ist [1].

Da der Mensch über keinen unmittelbaren Sensor zur Registrierung von UV-Strahlung verfügt, ist die Gefahr groß, dass sich Menschen unbewusst hohen UV-Belastungen zu lange aussetzen und Sonnenbrände erleiden. Um dem damit erhöhten Hautkrebsrisiko vorzubeugen (siehe S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/032-052OL.html>), sind zeitnahe und flächendeckende Messungen der bodennahen solaren UV-Strahlung und die Veröffentlichung des davon abgeleiteten UVI-Index wichtig und notwendig. Das UV-Monitoring dient somit über den wissenschaftlichen Anspruch hinaus der Aufklärung und zeitnahen Warnung und stellt damit ein effektives Tool der Hautkrebsprävention dar.

2.2 Forschung

Optische Strahlenquellen außerhalb der Medizin

Starke optische Strahlungsquellen wie Laserpointer, (Laser-)Taschenlampen, Showlaser für den Heimgebrauch oder auch starke Fahrradlampen sind in großer Vielfalt auf dem Markt verfügbar. Zur Frage, ob Wirkungsschwellen überschritten werden und dadurch photochemische oder ggf. thermische Gefährdungen für die Augen bestehen, wurde das Forschungsvorhaben „Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen - Abschätzung von Risiken für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung“ durchgeführt. Es wurden 40, als repräsentativ betrachtete und heute am Markt erhältliche Verbrauchsprodukte mit starken optischen Strahlungsquellen ausgewählt, messtechnisch charakterisiert und bewertet. Das Projekt wurde 2018 abgeschlossen:

- Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen: Abschätzung von Risiken für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung (siehe Programmreport 2018, S. 93 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808>))

Vom 06. bis 07.11.2018 wurde in München der internationale Workshop „LED as an upcoming new light source - Safe protection against eye damage and glare“ durchgeführt. Teilgenommen haben Expert*innen aus den Bereichen Normung, Messtechnik, Biologie/Medizin und Strahlenschutz. Diskutiert wurden insbesondere die Themenfelder akute und chronische Risiken, Eignung existierender Normen, Empfehlungen für den Schutz insbesondere vulnerabler Gruppen sowie Erkenntnislücken. Weiterer Forschungsbedarf wurde vor allem im Hinblick auf Langzeitwirkungen und Wirkungen auf vulnerable Gruppen gesehen. Angesichts der zunehmenden Vielfalt auf dem Markt befindlicher Produkte sollten Neuerungen kontinuierlich im Hinblick auf mögliche Risiken betrachtet werden. Zudem sollte die Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Tierversuchen auf das menschliche Auge weiter abgeklärt werden.

2.3 Rechtliche Regelungen

Solarien

Das Benutzungsverbot von Solarien durch Minderjährige (geregelt seit August 2009 im „Gesetz zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen“ (NiSG)) gilt nunmehr seit neun Jahren, die gemäß NiSG erlassene „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher Ultravioletter Strahlung“ (UV-Schutz-Verordnung, UVSV) seit sechs Jahren. Die Kontrolle der Einhaltung der rechtlichen Vorgaben obliegt den Bundesländern.

Im Rahmen der Deutschen Großstudie „Nationales Krebshilfe-Monitoring zur Solariennutzung“ (National Cancer Aid Monitoring of Tanning Bed Use, NCAM) werden die Risikofaktoren für Hautkrebs in jährlichen Intervallen anhand einer großen, landesweit repräsentativen Stichprobe überwacht. Die NCAM-Daten zeigen, dass die Nutzung von Solarien rückläufig ist: Die Zahl der Nutzer sank von 11,0 % (2015) auf 8,8 % (2018). gleichzeitig stieg jedoch die Nutzung von Solarien durch Minderjährige von 1,6 % auf 4,6 %, obwohl die Nutzung für diese Altersgruppe gesetzlich verboten ist. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass das Sonnenschutzverhalten in den Sommermonaten unzureichend ist (2015 und 2016). Des Weiteren konnten 2018 Defizite bei der Verwendung von Sonnenschutzmitteln festgestellt werden. Dazu gehört z. B. die Anwendung von zu kleinen Mengen von Sonnenschutzmitteln. Die Veröffentlichung der Ergebnisse über den gesamten Zeitraum wird 2019 erwartet.

Laut der Berichte der Bundesländer zeigen auch die 2018 durchgeführten Kontrollen, dass viele Betreiber das erforderliche Angebot einer qualifizierten Beratung nicht machen (angedeutet durch fehlende Dokumentationen über Hauttypenbestimmungen und hauttypbezogene Dosierungspläne), Minderjährigen die Nutzung der Solarien erlauben und weiterhin Solarien ohne ausreichende technische Maßnahmen betrieben werden, die gewährleisten würden, dass die Solarien dem Gesetz und der Verordnung gemäß betrieben werden.

Das BMU und das BfS haben sich auch 2018 im Rahmen Ihrer Aufgabenbereiche für die Umsetzung der rechtlichen Regelungen zur Reduzierung der UV-Belastung für Nutzerinnen und Nutzer von Solarien eingesetzt.

Verordnung „Nichtionisierende Strahlung“

Ein Arbeitsschwerpunkt lag im Jahr 2018 auf der fachlichen Unterstützung des BMU bei der Erarbeitung der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV). Mit dieser Verordnung werden insbesondere Anforderungen an den Betrieb und an die Fachkunde professioneller An-

wender*innen nichtionisierender Strahlung zu kosmetischen und sonstigen nichtmedizinischen Zwecken rechtlich verbindlich geregelt. Im Bereich der optischen Strahlung stehen Anwendungen wie die Tattooentfernung mit Lasergeräten - eine Anwendung, die künftig unter Arztvorbehalt stehen wird - sowie die dauerhafte Haarentfernung (Epilationen) mit Lasern oder IPI-Geräten im Vordergrund. Daneben zählen dazu Anwendungen von Ultraschall und elektromagnetischen Feldern, z. B. zur Faltenglättung, Zerstörung von Fettgewebe oder zur Muskelstimulation. Je höher das Gefährdungspotential der jeweiligen Anwendung ist, desto höher sind die Anforderungen an die Qualifikation der anwendenden Person. Die NiSV tritt am 31. Dezember 2020 in Kraft. Ab diesem Zeitpunkt gilt auch der Arztvorbehalt für bestimmte Anwendungen. Die Anforderung zum Nachweis der Fachkunde tritt am 31. Dezember 2021 in Kraft. Weitere Informationen hierzu sind veröffentlicht unter www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/warum-die-nisv/.

2.4 Hautkrebspräventionsmaßnahmen

Auf der Basis des Grundsatzpapiers „Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne - Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land“ wurde 2018 vom UV-Schutz-Bündnis (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/buendnis/buendnis.html) nach Vorgaben des Kooperationsverbundes „gesundheitsziele.de“ (gesundheitsziele.de/) eine Kriterienanalyse erarbeitet. Diese stellt den wissenschaftlichen Kenntnisstand zum Thema, aufbereitet in Bezug auf die vom Kooperationsverbund vorgegebenen Kriterien, dar. Des Weiteren wurde 2018 weiter daran gearbeitet, die weiteren, im Grundsatzpapier konkret genannten Maßnahmen umzusetzen. So wurde vom BfS die Erweiterung des UV-Messnetzes (2.1 Solares UV-Monitoring) vorangetrieben. Zusätzlich zur Veröffentlichung des UV-Index als Tageshöchstwert-Prognose wurden die aktuellen Messwerte im Tagesverlauf auf den Internetseiten des BfS und im Geoportal des BfS veröffentlicht (2.1 Solares UV-Monitoring). Des Weiteren wurde durch die Bündnispartner „Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention (ADP)“ und „Deutsche Krebshilfe (DKH)“ in Zusammenarbeit mit weiteren Akteuren weiter daran gearbeitet, einen Grundlagenkatalog für Lehr- und Ausbildungspläne zu erstellen und unterschiedliche Materialien zur Ergänzung von Lehr- und Ausbildungsplänen entsprechender Berufe (s. Grundsatzpapier) wie Lernvideos oder Material für „Spielerisches“ / „Kreatives“ Lernen zu erstellen.

Literatur

- [1] Baldermann C, Lorenz S: UV-Strahlung in Deutschland: Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, 62(5): 639-645, 2019 <https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-019-02934-w>, Erratum: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-019-03001-0>

GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANGABEN

(Überarbeitungsstand 2016)

GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND ERLÄUTERUNGEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

HISTORISCHE UND GESETZLICHE GRUNDLAGEN DER ÜBERWACHUNG

(Überarbeitungsstand 2018)

Die Auswirkungen der von 1945 bis 1980 durchgeführten oberirdischen Kernwaffentests sowie der großtechnische Einsatz der Kernenergie seit den 60er und 70er Jahren machten die Konzeption entsprechender Kontrollsysteme zur Umwelt- bzw. Umgebungsüberwachung notwendig. In der Bundesrepublik Deutschland regelte bis 2017 das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) die Zuständigkeiten, Überwachungssysteme und Messprogramme für die Kontrolle der Radioaktivität in der Umwelt. Durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und das Atomgesetz (AtG) wird dies in der Umgebung kerntechnischer Anlagen festgelegt. Im „Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung“ vom 27. Juni 2017 wurde in Artikel 4 das Strahlenschutzvorsorgegesetz aufgehoben und in Artikel 1 durch die Regelungen im „Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) ersetzt (siehe Nr. 2, Seite 131).

Durch dieses Gesetz wurden die in der Richtlinie 2013/59/Euratom (sog. Euratom-Grundnormen) enthaltenen neuen Regelungen zum Schutz der Bevölkerung und der Einsatzkräfte bei radiologischen Notfällen in nationales Recht umgesetzt. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit hat mit diesem Gesetz das deutsche Strahlenschutzrecht auch modernisiert und möglichst vollzugsfreundlich gestaltet.

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

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

Überwachung der Umwelt

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

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

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

- Im Strahlenschutzgesetz ist der Überwachung der Umweltradioaktivität das erste Kapitel von Teil 5 „Expositionssituationsübergreifende Vorschriften“, also §§ 161 bis 165 gewidmet. Die §§ 161 und 162 grenzen dabei die Auf-

gabenzuständigkeit zwischen Bund und Ländern ab. Die großräumige Überwachung der Medien Luft, Wasser und Boden sowie die Ermittlung der Gamma-Ortsdosisleistung ist dem Bund zugewiesen. Die Überwachung der anderen Umweltmedien wird dagegen in Bundesauftragsverwaltung nach § 162 StrlSchG von den Messstellen der Länder wahrgenommen ([Tabelle G 1](#)).

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

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

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

Die Messprogramme für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) und den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm) sind Bestandteil der Neufassung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umwelt (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006.

Überwachungsmaßnahmen auf europäischer Ebene - Höchstwertverordnung

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

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

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

Am 15. Januar 2016 wurde eine Neufassung der Höchstwertverordnung vom Rat der Europäischen Union beschlossen (siehe Verordnung (Euratom) 2016/52, siehe Nr. 77, Seite 134). Diese trat am 09.02.2016 in Kraft und ersetzt die o. g. Euratom-Verordnung Nr. 3954. Mit der auf das allgemeine EU-Lebensmittelrecht gestützten Durchführungsverordnung (EU) Nr. 961/2011 vom 26. März 2011 traten die ersten Sondervorschriften für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln aus Japan in Kraft, die die Werte aus der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 als Grenzwerte für das Inverkehrbringen japanischer Lebensmittel in der EU festlegte. Mit der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 351/2011 wurden im April 2011 die Werte inzwischen festgelegter niedrigerer japanischer Grenzwerte übernommen. Die Importbestimmungen wurden seit dem Jahr 2011 auf Grundlage der Auswertung von Messergebnissen nach mehreren Vegetationsperioden sowie von Kontrollmessungen überarbeitet und der jeweils aktuellen Situation angepasst. Mit Datum vom 24. Oktober 2019 regelt die Durchführungsverordnung (EU) Nr. 2019/1787 die besonderen Bedingungen für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln aus Japan.

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

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität erwuchs durch die Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1957 und 1958 und den späteren großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung zusätzlich die Aufgabe der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Emission und Immission). Die rechtlichen Verpflichtungen dazu leiten sich aus dem Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung ab und werden sowohl von den Betreibern der Anlage selbst als auch von unabhängigen Messstellen der Länder um-

gesetzt. Die Messaufgaben sind seit 1993 in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) festgesetzt (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 07. Dezember 2005, GMBI 2006, S. 254, zuletzt geändert am 23. März 2006, GMBI 14-17, S. 253).

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

In den neuen Bundesländern wurde gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radonzerfallsprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. Die Art der Überwachung änderte sich durch das Inkrafttreten der Novelle der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (siehe Nr. 16, Seite 132) nur unwesentlich.

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

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

In Abschnitt 2 werden gesetzliche Grundlagen, die für die in diesem Bericht vorgestellten Daten relevant sind, in Auswahl vorgestellt.

1. Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen

1.1 Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung

Die beiden wesentlichen Größen in diesem Bericht im Bereich der ionisierenden Strahlung sind Becquerel und Millisievert. In Becquerel (Bq) wird die „Menge“ an Radioaktivität in einem bestimmten Medium, z. B. Umweltmedium (Umweltradioaktivität) angegeben, in Millisievert (mSv) die sich daraus ergebende Dosis als Maß für die Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die Vermeidung bzw. größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes¹.

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

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

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

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

1.2 Strahlendosis und ihre Einheiten

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

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

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

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

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

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z. B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z. B. tierische

¹ ALARA-Prinzip: „As low as reasonably achievable“

oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20-mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Die Dichte der Ionisierung wird mit der Größe „Linearer Energietransfer“ (LET) angegeben. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

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

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

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

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

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

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der Strahlenschutzverordnung von 2001 entsprechend [Tabelle G 1.1-1](#) festgelegt.

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

Strahlenart und Energiebereich	w_R
Photonen, alle Energien	1
Elektronen und Myonen, alle Energien	1
Neutronen, Energie	
<10 keV	5
10 KeV bis 100 keV	10
> 100 keV bis 2 MeV	20
> 2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

Für die Berechnung von Organdosen und der effektiven Dosis für Neutronenstrahlung wird die stetige Funktion

$$w_R = 5 + 17 \cdot e^{-1/6 \cdot (\ln(2 \cdot E_n))^2}$$

benutzt, wobei E_n der Zahlenwert der Neutronenenergie in MeV ist. Für die nicht in der Tabelle enthaltenen Strahlungsarten und Energien kann w_R dem mittleren Qualitätsfaktor Q in einer Tiefe von 10 mm in einer ICRU-Kugel (vgl. nächster Abschnitt) gleichgesetzt werden.

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

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

$$E = w_T \times H_T$$

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

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

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

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

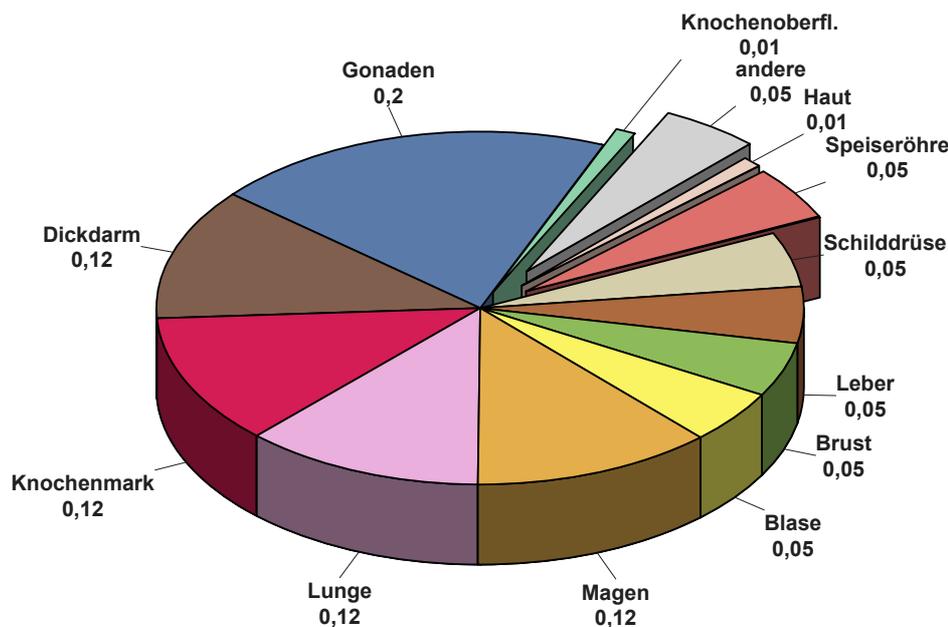


Abbildung G 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anl. VI, Teil C)
(Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

1.3 Die Messung der Strahlendosen

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

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g/cm^3 , Massenzusammensetzung 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff), der sogenannten ICRU-Kugel mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

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

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter, das Filmdosimeter, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Filmdosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen verwendet.

Bei der Dosisbestimmung ohne Vorhandensein einer Person wird die so genannte Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es zwei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ und die Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07, \Omega)$. Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt.

Zur Bewertung der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen wird als Maß der Gesamtexposition die Kollektivdosis verwendet. Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der

exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Die Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.

1.4 Äußere und innere Bestrahlung¹

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

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

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

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

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

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

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

1.5 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung¹

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

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

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

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

1.6 Genetische Strahlenwirkungen

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

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

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

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

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

1.7 Induktion bösartiger Neubildungen

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

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

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

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

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

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

1.8 Risikoabschätzung

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

Nationale und internationale wissenschaftliche Gremien, wie die japanische Radiation Effects Research Foundation (RERF), das Wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen zu den Auswirkungen der atomaren Strahlung (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR) und auch die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) schätzen auf Basis dieser epidemiologischen Studien das Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen ab. Da die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen nur für die untersuchten Personengruppen und die speziellen Bestrahlungssituationen gelten, müssen von diesen Ergebnissen unter Verwendung von Risikomodellen zur Krebsentstehung Aussagen zum allgemeinen Krebsrisiko abgeleitet werden. Die beobachteten Ri-

siken müssen zum Beispiel von mittleren bis hohen Dosisbereichen auf den Bereich niedriger Dosen übertragen werden, von akuten Bestrahlungssituationen auf chronische, von einer begrenzten Beobachtungszeit auf die Lebenszeit der betroffenen Personen und von einer Bevölkerungsgruppe mit einer bestimmten spontanen Krebsrate auf eine andere Bevölkerungsgruppe mit einer unterschiedlichen spontanen Krebsrate.

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

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

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

Laut dem UNSCEAR-Bericht von 2010 [1] liegt das durchschnittliche zusätzliche Lebenszeitrisko an einem malignen Tumor zu sterben bei einer akuten Dosis von 1 Gray bei 4,3 bis 7,2 % und bei 100 Milligray bei 0,36 bis 0,77 %. Das heißt, es ist zu erwarten, dass von 100 Personen, die einer akuten Strahlendosis von 1 Gray ausgesetzt waren, etwa 4 bis 7 Personen auf Grund dieser Strahlenbelastung an einem bösartigen Tumor sterben, bei 100 Milligray wäre mit weniger als einem strahlenbedingten Krebstodesfall in dieser Gruppe zu rechnen. Das Risiko an Leukämie zu sterben liegt bei 1 Gray bei 0,6 bis 1,0 %. Im Gegensatz zu soliden Tumoren wird für Leukämien ein linear quadratischer anstelle eines linearen Zusammenhangs angenommen. Das Risiko bei 100 Milligray wird auf 0,03 bis 0,05 % geschätzt. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen zu unterscheiden. In Deutschland haben etwa 25 % aller Todesfälle Krebs als Ursache, d. h., dass normalerweise von 100 Menschen etwa 25 an einer Krebserkrankung sterben.

Literatur

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

1.9 Strahlenschutzmaßnahmen - Die Strahlenschutzverordnung (Überarbeitungsstand 2018)

Nach Verkündung des StrlSchG im Jahr 2017 wurde eine neue StrlSchV erarbeitet, die zusammen mit dem Überwiegenden Teil des StrlSchG am 31.12.2018 in Kraft getreten ist. Bis dahin, also auch im gesamten Berichtsjahr 2018 war die alte StrlSchV von 2001 in ihrer jeweils gültigen Fassung in Kraft. Von dieser handelt dieser Abschnitt.

Der Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung von Personen durch die Wirkungen ionisierender Strahlung wird dadurch begegnet, dass beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, bei ihrer Beförderung, ihrer Einfuhr und Ausfuhr, bei der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen Schutzmaßnahmen vorgesehen sind, die die Strahlenexposition der Bevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen auf ein Minimum reduzieren. Für die Bundesrepublik Deutschland ist nach der Strahlenschutzverordnung (siehe Nr. 14, Seite 133) „jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden“ und „jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten“ (§ 6 Abs. 1 und 2 der StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte) für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen in dieser Verordnung festgelegt. § 95 regelt die Exposition durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen und § 103 den Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung.

§ 46 der StrSchV begrenzt die Strahlenexposition der Bevölkerung wie folgt:

- Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 ein Millisievert im Kalenderjahr.
- Unbeschadet des Absatzes 1 beträgt der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und der Grenzwert der Organdosis für die Haut 50 Millisievert im Kalenderjahr.
- Bei Anlagen oder Einrichtungen gilt außerhalb des Betriebsgeländes der Grenzwert für die effektive Dosis nach Absatz 1 für die Summe der Strahlenexposition aus Direktstrahlung und der Strahlenexposition aus Ableitungen. Die für die Strahlenexposition aus Direktstrahlung maßgebenden Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes; liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

Für die Strahlenexposition der Bevölkerung durch mit Fortluft oder Abwasser emittierte radioaktive Stoffe sind in § 47, Abs. 1 Strahlenschutzverordnung, Dosisgrenzwerte festgelegt:

„Für die Planung, die Errichtung und den Betrieb von Anlagen oder Einrichtungen gelten folgende Grenzwerte der durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen jeweils bedingten Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr:

1. Effektive Dosis 0,3 Millisievert;
2. Organdosis für Keimdrüsen, Gebärmutter, Knochenmark (rot) 0,3 Millisievert;
3. Organdosis für Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse, andere Organe oder Gewebe gemäß Anlage VI Teil C Nr. 2 Fußnote 1, soweit nicht unter Nr. 2 genannt, 0,9 Millisievert;
4. Organdosis für Knochenoberfläche, Haut 1,8 Millisievert.

Es ist dafür zu sorgen, dass radioaktive Stoffe nicht unkontrolliert in die Umwelt abgeleitet werden.“

1.10 Strahlenschutzmaßnahmen - Die Euratom-Grundnormen

Nach Verkündung des StrlSchG im Jahr 2017 wurde die StrlSchV 2018 erarbeitet, die am 31.12.2018 in Kraft getreten ist. Bis dahin galt die alte StrlSchV von 2001 in ihrer jeweils gültigen Fassung. In diesem unveränderten Abschnitt ist von der im Jahr 2018 gültigen Fassung die Rede.

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

Die Mitgliedstaaten verfügen über eine Frist von vier Jahren zur Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht. In Deutschland ist dies durch Verkündung des Strahlenschutzgesetzes im Juni 2017 erfolgt.

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

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

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

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

2. Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Stand 31. Dezember 2018

Gesetze

1. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - **AtG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 2 des Gesetzes zur Modernisierung des Rechts der Umweltverträglichkeitsprüfung vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808)
2. Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – **StrlSchG**) vom 27. Juni 2017 (verkündet als Art. 1 des Gesetzes vom 27. Juni 2017; Inkrafttreten gemäß Art. 32 Abs. 1 Satz 3 dieses Gesetzes überwiegend am 31. Dezember 2018; zum abweichenden Inkrafttreten einzelner, insbesondere der Vorschriften zum Notfallschutz und zur Überwachung der Umweltradioaktivität am 1. Oktober 2017, Teile siehe Art. 32 Abs. 1 Satz 2 dieses Gesetzes)
3. Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln (Arzneimittelgesetz - **AMG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005 (BGBl. I S. 3 394), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2757)
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz (**BAStrlSchG**) vom 9. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1830), zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966)
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes (**BAusfAmtG**) vom 28. Februar 1992, (BGBl. I S. 376), zuletzt geändert durch Artikel 250 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - **ENeuOG**) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, (1994, 2439)), zuletzt geändert durch Artikel 107 des Gesetzes vom 8. Juli 2016 (BGBl. I S. 1594)
7. Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 12. August 2005 (BGBl. I 2005, S. 2365), eingeflossen in das Atomgesetz (**AtG**)
8. Gesetz über Krebsregister (**KRG**) vom 4. November 1994 (BGBl. I, S. 3351), gültig bis 31.12.1999, teilweise fortgeltend in entsprechenden Ländergesetzen bzw. Staatsvertrag.
9. Gesetz zur Neugestaltung des Umweltinformationsgesetzes und zur Änderung der Rechtsgrundlagen zum Emissionshandel (**UIG**) vom 22. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3704), in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Oktober 2014 (BGBl. I S. 1643), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 17 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808)
10. Gefahrgutbeförderungsgesetz (**GGBefG**) vom 06. August 1975, Neufassung vom 7. Juli 2009 (BGBl. I S. 1774, 3975), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 26. Juli 2016 (BGBl. I S. 1843)
11. Fortgeltendes Recht der Deutschen Demokratischen Republik auf Grund von Artikel 9 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage II Kapitel XII Abschnitt III Nr. 2 und 3 des Einigungsvertrages (**EinigVtr**) vom 31. August 1990 (BGBl. II S. 885) in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag (**EinigVtrG**) vom 23. September 1990 (BGBl. II, S. 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind:
 - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (**VOAS**) vom 11. Oktober 1984 und Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBI DDR I 1984 Nr. 30, berichtigt GBI DDR I 1987 Nr. 18), zuletzt geändert durch Artikel 32 Absatz 3 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 2067)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien (**HaldAO**) vom 17. November 1980 (GBI DDR 1980 Nr. 34, S. 347), zuletzt geändert durch Artikel 32 Absatz 3 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 2067)
12. Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (**NiSG**) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2433), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie über Industrieemissionen vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734)

Verordnungen

13. Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - **StrlSchV**) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), in Kraft getreten am 31. Dezember 2018
14. Verordnung über die Zuständigkeit von Bundesbehörden im integrierten Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Umweltradioaktivität nach dem Strahlenschutzgesetz (IMIS-Zuständigkeitsverordnung - **IMIS-ZustV**) vom 5. Oktober 2017 (BGBl. I, S. 3536)
15. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - **RöV**) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I S. 114) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604), zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010), gültig bis einschließlich 30. Dezember 2018

16. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - **StrlSchV 2001**) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1 459)), zuletzt geändert nach Maßgabe des Artikel 10 durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114, 1222)
17. Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (**GGVSEB**) vom 17. Juni 2009, Neufassung vom 30. März 2015 (BGBl. I S. 366), zuletzt geändert durch Artikel 2a der Verordnung vom 7. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3859)
18. Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensordnung - **AtVfV**) vom 18. Februar 1977, Neufassung vom 3. Februar 1995 (BGBl. I S. 180), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 20 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808)
19. Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - **AtDeckV**) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch Artikel 20 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966)
20. Kostenverordnung zum Atomgesetz (**AtKostV**) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), zuletzt geändert durch Artikel 24 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966)
21. Verordnung über Vorausleistungen für die Einrichtung von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (Endlagervorausleistungsverordnung - **EndlagerVLV**) vom 28. April 1982 (BGBl. I S. 562), zuletzt geändert durch Artikel 21 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966)
22. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittel-Bestrahlungsverordnung - **LMBestrV**) vom 14. Dezember 2000, (BGBl. I S. 1730), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2272)
23. Verordnung über radioaktive oder mit ionisierenden Strahlen behandelte Arzneimittel - **AMRadV** - vom 28. Januar 1987 in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Januar 2007 (BGBl. I S. 48), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2757)
24. Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldungen von Störfällen und sonstigen Ereignissen (atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - **AtSMV**) vom 14. Oktober 1992 (BGBl. I S. 1766), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. Juni 2010 (BGBl. I S. 755)
25. Die Verordnungen zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG§11Abs7V) wurden ersetzt durch Artikel 1 Absatz 13 des ersten Gesetzes zur Änderung des Strahlenschutzvorsorgegesetzes vom 8. April 2008 (BGBl. I S. 686)
26. 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266)
27. Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverordnung (**AtAV**) vom 30. April 2009 (BGBl. I S. 1000), zuletzt geändert durch Artikel 23 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966)
28. Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (**BEMFV**) vom 20. August 2002 (BGBl. I, S. 3 366), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I, S. 1947)
29. UV-Schutz-Verordnung (**UVSV**) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412)
30. Trinkwasserverordnung (**TrinkwV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Januar 2018 (BGBl. I S. 99) geändert worden ist
31. Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV) vom 5. Dezember 2018 (BGBl. I, S. 2187)

Allgemeine Verwaltungsvorschriften

32. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (**AVV-IMIS**) vom 13. Dezember 2006
http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_13122006_RSII5114349.htm
 - Anhang 1: Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm)
 - Anhang 2: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm)
 - Anhang 3: Bundeseinheitliche Deskriptorenliste (BEDL)
33. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - **AVV-StrahlLe**) vom 28. Juni 2000 (GMBL. 2000, Nr. 25, S. 490)
34. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen) vom 28. August 2012 (BANZ AT 05.092012B1)

Richtlinien

35. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor. Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge vom 10. Juli 1978 (GMBI. 1978, S. 418)
36. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen: Teil 2: Die Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung - IWRS II vom 17. Januar 2005 (GMBI. 2005, Nr. 13, S. 258)
37. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom 15. Februar 1992 (GMBI. 1992, S. 150)
38. Richtlinie zu Dichtheitsprüfungen von umschlossenen Strahlenquellen vom 04. April 2004 (GMBI. 2004, S. 410)
39. Richtlinie nach StrlSchV: „Strahlenschutz in der Medizin“ vom 24. Juni 2002 (GMBI. 2003, S. 227)
40. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 07. Dezember 2005 (GMBI. 2006, S. 254), zuletzt geändert am 23. März 2006 (GMBI 14-17, S. 253)
41. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Strahlenschutzverordnung) vom 21. Juni 2004 (GMBI. 2004, Nr. 40/41, S. 799), Änderung vom 19. April 2006 (GMBI. 2006, Nr. 38, S. 735)
42. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und Kenntnisse beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen zur technischen Anwendung und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Röntgenverordnung) vom 27. Mai 2003 (GMBI. 2003, Nr. 31, S. 638)
43. Richtlinie für die Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten in Kernkraftwerken und sonstigen Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen vom 10. Dezember 1990 (GMBI. 1991, Nr. 4, S. 56)
44. Richtlinie für die Fachkunde von verantwortlichen Personen in Anlagen zur Herstellung von Brennelementen für Kernkraftwerke vom 30. November 1995 (GMBI. 1996, Nr. 2, S. 29)
45. Durchführung der Röntgenverordnung; Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin vom 22. Dezember 2005 (GMBI. 2006, Nr. 22, S. 414)
46. Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung oder Behandlung von Menschen nach den §§ 16 und 17 der Röntgenverordnung - Qualitätssicherungs-Richtlinie (**QS-RL**) - vom 20. November 2003 (GMBI. 2003, S. 731), zuletzt geändert am 15.06.2010 (GMBI. 2010, S. 1242)
47. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Strahlenschutz in der Tierheilkunde“ vom 2. Februar 2005 (GMBI. 2005, S. 666)
48. Richtlinie zur Durchführung der RöV für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern (**SV-RL**) vom 27. August 2003 (GMBI. S. 783), zuletzt geändert am 09.02.2010 (GMBI. 2010, S. 711)
49. Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV); Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 66 Abs. 2 StrlSchV vom 11. Juni 2002 (GMBI. 2002, Nr. 30, S. 620)
50. Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV); Prüfungen nach § 66 Abs. 2 StrlSchV an Anlagen und Bestrahlungsvorrichtungen gemäß Nr. 3.3 und 4.1 der Rahmenrichtlinie zur Überprüfung nach § 66 Abs. 2 StrlSchV vom 11. Juni 2002 (GMBI. 2002, S. 620) vom 13. Oktober 2004 (GMBI. 2004, Nr. 55-57, S. 1089)
51. Richtlinie für die Physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 1: Ermittlung der Körperdosis bei äußerer Strahlenexposition (§§ 40, 41, 42 StrlSchV; § 35 RöV) vom 8. Dezember 2003 (GMBI. 2004, Nr. 22, S. 410)
52. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV) vom 12. Januar 2007 (GMBI. 2007, Nr. 31/32, S. 623), Anhänge 1 bis 6, Anhang 7.1, Anhang 7.2, Anhang 7.3, Anhang 7.4
53. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte“ vom 18. Dezember 2003 (GMBI. 2004, S. 350), zuletzt geändert mit Wirkung vom 1. März 2004 durch Beschluß der Bund-Länderausschlüsse
54. Richtlinie zur Begrenzung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen bei Arbeiten vom 15. Dezember 2003 (GMBI. 2004, Nr. 22, S. 418)
55. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Qualitätssicherung durch ärztliche und zahnärztliche Stellen“ (GMBI. 2015, Nr. 51, S. 1026) vom 23. Juni 2015
56. Richtlinie zur Durchführung der StrlSchV und der RöV über „Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung“ vom 10. Dezember 2001; (GMBI. 2002, S. 136)
57. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) vom 11. August 1997

Empfehlungen, Erläuterungen

58. Durchführung der StrlSchV: Merkposten zu Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 Abs. 1 und 2 StrlSchV (GMBI. 2004 S. 9)
59. Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK), Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden vom 30. Juni 1994 (BAnz. Nr. 155, S. 8766 vom 18. August 1994)
60. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken vom 10. Mai 1978 (GMBI. 1978, S. 313) und vom 5. Februar 1996 (GMBI. 1996, S. 247)
61. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBI. 1980, S. 577)
62. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 163)
63. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
64. Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung: Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (GMBI. 1982, S. 61)
65. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 21. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
66. Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes vom 21. März 1983 (GMBI. 1983, S. 176)
67. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 71), Neufassung v. 19./20.02.2015 nach Empfehlung der SSK v. 19.02.2015 (BAnz AT 04.01.2016 B4)
68. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 94), Neufassung v. 13.02.2014 (BAnz AT 18.11.2014 B5)
69. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBl 2/90, S. 137)

Sicherheitsregeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA-Regeln)

70. KTA-Regel 1503.1: Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb (Fassung 2016-11)
71. KTA-Regel 1504: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (Fassung 2015-11)
72. KTA-Regel 1507: Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren (Fassung 2017-11)
73. KTA Regel 1508: Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre (Fassung 2017-11)

EURATOM- und EU-Verordnungen und Richtlinien

74. Verordnung (Euratom) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. 1993, L 148 S. 1)
75. Verordnung (EG) Nr. 733/2008 des Rates vom 15. Juli 2008 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (L 201/1-7)
76. EU (2009) Verordnung (EG) Nr. 1048/2009 des Rates vom 23. Oktober 2009 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 733/2008 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (L 290/4)
77. Verordnung (Euratom) 2016/52 des Rates vom 15. Januar 2016 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Lebens- und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder eines anderen radiologischen Notfalls und zur Aufhebung der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates und der Verordnungen (Euratom) Nr. 944/89 und (Euratom) Nr. 770/90 der Kommission
78. Richtlinie 2003/4/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2003 über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen und zur Aufhebung der Richtlinie 90/313/EWG des Rates (ABl. 2003 L 41 S. 26)
79. Richtlinie 2008/68/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. September 2008 über die Beförderung gefährlicher Güter im Binnenland (ABl. L 260 vom 30.9.2008, S. 13), zuletzt geändert durch Durchführungsbeschluss (EU) 2017/695 der Kommission vom 7. April 2017
80. Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung (ABl.Nr. L 13/1)

81. Verordnung zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, Verordnung (EU) Nr 305/2011 vom 09. März 2011, zuletzt geändert durch delegierte Verordnung (EU) Nr. 305/2011 der Kommission vom 21. Februar 2014
82. Richtlinie 2013/51/Euratom des Rates vom 22. Oktober 2013 zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch (ABl.Nr. L 296/12)
83. Durchführungsverordnung (EU) 2017/2058 der Kommission vom 10. November 2017 zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2016/6 mit besonderen Bedingungen für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln, deren Ursprung oder Herkunft Japan ist, nach dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima (ABl.Nr. L 294/29)

I GRUNDLAGEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1.1 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden

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

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

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

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

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

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

* Einzelwerte bis 300 Bq/kg

** Einzelwerte bis 400 Bq/kg

1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser

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

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

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

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

* kosmogener Anteil

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

- [1] Beyermann M, Bünger T, Gehrcke K, Obrikat D (2009): Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland, BfS-SW-Bericht, BfS-SW-06/09, urn:nbn:de:0221-20100319945, Salzgitter, 2009
- [2] Riley JP, Tongudai M; Caesium and Rubidium in Sea Water, Chem Geol 1966,1:291-294
- [3] Owens SA, Buessler KO, Sims KWW: Re-evaluating the 238U-salinity relationship in seawater; Implications for the 238U-234Th disequilibrium method, Marine Chemistry 2011, 127:31-39

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

1.3 Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre

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

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

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

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

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

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

U-238	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-232	Ra-228	Th-228
µBq/m³								
0,8 - 2,0	1,4 - 2,0	0,6 - 1,7	<1,3 - 6,3	200 - 670	26 - 48	0,4 - 1,2	0,6	1,0 - 1,2

1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.5 Natürliche Strahlenexposition

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

Äußere Strahlenexposition

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

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

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

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

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

Innere Strahlenexposition

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

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

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

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

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen liegen die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln in einem großen Wertebereich. Für die Radionuklidzufuhr ergibt sich deshalb auch ein großer Bereich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit Nahrung und Trinkwasser ein altersgewichteter Mittelwert für die jährliche effektive Dosis von 0,3 mSv ergibt.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe ergibt sich im Mittel ein Wert von etwa 1,4 mSv pro Jahr. Für die Summe aus äußerer und innerer Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide erhält man einen mittleren Wert von ca. 1,8 mSv pro Jahr. Die externe kosmische Strahlung trägt zusätzlich mit 0,3 mSv pro Jahr zur Gesamt-Strahlenexposition bei. Bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten in Deutschland ergibt sich unter Verwendung der in den Euratom-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren für eine Person der Bevölkerung rechnerisch eine jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. In Anbetracht der Variationsbereiche der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch Radon und den nach der Direktive 96/29 Euratom zu betrachtenden sechs Altersgruppen ergibt sich für die durchschnittlichen Verhältnisse eine effektive Dosis im Bereich zwischen 2 und 3 mSv.

Im UNSCEAR Report von 2008 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ein vergleichbarer Zahlenwert von 2,4 mSv angegeben. Die sich nach dem UNSCEAR Report für die einzelnen Komponenten ergebenden Anteile an der Gesamtexposition sind in [Abbildung G I 1.5-1](#) graphisch dargestellt [1,2].

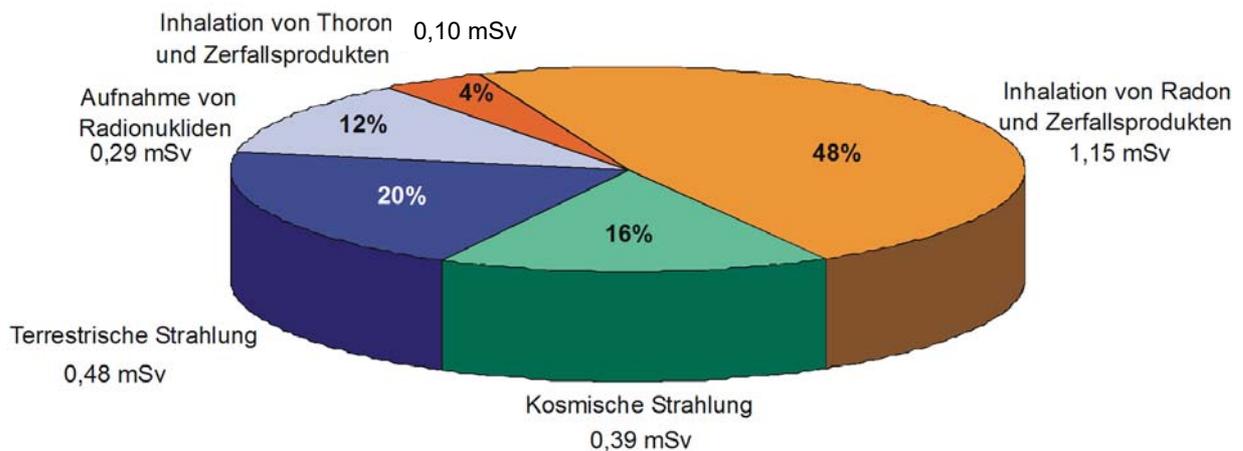


Abbildung G I 1.5-1 Mittlere jährliche effektive Dosis der Bevölkerung der nördlichen Hemisphäre durch natürliche Strahlenquellen (UNSCEAR 2008)
(Mean annual effective dose of the population from natural radiation sources in the northern hemisphere - UNSCEAR 2008)

Literatur

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

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität

2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie

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

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

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

Hinterlassenschaften der Uranproduktion in Sachsen und Thüringen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Hinterlassenschaften aus der Industrie

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

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

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

¹Reinigungsschlämme und Ablagerungen an Pumpen, Rohren und Filtern

Zu den möglichen Mengen solcher Rückstände gibt es nur eine grobe Schätzung des BfS, die auf industriegeschichtlichen Recherchen aufbaut. Danach wird das Gesamtvolumen der in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung abgelagerten Rückstände von sechs Industriebereichen dominiert und kann eine Größenordnung von 100 Mio. m³ erreichen. Da nur wenige Standorte mit Ablagerungen solcher Rückstände bekannt und ausreichend untersucht sind, sind kaum zuverlässige Aussagen über deren radiologische Bedeutung möglich. [Tabelle G I 2.1-1](#) gibt einen Überblick über die Industriebereiche und die jeweils abgeschätzte Menge der deponierten Rückstände.

Aktuelle Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

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

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

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

2.2 Radon in Gebäuden

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

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

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

Radon gilt als einer der wichtigsten kanzerogenen Innenraumschadstoffe. Die Radonkonzentration in Gebäuden variiert in Deutschland in einem breiten Bereich. Der bundesweite Jahresmittelwert in Wohnräumen beträgt ungefähr 50 Bq/m^3 Raumluft. Während die Hälfte der Messwerte unter dem Median von rund 40 Bq/m^3 liegt, wurden in einigen Fällen auch Konzentrationen von einigen Tausend Becquerel pro Kubikmeter gemessen.

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

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

Bei der Planung neuer Gebäude sind Maßnahmen zur Begrenzung des Radoneintritts aus dem Boden in das Gebäude in Betracht zu ziehen, deren Umfang sich an den Standortbedingungen orientieren sollte. Ab dem Inkrafttreten des modernisierten Strahlenschutzrechts am 31.12.2018 sind Maßnahmen zum Schutz vor Radon bei Neubauten verbindlich geregelt. Bei der Bauausführung ist besonderes Augenmerk auf die konvektionsdichte Verbindung der einzelnen Elemente des Feuchteschutzes sowie die fachgerechte Abdichtung von Rohr- und Leitungsdurchführungen zu legen.

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

Aktuelle Daten zu Radon in Gebäuden sind in [Teil B - I - 2.2](#) dargestellt.

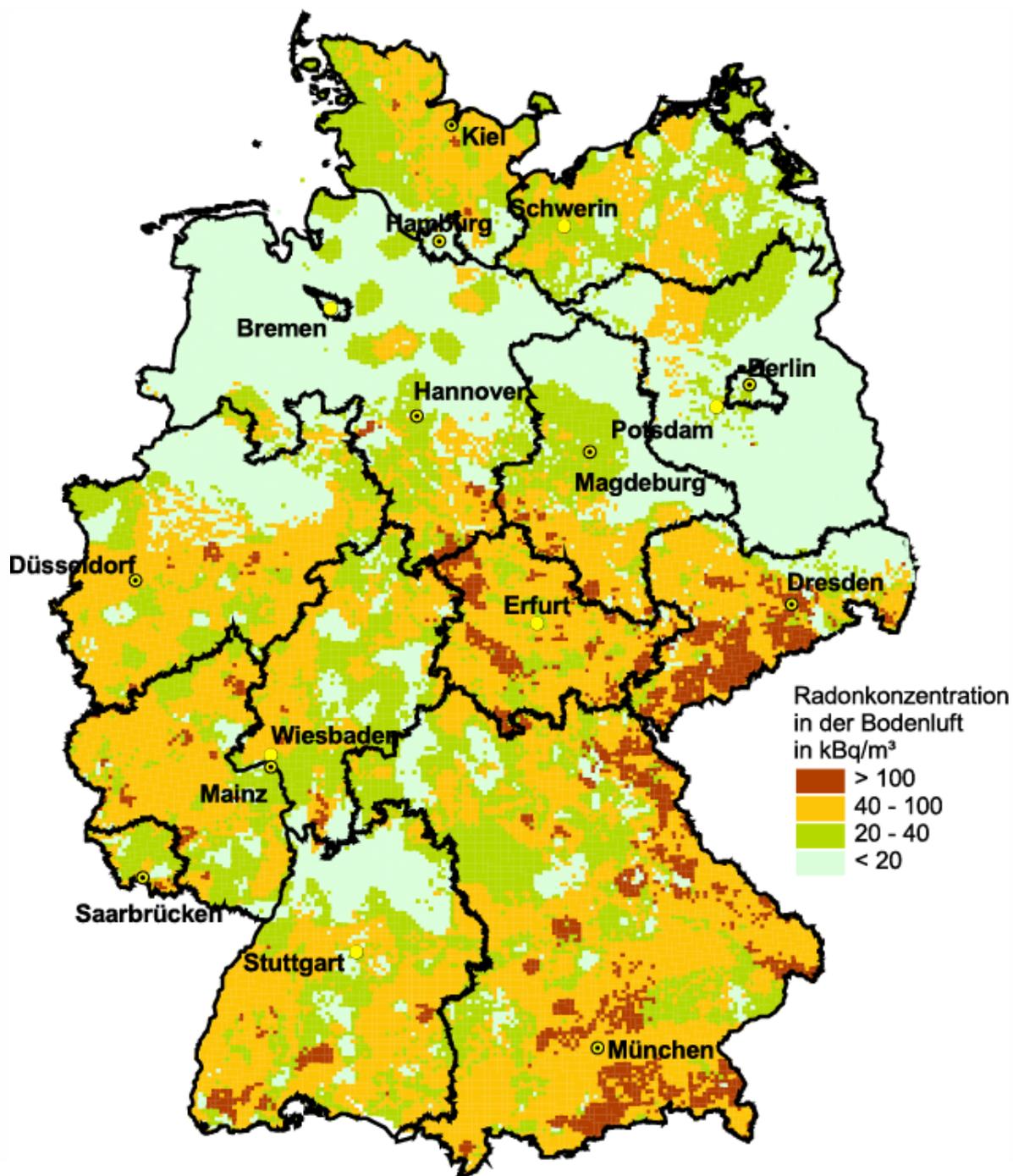


Abbildung G I 2.2-1 Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe (Daten von 2001)
 (Overview of Radon concentration in soil air at 1 m depth - data from 2001)

Literatur

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

2.3 Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten

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

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

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

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

Bestimmte Rückstände aus industriellen Verarbeitungsprozessen können jedoch erhöhte Gehalte natürlicher Radionuklide aufweisen. Bei Verwendung dieser Rückstände, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden im Teil A der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) (siehe [Seite 132](#)) die Rückstände genannt, bei deren Verwendung oder Deponierung Gesichtspunkte des Strahlenschutzes beachtet werden sollten. Durch die ebenfalls in Anlage XII der StrlSchV festgelegten Überwachungsgrenzen für die Verwertung dieser Materialien wird sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv/a hierdurch nicht überschritten wird.

Mit den Festlegungen der StrlSchV wird ein wichtiges Instrumentarium zum Vollzug des Strahlenschutzes im Rahmen der Baugesetzgebung zur Verfügung gestellt. Gemäß EU-Bauprodukteverordnung (siehe [Seite 135](#)) darf ein Bauprodukt in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die Grundanforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt. Auf der Grundlage der Landesbauordnungen ist die Verwendbarkeit der Bauprodukte geregelt. Mit dem Mandat M/366 [1] hat die Europäische Kommission die europäischen Normungsinstitute CEN und CENELEC mit der Entwicklung harmonisierter Untersuchungsmethoden von gefährlichen Substanzen im Sinne der oben genannten Richtlinie beauftragt.

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

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

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

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

Literatur

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

II GRUNDLAGEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

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

1. Quellen künstlicher Radioaktivität

1.1 Kernwaffenversuche

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

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

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

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

Zivile und wissenschaftliche Nutzung des internationalen Messnetzes

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

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

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

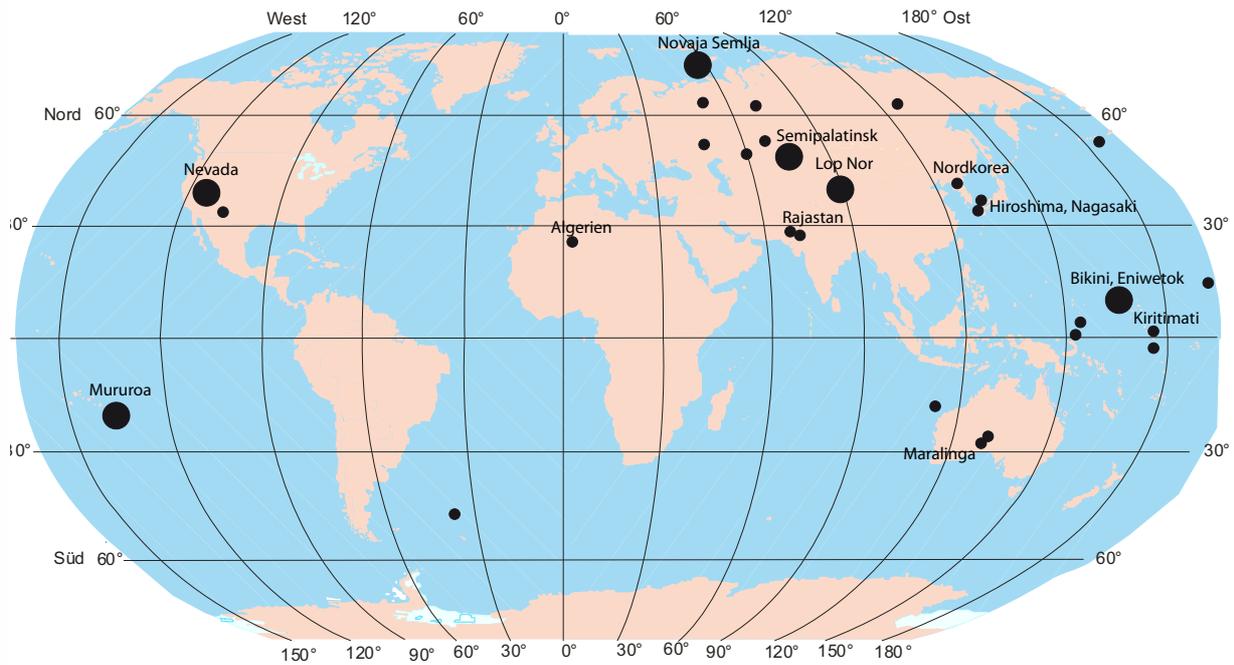


Abbildung G II 1.1-1Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (verändert nach UNSCEAR)
(Locations of nuclear explosions to date - modified according to data of UNSCEAR)

1.2 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall

Tschernobyl

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

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland eine durch Radionuklide aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl verursachte mittlere effektive Dosis, die schon seit einigen Jahren unter $15 \mu\text{Sv}$ liegt. Diese Strahlenexposition wird zu mehr als 90 % durch die Bodenstrahlung von abgelagertem Cs-137 verursacht und wird entsprechend der Halbwertszeit dieses Radionuklids von ca. 30 Jahren in den folgenden Jahren um etwa 2,3 % pro Jahr zurückgehen. Im Vergleich zur mittleren effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von $2100 \mu\text{Sv}$ pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl in Deutschland sehr gering (siehe [Tabelle Seite 10](#)).

Literatur

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

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

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

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

1.3 Fukushima

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

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

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

Radionuklide in der Luft

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

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

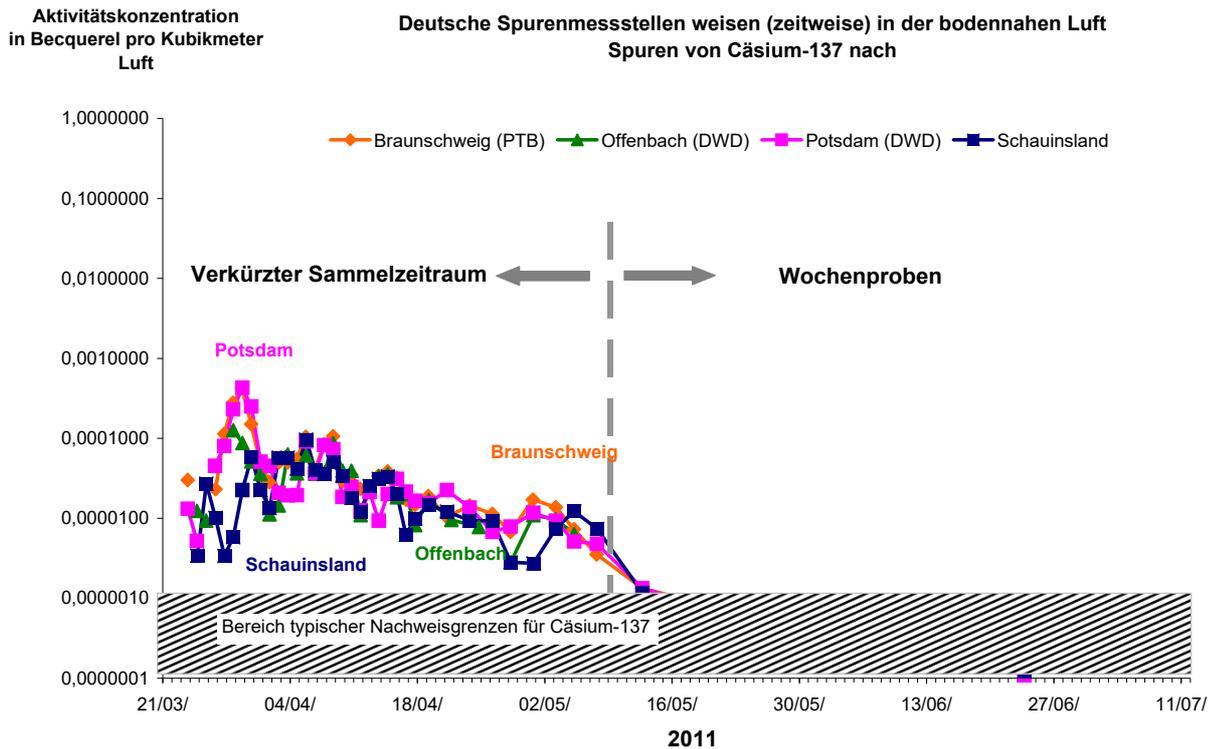
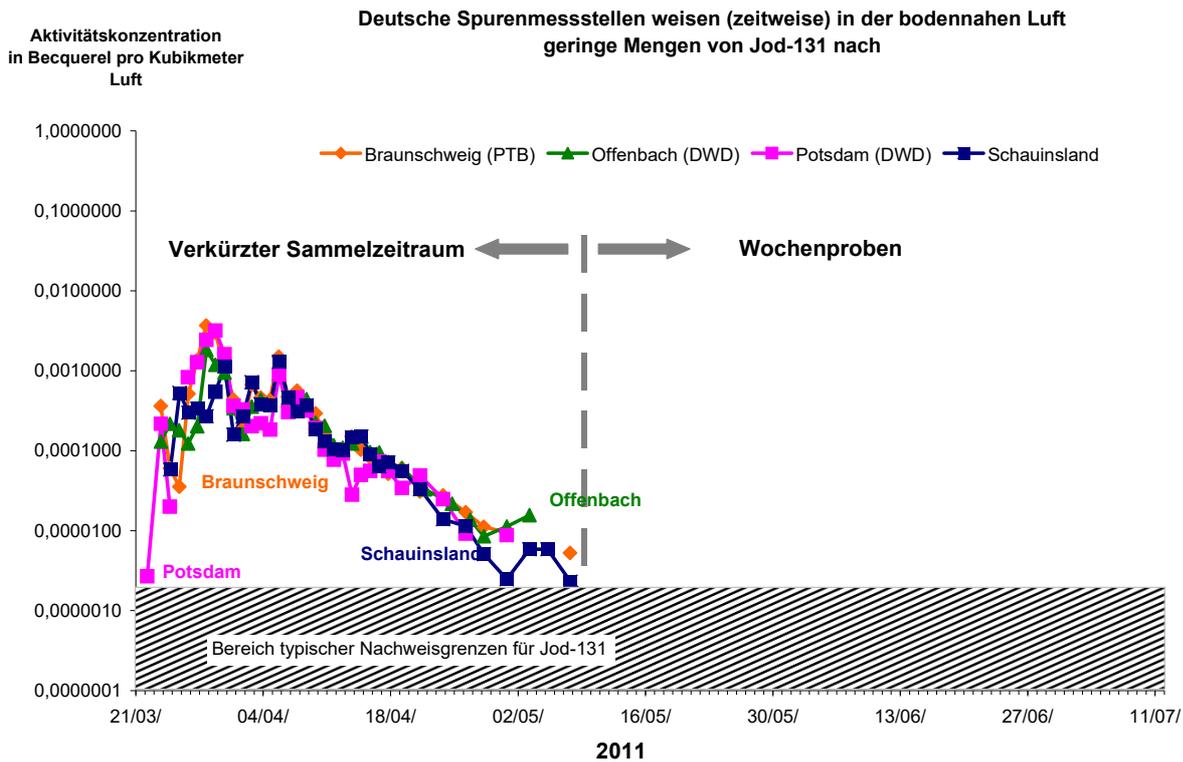


Abbildung G II 1.3-1 Aktivitätskonzentrationen von I-131 und Cs-137 an den deutschen Spurenmessstellen, die Bestandteil des EU-Sparse Network sind
(Activity concentrations of I-131 and Cs-137 in ground-level air at those German sampling sites, which are part of the EU-Sparse Network)

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

Neben den Messungen der bodennahen Luft wurden auf der Basis der meteorologischen Prognosen am 23. und am 30.03.11 im deutschen Luftraum Messflüge durch den DWD durchgeführt. Der erste Messflug ergab keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen. Während des zweiten Messfluges am 30.03.11 wurden für I-131 Aktivitätskonzentrationen von $1,7 \text{ mBq/m}^3$ in einer Flughöhe von 10 000 m und $2,6 \text{ mBq/m}^3$ in einer Flughöhe von 6000 m festgestellt, also ähnliche Werte wie in der bodennahen Luft (s. o.).

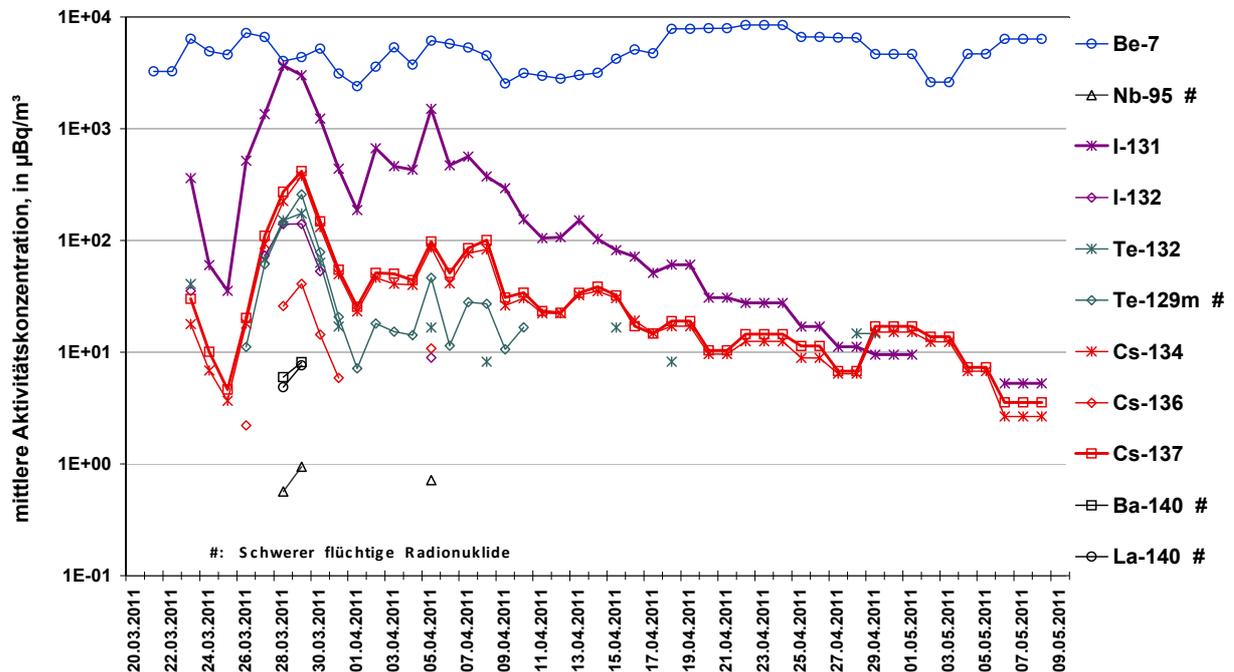


Abbildung G II 1.3-2 Aktivitätskonzentrationen verschiedener Radionuklide aus Fukushima in der bodennahen Luft im Zeitraum März 2011 bis Mai 2011 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations of several radionuclides from Fukushima in ground-level air at the sampling site Braunschweig in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

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

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

Radionuklide im Niederschlag

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

Radionuklide im Meerwasser

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

Radionuklide in Binnengewässern

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

Radionuklide in Blattgemüse, Milch und Weidenbewuchs

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

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

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

Radionuklide in importierten Fischereierzeugnissen

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

Bewertung des in Deutschland beobachteten Einflusses der Freisetzungen in Fukushima

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

Konsequenzen aus dem Reaktorunglück in Fukushima

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

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

1.4 Anlagen nach Atomgesetz - Allgemeine Angaben

Der aktuelle Bestand kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland ist in **Teil B - II -1.4** dargestellt. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und die daraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung gelten die Vorschriften der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe ist in § 47 StrlSchV geregelt. Für die Planung, die Errichtung, den Betrieb, die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau von Anlagen oder Einrichtungen sind hier jeweils Grenzwerte für die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen bedingte Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr festgelegt. Für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert jeweils 300 µSv über Luft bzw. Wasser, für die Schilddrüsendosis 900 µSv pro Jahr.

Bei kerntechnischen Anlagen werden von der zuständigen Genehmigungsbehörde im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zusätzlich Höchstwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser festgelegt. In einem radioökologischen Gutachten ist dabei nachzuweisen, dass auch bei voller Ausschöpfung dieser Genehmigungswerte die Dosisgrenzwerte nach § 47 StrlSchV nicht überschritten werden. Darüber hinaus besteht nach § 6 StrlSchV die Verpflichtung, jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Die Ableitungen aus Anlagen oder Einrichtungen sind nach § 48 StrlSchV zu überwachen und nach Art und Aktivität spezifiziert der zuständigen Aufsichtsbehörde mindestens jährlich mitzuteilen. Die Anforderungen der Emissions- und Immissionsüberwachung sind in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) aufgeführt. Ziel dieser Richtlinie ist es, eine Beurteilung der aus der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen zu ermöglichen und die Kontrolle der Einhaltung der Emissions- und Dosisgrenzwerte zu gewährleisten.

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

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

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

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

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen, dem Endlager Morsleben und der Schachanlage Asse II sind in [Teil B - II - 1.5](#) zusammengefasst.

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

Im September 2008 hat das Bundeskabinett entschieden, die Schachanlage Asse II zukünftig verfahrensrechtlich wie ein Endlager zu behandeln und den Betrieb einschließlich der Stilllegung dem BfS zu übertragen. Der Betrieb und damit der Übergang der Gesamtverantwortung auf das BfS erfolgte zum 1.1.2009.

2. Aktivitätsmessungen und Messnetze

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

Nach Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren und dem großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung in Deutschland in den 60er Jahren wurde zusätzlich zur Überwachung der Umweltradioaktivität die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen bezüglich Emissionen und Immissionen von Radionukliden erforderlich. Die einzelnen Messaufgaben für die Betreiber und die behördlichen Messstellen sind in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) festgesetzt. Diese im Jahr 1993 verabschiedete Richtlinie wurde nach der Novellierung der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 überarbeitet und gilt seit dem 01.01.2006 in der neuen Fassung.

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

Überwachung der Umweltradioaktivität

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

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

Die Länder ermitteln in ihren ca. 50 Messlabors die Radioaktivität

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

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

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

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

Nach § 48 Abs. 1 StrlSchV ist u. a. dafür zu sorgen, dass die Ableitung radioaktiver Stoffe überwacht und nach Art und Aktivität spezifiziert wird (Emissionsüberwachung). Zu diesem Zweck werden die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser erfasst. Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition in der Umgebung des Emittenten ermittelt. Die Überwachung von Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Spezifikation nach Art und Aktivität ist Grundlage für die Beurteilung der Einhaltung der maximal zulässigen Aktivitätsabgaben. Die Emissionsüberwachung muss sowohl für den bestimmungsgemäßen Betrieb (§ 47 Abs.1 StrlSchV) als auch für den Störfall/Unfall eine

Beurteilung erlauben, ob die Dosiswerte des radiologischen Notfallschutzes überschritten werden. Für eine schnelle Verfügbarkeit von Messwerten zur Abschätzung radiologischer Auswirkungen werden auch hier automatisch arbeitende Messeinrichtungen eingesetzt.

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

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

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

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

Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren

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

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

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

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

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

Literatur

- [1] Empfehlung der Kommission vom 08. Juni 2000 zur Anwendung des Artikels 36 Euratom-Vertrag betreffend die Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes der Umwelt zur Ermittlung der Exposition der Gesamtbevölkerung, Amtsblatt Nr. L 191 vom 27.07.2000, S.0037- 0040
- [2] Glossar der Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung; ISSN 1865-8725, www.bmub.bund.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/radioaktivitaet-in-der-umwelt/messanleitungen/

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung

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

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

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

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

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

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

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

Die bilanzierten Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft werden in verschiedene Nuklidgruppen zusammengefasst. Dies sind die Gruppen radioaktive Edelgase, an Schwebstoffe gebundene Radionuklide (mit einer Halbwertszeit > 8 Tage), I-131, C-14 (C-14-Dioxid-Anteil) und H-3. Auf Grund der unterschiedlichen Beiträge der einzelnen Radionuklide zur Strahlendosis ist die Kenntnis der Nuklidzusammensetzung innerhalb der einzelnen Gruppen erforderlich. Hierzu werden Einzelnuklidbestimmungen für die Edelgase und die an Schwebstoff gebundenen Radionuklide durchgeführt. Letztere beinhalten neben den gammaspektrometrisch erfassbaren Radionukliden auch die Betastrahler Sr-89 und Sr-90 sowie die Alphastrahler Pu-238, Pu-(239+240), Am-241 sowie Cm-242 und Cm-244.

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

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

2.2 Nord- und Ostsee

Meerwasser

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

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

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

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

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

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

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

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

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch den Tschernobyl-Unfall eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegat ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen und den Ein- und Ausstromereignissen durch die Beltsee. Der zeitliche Verlauf schwankt weniger stark im Bereich der Arkonasee, wo der Ein- und Austrom weniger deutlich zum Ausdruck kommt. Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen. Inzwischen nimmt folglich auch in der Ostsee die Cs-137-Aktivitätskonzentration deutlich ab. Es wird geschätzt, dass der Vor-Tschernobylzustand in der zentralen Ostsee mit einer Aktivitätskonzentration von 15 Bq/m^3 frühestens im Jahr 2030 erreicht werden wird.

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

Sedimente

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

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

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

2.3 Binnengewässer

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

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

Bei den Radionukliden in Binnengewässern handelt es sich zum einen um Radionuklide natürlichen, d. h. kosmogenen, primordialen und radiogenen Ursprungs: H-3, Be-7, K-40 sowie die Nuklide der Thorium- und Uran-Zerfallsreihen. Zum anderen werden künstliche Radionuklide nachgewiesen: H-3 stammt neben dem natürlichen Anteil aus dem Fallout der Kernwaffenversuche der 50er und 60er Jahre sowie aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen und Isotope verarbeitender Betriebe. Die langlebigen Spaltprodukte Sr-90 und Cs-137 wurden hauptsächlich durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffenversuche und als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl 1986 in die Gewässer eingetragen. Eine relevante Beeinflussung durch das Fukushima-Ereignis war nicht aufzeigbar. In geringem Ausmaß treten weiterhin die Aktivierungsprodukte Co-58 und Co-60 aus kerntechnischen Anlagen auf. Das vergleichsweise kurzlebige I-131 stammt meist aus nuklearmedizinischen Anwendungen.

Die Konzentration der natürlichen Radionuklide unterliegt im Allgemeinen keinen kurzfristigen Veränderungen und bedarf daher nicht der ständigen Überwachung, obwohl diese derzeit den Hauptanteil an der Strahlenexposition durch Radionuklide in der Umwelt beiträgt. Im Rahmen der o. g. Überwachungsaufgaben werden daher besonders die künstlichen Radionuklide regelmäßig überwacht, um ihre zeitlichen Veränderungen und ihre möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu verfolgen. Die diesbezüglichen Ergebnisse für die jährliche Berichterstattung sind in [Teil B - II - 2.2](#) dieses Berichts jeweils für Überwachung nach dem StrlSchG bzw. der REI zusammengefasst und erläutert.

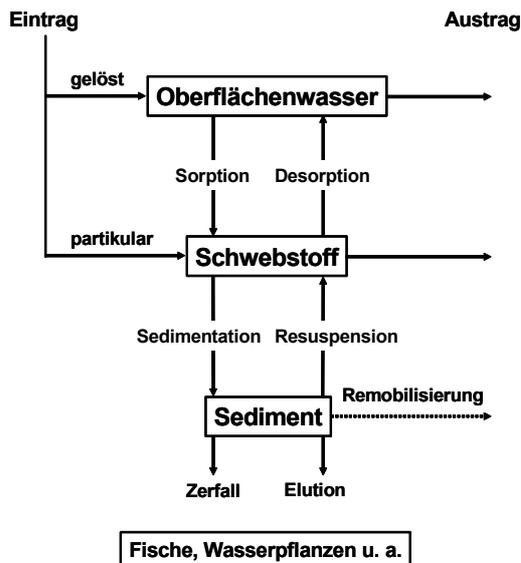


Abbildung G II 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten radioaktiver (und anderer) Stoffe in Fließgewässern
(Simplified model to evaluate the exchange and transport behavior of radioactive and other substances in rivers)

2.4 Böden

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

In [Teil B - II - 2.4.1](#) werden Messwerte von als Weiden oder Wiesen genutzte Böden, von Ackerböden und Waldböden erhoben und dargestellt.

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

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

2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser

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

Grundwasser und Trinkwasser

Gemäß dem Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzgesetz und der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen nach REI werden von den amtlichen Messstellen der Bundesländer radioaktivitätsbezogene Messdaten zu Grund- und Trinkwasser erhoben und über das Integrierte Mess- und Informationssystem (IMIS) dem Bund übermittelt. Vorwiegend erfolgen gammaspektrometrische Untersuchungen (z. B. Cs-137, Co-60, K-40), des Weiteren werden über radiochemische Verfahren die Aktivitätskonzentrationen für H-3 und Sr-90 sowie - entsprechend des RMP - der Uran- und Plutoniumisotope ermittelt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres sind in [Teil B - II - 2.5.1](#) (RMP) und [Teil B - II - 2.5.2](#) (REI) dokumentiert.

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

Die Trinkwasserüberwachung wird an Reinwässern sowie an ungeschützten und geschützten Rohwässern aus Wasserwerken vorgenommen. Reinwasser ist das vom Wasserwerk an den Verbraucher abgegebene Trinkwasser, das aus der Reinigung von Rohwasser resultiert. Ungeschütztes Rohwasser ist Oberflächenwasser aus Flüssen, Seen und Talpferren. Geschützte Rohwässer umfassen Karst- und Kluftgrundwässer einschließlich Stollenwässer, Porengrundwässer.

ser und mit aufbereitetem oder nicht aufbereitetem Oberflächenwasser künstlich angereicherte Grundwässer. Das RMP sieht die Überwachung von etwa 80 Reinwässern vor, die aus der Aufbereitung von jeweils ca. 40 ungeschützten und geschützten Rohwässern stammen. Zusätzlich werden bei der Umgebungsüberwachung von ca. 50 Probenentnahmeorten Rein- bzw. Rohwasserproben analysiert.

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

Fische und Fischereiprodukte aus Meeren und Binnengewässern

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

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

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

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

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

Gewässer	Region	Median der spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM			
		1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014
Binnenseen	Norddeutschland	5,55	2,92	2,13	1,72
	Mitteldeutschland	0,26	0,16	0,23	0,12
	Süddeutschland	7,48	2,13	0,96	1,65
Fischteiche	Norddeutschland	0,73	0,63	0,26	0,20
	Mitteldeutschland	0,40	0,21	0,15	0,14
	Süddeutschland	0,35	0,20	0,18	0,14
Fließgewässer	Norddeutschland	0,55	0,89	0,33	0,21
	Mitteldeutschland	0,27	0,24	0,15	0,09
	Süddeutschland	0,30	0,14	0,19	0,15
Meer	Nordsee	0,45	0,29	0,18	0,14
	Ostsee	6,58	4,16	4,13	3,86

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

Lebensmittel

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

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

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

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

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

Literatur

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

2.6 Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe

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

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

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

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

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

2.7 Abwasser und Klärschlamm

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

Das Routinemessprogramm (RMP) sieht die Überwachung von etwa 90 Abwasserreinigungsanlagen in Deutschland vor. Untersucht werden gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und Klärschlämme, vorzugsweise konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen (teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme). Vorwiegend erfolgen gammaspektrometrische Untersuchungen (Cs-137, I-131, Co-60, K-40, Tc-99m). Darüber hinaus werden über radiochemische Verfahren die Aktivitäten von Sr-90

sowie Plutonium- und Uranisotopen bestimmt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres werden in Teil [B - II - 2.7](#) dokumentiert.

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

Literatur

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

2.8 Abfälle

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

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

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

2.9 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Cs-137- und Cs-134-Aktivität durchgeführt, wobei ab dem Jahr 1998 kein Cs-134 mehr nachgewiesen werden konnte. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind im Teil [B - II - 2.9](#) zusammengefasst.

III GRUNDLAGEN ZUR BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

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

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

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

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

1. Personendosisüberwachung mit Dosimetern

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

2. Überwachung des fliegenden Personals

Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis des Flugpersonals und geben diese Werte über das Luftfahrt-Bundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. Das Strahlenschutzregister führt für fliegendes Personal regelmäßig detaillierte Auswertungen durch, die als separater Bericht des BfS veröffentlicht werden (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201108016029>).

Die aktuellen Daten zur Überwachung des fliegenden Personals sind in [Teil B - III - 2](#) dargestellt.

3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition

Nach § 95 der im Berichtsjahr noch gültigen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2001) hatte derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübte oder ausüben ließ, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen war, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen (§ 95 Abs. 1 StrlSchV 2001). Wurde dabei eine erhöhte Strahlenexposition festgestellt, so war die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2 StrlSchV 2001) und für die betroffenen Personen war die Körperdosis zu ermitteln. Dazu wurden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt und die Körperdosis der Beschäftigten berechnet.

Für die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues durchführten, wurden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Dazu wurden Messungen mit personengetragenen Geräten durchgeführt.

Die aktuellen Daten zur Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition sind in [Teil B - III - 3](#) dargestellt.

4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen

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

Diese jährlich gemessenen Daten der Inkorporationsmessstellen sind im [Teil B - III - 4](#) dieses Berichts dargestellt.

IV GRUNDLAGEN ZUR STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Diagnostische Strahlenanwendungen

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

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

Die aktuellen Daten zu Häufigkeit und Dosis von Röntgen- und nuklearmedizinischen Untersuchungen sind in [Teil B - IV - 1.1](#) bzw. [1.2](#) dargestellt. In [Teil B - IV - 1.3](#) erfolgt eine strahlenhygienische Bewertung der Daten. In [Teil B - IV - 1.4](#) wird abschließend eine Abschätzung der Häufigkeit alternativer bildgebender Diagnoseverfahren gegeben.

1.1 Röntgendiagnostik

Untersuchungsarten und Strahlenexposition

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

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

Die Computertomographie (CT) ist ein Schnittbildverfahren der Röntgendiagnostik, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten fahren und eine Vielzahl von Röntgenaufnahmen aus unterschiedlichen Richtungen (Projektionen) erzeugen. Aus diesen Projektionsbildern werden mit Hilfe eines Computerprogramms überlagerungsfreie Querschnittsbilder erzeugt. Mehrschicht- Computertomographen (MS-CT) erfassen gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit deutlich verkürzt werden konnte. Dies ist für den Patienten weniger belastend und es erlaubt zusätzlich, auch funktionelle Fragestellungen zu beantworten. Die CT hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit keinem anderen Röntgenverfahren erreicht wird. Auf Grund der vergleichsweise hohen Strahlenexposition ist jedoch eine besonders strenge Stellung der rechtfertigenden Indikation durch den anwendenden Arzt erforderlich. Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die komplexeren Verfahren sind in [Tabelle T IV.1](#) zusammengestellt.

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

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

Ärztliche Leistungen werden über spezielle Gebührensatzlisten abgerechnet, die die ärztlichen Maßnahmen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschreiben. Da ca. 98 % der deutschen Bevölkerung gesetzlich oder privat krankenversichert sind, kann die Häufigkeit von radiologischen Untersuchungen gut mit Hilfe dieser Gebührensatzlisten abgeschätzt werden. Diese werden dem BfS von den Kassenärztlichen und Kassenzahnärztlichen

Bundesvereinigung (KBV, KZBV) und durch den Verband der privaten Krankenversicherung (PKV) zur Verfügung gestellt (KBV bzw. KZBV: Ziffern nach dem Einheitlichen Bewertungsmaßstab EBM, ab 2. Quartal 2005 EBM 2000plus, bzw. BEMA; PKV: Ziffern nach der Gebührenordnung für Ärzte GOÄ). Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer eingespielt. In Deutschland finden die weitaus meisten radiologischen Untersuchungen im ambulanten Bereich statt (ca. 80 %). Mithilfe der vollständigen Häufigkeitsstatistiken der KBV und KZBV kann somit bereits der größte Teil der Röntgendiagnostik abgeschätzt werden. Die PKV-Daten umfassen nur eine Stichprobe in der Größenordnung von etwa einem Promille aller in einem Jahr abgerechneten Röntgenleistungen. Schätzungen für den ambulanten Bereich sind für Privatversicherte daher mit größeren Unsicherheiten behaftet. Hochgerechnet entfällt etwa ein Achtel der insgesamt in Deutschland erbrachten ambulanten Röntgenleistungen auf die PKV.

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

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

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

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

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik

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

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

Die aktuelle Vorgehensweise bei der Erhebung der medizinischen Strahlenexposition in der Nuklearmedizin sowie aktuelle Daten zur Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen sind in [Teil B - IV - 1.2](#) dargestellt.

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen

Die strahlenhygienische Bewertung aktueller Daten ist in [Teil B - IV - 1.3](#) dargestellt.

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren

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

Voraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder. Durch die Einstrahlung von elektromagnetischen Hochfrequenz-Feldern in Kombination mit niederfrequenten Magnetfeldern in der Größenordnung von einigen Millitesla werden Schnittbilder erzeugt, die im Vergleich zur CT einen hohen Weichteilkontrast besitzen. Das Verfahren eignet sich somit hervorragend zur bildlichen Unterscheidung von gesunden bzw. krankhaft veränderten Gewebestrukturen. Durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildgebungstechniken gelang es in den letzten Jahren weiterhin, die anfangs sehr lange Untersuchungsdauer auf wenige Minuten bzw. Sekunden zu reduzieren. Dadurch besteht die Möglichkeit, auch funktionelle Gewebefunktionen zu erhalten, wie z. B. über Angiogenese (Ausbildung neuer Gefäßstrukturen) und Mikrozirkulation. Gegenüber der Positronenemissionstomographie (PET), einem nuklearmedizinischen Schnittbildver-

fahren, s. o., das vergleichbare funktionelle Informationen liefert, ist die hohe räumliche Auflösung der MRT und die Tatsache, dass bei der MRT keine radioaktiven Stoffe oder ionisierenden Strahlen verwendet werden, ein großer Vorteil. Letzteres gilt auch im Vergleich zu einer funktionellen Untersuchung mit der CT. Aus Sicht des Strahlenschutzes sollte nach Möglichkeit die MRT-Untersuchung einer CT-Untersuchung vorgezogen werden, wenn sich dadurch ähnlich zuverlässige Diagnosen stellen lassen.

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

Eine Abschätzung der MRT-Häufigkeit ist in [Teil B - IV - 1.4](#) gegeben.

1.5 Qualitätssicherung

Mit Inkrafttreten der StrlSchV im Jahr 2001 und den überarbeiteten Regelungen der RöV im Jahr 2002 wurde die rechtliche Basis für verschiedene Maßnahmen geschaffen, die das Ziel haben, die medizinische Strahlenexposition zu reduzieren und den Strahlenschutz der Patienten zu verbessern.

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

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

Durch die Pflicht, Patienten nach früheren radiologischen Untersuchungen zu befragen sowie radiologische Bilder an nachbehandelnde Ärzte weiterzugeben, sollen Wiederholungsuntersuchungen vermieden werden. Auch der Röntgenpass soll dazu beitragen, unnötige Röntgenuntersuchungen zu vermeiden. Leider haben sich die Erwartungen an die Einführung eines Röntgenpasses bisher noch nicht erfüllt, da sich die Pflicht, Röntgenpässe aktiv anzubieten, in der Praxis noch nicht ausreichend durchgesetzt hat.

Die Einführung dosisparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von Belichtungsautomatiken, gepulster Durchleuchtung, des „Last Image Hold“ bei Durchleuchtungen und interventionellen Eingriffen (d. h., das letzte Durchleuchtungsbild bleibt nach Abschaltung der Röntgenstrahlung auf dem Monitor erhalten), der Einsatz der Strom- und Spannungsmodulation sowie iterativer Rekonstruktionsalgorithmen bei tomographischen Verfahren und digitaler Detektortechnik, insbesondere von digitalen Vollfelddetektorsystemen (DR-Systeme), trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei wie die vorgeschriebenen Qualitätssicherungsmaßnahmen in den Röntgeneinrichtungen.

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

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

2. Therapeutische Strahlenanwendungen

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

2.1 Strahlentherapie

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

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

Zu den wichtigen Techniken gehören u. a. die bildgeführte Radiotherapie (IGRT image guided radiotherapy), bei der beispielsweise vor jeder einzelnen strahlentherapeutischen Behandlung CT-ähnliche Kontrollen der korrekten Patientenpositionierung erfolgen können, sowie die intensitätsmodulierte Radiotherapie (IMRT), bei der die Strahlendosis innerhalb eines jeden Bestrahlungsfeldes verändert (moduliert) werden kann. Eine mit diesen Techniken erreichbare bessere Konzentration der Strahlentherapie-Dosis auf das Zielvolumen („Konformität“) kann für den behandelten Patienten bedeuten, dass sich seine Heilungschancen erhöhen, während unerwünschte Nebenwirkungen seltener auftreten.

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

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

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

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

In den von der Deutschen Krebsgesellschaft herausgegebenen „Kurzgefassten interdisziplinären Leitlinien“ wird detaillierter auf die Prinzipien der Strahlentherapie sowie auf die einzelnen Bestrahlungsindikationen eingegangen.

Aktuelle Daten sind in [Teil B - IV - 2.1](#) dargestellt.

2.2 Nuklearmedizinische Therapie

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

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

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

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

3. Medizinische Forschung

Sowohl für die Grundlagenforschung als auch die Erprobung neuer diagnostischer und therapeutischer Methoden bzw. Mittel sind Studien am Menschen unerlässlich. Studienteilnehmer, bei denen zum Zweck der medizinischen Forschung ionisierende Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) und radioaktive Stoffe angewendet werden sollen, werden in Deutschland in besonderer Weise, nämlich durch eine Genehmigungspflicht, geschützt. Für die Erteilung dieser Genehmigungen ist seit 2001 das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zuständig. Aktuelle Daten sind in [Teil B - IV - 3](#) dargestellt.

4. Herzschrittmacher

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

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

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

V GRUNDLAGEN ZUM UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe

Rechtsgrundlagen

Nach § 3 Abs. 1 des Gesetzes über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 2 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808), bedarf derjenige, der Kernbrennstoffe ein- oder ausführt, einer Genehmigung. § 19 Abs. 1 und 2 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt nach Maßgabe des Artikel 10 durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114, 1222, 1676) geändert worden ist, regelt die Genehmigungspflicht der Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe einschließlich hochradioaktiver Strahlenquellen. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung der Ein- und Ausfuhr von Kernbrennstoffen bzw. sonstiger radioaktiver Stoffe sind in § 3 Abs. 2 und 3 AtG bzw. § 22 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegt. § 20 StrlSchV normiert die unter bestimmten Voraussetzungen mögliche genehmigungsfreie, jedoch anzeigepflichtige grenzüberschreitende Verbringung von sonstigen radioaktiven Stoffen oder kleinen Massen an Kernbrennstoffen. Ausnahmen von der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht werden in § 21 Abs. 1 StrlSchV geregelt. Zuständige Behörde für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhrgenehmigungen und die Bearbeitung der Anzeigen nach deren zollamtlicher Abfertigung (Nicht-EU-Staaten) ist nach § 22 Abs. 1 AtG das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Für die Genehmigung der Beförderung von Kernbrennstoffen und Großquellen ist nach § 23 Abs. 1 Nr. 3 AtG das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig. Großquellen im Sinne des Gesetzes sind gemäß § 23 Abs. 2 AtG radioaktive Stoffe, deren Aktivität je Beförderungs- oder Versandstück den Aktivitätswert von 1000 Terabequerel (10^{15} Bq) übersteigt.

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

Verfahren

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

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

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Ausfuhr von Kernbrennstoffen gemäß § 3 Abs. 1 AtG immer genehmigungspflichtig. Die Einfuhr ist grundsätzlich genehmigungspflichtig, es sei denn, die Kernbrennstoffe werden nur in Kleinmengen (welche je nach Anteil des spaltbaren Materials gestaffelt sind) in das Bundesgebiet verbracht und es ist dafür Vorsorge getroffen, dass die zu verbringenden Kernbrennstoffe nach der Einfuhr erstmals an Personen/Institutionen abgegeben werden, denen eine Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG erteilt ist. In diesen Fällen besteht lediglich eine Anzeigepflicht (§ 20 Abs. 3 StrlSchV).

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

Aus § 19 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV ergibt sich die Genehmigungspflicht für die grenzüberschreitende Verbringung sonstiger radioaktiver Stoffe, deren Aktivität je Versandstück das 10^8 -fache der in dieser Norm festgeschriebenen Freigrenzen beträgt oder überschreitet und für Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG. Der Regelungsbereich von § 19 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV beschränkt sich auf die Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe und Kernbrennstoffe nach § 2 Abs. 3 AtG aus dem Geltungsbereich dieser Verordnung in einen Nicht-EU-Staat.

Aus § 20 Abs. 1 Nr. 2 StrlSchV lassen sich die Konstellationen entnehmen, in denen lediglich eine Anzeige der grenzüberschreitenden Verbringung erforderlich ist. So bedarf insbesondere die Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe oder von Kernbrennstoffen gemäß § 2 Abs. 3 AtG, die nicht von dem Genehmigungsvorbehalt von § 19 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV erfasst sind, in einen Staat, der nicht Mitgliedstaat der Europäischen Union ist, einer Anzeige gegenüber dem BAFA. Ferner ist die Einfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe oder von Kernbrennstoffen nach § 2 Abs. 3 AtG aus einem Nicht-EU-Staat grundsätzlich anzeigepflichtig, siehe § 20 Abs. 1 Nr. 1 StrlSchV.

§ 21 Abs. 1 StrlSchV fasst die Fälle zusammen, in denen weder eine Genehmigungspflicht noch eine Anzeigepflicht für die grenzüberschreitende Verbringung von radioaktiven Stoffen besteht. So gelten die dargestellten Genehmigungs- und Anzeigevorbehalte nicht für Stoffe, die in der Anlage I (genehmigungsfreie Tätigkeiten) Teil B Nr. 1 bis 6 genannt sind, siehe § 21 Abs. 1 Nr. 1 StrlSchV. Ferner ist eine zollamtlich überwachte Durchführung von sonstigen radioaktiven Stoffen und Kernbrennstoffen nach § 2 Abs. 3 AtG anzeige- und genehmigungsfrei, siehe § 21 Abs. 1 Nr. 2 StrlSchV. Zudem entfällt die Genehmigungs- und Anzeigepflicht insbesondere dann, wenn sonstige radioaktive Stoffe oder Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG lediglich zur eigenen Nutzung im Rahmen eines genehmigten Umgangs vorübergehend grenzüberschreitend verbracht werden, siehe § 21 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchV. Schließlich ist die grenzüberschreitende Verbringung von Konsumgütern, denen radioaktive Stoffe zugesetzt oder die aktiviert worden sind, unter den in § 108 S. 2 StrlSchV genannten Voraussetzungen genehmigungs- und anzeigefrei, § 21 Abs. 1 Nr. 4 StrlSchV.

Hochradioaktive Strahlenquellen

Seit der Änderung der Strahlenschutzverordnung durch das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 18./19. August 2005 (BGBl. I S. 2365) werden bei den umschlossenen radioaktiven Stoffen zusätzlich solche unterschieden, die hochradioaktiv sind. Die Grenze für die Unterscheidung ist vom entsprechenden Radionuklid abhängig und wird in Spalte 3a in Tabelle 1 in Anlage III zur Strahlenschutzverordnung angegeben. Beispielsweise gilt eine Cobalt-60-Strahlenquelle ab einer Aktivität von 4 GBq als hochradioaktiv. Brennelemente und verfestigte hochradioaktive Spaltproduktlösungen aus der Aufarbeitung von Kernbrennstoffen sind keine hochradioaktiven Strahlenquellen, siehe § 3 Abs. 2 Nr. 29 b) bb) StrlSchV. § 19 Abs. 1 und 2 StrlSchV regelt eine Genehmigungspflicht für die Einfuhr und die Ausfuhr hochradioaktiver Strahlenquellen aus bzw. in Staaten, die nicht Mitgliedsstaat der EU sind, sofern die Strahlenquelle die in § 19 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegte Aktivität überschreitet, der Schutzbehälter der Strahlenquelle nicht die nach § 68 Abs. 1a StrlSchV erforderliche Kennzeichnung aufweist oder die nach § 69 Abs. 2 S. 4 StrlSchV vorgeschriebene Dokumentation nicht beigefügt ist.

Die, auch nur vorübergehende, Verbringung hochradioaktiver Strahlenquellen mit einer Aktivität unterhalb der in § 19 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegten bedarf stets einer Anzeige, § 20 Abs. 1 S. 1 StrlSchV.

Anzeigeverfahren

Die nach § 20 Abs. 1 StrlSchV einer Anzeigepflicht unterliegende grenzüberschreitende Verbringung ist gegenüber dem BAFA anzuzeigen. Dabei ist für die Anzeige das vom BAFA vorgegebene Formular zu verwenden. Die Anzeige ist beim BAFA auf der dazu vorgesehenen Internetseite und spätestens im Zusammenhang mit der Zollabfertigung bei den zuständigen Zolldienststellen abzugeben. Die zuständige Zolldienststelle vergleicht die Anzeige mit den Frachtpapieren und bestätigt ggf. die Übereinstimmung der Angaben. Werden grobe Unregelmäßigkeiten festgestellt, wird die Sendung zurückgewiesen. In allen Fällen werden Unregelmäßigkeiten auf der Anzeige vermerkt, die dem BAFA auf elektronischem Wege übersandt wird.

Genehmigungsverfahren

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

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

Das BAFA überprüft bei Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen sowohl Anzeigen als auch Genehmigungen im Nachhinein auf Übereinstimmung mit den Bestandsänderungsberichten, die gemäß Euratom-Verordnung Nr. 3227/76 monatlich von den Betreibern für die Europäische Union (EU) zu erstellen und dem BAFA in Kopie zuzuleiten sind. Darüber hinaus gehen vom BAFA monatlich Ausdrucke mit den wesentlichen Angaben zu allen Ein- und Ausfuhr von radioaktiven Stoffen an die jeweils zuständigen atomrechtlichen- bzw. strahlenschutzrechtlichen Aufsichtsbehörden der Bundesländer.

Ferner übermittelt das BAFA Angaben über erteilte Genehmigungen nach § 3 Abs. 1 AtG oder § 19 Abs. 1 S. 1 StrlSchV für die Einfuhr hochradioaktiver Strahlenquellen aus einem Staat, der nicht Mitgliedstaat der EU ist, unverzüglich dem vom BfS zu führenden Register über hochradioaktive Strahlenquellen.

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

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, deren Aktivität größer oder gleich den Aktivitätswerten der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3a der StrlSchV ist, zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

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

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

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

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

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

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

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

Für die formelle Umsetzung in eine nationale Rechtsverordnung war eine Änderung des Atomgesetzes erforderlich. Im Rahmen der am 1. Mai 1998 in Kraft getretenen Atomgesetznovelle wurde eine entsprechende Ermächtigungsvorschrift für die formelle Umsetzung dieser Richtlinie durch die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) in das Atomgesetz aufgenommen. Mit Inkrafttreten der AtAV entfällt für die nach dieser Verordnung abzuwickelnden Verbringungen die Anwendung der Strahlenschutzverordnung (§ 19) für radioaktive Abfälle. Dieser Umstand ist nunmehr nach Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 in den §§ 19-22 StrlSchV berücksichtigt worden, indem die radioaktiven Abfälle aus dem Regelungsbereich ausgenommen wurden.

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

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

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

Jahresstatistik der Ein- und Ausfuhr radioaktiver Stoffe

Die vom BAFA erstellten Ein- und Ausfuhrstatistiken radioaktiver Stoffe sind in [Teil B - V - 1](#) dieses Berichtes tabellarisch dargestellt und kommentiert.

2. Beförderung radioaktiver Stoffe

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

Aktuelle Angaben über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe sind in [Teil B - V - 2](#) enthalten.

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

Als Umgang mit radioaktiven Stoffen wird nach § 3 Abs. 2 Nr. 34 Strahlenschutzverordnung 2001 bzw. § 5 Abs. 39 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung bezeichnet.

Die Strahlenschutzverordnung trifft gemäß § 2 Abs. 1 Regelungen für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen mit einer Teilchen- oder Photonengrenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronenvolt.

Die Röntgenverordnung (RöV) gilt gemäß § 1 RöV für Röntgeneinrichtungen und Störstrahler, in denen Röntgenstrahlung mit einer Grenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronenvolt erzeugt werden kann und bei denen die Beschleunigung der Elektronen auf eine Energie von 1 Megaelektronenvolt begrenzt ist.

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe

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

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

Die Entwicklung der Anzahl der Anwender radioaktiver Stoffe ist in [Teil B - V - 3.1](#) wiedergegeben.

3.2 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern und Industrieerzeugnissen

Zum Schutz des Verbrauchers ist nach der Strahlenschutzverordnung alter Fassung (StrlSchV 2001., gültig bis 30.12.2018) bei einigen Produkten der Zusatz radioaktiver Stoffe unzulässig bzw. deren Aktivierung nur unter stark eingeschränkten Bedingungen (§ 105 StrlSchV 2001) zulässig. Dies betrifft z. B. Lebensmittel, Spielwaren, Schmuck, kosmetische Produkte und Futtermittel. Bei bestimmten Industrieerzeugnissen und Konsumgütern bedarf der Zusatz radioaktiver Stoffe, deren Aktivierung sowie der Import und Export dieser Produkte einer Genehmigung. Außer bei Gütern mit geringer Aktivität ist ein Rücknahmekonzept Voraussetzung. Die Strahlenschutzverordnung verpflichtet den Hersteller zur kostenlosen Rücknahme des Konsumgutes und den Verbraucher zur Rückführung der Produkte nach der Nutzung.

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

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

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtemessungen

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

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

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

Strahlenexposition durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen

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

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

3.3 Hochradioaktive Strahlenquellen (HRO)

Seit 17. August 2005 ist in Deutschland das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen in Kraft (BGBl I S. 2365). Das Gesetz setzt die Richtlinie 2003/122/Euratom um, in der für die Mitgliedstaaten der EU einheitliche Vorgaben zur Kontrolle dieser Strahlenquellen verbindlich festgelegt sind. Kern des deutschen Gesetzes ist die Einrichtung eines bundesweiten Registers für hochradioaktive umschlossene Strahlenquellen. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Ak-

tivität, Besitzherrschaft, Standort etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird vom BfS betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland im Verkehr sind und deren Aktivität die jeweils durch die Strahlenschutzverordnung vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A1-Wertes gemäß StrlSchV, Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3a: z. B. Ir-192 > 10 GBq, Co-60 > 4 GBq) zentral erfasst¹. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind durch die o. g. Richtlinie der Euratom innerhalb der EU einheitlich festgelegt. Der aktuelle Erfassungsstand ist aus [Teil B - V - 3.3](#) zu entnehmen.

In Deutschland existiert für umschlossene Strahlenquellen ein breites Anwendungsfeld. Während hochradioaktive Strahlenquellen in der Medizin überwiegend in der Strahlentherapie eingesetzt werden, verwendet die Industrie sie häufig für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, z. B. für Schweißnahtprüfungen an Rohrleitungen mittels mobiler Strahlenquellen (Cs-137 oder zunehmend Ir-192 und Se-75). Andere Einsatzbereiche liegen in der Forschung. Hier wird u. a. Co-60 für die Erzeugung von Gammastrahlungsfeldern und Cf-252 für die Erzeugung von Neutronenstrahlungsfeldern verwendet.

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

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

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

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

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

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

3.5 Bestand radioaktiver Abfälle

In der Bundesrepublik Deutschland fallen radioaktive Abfälle an:

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

Zukünftig sind darüber hinaus auch abgebrannte Brennelemente - insbesondere aus Leichtwasserreaktoren - und solche Abfälle zu berücksichtigen, die bei einer eventuellen Konditionierung dieser Brennelemente für die direkte Endla-

¹ Der HRQ-Wert ist 1/100 des A1-Wertes des Abschnitts 2.2.7.2.2.1 der Anlage zur Bekanntmachung der Neufassung der Anlagen A und B zu dem Europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) vom 25. November 2010 (BGBl. II S. 1412 – Anlageband). Soweit in Spalte 3a für ein Radionuklid kein Wert angegeben ist, ist ein Hundertstel des A1-Wertes zugrunde zu legen.

gerung anfallen werden. Ebenso ist der bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente angefallene radioaktive Abfall, der zum Teil noch nach Deutschland zurückgeführt werden muss, zu berücksichtigen.

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen Abfallverursachergruppen wird sowohl für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als auch für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle jährlich ermittelt. Teil B - V - 3.6 enthält die zusammengefassten aktuellen Daten.

3.6 Freigabe geringfügig radioaktiver Stoffe

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

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

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

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

Literatur

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

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse

Die besonderen Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen werden jährlich im Teil B - V - 4 dieses Berichtes zusammengestellt.

VI GRUNDLAGEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung

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

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden

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

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

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

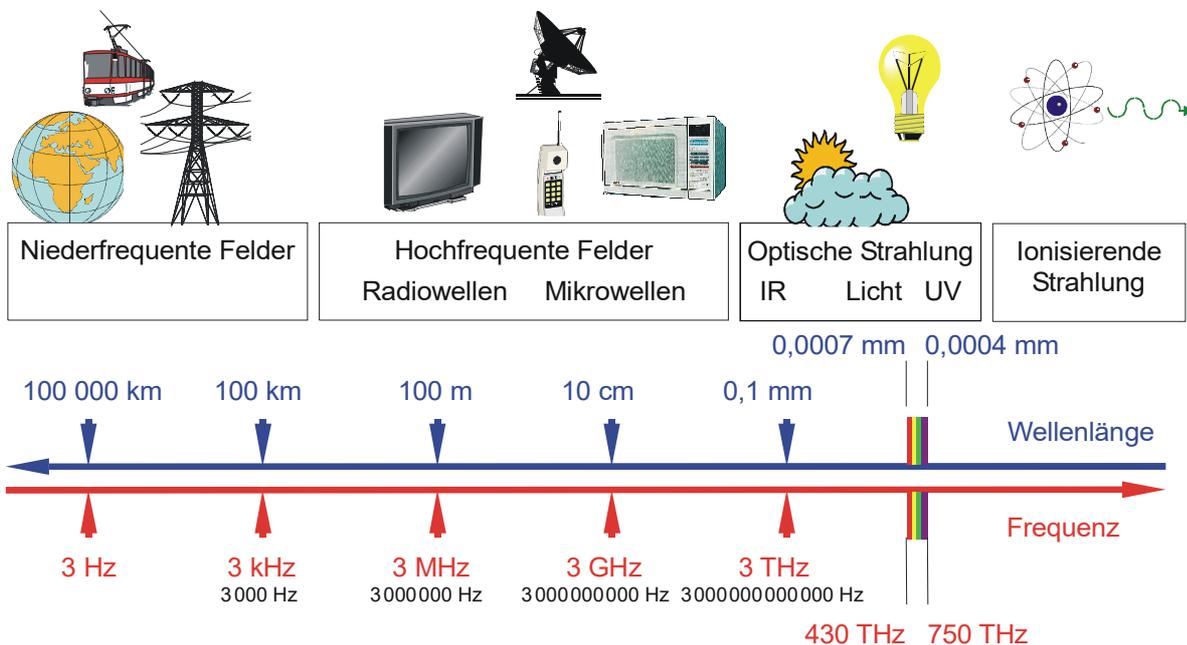


Abbildung G VI 1-1 Das elektromagnetische Spektrum (The electromagnetic spectrum)

2. Statische Felder

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

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

3. Niederfrequente Felder

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kilovolt pro Meter bzw.
Mikrotesla

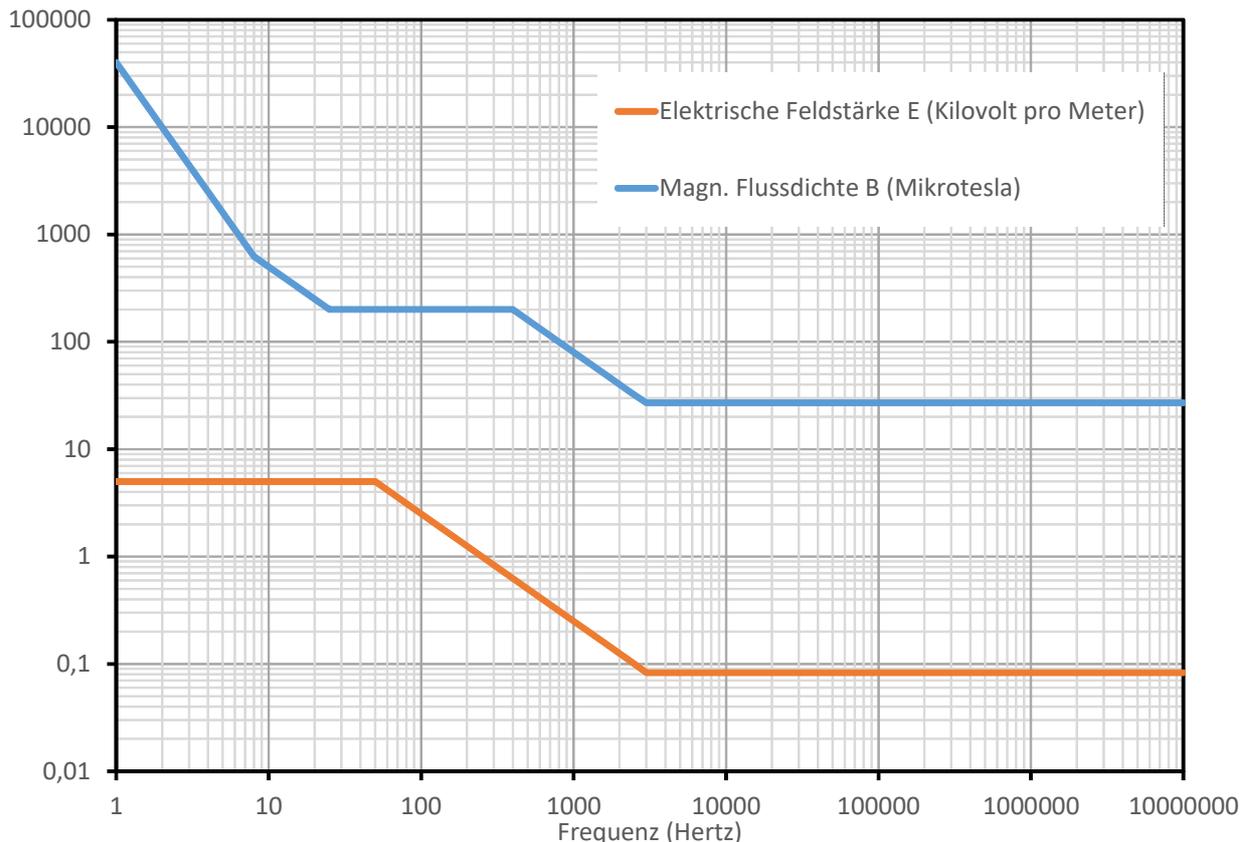


Abbildung G VI 3.1 Grenzwerte für feststehende Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (26. BImSchV)
(Limit values for fixed low-frequency and DC installations - 26th BImSchV)

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

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

4. Hochfrequente Felder

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

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

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

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

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

Volt pro Meter bzw.
Ampere pro Meter

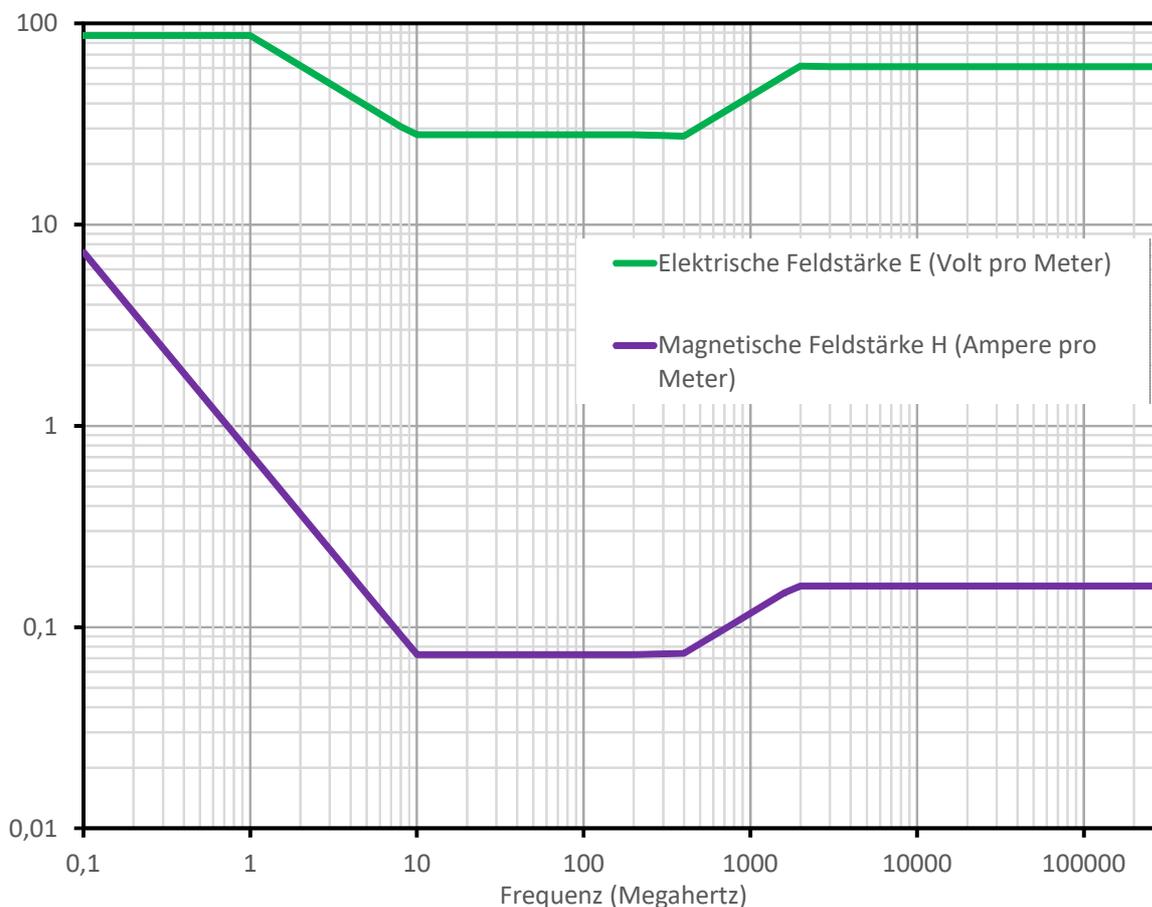


Abbildung G VI 4.1 Grenzwerte der 26. BImSchV für hochfrequente Felder von ortsfesten Anlagen
((Limit values of the 26th BImSchV for high-frequency fields of fixed installations))

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

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

* Effektivwerte, gemittelt über 6-Minuten-Intervalle

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

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

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

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

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

5. Optische Strahlung

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

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

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

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

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

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

5.1 UV-Strahlung

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

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

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

UV- Quellen

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

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

UV-Monitoring / UV-Index

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

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

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

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

Die Messung der solaren UV-Strahlung erfolgt an allen Stationen das ganze Jahr über zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang im Zeitabstand weniger Minuten. Aus den gemessenen Spektren wird der UV-Index (UVI) als Tageshöchstwert der sonnenbrandwirksamen Bestrahlungsstärke gemittelt über 30 Minuten errechnet. Für die tägliche Berichterstattung werden in der Messnetzzentrale in München-Neuherberg jeweils zur Mittagszeit die UV-Daten aller Stationen ausgewertet und als Tagesspitzen unter https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/tagesspitzenwerte/tagesspitzenwerte_node.html der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Zusätzlich werden die Tagesverläufe des

UV-Index aller Messstationen unter https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/tagesspitzenwerte/tagesspitzenwerte_node.html veröffentlicht. Darüber hinaus werden von April bis September montags, mittwochs und freitags für zehn Vorhersagegebiete in Deutschland 3-Tages-UV-Prognosen erstellt, die unter www.bfs.de/uv-prognose präsentiert und über einen Newsletter (https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-newsletter/uv-newsletter_node.html) erhältlich sind. Den Prognosen liegen u. a. bisherige Messdaten des UV-Messnetzes und aktuelle Vorhersagen der Bewölkungssituation zugrunde. Im Winter werden von Oktober bis März nur Monatsprognosen veröffentlicht, da die UV-Belastung in dieser Zeit in Deutschland gering ist.

Anwendungen

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

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

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

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

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

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

Wirkungen

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

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

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

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

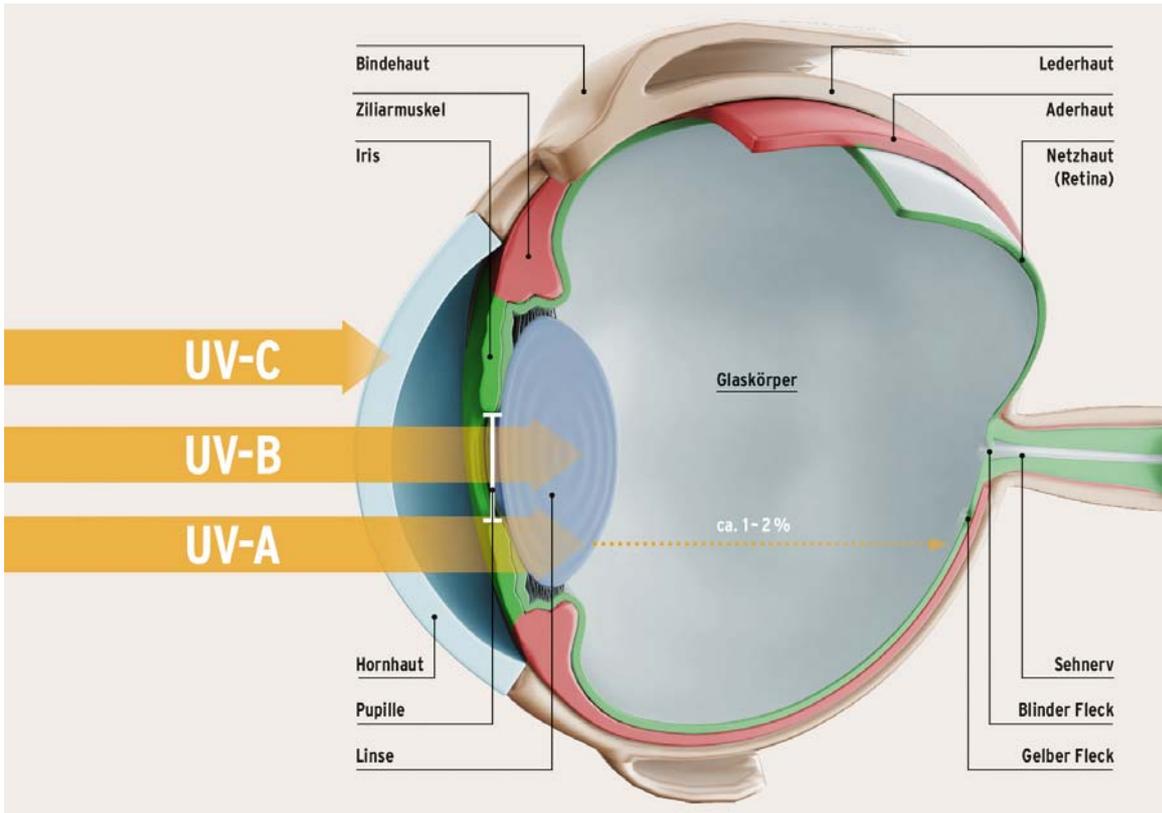


Abbildung G VI 5.1-1 Eindringtiefe von UV-Strahlung im menschlichen Auge
(Penetration depth of UV in the human eye)

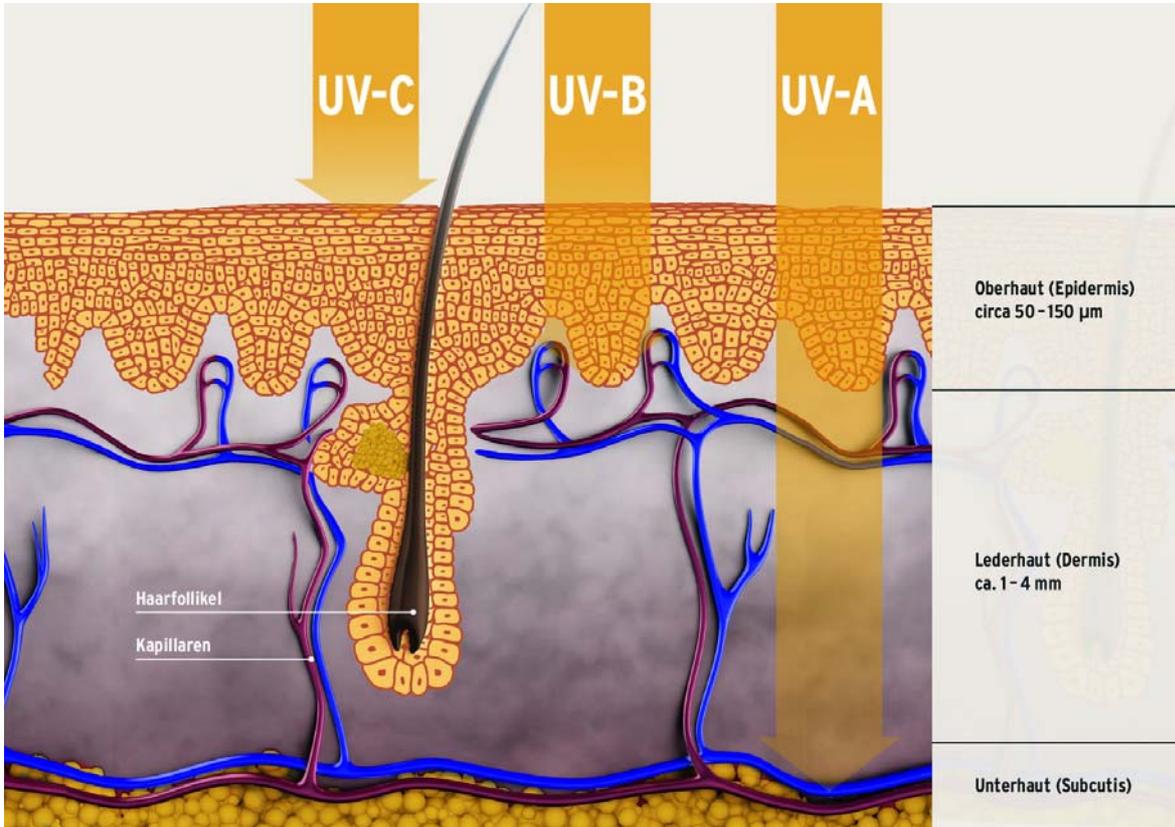


Abbildung G VI 5.1-2 Eindringtiefe von UV-Strahlung in der menschlichen Haut
(Penetration depth of UV radiation in the human skin)

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

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

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

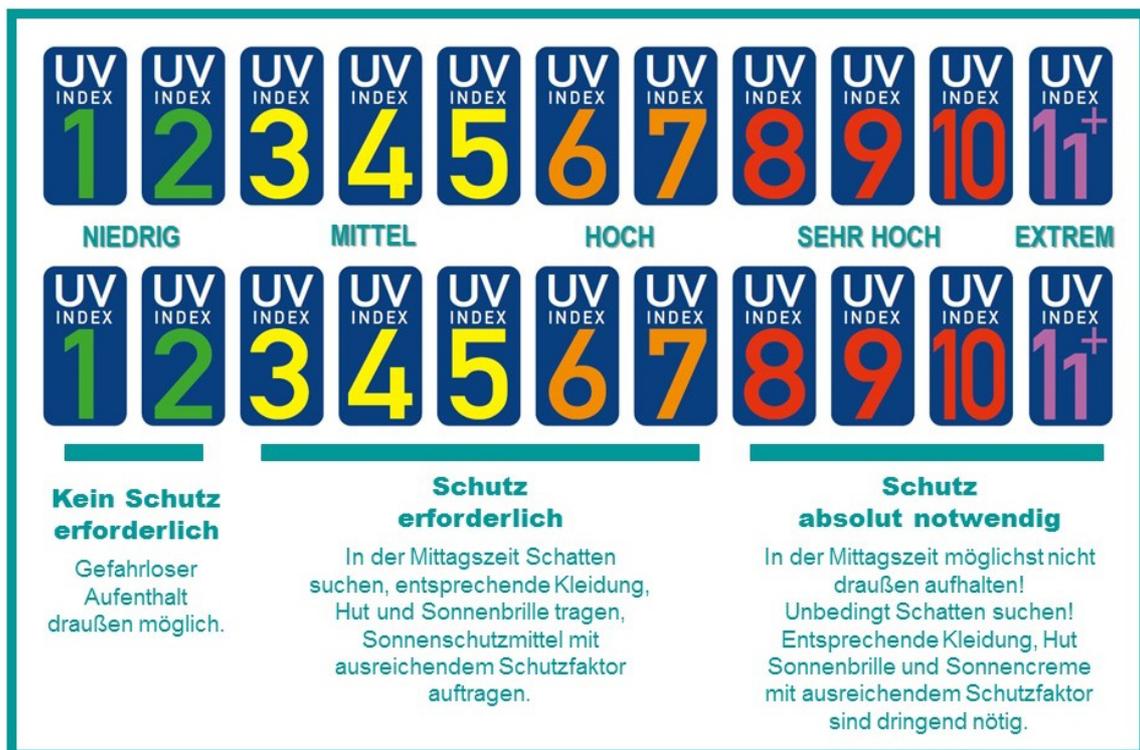


Abbildung G VI 5.1-3 Der UV-Index (The UV index)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Die auf die Belastung mit UV-Strahlung zurückzuführende Hautkrebsinzidenz stieg in den letzten Jahrzehnten um ein Vielfaches. Insgesamt hat sich seit dem Jahr 2000 die Hautkrebsneuerkrankungszahl mehr als verdoppelt (GEKID, Datenstand Juli 2017¹).

Der nicht-melanozytäre (helle) Hautkrebs kommt in Deutschland ungefähr 6,5-mal häufiger vor als das maligne Melanom. Die tatsächliche Anzahl dürfte aber deutlich höher sein - Registrierungsdefizite lassen genaue Aussagen nur bedingt zu. Die bisherigen Zahlen lassen erkennen, dass mehr Männer am hellen Hautkrebs erkranken als Frauen. Bei den Männern entspricht die Inzidenz für den hellen Hautkrebs ungefähr der Prostatakarzinominzidenz, bei den Frauen liegt die Inzidenz zwischen der Brustkrebsinzidenz und der Darmkrebsinzidenz. Mit zunehmendem Alter steigt die Erkrankungshäufigkeit an. In der Altersgruppe ab 85 Jahre liegt die Neuerkrankungsrate bei den Männern doppelt so hoch wie bei den Frauen. Im zeitlichen Verlauf zeigt sich in den letzten 30 Jahren eine Vervierfachung (Männer) bis Verfünffachung (Frauen) der Inzidenz (Leitlinienprogramm Onkologie 2014²).

Der schwarze Hautkrebs (malignes Melanom) ist bei Männern die achthäufigste und bei Frauen die vierthäufigste Krebsneuerkrankung. Junge Frauen erkranken häufiger als junge Männer am schwarzen Hautkrebs. 49 % Männer und 52 % Frauen mit schwarzem Hautkrebs sind nach Schätzungen des Robert-Koch-Institutes jünger als 60 Jahre (RKI 2010³). Besonders betroffen sind junge Frauen. Bei diesen liegt die Melanominzidenz etwa um Faktor 2,5 (bis <30 Jahre) bzw. 1,7 (bis <50 Jahre) höher als bei Männern entsprechenden Alters. Im Vergleich mit anderen Malignomen ist das Melanom bei den Frauen bis <50 Jahre (nach Brustkrebs) die zweithäufigste Krebserkrankung (Datenbankabfrage ZfKD für 2014, https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/ZfKD/zfkd_node.html). Die Erkrankungshäufigkeit steigt mit zunehmendem Alter an. Ab dem Alter von 60 Jahren steigt die Inzidenz bei Männern auf das Zweifache der Inzidenz bei Frauen an. Im zeitlichen Verlauf zeigt sich in den letzten 30 Jahren eine Verdreifachung der Inzidenz von etwa 5 auf rund 15 Fälle pro 100 000 Einwohner. Im internationalen Vergleich gehört Deutschland gemeinsam mit den anderen europäischen Ländern, den USA und Australien zu den Ländern mit der höchsten Melanom-Inzidenz. Innerhalb von Europa liegt Deutschland im oberen Drittel der Melanom-Inzidenzen und Prävalenzen (Leitlinienprogramm Onkologie 2014⁴).

Die statistischen Hochrechnungen zeigen, dass in Deutschland die altersstandardisierte Mortalitätsrate 2015 für den schwarzen Hautkrebs (malignes Melanom; C43) bei 2,8 für Männer und bei 1,6 für Frauen pro 100 000 Einwohner und für helle Hautkrebsarten bei 0,7 für Männer und 0,3 für Frauen pro 100 000 Einwohner lag. Demnach versterben jährlich insgesamt knapp 4 000 Menschen in Deutschland an den Folgen UV-induzierter Hautkrebsarten (GEKID, Datenstand Juli 2017⁵). Die altersstandardisierte Sterblichkeit hat in Deutschland nur bei den Männern zugenommen (RKI 2016⁶).

¹ Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. Atlas der Krebsinzidenz und -mortalität in Deutschland (GEKID-Atlas). Datenstand Juli 2017, Lübeck, Verfügbar über: <http://www.gekid.de>

² Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF); S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.0, 2014 AWMF Registernummer: 032/052OL, <http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Hautkrebs-Prävention.56.0.html>

³ Robert-Koch-Institut, Malignes Melanom der Haut - Ergebnisse zur Prävalenz, 2010 [cited 2012 11.10.]; Available from: <https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Praevalenzbroschuere/Lokalisationen/C43.html>

⁴ Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF); S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.0, 2014, AWMF Registernummer: 032/052OL, <http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Hautkrebs-Prävention.56.0.html>

⁵ Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. Atlas der Krebsinzidenz und -mortalität in Deutschland (GEKID-Atlas). Datenstand: Juli 2017, Lübeck, Verfügbar über: <http://www.gekid.de>

⁶ Bericht zum Krebsgeschehen in Deutschland 2016, Zentrum für Krebsregisterdaten im Robert-Koch-Institut (Hrsg.). Berlin, 2016

Die Risikofaktoren sowie die Angabe der relativen Risiken beziehungsweise der Lebenszeitriskiken sind, basierend auf einer systematischen Literaturrecherche (Publikationen der Jahre 1995 bis April 2012) in der onkologischen S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ ausführliche beschrieben (Leitlinienprogramm Onkologie 2017¹).

Bei den Risikofaktoren wird für alle Hautkrebsarten zwischen konstitutionellen (angeborenen), erworbenen und Expositions-Risikofaktoren unterschieden. Der angeborene Risikofaktor für die hellen Hautkrebsarten ist der Hauttyp. Zu den erworbenen Risikofaktoren zählen die chronisch UV-geschädigte Haut, das Vorhandensein aktinischer Keratosen (rötliche, auch hautfarbene, fest haftende Rauigkeiten der Hautoberfläche; Vorstufen des Plattenepithelkarzinoms), die Erkrankung an einem hellen Hautkrebs in der eigenen Krankheitsvorgeschichte, Unterdrückung des Immunsystems zum Beispiel in Folge einer Organtransplantation oder eine durch Strahlentherapie geschädigte Haut. Expositions-Risikofaktor für das Basalzellkarzinom ist in erster Linie die intermittierende (wiederkehrende) UV-Belastung nicht an UV gewöhnter Haut. Für das Plattenepithelkarzinom ist es die lebenslang erworbene UV-Dosis (kumulative Dosis). Für den schwarzen Hautkrebs (malignes Melanom) sind die angeborenen Risikofaktoren der Hauttyp und die Anzahl angeborener, insbesondere großer und sehr großer Pigmentmale. Zu den wichtigsten erworbenen Risikofaktoren für das maligne Melanom zählen die Anzahl erworbener Pigmentmale, die Anzahl klinisch atypischer Pigmentmale, eine vorangegangene Erkrankung an einem malignen Melanom und malignes Melanom bei Verwandten 1. Grades (Eltern, Kinder). Als Expositions-Risikofaktoren für das maligne Melanom gelten intermittierende UV-Expositionen (z. B. Urlaube mit hoher Sonnenexposition) und Sonnenbrände. Sonnenbrände in jedem Alter erhöhen das Risiko für ein malignes Melanom um das ca. 2-fache. Schwere Sonnenbrände in der Kindheit erhöhen das Risiko für das maligne Melanom um das 2 - 3-fache. Das Melanomrisiko erhöht sich durch die regelmäßige (einmal im Monat) Nutzung von Sonnenstudios vor dem 35. Lebensjahr um 60 % (Boniol et al 2012²). Darüber hinaus geht jede zusätzliche Solarien-Nutzung pro Jahr mit einer Erhöhung des Melanom-Risikos um 1,8 % einher, und ca. 5 % aller Melanom-Neuerkrankungen in Europa können auf Solarien-Nutzung zurückgeführt werden (hauptsächlich auftretend bei Frauen).

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

5.2 Sichtbares Licht

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

Lichtquellen

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

Licht emittierende Dioden (LED) sind kleine Halbleiter-Bauelemente, die elektrische Energie in optische Strahlung umwandeln. Weißes Licht wird meist durch Photolumineszenz erzeugt. Dabei wird über einer blauen LED eine dünne Schicht aus Phosphorverbindungen aufgetragen. Das energiereiche blaue Licht regt die Phosphorschicht zum Leuchten an. Dabei wird ein Teil des blauen Lichts in energieärmeres Licht, z. B. Gelb, umgewandelt. Das entstehende Gemisch verschiedener Wellenlängen wird als weißes Licht wahrgenommen. Ein anderer Weg, weißes Licht zu erzeugen, ist die additive Farbmischung. Dabei entsteht weißes Licht durch die Kombination von roten, grünen und blauen LEDs.

LED-Lampen zeichnen sich durch große Vielfalt aus. Der Blaulichtanteil im Spektrum von LED-Lampen kann sehr unterschiedlich sein. Zur Orientierung kann die Farbtemperatur in Kelvin herangezogen werden. Grundsätzlich gilt: Je höher die Kelvinalzahl, desto höher der Blaulichtanteil und desto „kälter“ die Lichtfarbe.

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

¹ Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF): S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.0, 2014, AWMF Registernummer: 032/052OL, <http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Hautkrebs-Praevention.56.0.html>

² Boniol M, Autier P, Boyle P, Gandini S. Cutaneous melanoma attributable to sunbed use: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2012 Jul 24; 345:e4757. doi: 10.1136/bmj.e4757; Boniol M, Autier P, Boyle P, Gandini S. Correction - Cutaneous melanoma attributable to sunbed use: systematic review

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

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

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

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

Laser (Abkürzung für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission) liefern kohärente, monochromatische Strahlung mit großer Energie- und Leistungsdichte sowie ausgeprägter Richtungscharakteristik. Laserstrahlen können circa 100-mal besser fokussiert werden als die Strahlung anderer Strahlungsquellen. Das menschliche Auge fokussiert diesen Strahl zusätzlich um mehrere Größenordnungen. Es trifft also sehr viel Energie auf eine kleine Fläche.

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

Anwendung

Das Hauptanwendungsgebiet künstlicher Lichtquellen ist die Beleuchtung von Räumen. Die Innenbeleuchtung umfasst Wohnräume, Arbeitsstätten aller Art sowie öffentliche Räume. Zur Außenbeleuchtung gehören im Wesentlichen die Straßenbeleuchtung und die Beleuchtung von Sportstätten. Verschiedene Normen, die zum größten Teil auf europäischer Ebene harmonisiert sind, regeln die einzelnen Anwendungsgebiete und legen quantitative und qualitative Anforderungen für Beleuchtungsanlagen fest. Mit Hilfe so genannter Tageslichtlampen sollen negative Folgen von Lichtmangel gemildert werden, z. B. die so genannte „Winterdepression“.

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

Einen weiteren für den Strahlenschutz relevanten Bereich stellt die zunehmende Anwendung starker optischer Strahlenquellen wie Laser der Klassen 3B und 4 oder Blitzlampen vor allem in der Kosmetik dar. Haarentfernung (Epilation), Entfernung von Tätowierungen, Entfernung von Altersflecken oder Gefäßveränderungen sowie Faltenreduktion sind typische Anwendungen, die oft von Personen ohne medizinische Ausbildung durchgeführt werden. Häufig sollen biologische Wirkungen erzielt werden, die eine Überschreitung von Grenzwerten erforderlich machen, d. h. es bestehen Risiken für die Augen und die Haut. Behandlungsfehler können zu Verbrennungen, Narbenbildung oder bleibenden Verfärbungen (Über- oder Unterpigmentierungen) der Haut führen. Werden pigmentierte Hautveränderungen oberflächlich verändert, kann die rechtzeitige Erkennung von Hautkrebs verzögert oder gar verhindert werden. Professionelle Anwenderinnen und Anwender, die starke optische Strahlenquellen am Menschen einsetzen, benötigen demzufolge umfassende Fach- und Sachkenntnisse.

Mit der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV) werden erstmals Anforderungen an den Betrieb und die Fachkunde verbindlich geregelt. Die Verordnung tritt mit dem 31.12.2020 in Kraft. Unter die NiSV fallen professionelle Anwendungen mit Lasern, IPL-Geräten oder anderen optischen Strahlenquellen, aber auch Ultraschallanwendungen und Anwendungen mit Magnetfeldern und hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung, sofern sie zu kosmetischen und anderen nicht-medizinischen Zwecken erfolgen. Mit Inkrafttreten der Verordnung werden einige Anwendungen nur noch von approbierten Ärztinnen und Ärzten mit entsprechender Weiter- oder Fortbildung durchgeführt werden dürfen. Dazu gehören beispielsweise die Tattoorentfernung, Gefäßbehandlungen und die Entfernung pigmentierter Hautveränderungen. Andere Anwendungen wie beispielsweise die Epilation dürfen auch weiterhin von Nicht-Ärzten ausgeführt werden, allerdings muss ab Ende 2021 die Fachkunde nachgewiesen werden. Der Text der NiSV ist unter Artikel 4 der Verordnung zur weiteren Modernisierung des Strahlenschutzes unter

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

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

Wirkungen

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

Für die Wirkung von Licht als „Zeitgeber“ (melanopische Wirkung) ist maßgeblich ein dritter, ebenfalls in der Retina lokalisierter Rezeptortyp verantwortlich, die photosensitiven retinalen Ganglienzellen (psRGC). Dieser Rezeptortyp reagiert vor allem (aber nicht nur) auf blaues Licht und vermittelt unter anderem die Unterdrückung der Ausschüttung des „Schlafhormons“ Melatonin aus der Pinealdrüse. Tagsüber fördert Licht auf diese Weise Wachheit, wirkt sich positiv auf die Leistungsfähigkeit und die Stimmung aus und beeinflusst auch den Schlaf-Wach-Rhythmus positiv. Abends und nachts, wenn der steigende Melatoninspiegel den Schlaf fördert und der Körper sich auf eine Ruhephase einstellt, kann Licht, vor allem wenn es einen hohen Blaulichtanteil hat, dem entgegenwirken.

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

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

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

5.3 Infrarotstrahlung

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

Quellen

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

Die Entdeckung bzw. der Nachweis der IR-Strahlung gelang dem deutschen Astronomen William Herschel erstmalig im Jahre 1800, als er das Sonnenlicht mit einem Prisma spektral zerlegte und dabei jenseits des roten, d. h. langwelligsten Bereichs des sichtbaren Lichts eine nicht sichtbare aber wärmende Strahlung feststellte. Die Fähigkeit zur Er-

wärmung von Stoffen dient auch heute noch zum Nachweis der Infrarotstrahlung. Mit Hilfe von so genannten Infrarotkameras ist es möglich, Infrarotstrahlung sichtbar zu machen.

Anwendung der Infrarotstrahlung

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

Wirkungen

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

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

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

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

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

6. Grenzwerte

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

werte in der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung festgelegt. Die Regelung betrifft in Sonnenstudios und vergleichbaren Einrichtungen betriebene Solarien (UV-Bestrahlungsgeräte).

Sowohl im niederfrequenten wie im hochfrequenten Bereich liegt die Exposition der Bevölkerung im Mittel weit unter den zum Schutz der Gesundheit empfohlenen Grenzwerten. Vergleichsweise hohe Expositionen können beim Betrieb von Geräten nahe am oder mit Kontakt zum Körper auftreten. Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern unterhalb der empfohlenen Grenzwerte wurden in einigen epidemiologischen Studien mit einem leicht erhöhten Risiko für kindliche Leukämien in Verbindung gebracht. Im Hochfrequenzbereich bestehen noch Bewertungsunsicherheiten vor allem bei Langzeitwirkungen über einen Zeithorizont von mehr als fünfzehn Jahren hinaus. Nationale und internationale Organisationen, wie z. B. die SSK, empfehlen deshalb, dass weiterhin Forschung betrieben werden muss, um mögliche biologische Wirkungen zu untersuchen und deren gesundheitliche Relevanz abschätzen zu können. Aus Vorsorgegründen sollten unnötige Expositionen zudem vermieden und unvermeidbare Expositionen möglichst gering gehalten werden.

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

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

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

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

Aktuelle Themen im Bereich Nichtionisierende Strahlung finden Sie in [Teil B - VI](#).

TABELLEN

(Überarbeitungsstand 2019)

(TABLES)

I. Tabellen zur natürlichen Umweltradioaktivität
(Tables on natural environmental radioactivity)

Tabelle T I.1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre im Zeitraum 1998 bis 2018 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2018 – Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Fortluftmengen in $10^9 \text{ m}^3/\text{a}$	gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Rn-222 in TBq/a *		langlebige α -Strahler in MBq/a *	
1998	22,1	664,7	(1201,1)	31,3	(137,1)
1999	20,8	491,3	(926,2)	30,3	(107,4)
2000	18,3	380,4	(798,2)	10,0	(99,9)
2001	14,2	316,4	(557,4)	5,3	(101,1)
2002	11,8	260,5	(447,4)	13,9	(101,1)
2003	8,6	168,4	(298,4)	13,2	(83,1)
2004	8,3	147,3	(268,1)	14,0	(82,9)
2005	7,9	105,3	(298,1)	14,7	(79,9)
2006	6,2	80,3	(268,0)	6,53	(78,3)
2007	5,0	65,2	(269,0)	5,4	(78,4)
2008	3,6	92,9	(267,6)	4,9	(77,8)
2009	3,1	98,8	(267,6)	3,1	(77,8)
2010	2,6	101,2	(267,6)	4,55	(77,8)
2011	2,1	98,6	(267,6)	2,85	(77,8)
2012	2,0	97,3	(287,6)	2,67	(74,5)
2013	1,5	89,1	(121,6)	1,44	(4,0)
2014	1,5	91,1	(121,6)	1,7	(3,6)
2015	1,5	98,1	(121,6)	1,8	(3,6)
2016	1,5	104,1	(121,6)	1,25	(3,6)
2017	1,5	102,1	(121,6)	0,93	(3,6)
2018	1,3	111,1	(121,6)	2,4	(5,1)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabellen

Tabelle T I.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre 2017 und 2018 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2017 and 2018 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	Anzahl der Abwet- terschächte und Wetterbohrlöcher		Abwetter- bzw. Abluftmengen in $10^9 \text{ m}^3/\text{a}$		Ableitung radioaktiver Stoffe			
	2018	2017	2018	2017	Rn-222 in TBq/a *		langlebige α -Strahler in MBq/a *	
					2018	2017	2018	2017
Schlema/Alberoda	1	1	1,28	1,28	111 (120)	102 (120)	2,4 (3,5)	0,8 (2,0)
Dresden-Gittersee	1	1	0,06	0,12	0,05 (1,6)	0,11 (1,6)	0** (1,6)	0,13 (1,6)

* Genehmigungswerte in Klammern
** Emission wegen Konzentrationswerten unterhalb der Nachweisgrenze nicht bilanziert

Tabelle T I.3 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2018 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2018 – Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Abwassermenge in 10 ⁶ m ³ /a	gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Uran in t/a*		Ra-226 in GBq/a*	
1998	14,7	3,8	(12,8)	4,8	(14,8)
1999	14,7	3,8	(9,4)	2,7	(13,6)
2000	16,1	4,1	(11,3)	3,6	(15,4)
2001	14,3	2,8	(13,1)	0,7	(16,7)
2002	18,4	4,5	(8,4)	0,8	(7,0)
2003	14,6	3,1	(8,2)	0,3	(6,8)
2004	13,9	2,8	(8,2)	0,2	(6,7)
2005	14,8	2,2	(8,0)	0,3	(6,7)
2006	16,3	2,4	(9,0)	0,3	(7,9)
2007	19,2	3,1	(9,0)	0,4	(8,2)
2008	20,2	3,0	(9,1)	0,3	(8,4)
2009	20,9	3,2	(9,5)	0,4	(8,5)
2010	25,0	4,4	(9,7)	0,6	(8,5)
2011	19,5	3,1	(10,5)	0,5	(8,8)
2012	16,1	2,6	(10,7)	0,7	(9,0)
2013	21,1	3,2	(11,1)	0,6	(9,0)
2014	18,1	1,9	(11,4)	0,4	(9,2)
2015	18,0	2,1	(9,9)	0,2	(7,3)
2016	18,0	1,8	(11,1)	0,4	(9,2)
2017	15,3	1,8	(11,1)	0,4	(9,2)
2018	12,0	1,6	(10,8)	0,3	(9,2)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle T I.4 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2017 und 2018 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2017 and 2018 - Values measured by the Wismut GmbH)

VORFLUTER Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	Abwassermenge in 10 ⁶ m ³ /a *		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran in t/a *		Ra-226 in GBq/a *	
	2018	2017	2018	2017	2018	2017
ZWICKAUER MULDE (SACHSEN)	5,825 (-)	7,092 (-)	1,106 (6,836)	1,339 (6,975)	0,177 (4,321)	0,230 (4,316)
Schlema/Alberoda	5,436 (-)	6,578 (-)	1,055 (6,810)	1,279 (6,949)	0,169 (4,282)	0,220 (4,277)
Crossen	0,285 (-)	0,408 (-)	0,051 (-)	0,060 (-)	0,0012 (-)	0,0023 (-)
Pöhla	0,104 (-)	0,106 (-)	0,0002 (0,026)	0,0002 (0,026)	0,007 (0,039)	0,0077 (0,039)
ELBE (SACHSEN)	2,781 (5,869)	2,403 (5,869)	0,270 (1,708)	0,208 (1,708)	0,102 (2,278)	0,047 (2,278)
Königstein	2,781 5,869	2,403 (5,869)	0,270 (1,708)	0,208 (1,708)	0,102 (2,278)	0,047 (2,278)
PLEISSE (THÜRINGEN)	-** (-)	0,031 (0,250)	- (-)	0,001 (0,025)	- (-)	0,0003 (0,030)
Ronneburg	- (-)	0,031 (0,250)	- (-)	0,001 (0,025)	- (-)	0,0003 (0,030)
WEISSE ELSTER (THÜRINGEN)	3,416 (12,965)	5,801 (12,965)	0,223 (2,444)	0,284 (2,444)	0,017 (2,593)	0,122 (2,593)
Ronneburg (WBA)	1,897 (9,636)	4,012 (9,636)	0,052 (1,445)	0,139 (1,445)	0,015 (1,927)	0,122 (1,927)
Seelingstädt	1,519 (3,329)	1,789 (3,329)	0,171 (0,999)	0,145 (0,999)	0,002 (0,666)	0,0002 (0,666)

* Genehmigungswerte in Klammern
** keine Ableitungen ab 2018 mehr nach Rückverlegung des Bachs 2017

Tabellen

Tabelle T I.5 Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen
(Calculation of authorised limits for liquid discharges)

Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	genehmigte Wasser- menge in m ³ /h		genehmigte max. Konzentration	genehmigter Jahres- mittelwert der Konzentration
Pöhla	20	multipliziert mit	0,2 mg/l Uran, 0,3 Bq/l Radium-226	
Königstein	650			0,3 mg/l Uran, 0,4 Bq/l Radium-226
WBA Ronneburg	1100		0,15 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226	
Seelingstädt	380			0,3 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226
WBA Schlema	1200		0,5 mg/l Uran, 0,4 Bq/l Radium-226	
Crossen	-			0,5 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226

Tabelle T I.6 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2017/2018 und Sommer 2018; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - winter 2017/2018 and summer 2018 - Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messstellen	Anzahl der Messstellen mit Rn-222-Konzentrationen			Maximum Bq/m ³
		≤ 30 Bq/m ³	31 - 80 Bq/m ³	> 80 Bq/m ³	
Winter 2017/2018					
Schlema/Alberoda	71	36	31	4	161
Pöhla	5	5	0	0	24
Seelingstädt	22	19	3	0	56
Crossen	28	28	0	0	29
Königstein	8	8	0	0	15
Gittersee	5	5	0	0	19
Ronneburg	27	26	1	0	72
Sommer 2018					
Schlema/Alberoda	70	16	29	25	441
Pöhla	5	4	1	0	76
Seelingstädt	23	5	16	2	103
Crossen	27	19	8	0	64
Königstein	8	8	0	0	27
Gittersee	6	4	2	0	51
Ronneburg	27	19	8	0	61

Tabelle T I.7 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2018 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations not influenced by mining activities - mean values 1991 - 2018 and range of variation of the mean values for the individual years - Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Winter (Rn-222-Konzentrationen in Bq/m ³)			Sommer (Rn-222-Konzentrationen in Bq/m ³)		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2018	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2018
Schlema/Alberoda	18	40	25	22	39	31
Pöhla *	14	35	21	18	29	24
Seelingstädt	11	39	20	15	37	24
Crossen	13	35	22	17	37	25
Königstein	11	31	17	13	36	21
Gittersee	15	34	24	21	47	32
Ronneburg	11	40	20	16	37	26

* Im Gebiet Pöhla wurden mit Abschluss der wesentlichen Sanierungsarbeiten die Messungen an bergbaulich unbeeinflussten Messstellen im Winterhalbjahr 2005/06 eingestellt.

Tabelle T I.8 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbauggebiete 2017 und 2018 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the years 2017 and 2018 Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenentnahmestelle	Messpunkt	Uran in mg/l		Ra-226 in mBq/l	
			2018	2017	2018	2017
Sächsische Bergbauggebiete						
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,013	0,014	<10	<10
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	.*	0,015	.*	<14
	Elbe Rathen	k-0028	0,001	0,001	<10	<10
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,018	0,015	14	15
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,020	0,027	21	17
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,002	0,002	13	13
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,006	0,006	10	10
Pöhl	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	<0,001	0,0002	<10	<10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165A	0,018	0,014	22	15
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,006	0,005	12	11
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,007	0,006	11	11
	Oberrothenbacher Bach	M-204	0,440	0,330	12	11
	Zinnborn	M-232	0,280	0,290	62	76
Thüringische Bergbauggebiete						
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,001	0,001	<10	<10
	Weißer Elster nach Einmündung Pölschbach	E-314	0,003	0,004	<10	<10
	Lerchenbach (Culmitzsch)	E-369	0,077	0,074	<10	11
	Fuchsbach vor Mündung	E-383	0,024	0,036	<10	<10
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,003	0,004	<10	<10
Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,018	0,022	<12	11
	Vereinigte Sprotte	s-609	0,003	0,004	<10	<10
	Wipse	e-437	0,012	0,021	<11	<11
	Weißer Elster	e-419	0,003	0,003	<10	<10
* Messpunkt 2 mal trocken						

Tabellen

Tabelle T I.9 Ergebnisse der Radionuklidbestimmungen in Baustoffgruppen
(Results of radionuclide assessments by building material categories)

Produkte	spezifische Aktivität (Bq/kg)						
	Probenzahl	K-40		Th-228		Ra-226	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
Gipsprodukte	5	<20	120	1,6	5,8	3,8	13
Kalksandsteine	3	35	180	2,8	7,2	4,1	10
Mineralwolle	7	49	350	4,7	64	16	80
Ziegel	27	470	1200	37	98	38	63
Zement/Mörtel	11	135	380	11	21	11	35
Fliesen/Keramik	5	295	620	39	97	67	110
Porenbeton	10	97	350	4,8	19	8	26
Mörtel	7	120	310	6	31	11	53
Putze	19	12	220	0,9	31	2	22
Estrich	5	210	295	11	34	11	26
Leichtbeton	7	710	850	28	83	27	98
Beton	3	230	560	10	47	13	25

II. Tabellen zur künstlichen Umweltradioaktivität
(Tables on artificial radioactivity in the environment)

Tabelle T II.1 Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany)

Standort kerntechnische Anlage	Bezeichnung	Typ ^a	elektr. Brutto- leistung (MW)**	Bruttostrom- erzeugung 2018* (MWa)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Karlsruhe	MZFR	D ₂ O-DWR	57	0	1965/1984	Rhein
Rheinsberg	KKR	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Gundremmingen A	KRB-A	SWR	250	0	1966/1977	Donau
Jülich	AVR	HTR	15	0	1966/1988	Rur/Maas
Lingen	KWL	SWR	252	0	1968/1977	Ems
Obrigheim	KWO	DWR	357	0	1968/2005	Neckar
Karlsruhe	KNK II	NaR	21	0	1977/1991	Rhein
Würgassen	KWW	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Stade	KKS	DWR	672	0	1972/2003	Elbe
Greifswald 1 - 5	KGR 1-5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Biblis A	KWB A	DWR	1 225	0	1974/2011	Rhein
Biblis B	KWB B	DWR	1 300	0	1976/2011	Rhein
Neckarwestheim 1	GKN I	DWR	840	0	1976/2011	Neckar
Brunsbüttel	KKB	SWR	806	0	1976/2011	Elbe
Isar 1	KKI 1	SWR	912	0	1977/2011	Isar
Unterweser	KKU	DWR	1 410	0	1978/2011	Weser
Philippsburg 1	KKP 1	SWR	926	0	1979/2011	Rhein
Grafenrheinfeld	KKG	DWR	1 345	0	1981/2015	Main
Krümmel	KKK	SWR	1 402	0	1983/2011	Elbe
Hamm-Uentrop	THTR-300	HTR	308	0	1983/1988	Lippe
Gundremmingen B	KRB-B	SWR	1 344	0	1984/2017	Donau
Grohnde	KWG	DWR	1 430	1 250	1984	Weser
Gundremmingen C	KRB-C	SWR	1 344	1 183	1984	Donau
Philippsburg 2	KKP 2	DWR	1 468	1 255	1984	Rhein
Mülheim-Kärlich	KMK	DWR	1 302	0	1986/1988	Rhein
Brokdorf	KBR	DWR	1 480	1 184	1986	Elbe
Isar 2	KKI 2	DWR	1 485	1 384	1988	Isar
Emsland	KKE	DWR	1 406	1 312	1988	Ems
Neckarwestheim 2	GKN II	DWR	1 400	1 108	1988	Neckar

a SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D₂O-DWR = Schwerwasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart

* Daten aus Atomwirtschaft, atw 2019-Mai, Kernkraftwerke in Deutschland Betriebsergebnisse 2018

** Daten aus Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2018: Bredberg I, Hutter J, Koch A, Kühn K, Niedzwiedz K, Mibus J, Philippczyk F, Wähning R: Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2018. BfE-KE-Bericht BfE-KE-04/19, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019081919007>, Salzgitter, September 2019



Tabelle T II.2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in Deutschland
(Research reactors - not including reactors with zero output - in Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung des Reaktors	therm. Leistung * (MW)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes
Garching	Technische Universität München, Forschungsreaktor München, Forschungs-Neutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz	FRM I	4	1957/2000 2004
		FRM II	20	
Rosendorf	Forschungszentrum Dresden-Rosendorf, Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rosendorf (VKTA)	RFR	10	1957/1991
Geesthacht	Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum)	FRG 1	5	1958/2010 1963/1995
		FRG 2	15	
Karlsruhe	Forschungszentrum Karlsruhe (KIT)	FR 2	44	1961/1981
Jülich	Forschungszentrum Jülich	FRJ 1	10	1962/1985 1962/2006
		FRJ 2	23	
Mainz	Johannes Gutenberg-Universität	FRMZ	0,1	1965
Braunschweig	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	FMRB	1	1967/1995
Neuherberg	Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (früher GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit)	FRN	1	1972/1982
Hannover	Medizinische Hochschule	FRH	0,25	1973/1996
Berlin	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	BER II	10	1973
Heidelberg	Deutsches Krebsforschungszentrum	HD II	0,25	1978/1999

* im Dauerbetrieb

Tabelle T II.3 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Deutschland

(Interim storage facilities of spent nuclear fuels in Germany)

Standort	Erteilung der Genehmigung nach AtG	Beginn des Betriebes	Stellplätze gesamt (Ende 2018 belegt)	Stellplätze gesamt (Ende 2017 belegt)
SZL Biblis	22.09.2003	18.05.2006	135 (101)	135 (91)
SZL Brokdorf	28.11.2003	05.03.2007	100 (33)	100 (30)
SZL Brunsbüttel	28.11.2003 ^a	05.02.2006	80 (20)	80 (11)
SZL Grafenrheinfeld	12.02.2003	27.02.2006	88 (30)	88 (21)
SZL Grohnde	20.12.2002	27.04.2006	100 (34)	100 (30)
SZL Gundremmingen	19.12.2003	25.08.2006	192 (60)	192 (55)
SZL Isar	22.09.2003	12.03.2007	152 (59)	152 (42)
SZL Krümmel	19.12.2003	14.11.2006	80 (41)	80 (41)
SZL Lingen	06.11.2002	10.12.2002	125 (47)	125 (43)
SZL Neckarwestheim	22.09.2003	06.12.2006	151 (81)	151 (77)
SZL Philippsburg	19.12.2003	19.03.2007	152 (62)	152 (60)
SZL Unterweser	22.09.2003	18.06.2007	80 (39)	80 (35)
AVR-Behälterlager Jülich (SZL)	17.06.1993 ^b	23.08.1993	158 (152)	158 (152)
TBL Ahaus (ZL)	10.04.1987	25.06.1992	420 (56) ^c	420 (56) ^c
TBL Gorleben (ZL)	05.09.1983	25.04.1995	420 (113)	420 (113)
TBL im ZLN Rubenow (ZL)	05.11.1999	11.12.1999	80 (74)	80 (74)
<p>a Genehmigung aufgehoben, Aufbewahrungsanordnung der Aufsichtsbehörde bis 31.01.2020</p> <p>b Genehmigung inzwischen ausgelaufen, siehe: Bredberg I, Hutter J, Koch A, Kühn K, Niedzwiedz K, Mibus J, Philippczyk F, Wähning R: Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2018. BfE-KE-Bericht BfE-KE-04/19, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019081919007, Salzgitter, September 2019</p> <p>c Im Transportbehälterlager Ahaus waren im Berichtsjahr wie auch im Vorjahr 329 Behälter auf 56 Stellplätzen deponiert, siehe: Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2018 (a. a. O.)</p> <p>SZL Standort-Zwischenlager TBL Transportbehälterlager ZLN Zwischenlager Nord AVR Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich ZL Zwischenlager</p>				



Tabelle T II.4 Schachtanlage Asse II und Endlager Morsleben für radioaktive Abfälle in Deutschland
(Asse II mine and the Morsleben radioactive waste repository in Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar * (Stand 31.12.2018)	Inventar (Stand 31.12.2017)
Morsleben	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) (bis 25.04.2017 Bundesamt für Strahlenschutz)	ERAM	1971	37 294 m ³ / 8,4 E13 Bq	37 253 m ³ / 8,6 E13 Bq
Remlingen	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) (bis 25.04.2017 Bundesamt für Strahlenschutz; davor bis 2009 Helmholtz Zentrum München)	Schachtanlage Asse II	1967	2,2 E15 Bq**	2,3 E15 Bq**

* Die Volumendifferenz zum Vorjahr ergibt sich aus der Einlagerung radioaktiver Betriebsabfälle, die im ERAM angefallen sind. Ohne Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Gesamtaktivität ein Wert von 3,8 E14 Bq. Das Inventar beinhaltet nicht die derzeit zwischengelagerten Abfälle.

** berechnet mit der Datenbank „Assekat ISS 9.2“ und dem darin implementierten Programm „PAI“ (Stand: Februar 2010)

Tabelle T II.5 Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland
(Nuclear facilities in neighbouring countries located close to the German border)

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet)	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km

Tabelle T II.6 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2018)

Kernkraftwerk	Aktivitätsableitung in Bq				
	radioaktive Edelgase	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide ^{a)}	I-131	C-14 (als Kohlenstoffdioxid)	H-3
KKR Rheinsberg ^{b)}	-	3,3 E05	-	-	-
KGG Gundremmingen A ^{c) k)}	-	nn	-	3,0 E07	1,9 E10
KWL Lingen ^{c)}	-	nn	-	nn	nn
KWO Obrigheim ^{d)}	-	nn	-	1,3 E08	2,4 E10
KKS Stade ^{e)}	-	nn	-	nn	4,0 E08
KWW Würgassen ^{f)}	-	nn	-	4,3 E07	9,0 E08
KGR Greifswald ^{b)}	-	nn	-	-	-
KWB Biblis A ^{g)}	nn	nn	nn	9,9 E09	1,6 E11
KWB Biblis B ^{g)}	5,7 E10	nn	nn	9,5 E10	4,2 E11
GKN Neckarwestheim 1 ^{g)}	nn	6,5 E04	nn	1,2 E08	1,2 E10
KKB Brunsbüttel ^{g)}	nn	5,3 E06	nn	7,6 E09	1,9 E09
KKI Isar 1 ^{g)}	1,4 E09	nn	nn	4,4 E08	2,4 E10
KKU Unterweser ^{g)}	2,6 E10	nn	nn	7,0 E08	6,8 E10
KKP Philippsburg 1 ^{g)}	-	3,3 E05	-	1,6 E10	5,0 E10
KKG Grafenrheinfeld ⁱ⁾	nn	1,6 E04	nn	9,0 E08	2,0 E11
KKK Krümmel ^{g)}	nn	1,2 E04	nn	1,6 E09	nn
KGG Gundremmingen B ^{j), C}	1,7 E13	6,1 E05	8,6 E07	1,5 E11	6,6 E10
KWG Grohnde	4,3 E10	nn	nn	3,2 E10	1,4 E11
THTR Hamm-Uentrop ^{h)}	-	nn	-	nn	4,3 E07
KKP Philippsburg 2	4,2 E11	1,4 E05	nn	3,3 E10	5,9 E11
KMK Mülheim-Kärlich ^{h)}	-	nn	-	1,2 E08	2,1 E10
KBR Brokdorf	3,3 E11	5,1 E05	nn	1,7 E11	1,2 E11
KKI Isar 2	6,3 E11	nn	nn	6,9 E10	1,8 E11
KKE Emsland	1,5 E11	nn	nn	1,5 E11	5,7 E11
GKN Neckarwestheim 2	1,0 E11	1,9 E04	nn	1,5 E11	2,5 E11

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Sr-89, Sr-90 und Alphastrahler
b) Betrieb beendet 1990 e) Betrieb beendet 2003 h) Betrieb beendet 1988
c) Betrieb beendet 1977 f) Betrieb beendet 1994 i) Betrieb beendet 2015
d) Betrieb beendet 2005 g) Betrieb beendet 2011 j) Betrieb beendet 2017
k) einschließlich Ableitungswerte aus dem Technologiezentrum (TZG)

- Messung/Angabe nicht erforderlich
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabellen

Tabelle T II.7 Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2018)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Rheins-berg	Gundremmingen A / Lingen	Obrigheim	Würgas-sen	Stade	Greifswald	Biblis A	Biblis B
Ar-41	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-85m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-85	-	-	-	-	-	-	nn	5,7 E10
Kr-87	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-88	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-89	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-131m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-133m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-133	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-135m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-135	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-137	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-138	-	-	-	-	-	-	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Neckar-westheim 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterwe-ser	Philippsburg 1	Grafen-rheinfeld	Krümmel	Gundrem-mingen B, C
Ar-41	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	2,9 E11
Kr-85m	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	9,0 E10
Kr-85	nn	nn	1,4 E09	nn	-	nn	nn	6,5 E10
Kr-87	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	2,3 E11
Kr-88	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	1,5 E11
Kr-89	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	4,2 E11
Xe-131m	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	3,1 E10
Xe-133m	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	1,9 E10
Xe-133	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	1,4 E12
Xe-135m	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	7,1 E12
Xe-135	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	4,1 E12
Xe-137	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	1,7 E12
Xe-138	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	1,7 E12

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philipps-burg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Ar-41	nn	-	2,1 E11	-	1,5 E11	3,7 E11	1,5 E11	7,5 E10
Kr-85m	nn	-	1,1 E08	-	nn	nn	nn	nn
Kr-85	nn	-	1,0 E11	-	nn	2,6 E11	nn	1,6 E10
Kr-87	nn	-	1,9 E08	-	nn	6,6 E07	nn	1,6 E08
Kr-88	nn	-	nn	-	nn	2,4 E08	nn	3,8 E08
Kr-89	nn	-	6,4 E08	-	nn	5,0 E07	nn	nn
Xe-131m	nn	-	1,1 E11	-	nn	2,7 E09	nn	9,9 E09
Xe-133m	1,3 E09	-	1,1 E09	-	2,5 E09	2,1 E08	nn	2,6 E09
Xe-133	2,2 E10	-	1,5 E09	-	1,4 E11	nn	nn	3,2 E08
Xe-135m	nn	-	6,9 E07	-	nn	1,1 E07	nn	1,8 E07

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm- Uentrop	Philipps- burg 2	Mülheim- Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar- westheim 2
Xe-135	2,0 E10	-	1,9 E08	-	4,4 E10	1,4 E08	nn	1,1 E08
Xe-137	nn	-	nn	-	nn	8,1 E07	nn	3,1 E08
Xe-138	nn	-	2,9 E08	-	nn	6,4 E07	nn	nn
- Messung/Angabe nicht erforderlich nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)								

Tabelle T II.8 Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018 (I-131: Tabelle T II.6)
(Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2018 - I-131: Table T II.6)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Rheinsberg	Gundrem- mingen A	Lingen	Obrigheim	Würgas- sen	Stade	Greifs- wald	Biblis A
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	nn	nn	4,3 E03	nn	nn	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	1,8 E05	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	5,9 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239+ 240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq								
	Bibilis B	Neckar-westheim 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unter-weser	Philipps-burg 1	Grafen-rheinfeld	Krüm-mel	Gundrem-mingen B, C
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	nn	6,5 E04	1,2 E06	nn	nn	1,2 E05	1,6 E04	1,2 E04	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	5,9 E05
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	2,4 E04
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	nn	nn	4,2 E06	nn	nn	2,1 E05	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239+240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philippsburg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	nn	nn	2,6 E05	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	3,4 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philippsburg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Co-60	nn	nn	4,6 E04	nn	2,5 E05	nn	nn	1,9 E04
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	8,2 E03	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	4,2 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	nn	nn	1,1 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239+240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)								

Tabelle T II.9 Aktivitätsableitung von radioaktiven Edelgasen, I-131 und an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden (ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler) mit der Fortluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Kernkraftwerke in den Jahren 2008 bis 2018
(Discharges of radioactive noble gases, of I-131 and radioactive particulates (excluding I-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 2008 to 2018)

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostromerzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	
2008	1,6 E13	5,7 E07	1,1 E08	21 497*
2009	1,3 E13	6,6 E07	6,8 E07	21 507*
2010	2,3 E13	8,7 E07	4,6 E07	16 045*
2011	1,9 E13	3,9 E07	3,3 E07	12 325*
2012	9,1 E12	2,3 E07	1,5 E07	11 354*
2013	9,9 E12	4,0 E07	6,6 E06	11 106*
2014	1,2 E13	3,6 E07	5,0 E06	11 087*
2015	4,8 E12	3,0 E07	1,3 E07	10 478*
2016	6,0 E12	4,0 E07	4,7 E07	9 661*
2017	9,7 E12	6,9 E07	6,6 E06	8 713*
2018	1,9 E13	8,6 E07	7,3 E06	8 676*

* Quelle: atw, International Journal for Nuclear Power, Betriebsergebnisse, Berlin

Tabelle T II.10 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren und Forschungsreaktoren von Universitäten im Jahr 2018
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2018)

Forschungszentrum	Aktivitätsableitung in Bq					
	radioaktive Edelgase	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide ^{a)}	I-131	I-129	C-14	H-3
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	1,3 E10	1,6 E06 ^{b)}	5,8 E03	1,5 E05	4,1 E10	6,5 E11
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	2,7 E09	8,7 E05	2,9 E03	nn	2,5 E11	1,3 E12
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	3,2 E10	1,6 E06	nn	nn	1,7 E08	1,2 E10
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)	nn	4,1 E03	nn	-	3,2 E07	5,6 E09
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI, einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	4,8 E11	1,6 E03	4,6 E05	-	1,4 E09	2,7 E10
Garching, FRM I	-	nn	nn	-	-	1,8 E08
Garching, FRM II	3,4 E11	nn	nn	-	2,1 E09	4,8 E11
Forschungsreaktor Mainz	9,4 E10	nn	nn	-	-	4,7 E06

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler
b) davon Alphastrahler: 1,3 E05 Bq - Messung/Angabe nicht erforderlich
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle T II.11 Aktivitätsableitung alphastrahlender radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben
(Discharges of alpha emitting radioactive substances with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels)

Betrieb	Aktivitätsableitung in Bq	
	2018	2017
ANF GmbH (Lingen)	<1,5 E04	<1,5 E04
URENCO D (Gronau)	3,3 E04	2,1 E04
< Messwert kleiner Erkennungsgrenze; der angegebene Wert entspricht der Erkennungsgrenze		

Tabelle T II.12 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachanlage Asse II und dem Endlager Morsleben
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine II and the radioactive waste repository Morsleben)

Radionuklid	Aktivitätsableitung in Bq	
	2018	2017
Morsleben		
H-3	1,7 E10	1,4 E10
C-14	1,0 E09	1,1 E09
Rn-222 ^{a)}	3,2 E10	3,6 E10
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	2,3 E06	2,1 E06
Schachanlage Asse II		
H-3	1,3 E10	1,5 E10
C-14	8,0 E08	8,5 E08
Rn-222 (Gas)	7,5 E10	6,6 E10
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	1,0 E06	9,2 E05
a) gleichgewichtsäquivalente Radon-222-Aktivitätskonzentration		

Tabelle T II.13 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in Deutschland im Jahr 2018 (Summenwerte, H-3 und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2018 - summation values, H-3 and alpha sources)

Kernkraftwerk	Aktivität in Bq		
	Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer H-3)	H-3	α-Strahler
Siedewasserreaktoren			
KWL Lingen ^a	6,8 E04	1,2 E06	1,4 E01
KKB Brunsbüttel ^a	1,7 E07	1,9 E08	nn
KKI Isar 1 ^a	2,4 E07	2,0 E11	nn
KKP Philippsburg 1 ^a	1,4 E07	2,9 E10	2,9 E04
KKK Krümmel ^b	nn	7,7 E07	nn
KGG Gundremmingen	5,5 E08	1,7 E12	nn
Druckwasserreaktoren			
KWO Obrigheim ^a	3,4 E06	1,5 E09	3,8 E04
KKS Stade ^c			
KWB Biblis Block A ^a	6,3 E07	1,3 E12	2,1 E04
KWB Biblis Block B ^a	1,7 E07	9,4 E11	nn
GKN Neckar 1 ^a	nn	1,7 E11	nn
KKU Unterweser ^a	2,7 E07	3,3 E12	9,9 E05
KKG Grafenrheinfeld ^b	5,6 E06	1,6 E10	1,3 E02
KWG Grohnde	nn	2,0 E13	nn
KKP Philippsburg 2	2,3 E07	1,4 E13	nn
KMK Mülheim-Kärlich ^a	6,1 E05	2,0 E07	nn
KBR Brokdorf	nn	2,4 E13	nn
KKI Isar 2	nn	2,2 E13	nn
KKE Emsland	nn	1,2 E13	nn
GKN Neckar 2	nn	1,6 E13	nn
KGR Greifswald Block 1 bis 5 ^a	7,2 E04	nn	9,8 E03
KKR Rheinsberg ^a	2,3 E06	nn	1,0 E05
a Anlage im Rückbau b Anlage im Nichtleistungsbetrieb c keine Abgabe nn die Aktivitätsableitung liegt unterhalb der Nachweisgrenze			

Tabelle T II.14 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres)

Forschungszentrum	Aktivität in Bq					
	Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer H-3)		H-3		α-Strahler	
	2018	2017	2018	2017	2018	2017
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	2,00 E06	1,4 E06	1,20 E11	8,5 E11	1,78 E06	nn
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	1,41 E08	1,3 E08	3,62 E11	5,0 E11	1,59 E07	8,2 E06
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS Forschungszentrum Geesthacht)	2,01 E06	3,0 E06	2,12 E07	1,8 E07	1,23 E03	2,6 E03
Helmholtz-Zentrum Berlin (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	1,51 E04	1,3 E04	5,65 E08	2,6 E08	nn	nn
TRIGA Mainz	3,36 E05	-	5,06 E06	-	9,10 E03	-
Garching FRM II	5,24 E07	1,2 E08	1,00 E10	1,8 E10	nn	nn
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	1,16 E07	4,7 E06	1,70 E10	6,2 E07	3,40 E04	nn
nn unterhalb der Nachweisgrenze						
- keine Abgabe						

Tabellen

Tabelle T II.15 Ableitungen radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben
(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants)

Betrieb	Aktivität in Bq			
	α-Strahler		β-Strahler	
	2018	2017	2018	2017
ANF GmbH (Lingen)	nn	nn	nb	nb
URENCO (Gronau)	1,29 E04	1,94 E04	3,47 E03	1,41 E04
nn unterhalb Nachweisgrenze		nb nicht bestimmt		

Tabelle T II.16 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben
(Discharges of radioactive substances with waste water from the radioactive waste repository Morsleben)

Radionuklid	Aktivität in Bq	
	2018	2017
H-3	2,7 E04	9,4 E03
Nuklidgemisch (außer H-3)	3,3 E03	2,5 E02

Tabelle T II.17 Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

kerntechnische Anlagen	oberer Wert *					
	der effektiven Dosis				der Schilddrüsendosis	
	für Erwachsene in μSv		für Kleinkinder in μSv		für Kleinkinder in μSv	
	2018	2017	2018	2017	2018	2017
KKR Rheinsberg**	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWL Lingen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWO Obrigheim	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
KKS Stade	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWW Würgassen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KGR Greifswald**	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWB Biblis A, B	1	0,8	2	1	2	1
GKN Neckarwestheim 1, 2	1	1	2	2	2	2
KKB Brunsbüttel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKI Isar 1, 2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
KKU Unterweser	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKP Philippsburg 1, 2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,6	0,8
KKG Grafenrheinfeld	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKK Krümmel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KG G Gundremmingen A, B, C	0,7	0,7	1	1	2	1
KWG Grohnde	0,3	0,2	0,6	0,4	0,6	0,4
THTR-300 Hamm-Uentrop	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KMK Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KBR Brokdorf	0,8	0,9	1	2	1	1
KKE Emsland	0,4	0,4	0,7	0,6	0,6	0,6

* berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
 ** unvollständige Berechnung für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, da Werte für die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

Tabelle T II.18 Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with waste water)

kerntechnische Anlagen	oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene in μSv		oberer Wert der effektiven Dosis für Kleinkinder in μSv	
	2018	2017	2018	2017
	KG G Gundremmingen A, B und C	0,1	0,2	0,1
KWO Obrigheim	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKS Stade	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWB Biblis A und B	<0,1	0,6	<0,1	1,0
GKN Neckarwestheim 1 und 2	1,3	0,3	2,3	0,6
KKB Brunsbüttel	0,4	0,2	0,1	<0,1
KKI Isar 1 und 2	0,3	0,1	0,5	0,3
KKU Unterweser	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKP Philippsburg 1 und 2	0,2	0,3	0,4	0,4
KKG Grafenrheinfeld	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKK Krümmel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWG Grohnde	0,3	0,1	0,5	0,3
KMK Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KBR Brokdorf	<0,1	<0,1	0,2	<0,1
KKE Emsland	0,8	0,7	1,3	1,1
KKR Rheinsberg *	0,2	0,1	0,2	0,2
KGR Greifswald *	0,3	<0,1	0,2	<0,1

* Bei der Berechnung der Strahlenexposition konnten für Expositionspfade, bei denen die effektive Dosis durch langjährige Ablagerungen von Radionukliden bedingt ist, nur die seit 1990 mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe berücksichtigt werden

Tabellen

Tabelle T II.19 Strahlenexposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Forschungseinrichtung	oberer Wert					
	der effektiven Dosis in μSv				der Schilddrüsendosis in μSv	
	für Erwachsene		für Kleinkinder		für Kleinkinder	
	2018	2017	2018	2017	2018	2017
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) früher Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) *	4	5	6	8	11	12
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	11	1	20	3	19	2
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) Gesamtstandort *	0,4	0,2	1	0,3	0,4	0,3
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)*	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4
Garching, FRM I und FRM II	0,3	0,5	0,5	0,9	0,8	0,9

* entnommen aus den Jahresberichten 2018 der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin

Tabelle T II.23 Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse II durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
(Radiation exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

	Fortluft oberer Wert in μSv				Abwasser oberer Wert in μSv der effektiven Dosis	
	der effektiven Dosis		der Organdosis*		2018	2017
	2018	2017	2018	2017		
Endlager Morsleben						
Erwachsene	0,3	0,4	8	10	<0,1	<0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,8	1	8	10	<0,1	<0,1
mit Muttermilch ernährte Säuglinge	1	2	15	19	<0,1	<0,1
Schachtanlage Asse II**						
Erwachsene	0,2	0,2	4	6	-	-
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,4	0,6	4	5	-	-
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	0,8	1	8	11	-	-
* Knochenoberfläche						
** keine Ableitungen mit dem Abwasser						

Tabellen

Tabelle T II.24 Strahlenexposition durch Direktstrahlung* aus zentralen Zwischenlagern
(Radiation exposure due to direct radiation from interim storage facilities)

Zwischenlager	Gamma-Ortsdosis in mSv/a		Neutronen-Ortsdosis in mSv/a	
	2018	2017	2018	2017
Transportbehälterlager Ahaus	0,44 (MP3)	0,47 (MP3,9)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)
Zentrales Zwischenlager Nord (Rubenow)	0,92 (MP15)	0,95 (MP15)	0,09 (MP15,21)	0,11 (MP14)
Transportbehälterlager Gorleben	0,72 (MP8)	0,73 (MP8)	0,34 (MP14) **	0,33 (MP14) **
* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrunds				
** Messwert der unabhängigen Messstelle (NLWKN) im Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle des TBL Gorleben an der Grenze des Betriebsgeländes einschließlich des natürlichen Untergrunds (MP 14 liegt in der Nähe des MP 6 des Betreibers)				
MP Messpunkt, HJ = Halbjahr <= kleiner Nachweisgrenze				

Tabelle T II.25 Einzelnuclid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft
(Activity concentrations of individual nuclides in ground-level air)

a) Messungen des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach/Main
 Probenentnahmestellen: Schleswig, Offenbach/Main, Potsdam und Aachen

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin/Potsdam **		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
2009 *	2 710	<0,9	3 830	0,5	3 730	0,6	3 320	2,6
2010 *	2 570	<1,4	3 530	<0,4	2 580	3,7	3 490	<2,7
2011 *	2 618	<10,45	3 592	5,72	3 299	11	3 374	<5,56
2012 *	2 461	<1,5	3 261	<0,3	3 149	<0,4	3 108	<0,9
2013 *	2 430	<2,4	3 130	<0,5	2 510	<2,2	2 960	<0,9
2014 *	2 728	<1,2	3 151	<0,6	2 677	2,3	3 137	<1,1
2015 *	2 410	<1,0	3 344	<0,3	3 061	0,4	2 625	<0,9
2016 *	2 653	<0,9	3 378	0,45	3 028	0,36	2 572	<1,1
2017 *	2 490	<1,0	3 457	0,26	3 028	0,29	2 719	<1,1
2018 *	3 064	<1,2	3 895	0,25	3 670	0,41	3 200	<1,12
Januar	2 450	<0,91	2 600	0,22	2 560	0,31	2 050	<0,71
Februar	2 500	<0,82	2 430	0,32	2 590	0,29	2 250	<0,86
März	2 380	<0,97	3 210	0,45	2 420	0,39	2 690	<0,90
April	3 420	<1,21	4 960	0,25	4 330	0,50	4 140	<1,24
Mai	4 850	<1,41	5 720	0,24	5 980	0,67	4 990	<1,27
Juni	3 550	<1,17	4 560	<0,07	4 280	0,27	3 530	<1,04
Juli	3 220	<1,27	5 750	0,15	5 120	0,38	4 260	<1,61
August	2 810	<1,13	4 540	0,14	4 510	0,51	3 120	<1,39
September	3 160	<1,13	4 760	0,17	4 320	0,49	3 870	<1,77
Oktober	3 560	<1,17	4 140	0,27	3 590	0,27	3 350	<1,52
November	2 400	<1,14	2 450	0,51	2 700	0,65	2 110	<0,70
Dezember	2 470	<2,11	1 620	0,25	1 640	0,15	2 040	<0,48

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet
 ** Im Mai 2010 wurde die DWD-Station Berlin nach Potsdam verlegt < Messwert kleiner Nachweisgrenze

b) Messungen des Helmholtz Zentrums München, Probenentnahmestelle: München-Neuherberg

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
2009 *	3 180	0,28	k. A.	0,97	373
2010 *	3 640	<0,34	k. A.	1,30	499
2011 *	3 940	<0,38	k. A.	3,02	676
2012 *	3 470	<0,33	k. A.	0,94	441
2013 *	2 800	<0,28	<0,1	0,97	451
2014 *	3 200	<0,29	<0,08	0,86	474
2015 *	3 520	<0,29	<0,08	0,99	528
2016 *	3 360	<0,27	<0,07	0,76	388
2017 *	a)	a)	a)	a)	a)
2018 *	a)	a)	a)	a)	a)
Januar					
Februar					
März					
April					
Mai					
Juni					
Juli					
August					
September					
Oktober					
November					
Dezember					

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet a) Messwerte lagen nicht vor
k. A. keine Angaben <Messwert kleiner Nachweisgrenze

c) Messungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Probenentnahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
2009 *	3 270	0,3	8,6	0,34	287
2010 *	3 347	0,3	9,1	0,43	338
2011 *	3 556	0,4	10	5,27	416
2012 *	3 182	0,3	7,8	0,30	325
2013 *	3 065	0,3	8,6	0,40	327
2014 *	3 116	0,3	9,7	0,37	487
2015 *	3 010	0,3	9,4	0,2	401
2016 *	2 905	0,3	10,1	0,30	352
2017 *	3 080	0,3	8,6	0,23	349
2018 *	3 620	0,4	10,4	0,37	375
Januar	2 652	0,2	5,1	0,31	212
Februar	2 768	0,2	5,4	0,33	357
März	3 036	0,3	7,3	0,41	393
April	4 234	0,5	13,9	0,32	302
Mai	5 759	0,7	17,2	0,62	380
Juni	4 694	0,6	13,3	0,37	345
Juli	4 365	0,5	16,5	0,33	292
August	3 795	0,4	13,9	0,35	289
September	4 015	0,3	11,6	0,30	408
Oktober	3 695	0,3	9,6	0,27	589
November	2 594	0,2	6,5	0,63	690
Dezember	1 830	0,1	4,3	0,18	245

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet



d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, Probenentnahmestelle: Messstation Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$			
	Be-7	Na-22	Cs-137	Pb-210
2009 *	5 080		0,35	
2010 *	4 350		<0,30	
2011 *	5 310	0,47	2,7**	555
2012 *	4 660	0,43	0,26	428
2013 *	4 020	0,34	0,24	504
2014 *	4 480	0,36	0,25	521
2015 *	4 490	0,35	0,18	589
2016 *	4 620	0,35	0,15	397
2017 *	4 950	0,41	0,2	491
2018 *	5 370	0,31	0,44	637
Januar	2 840	0,16	0,21	278
Februar	2 990	0,31	0,18	450
März	4 200	0,23	0,37	329
April	7 310	0,41	0,77	655
Mai	6 060	1,36	0,63	656
Juni	5 830	0,17	0,66	577
Juli	8 550	0,16	0,80	818
August	6 510	0,16	0,46	806
September	7 480	0,21	0,42	1200
Oktober	5 530	0,19	0,30	115
November	3 410	0,18	0,78	488
Dezember	3 670	<0,15	0,26	240

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet
 ** durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst < Messwert kleiner Nachweisgrenze

Tabellen

e) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, Probenentnahmestellen: Freiburg, Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m^3			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
2009 *	1 760	3,9	1 650	4,2
2010 *	1 610	3,3	1 600	3,1
2011 *	1 610	42,7**	1 620	39,7**
2012 *	1 620	2,5	1 490	3,2
2013 *	1 752	2,4	1 720	5,0
2014 *	1 761	2,4	1 727	3,5
2015 *	1 701	2,5	1 715	3,4
2016 *	1 920	2,2	1 928	2,9
2017 *	1 860	2,3	1 880	2,4
2018 *	1 670	2,4	1 700	3,1
Januar	1 430	<2,0	1 430	<4,6
Februar	1 470	2,4	1 540	2,8
März	1 920	2,0	1 870	6,3
April	1 550	2,6	1 540	1,4
Mai	1 720	1,4	1 910	<2,2
Juni	1 470	2,0	1 510	2,2
Juli	1 880	3,0	1 870	3,0
August	2 480	2,0	2 520	2,3
September	1 600	3,2	1 630	4,9
Oktober	1 460	2,9	1 480	3,1
November	1 460	2,0	1 470	1,4
Dezember	1 610	2,6	1 610	2,6

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet
 ** durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst < Messwert kleiner Nachweisgrenze

Tabelle T II.26 Deposition von Einzelnucliden mit dem Niederschlag
(*Deposition of individual nuclides with precipitation*)

Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Offenbach am Main			Potsdam		
	l/m ²	Deposition in Bq/m ²		l/m ²	Deposition in Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2009	782,5	190	<0,85	631,2	175	<1,30
2010	807,2	365	<0,91	623,5	68,3	<1,26
2011	584,0	<468,2	<1,0	606,7	<101,9	<1,5
2012	667,7	718	<0,71	605,6	376,4	<1,15
2013	703,7	616,7	<0,77	680,6	349,3	<1,12
2014	729,5	761,4	<0,82	540,9	257,4	<1,01
2015	427,0	389,4	<0,80	566,1	254,7	<1,01
2016	853,7	567	<0,89	502,2	286	<1,19
2017	750,0	624	<0,90	749,7	457,2	<1,22
2018	479,6	510,5	<0,68	344,8	249,2	<1,00
Januar	77	75,2	< 0,05	57,5	48,7	<0,10
Februar	7,9	11,1	< 0,05	1,8	1,5	<0,07
März	42,3	46,5	< 0,05	52,9	31,2	<0,08
April	46,5	48,8	< 0,05	36,1	36,1	<0,08
Mai	86,6	82,8	< 0,04	15,8	14,4	<0,09
Juni	33,8	46,6	0,09	33,4	15,8	<0,08
Juli	19,3	67,4	< 0,07	51,9	35,7	<0,10
August	11,2	36,4	< 0,05	10,1	17,1	<0,09
September	37,9	32,3	< 0,05	20,3	11,7	<0,08
Oktober	8,0	11,0	< 0,06	12,4	11,3	<0,08
November	26,7	20,2	< 0,06	14,4	7,1	<0,08
Dezember	82,4	32,2	0,07	38,2	18,6	<0,07

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Tabellen

Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m ²	Deposition in Bq/m ²		l/m ²	Deposition in Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2009	578,9	632	<0,74	822,9	331	<0,9
2010	780,0	313	<0,84	930,1	412,3	<0,97
2011	715,9	<375,6	<0,9	1 071,8	<192,0	<0,8
2012	840,0	1 032,2	<0,83	935,6	484,6	<0,88
2013	695,1	721,3	<0,85	811,3	378,4	<0,96
2014	818,4	686,3	<0,86	962,2	377,6	<0,91
2015	759,1	510,8	<0,76	566,1	254,7	<1,01
2016	827,8	598	<0,91	821,3	289,2	<0,85
2017	765,0	512,7	<0,89	1 184,8	474,5	<0,90
2018	688,6	474,1	<0,88	759,2	399,2	<0,98
Januar	82,1	32,9	<0,08	136,1	76,8	<0,09
Februar	20,2	10,3	<0,07	47,8	35,2	<0,08
März	65,1	28,9	<0,07	56,9	27,6	<0,09
April	91,9	49,4	<0,07	58,6	38,0	<0,09
Mai	96,1	89,7	<0,07	42,2	66,7	<0,09
Juni	30,5	68,9	<0,07	55,3	19,2	<0,08
Juli	8,8	31,5	<0,08	26,0	19,8	<0,08
August	51,3	51,8	<0,07	81,0	25,4	<0,08
September	49,6	40,9	<0,07	58,5	16,7	<0,08
Oktober	48,8	24,3	<0,07	70,2	18,0	<0,08
November	21,2	9,5	<0,05	29,4	17,8	<0,07
Dezember	123,0	36,0	<0,10	97,2	38,0	<0,08

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Tabelle T II.27 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131

(Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131)

(in mBq/m³, Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	I-131 (mBq/m ³)						
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
BER Berlin	2	<0,39	<0,44	<0,64	<0,62	<0,68	<0,57	<0,52
KKB Brunsbüttel	2	<0,31	<0,32	<0,31	<0,28	<0,28	<0,28	<0,27
KBR Brokdorf	2	<0,59	<0,37	<0,24	<0,18	<0,16	<0,17	<0,17
KKK Krümmel	3	<0,28	<0,28	<0,33	<0,35	<0,37	<0,34	<0,40
GKSS Geesthacht	1	<0,19	<0,19	<0,17	<0,16	*	*	*
KKS Stade	1	*	*	*	*	*	*	*
KKU Unterweser	2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	-
KWG Grohnde	3	<1,1	<1,1	<1,4	<1,6	<1,6	<1,7	-
KKE Emsland	2	<0,33	<0,34	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	-
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	2	<0,52	<0,43	<0,36	<0,34	<0,37	<0,36	<0,35
KKP Philippsburg	4	<0,5	<0,50	<0,61	<0,57	<0,61	<0,52	<0,47
KWO Obrigheim	3	*	*	*	*	*	*	*
GKN Neckarwestheim	2	<0,56	<0,59	<0,57	<0,57	<0,58	<0,66	<0,56
FZ Karlsruhe		*	<0,18	<0,19	<0,23	<0,14	<0,12	<0,13
KKI Isar	3	<0,25	<0,25	<0,24	<0,26	<0,25	<0,25	<0,26
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,49	<0,50	<0,34	<0,31	<0,27	<0,27	<0,29
KG G Gundremmingen B	3	<0,29	<0,24	<0,21	<0,17	<0,16	<0,14	<0,14
KGR Greifswald	2	*	*	*	*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	0,034	<0,034	<0,062	<0,072	<0,11	<0,11	<0,14
KKR Rheinsberg		*	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	*	*	*	*	*	*	*
N Zahl der Messstationen		- keine Messwerte						
* Messungen eingestellt								

Tabelle T II.28 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60)

(in mBq/m³, Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	Co-60 (mBq/m ³)						
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
BER Berlin	2	<0,3	<0,25	<0,27	<0,24	<0,35	<0,31	<0,29
KKB Brunsbüttel	2	<0,23	<0,06	<0,059	<0,063	<0,062	<0,063	<0,062
KBR Brokdorf	2	<0,24	<0,15	<0,079	<0,054	<0,062	<0,066	<0,080
KKK Krümmel	3	<0,03	<0,03	<0,038	<0,037	<0,041	<0,05	<0,041
GKSS Geesthacht	1	<0,04	<0,04	<0,037	<0,035	<0,028	<0,029	<0,028
KKS Stade	1	<0,2	<0,24	-	-	-	-	-
KKU Unterweser	2	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	-
KWG Grohnde	3	<0,11	<0,12	<0,14	<0,15	<0,15	<0,14	-
KKE Emsland	2	<0,21	<0,23	<0,21	<0,24	<0,29	<0,31	-
KWW Würgassen	2	<0,1	<0,1	<0,1	*	*	*	*
FZ Jülich	3	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	3	<0,16	<0,13	<0,11	<0,11	<0,12	<0,12	<0,13
KKP Philippsburg	4	<0,03	<0,03	<0,032	<0,028	<0,031	<0,027	<0,025
KWO Obrigheim	3	<0,04	<0,04	<0,04	<0,053	<0,052	<0,062	<0,051
GKN Neckarwestheim	2	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,13	<0,12	<0,13
FZ Karlsruhe	3	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,006	<0,006
KKI Isar	3	<0,21	<0,21	<0,2	<0,27	<0,28	<0,28	<0,29
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,069	<0,07	<0,068	<0,1	<0,062	<0,064	<0,070
KGK Gundremmingen B	3	<0,16	<0,13	<0,10	<0,21	<0,26	<0,23	<0,24
KGR Greifswald	2	<0,001	[<0,00095] ⁹	<0,00095	<0,12	<0,26	<0,22	<0,21
VKTA Rossendorf	3	<0,006	<0,006	<0,01	<0,011	<0,018	<0,018	<0,018
KKR Rheinsberg	2	*	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	<0,21		<0,17	<0,14	<0,13	<0,14	<0,19

N Zahl der Messstationen - keine Messwerte
 []ⁱ unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate) * Messungen eingestellt

Tabellen

Tabelle T II.29 Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors)

(γ-Ortsdosisleistung in nSv/h, Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	γ-Ortsdosisleistung in nSv/h						
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
BER Berlin	2	69	69	69	68	[69] ⁶	69	70
KKB Brunsbüttel	2	89	86	94 ^{MT}	93	93	93	96
KBR Brokdorf	2	85	86	89	88	90	90	94
KKK Krümmel	3	74	74	74	77	77	76	79
GKSS Geesthacht	1	84	85	83	84	83	84	84
KKS Stade	1	105	[105] ¹¹	a	*	*	*	*
KKU Unterweser	2	95	96	[99] ⁹	91	103	102	[102] ⁶
KWG Grohnde	3	97	97	93	93	97	97	[95] ⁶
KKE Emsland	2	72	73	72	71	71	71	[71] ⁶
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	12	111	109	107	106	105	102	106
THTR Hamm-Uentrop	2	98 ^l	97 ^l	90 ^l	80 ^r	81 ^r	80 ^r	86 ^r
KWB Biblis	3	105	103 ^m	106 ^m	106 ^m	104 ^m	106 ^m	107 ^m
KKP Philippsburg	4	105	100	106	105	104	107	107
KWO Obrigheim	2	120	120	119	118	120	117	111
GKN Neckarwestheim	2	130	130	131	125	127	129	137
FZ Karlsruhe	6	105	105	108	107	93 ^{MTv}	92	93
KKI Isar	3	93	92	93	92	93	92	95
KKG Grafenrheinfeld	3	103	102	102	101	101	102	103
KGK Gundremmingen B	3	89	92	92	89	91	83	86
KGR Greifswald	20	84 ^j	[82] ^{6j}	83 ^j	83 ^j	[83] ^{9j}	85 ^j	87 ^j
VKTA Rossendorf	2	117	116	118	114	115	118	114
KKR Rheinsberg	4	*	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	114	114	115	116	117	114	113

N	Zahl der Messstationen	*	Messungen eingestellt
[]i	unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate)	MT	Austausch des Messsystems
a	Daten liegen nicht vor		
j	Anzahl der Messstationen auf 6 reduziert, gemäß überarbeitetem Umgebungsüberwachungsprogramm		
l	leicht erhöhte ODL-Messwerte an einer Messstelle durch Bodenbearbeitung im Umfeld der Messstelle (Einbringung von Kalksteinschotter)		
m	Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert; Messstation Ibersheim ab 01.04.2013 ersatzlos entfallen		
r	Rückbau der 2008 eingebrachten Kalksteinschotterfläche im Umfeld einer Messstelle im Juli 2014		
v	Verlegung von Messstationen innerhalb der Ortschaften		

Tabelle T II.30 Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60
(Deposition of radioactivity related to Co-60)

Probenentnahmestelle	N	Aktivität in Bq/m ² oder in Bq/l							
		2015	2015	2016	2016	2017	2017	2018	2018
		(Bq/l)	(Bq/m ²)	(Bq/l)	(Bq/m ²)	(Bq/l)	(Bq/m ²)	(Bq/l)	(Bq/m ²)
BER Berlin	1		<0,42		<0,56		<0,52		<0,52
KKB Brunsbüttel	2		<0,80		<0,68		<0,92		<0,50
KBR Brokdorf	2		<0,93		<0,76		<0,62		<0,44
KKK Krümmel	4		<0,70		<0,56		<0,99		<0,45
GKSS Geesthacht	2		<1,3		<1,3		<2,0		<0,84
KKS Stade	1		*		*		*		*
KKU Unterweser	2		<0,41		<0,28		<0,37		
KWG Grohnde	2		<2,3		<0,21		<3,1		
KKE Emsland	2		<0,76		<0,72		<0,71		
KWW Würgassen	2								*
FZ Jülich	1	<0,05		<0,05		<0,05			<0,05
THTR Hamm-Uentrop	*		*		*		*		*
KWB Biblis	2		<2,1		<1,3		<1,0		<0,69
KKP Philippsburg	4		<0,99		<1,6		<1,4		<0,94
KWO Obrigheim	2		<2,6		<3,4		<5,0		<3,7
GKN Neckarwestheim	2		<2,8		<2,1		<1,8		<1,2
FZ Karlsruhe	3		<2,7		<2,5		<1,2		<1,3
KKI Isar	3		<1,8		<2,5		<2,3		<2,1
KKG Grafenrheinfeld	2		<0,82		<0,34		<0,5		<0,56
KGK Gundremmingen B	2		<1,4		<1,8		<1,2		<1,4
KGR Greifswald	2		<1,7		<1,5		<2,6		<1,4
VKTA Rossendorf	2		<0,55		<1,2		<0,99		<0,70
KKR Rheinsberg	2		<0,17		<0,16		<0,16		
KMK Mülheim-Kärlich	2		<0,44		<0,57		<0,77		<0,52

[]ⁱ unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate) N Zahl der Messstationen
* Messungen eingestellt - keine Messwerte



Tabelle T II.31 Übersicht über die für 2018 insgesamt ausgewerteten Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrlSchG und REI mit den jeweiligen maximalen gemessenen Werten und den zugehörigen Gewässern und Bezugszeiten

(Overview of all measuring results for surface water, suspended matter, and sediment evaluated in 2018, in accordance with the StrlSchG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times)

Kompartiment Nuklid	Anzahl der Messungen	maximaler Einzelmesswert	Gewässer	Entnahmeort bzw. KT-Anlage	Datum/ Zeitraum	Überwa- chungspro- gramm
Oberflächenwasser (Bq/l)						
Gα	229	0,44	Saale	Halle/Planena, km 104,5	Oktober	StrlSchG
Gβ	101	6,0	Salzbach	ERAM Morsleben	August	REI
H-3	1 715	1 750	Ems	KKE Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
Co-60	1 671	1,32	Isar	Forschungsneutronenquelle FRM II	III. Quartal	REI
Sr-90	291	0,0196	Möhnesee	Möhnesee	08.05.	StrlSchG
I-131	566	0,053	Oldenburger Graben	Gaarz	14.02.	StrlSchG
Cs-137	1 552	0,030	Arendsee	Arendsee	04.05.	StrlSchG
Pu-(239+240)	99	0,000271	Chiemsee	Seeon-Seebruck	III. Quartal	StrlSchG
Schwebstoff (Bq/kg TM)						
Co-58	80	3,6	Mosel	Perl, km 241,96	November	StrlSchG
Co-60	555	6,2	Mosel	Perl, km 241,96	November	StrlSchG
I-131	288	41,7	Oldenburger Graben	Gaarz	14.02.	StrlSchG
Cs-137	555	199	Steinhuder Meer	Wunstorf	IV. Quartal	StrlSchG
Sediment (Bq/kg TM)						
Gα	4	563	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	II. Quartal	REI
Gβ	4	1 560	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	IV. Quartal	REI
Co-60	1 165	84	Hauptentwässerung	FZ Jülich	II. Quartal	REI
Sr-90	8	2,8	Steinbach Talsperre	Kempfeld	12.04.	StrlSchG
I-131	629	50	Ahauser Aa	TBL Ahaus	08.11.	REI
Cs-137	1 165	240	Schollener See	Schollene	08.11.	StrlSchG
Pu-(239+240)	2	0,15	Isar	Forschungsneutronenquelle FRM II	2018	REI
Am-241	31	7,2	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	13.11.	REI

Tabelle T II.32 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrlSchG bzw. StrVG (2017)

(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrlSchG, StrVG (2017) resp.)

Tabellen

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
RHEIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	12	0	0,66	4,37	1,66	1,59
		Koblenz, km 590,3	12	0	1,62	5,08	3,03	2,21
		Wesel, km 814,0	12	0	2,28	5,69	3,69	3,37
	Sr-90	Weil, km 172,97	3	1	<0,0063	0,0080	0,0038	0,0038
		Koblenz, km 590,3	3	0	0,0041	0,010	0,007	0,0050
		Wesel, km 814,0	3	0	0,0053	0,013	0,009	0,0042
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	9	<0,0014	0,0056	<0,0024	<0,0020
		Koblenz, km 590,3	12	9	0,0009	0,0047	<0,0021	<0,0018
		Wesel, km 814,0	12	9	0,0006	<0,0029	<0,0018	<0,0015
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 172,97	12	9	<0,22	<2,31	<0,79	<1,21
		Koblenz, km 590,3	12	12	<0,50	<1,16	nn	nn
		Wesel, km 814,0	10	10	<0,23	<2,97	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	0	4,23	10,4	6,7	7,2
		Koblenz, km 590,3	12	0	4,57	8,48	7,08	6,65
		Wesel, km 814,0	10	0	1,09	14,0	11,1	11,2
	I-131	Weil, km 172,97	12	3	3,19	14,0	8,5	21,1
		Koblenz, km 590,3	12	2	3,01	13,9	7,6	7,0
		Wesel, km 814,0	7	7	<4,13	<76	nn	<47
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 170,3	8	8	<0,40	<0,71	nn	nn
		Worms, km 444,50-446,60	9	9	<0,22	<0,78	nn	nn
		Koblenz, km 591,3	3	3	<0,36	<0,67	nn	nn
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	16	16	<0,23	<1,80	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 170,3	8	0	3,74	7,52	5,62	3,45
		Worms, km 444,50-446,60	9	1	0,01	8,14	4,33	2,50
		Koblenz, km 591,3	3	0	6,46	7,97	7,41	7,56
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	16	0	1,09	11,7	7,2	5,0
NECKAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	0	1,64	16,4	8,4	6,5
		Rockenau, km 61,4	10	0	1,28	14,8	5,6	4,68
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	1	0,0035	<0,0088	0,0062	0,0062
		Rockenau, km 61,4	3	1	0,0053	0,0085	0,0069	0,0049
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	12	9	0,0011	<0,0062	<0,0020	<0,0017
		Rockenau, km 61,4	10	8	0,0011	<0,0022	<0,0016	<0,0018
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Rockenau, km 61,4	1	1	<0,75	<0,75	nn	nn
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	0	6,30	9,11	7,49	7,16
		Rockenau, km 61,4	1	0	4,78	4,78	4,78	9,0
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Guttenbach, km 72,0-77,2	16	16	<0,42	<1,09	nn	nn
	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	22	0	1,42	7,98	5,46	6,40
		Neckarzimmern, km 85,8-86,2	6	0	5,01	6,24	5,75	6,52
		Guttenbach, km 72,0-77,2	16	0	4,29	8,54	5,90	5,26
MAIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12	0	0,58	1,02	0,81	0,94
		Eddersheim, km 15,3	12	0	0,56	2,05	0,90	0,95
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	3	0	0,0051	0,0086	0,0066	0,007
		Eddersheim, km 15,3	3	0	0,0057	0,0076	0,0064	0,0044
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	12	9	0,0010	<0,0021	<0,0016	<0,0018
		Eddersheim, km 15,3	12	7	<0,0012	0,0055	<0,0025	0,0011
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 323,7	4	4	<0,68	<1,08	nn	nn
	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	3	0	11,0	23,3	16,8	14,4
		Garstadt, km 323,7	4	0	8,36	12,2	10,8	11,3
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 316,2-324,8	3	3	<0,80	<0,99	nn	<0,53
	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	4,95	10,9	8,4	9,9
		Garstadt, km 316,2-324,8	3	0	16,4	17,5	17,0	7,4

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
MOSEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	0	13,5	41,5	28,4	34,8
		Koblenz, km 2,0	12	0	4,85	21,8	12,3	15,0
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4	0	0,0040	0,0079	0,0065	0,0035
		Koblenz, km 2,0	3	1	0,0035	0,0057	0,0047	0,009
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	6	0,0010	0,0023	0,0017	<0,0017
Koblenz, km 2,0		12	10	<0,0012	0,0027	<0,0019	<0,0017	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	9	0	0,78	3,59	1,85	1,28
		Co-60	12	1	0,24	6,25	2,51	2,03
	Cs-137	Koblenz, km 2,0	12	12	<0,51	<1,90	nn	nn
		Perl, km 241,96	12	0	5,33	14,7	10,4	8,7
	I-131	Koblenz, km 2,0	12	0	6,44	13,1	9,2	9,2
		Perl, km 241,96	12	3	1,32	24,9	10,3	9,1
Koblenz, km 2,0	11	6	2,50	<41,2	<9,0	<9,0		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	15	5	0,36	1,64	0,82	0,87
		Trier, km 184,1-196,1	16	16	<0,53	<1,23	nn	<0,75
		Koblenz/Güls km 4,05	4	4	<0,49	<0,73	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	15	0	1,95	13,5	7,5	7,6
		Trier, km 184,1-196,1	16	0	11,7	17,5	13,8	13,4
		Koblenz/Güls, km 4,05	4	0	7,30	11,8	9,4	9,9
SAAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schoden, km 7,70	12	0	0,62	1,24	0,86	0,90
		Sr-90	3	1	0,0074	0,0085	0,0080	0,0045
	Cs-137	11	7	0,0006	0,0036	<0,0019	<0,0018	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schoden, km 7,70	11	0	7,25	15,4	11,8	12,5
	I-131	11	2	4,67	17,2	9,9	11,5	
DONAU								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<5,3	<5,3	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	12	0	0,80	1,22	9,98	1,13
		Vilshofen, km 2249,0	11	0	1,37	4,93	2,47	1,70
	Sr-90	Regensburg, km 2381,3	3	0	0,0030	0,0053	0,0039	<0,0067
		Vilshofen, km 2249,0	2	0	0,0047	0,0082	0,0064	0,008
	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<0,0022	<0,0088	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	12	9	<0,0012	0,0024	<0,0017	<0,0020
Vilshofen, km 2249,0	11	6	0,0010	0,0059	0,0022	0,0015		
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	3	0	51,2	72,8	61,3	-
		Regensburg, km 2381,3	4	0	28,4	34,7	32,8	37,8
		Vilshofen, km 2249,0	10	0	13,8	31,3	21,4	25,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	0	39,1	61,2	51,6	59,5
		Regensburg, km 2379,1-2381,4	9	0	5,26	27,9	10,2	11,3
		Straubing, km 2326,7	6	0	37,0	45,8	41,4	39,8
		Grünau, km 2205,5	3	0	20,0	23,0	21,0	26,5
ISAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	3	3,24	<5,77	<5,13	nn
		Plattling, km 9,1	4	0	3,06	11,9	6,6	<9,4
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0053	<0,0098	nn	nn
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,0045	<0,0077	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	15,7	37,3	22,0	14,0
		Plattling, km 9,1	4	0	3,71	34,8	17,4	17,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	11,7	34,6	23,7	22,6
		Plattling, km 9,1	4	0	2,31	22,1	11,8	7,0

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2018	2017
EMS								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	0	1,99	90,0	21,9	14,0
		Terborg, km 24,64	12	0	2,16	16,3	6,0	4,3
	Co-60	Terborg, km 24,64	12	12	<0,0011	<0,0027	nn	<0,0017
		Sr-90	Geeste, km 106,3	3	0	0,0049	0,010	0,008
	Cs-137	Terborg, km 24,64	4	0	0,0054	0,0078	0,0071	0,008
		Geeste, km 106,3	11	10	0,0011	<0,0022	<0,0016	<0,0017
		Terborg, km 24,64	12	2	0,0012	0,021	0,0093	0,011
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Terborg, km 24,64	4	4	<0,62	<1,28	nn	<0,85
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	0	7,21	15,6	11,0	13,5
		Terborg, km 24,64	4	0	4,95	6,08	5,58	5,58
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herbrum, km 212,75	6	6	<0,40	<1,68	nn	<0,64
	Cs-137		6	0	3,60	5,99	4,64	5,22
WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	1,66	21,9	10,1	3,43
		Langwedel, km 329,4	12	0	1,07	14,3	5,4	2,24
		Blexen, km 430,00	12	0	1,44	6,87	4,01	2,38
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	4	1	0,0034	<0,0065	0,0047	0,0057
		Langwedel, km 329,4	4	0	0,0033	0,0074	0,0062	0,0057
		Blexen, km 430,0	4	1	0,0030	<0,011	0,005	0,0050
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	12	9	<0,0012	0,0029	<0,0019	<0,0020
		Langwedel, km 329,4	12	7	0,0010	<0,0027	<0,0017	0,0012
		Blexen, km 430,0	12	5	0,0015	0,0032	0,0023	0,0030
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Wilhelmshaven/Jadebusen	4	4	<0,35	<0,87	nn	<0,59
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	4,87	7,21	6,07	6,16
		Langwedel, km 329,4	11	0	3,21	9,70	8,07	8,3
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	0	2,04	4,20	2,92	3,23
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Bremen (Insel), km 422,9	6	6	<0,45	<0,93	nn	nn
	Cs-137	Minden, km 204,40	4	0	5,63	62,4	20,7	10,2
		Bremen (Insel), km 422,9	6	0	6,49	9,98	8,17	8,80
ELBE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	11	0	3,50	7,62	6,09	3,33
		Tangermünde, km 389,10	12	0	2,74	4,99	3,82	2,40
		HH (Bunthaus), km 609,8	5	0	1,96	5,09	3,22	2,80
		Wedel, km 642,0	12	0	1,72	3,61	2,91	-
	Sr-90	Dresden, km 58,0	3	0	0,0035	0,0071	0,0051	0,0061
		Tangermünde, km 389,10	4	0	0,0077	0,0090	0,0084	0,0043
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0021	0,0053	0,0033	0,0054
		Wedel, km 642,0	3	0	0,0065	0,0099	0,0086	-
	Cs-137	Dresden, km 58,0	11	9	<0,0011	<0,0027	<0,0018	0,0014
		Tangermünde, km 389,10	11	7	0,0009	<0,0030	<0,0017	<0,0016
		HH (Bunthaus), km 609,8	5	1	0,0010	<0,0033	0,0013	0,0018
		Wedel, km 642,0	12	5	<0,0016	0,0039	0,0024	-
Pu-(239 +240)	HH (Bunthaus), km 609,8		4	1	0,000002	0,000006	0,000003	0,000006
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	10	0	11,8	26,5	18,4	16,5
		Geesthacht, km 586,0	4	0	6,06	16,4	10,1	14,4
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	6,01	15,9	10,0	16,2
		Wedel, km 642,0	4	0	1,44	4,61	2,82	2,6
	I-131	HH (Bunthaus), km 609,8	4	3	1,06	<2,97	<1,85	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	-	-	-	-	-	-
		Arneburg, km 403,5	3	0	3,29	13,0	6,7	9,0
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	12,6	17,5	14,7	10,6
		Cuxhaven, km 726,3	4	0	2,10	6,40	4,15	2,80

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität				
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte		
					min. Wert	max. Wert	2018	2017	
ODER									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	6	0	0,67	0,98	0,79	0,82	
		Schwedt, km 690,55	12	0	0,54	0,82	0,65	0,75	
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	2	0	0,0051	0,0056	0,0054	0,008	
		Schwedt, km 690,55	3	0	0,0067	0,0073	0,0069	0,008	
		Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	6	3	0,0009	0,0054	0,0026	0,004
Schwedt, km 690,55	12		6	<0,0019	0,0076	0,0036	0,0029		
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20 Schwedt, km 690,55	3 -	0	4,48	11,4	8,5	6,09	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20 Hohensaaten, km 667,5	- 8	0	10,1	26,9	14,8	12,0	
SPREE									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	3	0,92	<1,25	<1,15	<1,18	
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	11	0	0,47	0,99	0,70	0,68	
	Sr-90	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	2	1	<0,0071	0,0088	0,0088	0,0060	
		Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	2	0,0007	<0,0023	0,0010	0,0010
			Berlin-Schöneeweide, km 27,2	11	7	0,0011	<0,0043	<0,0025	<0,0017
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	8	0	11,2	19,0	15,4	20,1	
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	1,86	4,74	3,11	14,9	
	I-131	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	5	4	26,6	<94	<52	<69	
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	3	<1,47	<2,20	<1,86	<5,7	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Fürstenwalde, km 74,7	1	1	2,62	2,62	2,62	-	
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	12,6	17,1	15,7	16,6	
HAVEL									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	0	0,59	1,04	0,81	0,74	
	Sr-90	Zehdenick, km 15,1	4	0	0,0040	0,0084	0,0061	0,0052	
			Cs-137	11	7	0,0014	<0,0028	<0,0020	0,0020
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	329,3	39,6	33,2	36,0	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	8	0	12,1	27,4	22,1	19,4	
SAALE									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Halle/Planena, km 104,5	12	0	0,62	0,97	0,79	0,75	
		Camburg, km 187,0	4	1	2,31	<3,05	2,64	2,80	
	Sr-90	Halle/Planena, km 104,5	4	1	<0,005	0,0070	0,0052	0,008	
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,0043	<0,0055	nn	nn	
		Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	11	10	0,0010	<0,0029	<0,0017	nn
Camburg, km 187,0	4		4	<0,017	<0,021	nn	nn		
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	4	0	10,3	13,7	11,3	11,3	
		Camburg, km 187,0	4	0	16,2	37,6	29,5	33,8	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 105,5	7	0	3,90	16,3	9,4	13,8	
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	13,0	18,4	16,3	13,9	
PEENE									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	12	0	0,54	0,94	0,70	0,74	
	Sr-90	Anklam, km 96,1	4	0	0,0065	0,0097	0,0077	0,0065	
			Cs-137	12	9	0,0009	0,0043	<0,0020	<0,0016
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	23,4	30,0	26,7	34,9	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	9	0	28,7	41,8	33,5	37,2	

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2018	2017
TRAVE/UNTERTRAVE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	12	0	0,54	0,94	0,79	0,90
	Sr-90		4	0	0,0033	0,011	0,007	0,0048
	Cs-137		12	1	<0,0015	0,012	0,006	0,006
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	3	0	22,1	42,1	29,9	35,9
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12	0	0,66	0,99	0,83	0,91
	Sr-90		4	0	0,0044	0,011	0,007	0,009
	Cs-137		12	0	0,0014	0,014	0,007	0,0034
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	23,8	32,6	26,8	21,3
nn nicht nachweisbar/nachgewiesen - Messung/Angabe nicht erforderlich								

Tabelle T II.33 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrlSchG bzw. StrVG (2017)
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrlSchG, StrVG (2017) resp.)

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2018	2017
BADEN-WÜRTTEMBERG / BAYERN / Bodensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<5,3	<5,3	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<5,77	<5,77	nn	nn
	Cs-137	Langenargen	8	8	<0,0029	<0,0063	nn	nn
		Nonnenhorn	4	3	0,0031	<0,011	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	5,37	10,1	7,16	7,57
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	7,24	15,0	9,9	10,0
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	4	<4,61	<5,77	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0035	0,012	0,007	0,0040
	Cs-137		4	4	<0,0055	<0,012	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	22,4	54,5	34,1	53
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	3,31	9,99	5,60	5,51
Starnberger See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	4	<4,62	<5,77	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0052	0,018	0,010	0,0064
	Cs-137		4	4	<0,0073	<0,011	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	103	116	110	90
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle 41035	4	0	0,85	1,04	0,92	<1,15
	Sr-90		4	0	0,0028	0,0032	0,0030	0,0039
	Cs-137		4	4	<0,0015	<0,0046	nn	<0,0031
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	2	0,88	4,52	2,70	0,89
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	0	22,5	31,2	26,7	26,4

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
Stößensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<1,20	<1,25	nn	<1,17
	Sr-90		4	0	0,0025	0,0033	0,0030	0,0026
	Cs-137		4	3	0,0012	<0,0055	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	2	<1,47	2,48	2,17	9,3
	I-131		4	3	<1,24	<5,09	<2,96	<4,14
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	23,7	48,1	34,1	36,6
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	5	5	<5,03	<5,84	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,009	0,010	0,009	0,009
	Cs-137		5	5	<0,0055	<0,012	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	5	0	9,4	12,0	11,0	11,0
Neuendorfer See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	4	4	<3,6	<9,3	nn	nn
	Sr-90		3	0	0,0024	0,0030	0,0028	0,003
	Cs-137		4	4	<0,011	<0,056	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	9,0	16	12	13
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	3	0	0,60	0,70	0,66	0,70
HESEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Erbach	3	3	<5,68	<6,56	nn	nn
	Sr-90		1	0	0,0027	0,0027	0,0027	nn
	Cs-137		3	4	<0,014	<0,023	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	1	0	8,87	8,87	8,87	21,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	3	0	1,07	2,67	1,92	2,42
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	4	<5,34	<5,73	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0084	<0,012	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	3,67	14,4	8,9	7,04
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	5,33	10,3	7,1	6,7
Schweriner See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<5,68	<6,15	nn	nn
	Sr-90		4	3	0,0044	<0,0069	<0,0059	nn
	Cs-137		4	4	<0,0085	<0,011	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	26,2	54,3	36,1	47,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	30,7	162	110	39
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	1	1,38	2,48	1,76	1,17
	Sr-90		4	0	0,0012	0,0023	0,0018	0,0012
	Cs-137		4	4	<0,0012	<0,0013	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	16,2	34,3	24,7	25,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	31,5	45,9	38,5	42,5

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2018	2017
Steinhuder Meer								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	2	1,35	<1,73	1,43	1,11
	Cs-137		4	0	0,0050	0,021	0,009	0,0063
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	173	199	186	227
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	12,3	144	99	67
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	3	3	<2,14	<5,54	nn	nn
	Sr-90		1	0	0,020	0,020	0,0061	0,0061
	Cs-137		3	3	<0,0089	<0,0093	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<2,99	<5,00	nn	nn
	Cs-137		4	3	0,0002	<0,0017	<0,0009	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	0	5,44	5,80	5,59	4,91
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	4	<3,2	<3,4	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,019	0,024	0,021	0,020
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	29	60	47	33
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	4	<6,4	<6,5	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,071	<0,0078	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	2	13,1	14,9	14,0	19,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	32,7	34,9	33,8	33,8
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,0	<6,2	nn	nn
	Cs-137		4	1	<0,0083	0,044	0,035	0,030
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	16,0	72,5	46,6	58,6
Schollener See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<6,3	nn	nn
	Cs-137		4	3	<0,010	0,010	<0,010	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	124	240	186	223
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<10	<10	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,012	<0,014	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	14,8	98,3	71,6	85
Wittensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Groß Wittensee	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,007	<0,015	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Groß Wittensee	4	0	13,9	152	104	79
THÜRINGEN / Talsperre Ohra								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Luisenthal	4	3	2,22	<3,39	<2,98	2,73
	Cs-137		4	4	<0,017	<0,020	nn	nn
nn nicht nachweisbar/nachgewiesen								

Tabelle T II.34 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI
(Monitoring of bodies of water in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI)

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
RHEIN / KKW Beznau und KKW Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	4	4	<5,3	<5,3	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<5,3	<5,3	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<5,3	<5,3	nn	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0039	<0,0052	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,0043	<0,0059	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0037	<0,0101	nn	nn
Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0039	<0,0054	nn	nn	
	vor KKW Leibstadt	4	4	<0,0041	<0,0062	nn	nn	
	nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0035	<0,0106	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,30	<0,33	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	2	2	<0,19	<0,27	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,22	<0,23	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	0	3,39	4,55	3,97	3,08
		vor KKW Leibstadt	2	0	2,50	2,92	2,71	6,88
		nach KKW Leibstadt	2	0	2,10	2,38	2,24	2,30
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil	13	13	<5,32	<5,30	<5,30	<5,43
		Neuf Brisach	13	10	<5,32	6,30	<5,38	<5,58
	Co-60	Weil	13	13	<0,0071	<0,0171	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0066	<0,0381	nn	nn
	Cs-137	Weil	13	13	<0,0070	<0,0163	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0067	<0,0377	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Neuenburg/Grißheim km 206,5	2	2	<0,16	<0,19	nn	nn
		Breisach, km 232,0	2	2	<0,19	<0,23	nn	nn
	Cs-137	Neuenburg/Grißheim km 206,5	2	0	0,81	0,85	0,83	0,79
		Breisach, km 232,0	2	0	2,44	2,53	2,49	4,09
RHEIN / HIRSCHKANAL / KIT Karlsruhe								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Hirschkanal	52	0	0,013	0,045	0,033	0,032
	Gβ		52	1	0,079	0,329	0,173	0,137
	H-3		64	62	1,76	<5,32	<3,11	<3,04
	Co-60		4	4	<0,0035	<0,0071	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0033	<0,0071	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Gα	Hirschkanal	4	0	498	563	525	572
	Gβ		4	0	1 340	1 560	1 423	1 520
	Co-60		8	8	<0,33	<2,10	nn	nn
	Cs-137		8	0	41,5	65,6	53	67
	Am-241		8	4	3,40	<13,9	4,9	6,8
RHEIN / KKP Philippsburg								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	6	2,11	5,55	3,99	<4,68
		Auslaufbauwerke I u. II	32	0	8,00	768	91,5	20,9
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0034	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	16	16	<0,0031	<0,035	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0034	<0,035	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	16	16	<0,0029	<0,034	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,50	<0,80	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	0	0,62	2,03	1,3	7,8
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	7,98	8,52	8,3	10,4
		Auslaufbauwerk	4	0	6,82	8,20	7,6	7,8

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
RHEIN / KWB Biblis (stillgelegt) und BE-Zwischenlager								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	3	<2,98	<8,25	4,4	<4,5
		Auslaufbauwerke A u. B	16	5	2,80	11,8	5,2	25,1
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,020	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,021	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,018	<0,036	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,36	<0,55	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,34	<0,45	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	6,4	9,6	8,0	6,5
		nach Auslaufbauwerk	2	0	11,0	11,0	11,0	12,0
RHEIN / KMK Mühlheim-Kärlich (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,82	<6	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	0	4,0	5,6	5,1	4,5
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,012	<0,013	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,008	<0,015	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,011	<0,012	nn	nn
Auslaufbauwerk		4	4	<0,008	<0,017	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,26	<0,58	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,36	<0,63	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	0,36	5,5	2,9	9,3
		nach Auslaufbauwerk	2	0	2,6	2,8	2,7	4,6
NECKAR / GKN Neckarwestheim								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	10	4	1,3	<5,3	2,2	<4,6
		Auslaufbauwerk	17	6	1,4	45,2	11,8	<31
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	10	10	<0,0042	<0,038	nn	nn
		Auslaufbauwerk	17	17	<0,0037	<0,039	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	10	10	<0,0040	<0,039	nn	nn
Auslaufbauwerk		17	17	<0,0035	<0,041	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,29	<0,35	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,40	<0,49	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	1,28	1,29	1,28	1,33
		nach Auslaufbauwerk	2	0	4,54	6,54	5,54	5,96
NECKAR / KKO Obrigheim (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Guttenbach	20	6	5,3	47,2	13,2	<7,7
	Co-60		20	20	<0,0046	<0,031	nn	nn
		Cs-137		20	20	<0,0043	<0,038	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	-
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,28	<0,41	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	-
		nach Auslaufbauwerk	2	0	5,13	6,62	5,87	5,56
MAIN / KKG Grafenheinfeld (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<5,6	<10	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<5,3	<10	nn	<12,0
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,027	<0,047	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,028	<0,050	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,026	<0,030	nn	nn
Auslaufbauwerk		4	4	<0,026	<0,031	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,0	<1,1	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,86	<1,2	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	12	17	15	17
		nach Auslaufbauwerk	4	0	14	20	17	20

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität				
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte		
					min. Wert	max. Wert	2018	2017	
MAIN / Siemens GmbH Karlstein									
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	oberhalb Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,98	<0,98	nn	nn	
		unterh. Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,67	<0,67	nn	nn	
	Cs-137	oberhalb Kläranl. Schleifbach	1	1	<1,1	<1,1	nn	nn	
		unterh. Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,93	<0,93	nn	nn	
MOSEL / KKW Cattenom (Frankreich)									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Palzem, km 230	12	0	17	40	31	36	
	Co-60		12	12	<0,010	<0,023	nn	nn	
		Cs-137		12	12	<0,010	<0,019	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Palzem, km 230	2	2	<0,59	1,2	1,2	nn	
	Cs-137		2	0	4,7	12,0	8,4	9,8	
DONAU / KGG Gundremmingen									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<4,15	<5,90	nn	nn	
		Auslaufbauwerk I	8	0	27,1	106	63	84	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0023	<0,032	nn	nn	
		Auslaufbauwerk I	8	5	0,0025	<0,031	<0,017	0,019	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0023	<0,033	nn	nn	
		Auslaufbauwerk I	8	7	<0,0024	<0,032	<0,018	0,0037	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,08	<0,18	nn	nn	
		nach Auslaufbauwerk	4	2	<0,08	0,66	0,51	2,18	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	6,34	33,3	20,1	27,1	
		nach Auslaufbauwerk	4	0	15,0	44,0	23,9	25,4	
ISAR / KKI Isar 1 und 2									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<4,15	<6,70	nn	nn	
		Auslaufbauwerke	16	5	2,58	360	161	89	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0024	<0,040	nn	nn	
		Auslaufbauwerke	16	16	<0,0022	<0,044	nn	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0024	<0,0030	nn	nn	
Auslaufbauwerke		8	8	<0,0022	<0,0041	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,14	<0,20	nn	nn	
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,13	<0,19	nn	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	22,0	28,3	24,0	29,0	
		nach Auslaufbauwerk	4	0	18,1	26,0	21,1	24,6	
ISAR / FRM II Forschungsneutronenquelle HML München									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	nach FRM II, km 130,3	8	0	3,3	1 660	420	146	
	C-14		8	7	<0,12	9,99	<1,98	<2,60	
	Co-60		8	4	0,0047	1,32	0,544	<0,023	
	Cs-137		8	8	<0,0041	<0,047	nn	nn	
	U-235		2	0	0,0012	0,0017	0,0015	0,0035	
	Pu-238		2	2	<0,0002	<0,0007	nn	nn	
	Am-241		2	2	<0,0004	<0,0037	nn	nn	
	Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	nach FRM II, km 124,6	4	4	<0,08	<0,11	nn	nn
Cs-137			4	0	7,71	13,1	9,41	12,0	
U-235			1	0	1,50	1,50	1,50	1,73	
Pu-(239 +240)			1	0	0,15	0,15	0,15	0,28	
Am-241			1	1	<0,20	<0,20	nn	nn	
EMS / KKE Emsland									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	6	4	<1,47	6,1	<3,1	2,9	
		Auslaufbauwerk	6	0	609	1 750	986	1 370	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,0059	<0,030	nn	nn	
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,0063	<0,029	nn	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0054	<0,0065	nn	nn	
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0054	<0,0120	nn	nn	

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	4	<0,39	<0,74	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,36	<0,84	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	0	12,7	19,2	15,3	18,6
		nach Auslaufbauwerk, km 106	4	0	21,0	25,7	23,4	31,6
WESER / KWW Würgassen (stillgelegt)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	Co-60	Hauptabwasserleitung	4	4	<0,23	<0,84	nn	-
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Regenwassersammelleitung	2	2	<2,3	<2,6	nn	nn
	Cs-137		2	0	34	35	35	47
WESER / KWG Grohnde								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	6	3	1,08	<6,47	2,56	<3,53
		Auslaufbauwerk	6	0	34,2	82,1	59,1	35,2
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,0081	<0,045	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,0056	<0,047	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,0060	<0,046	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,0052	<0,044	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,23	<0,41	nn	nn
		Hess. Oldendorf, km 147	4	4	<0,18	<0,29	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	0	4,78	9,49	7,08	9,1
		Hess. Oldendorf, km 147	4	0	1,15	3,58	2,21	5,68
UNTERWESER / KKK Unterweser (außer Betrieb)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	6	2	2,08	6,85	4,32	2,21
		Auslaufbauwerk	6	0	6,79	26,5	16,4	37,2
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,0073	<0,014	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,0068	<0,010	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0061	<0,0141	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0064	<0,0083	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	4	<0,46	<0,56	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	4	<0,18	<0,60	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	0	3,09	5,07	4,35	4,92
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	2,63	9,98	4,93	3,48
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Selhausen	8	8	<5,0	<10	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<5,0	<10	nn	<7,6
	Co-60	Selhausen	8	8	<0,0035	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<0,0035	<0,05	nn	nn
	Gα	Selhausen	4	4	<0,03	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<0,03	<0,05	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Selhausen	2	2	<2,5	<2,6	nn	nn
		Jülich-Süd	2	2	<2,6	<3,1	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	0	6,8	8,4	7,6	12
		Jülich-Süd	2	0	6,5	8,6	7,6	12
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächenwasser (Bq/l)	Gα	Hauptentwässerungsleitungen	8	6	<0,086	0,21	<0,15	0,35
		Retentionsanlage	8	7	<0,093	0,23	<0,17	<0,22
		Goorbach, unterhalb der Straßenkreuzung	4	4	<0,2	<0,2	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Ra-226	Dinkel, nach Kläranlage	2	0	45	66	56	64
	Ra-228	Gronau	2	0	20	39	30	44
AHAUSER AA / BGZ Ahaus								
Oberflächenwasser (Bq/l)	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,07	<0,07	nn	nn
	Rβ		4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
	H-3		4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Co-60		4	4	<0,0050	<0,0060	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Einleitung Moorbach	3	3	<2,7	<3,6	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<2,7	<3,5	nn	nn
	Cs-137	Einleitung Moorbach	3	0	10	17	14	14
		Ahauser Aa	4	0	12	38	21	21
	Ra-226	Retentionsbecken	4	0	2,40	5,00	3,78	3,57
		Retentionsbecken	4	0	7,6	17,6	13,6	10,2
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<4,9	<10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<4,9	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,014	<0,036	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,016	<0,036	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,012	<0,040	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,014	<0,035	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,76	<1,13	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,61	<1,30	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	5	0,42	<1,24	<0,84	0,94
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,66	<1,10	nn	0,61
ELBE / KKK Krümmel (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	16	<4,9	<6,5	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<4,9	<6,5	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0072	<0,036	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0069	<0,045	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0073	<0,039	nn	nn
Auslaufbauwerk		24	24	<0,0074	<0,041	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,097	<0,75	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,094	<0,75	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	0	0,32	0,75	0,56	0,76
		Auslaufbauwerk	8	3	0,25	<0,85	0,37	0,31
ELBE / KBR Brokdorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	9	<2,99	13,1	<5,56	<4,09
		Auslaufbauwerk	16	0	6,65	85,4	32,6	21,9
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,0045	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,0049	<0,031	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,0060	<0,041	nn	nn
Auslaufbauwerk		16	16	<0,0060	<0,036	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,62	<1,1	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,67	<0,9	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	1	0,52	3,4	1,50	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	3	<0,63	2,9	<1,23	<0,83

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
ELBE / KKS Stade (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	10	0	2,20	4,00	3,17	2,69
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	0	2,54	3,26	2,93	1,86
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	10	10	<0,0014	<0,027	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	4	<0,0009	<0,0022	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	10	8	0,0009	<0,0107	<0,0043	<0,0037
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	2	0,0005	<0,0022	0,0008	0,0015
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	4	<0,19	<0,43	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	4	<0,24	<0,40	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	0	1,94	4,58	3,33	4,63
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	0	2,49	4,01	3,16	3,99
ELBE / KKB Brunsbüttel (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	24	24	<4,00	<5,1	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<4,04	<5,1	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0088	<0,020	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0103	<0,023	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0020	0,0038	0,0026	0,0022
		Auslaufbauwerk	12	0	0,0018	0,0038	0,0032	0,0028
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0093	<0,021	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	24	24	<0,0096	<0,023	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,30	<1,40	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,67	<0,76	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	1,40	4,30	3,0	2,4
		nach Auslaufbauwerk	4	0	0,85	3,5	2,1	1,3
ELBE / BGZ Gorleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schnackenburg, km 474,5	4	0	3,41	4,84	3,96	2,21
		Dömitz, km 504,5	4	0	2,69	3,91	3,33	2,21
	Co-60	Schnackenburg, km 474,5	4	4	<0,0012	<0,0021	nn	nn
		Dömitz, km 504,5	4	4	<0,0012	<0,0025	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,5	7	3	0,0002	<0,0021	0,0006	0,0003
		Dömitz, km 504,5	7	3	0,0002	<0,0023	0,0006	0,0006
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,5	2	2	<0,0005	<0,0008	nn	nn
		Dömitz, km 504,5	2	2	<0,0005	<0,0016	nn	nn
	Pu-239	Schnackenburg, km 474,5	2	2	<0,0005	<0,0008	nn	nn
		Dömitz, km 504,5	2	2	<0,0005	<0,0016	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schnackenburg, km 474,5	4	4	<0,15	<0,31	nn	nn
		Dömitz, km 504,5	4	4	<0,23	<0,67	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,5	4	0	3,78	5,43	4,68	4,82
		Dömitz, km 504,5	4	0	1,56	24,2	12,0	7,1
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,5	2	2	<0,13	<0,22	nn	nn
		Dömitz, km 504,5	2	2	<0,11	<0,18	nn	nn
	Pu-239	Schnackenburg, km 474,5	2	2	<0,13	<0,22	nn	nn
		Dömitz, km 504,5	2	2	<0,11	<0,18	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungsstandort Rossendorf								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Kalter Bach	8	8	<4,0	<6,6	nn	<6,3
		Wesenitz	2	2	<6,5	<6,5	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	8	8	<0,0092	<0,0200	nn	nn
		Wesenitz	2	2	<0,0067	<0,0080	nn	nn
		Cs-137	Kalter Bach	4	4	<0,014	<0,017	nn
Wesenitz	2	2	<0,0057	<0,0062	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	4	4	<0,18	<1,40	nn	nn
		Wesenitz	2	2	<0,49	<1,00	nn	nn
	Cs-137	Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	2	<0,36	<0,66	nn	nn
		Kalter Bach	4	0	2,6	19,0	10,0	4,8
		Wesenitz	2	0	4,9	9,2	7,1	3,3
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	0	0,74	5,5	3,1	2,1
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Salzbach	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Co-60	vor Salzbach	4	4	<0,007	<0,008	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,007	<0,008	nn	nn
	Cs-137	vor Salzbach	4	4	<0,006	<0,007	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,006	<0,008	nn	nn
	Gß	vor Salzbach	12	0	0,29	0,43	0,35	0,41
		nach Salzbach	12	0	0,30	0,61	0,43	0,42
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Belsdorf	1	1	<0,14	<0,14	nn	nn
		Schwanefeld	1	1	<0,18	<0,18	nn	nn
	Cs-137	Belsdorf	1	0	2,3	2,3	2,3	4,3
		Schwanefeld	1	0	1,1	1,1	1,1	1,0
diverse Vorfluter / Schachanlage Asse II								
Oberflächenwasser (Bq/l)	Co-60	Vorfluter b. Vahlberg	4	4	<0,060	<0,089	nn	nn
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,040	<0,064	nn	nn
	Cs-137	Vorfluter b. Vahlberg	4	4	<0,054	<0,079	nn	nn
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,035	<0,059	nn	nn
	Pb-210	Vorfluter b. Vahlberg	4	4	<0,72	<0,95	nn	nn
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,59	<1,00	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Altenau, Bansleben	1	1	<0,48	<0,48	nn	nn
		Altenau, Groß Denkte	1	1	<0,60	<0,60	nn	nn
	Cs-137	Altenau, Bansleben	1	0	2,86	2,86	2,86	nn
		Altenau, Groß Denkte	1	0	2,76	2,76	2,76	nn
	Pb-210	Altenau, Bansleben	1	0	26,5	26,5	26,5	nn
		Altenau, Groß Denkte	1	0	22,8	22,8	22,8	nn
HAVEL / KKR Rheinsberg (stillgelegt)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	50 m vor Auslauf	4	3	<5,27	7,30	<5,89	nn
		50 m nach Auslauf	4	4	<5,27	<5,62	nn	nn
	Co-60	50 m vor Auslauf	4	4	<0,0015	<0,004	nn	nn
		50 m nach Auslauf	4	4	<0,0015	<0,004	nn	nn
	Cs-137	50 m vor Auslauf	4	3	<0,0022	<0,006	<0,003	nn
		50 m nach Auslauf	4	2	<0,0024	0,0045	0,004	<0,009
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	50 m vor Auslauf	2	2	<0,090	<0,095	nn	nn
		50 m nach Auslauf	2	2	<0,096	<0,098	nn	nn
	Cs-137	50 m vor Auslauf	2	0	1,80	2,45	2,13	11
		50 m nach Auslauf	2	0	2,40	3,99	3,20	2,1

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2018		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2018		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2018	2017
GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslauf	16	16	<5,10	<10,0	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	16	<5,20	<10,0	nn	nn
	Co-60	vor Auslauf	16	16	<0,0031	<0,049	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	16	<0,0065	<0,049	nn	nn
		Cs-137	vor Auslauf	16	12	<0,0034	<0,087	<0,036
nach Auslauf (Hafenbecken)	16	12	0,0156	<0,090	<0,040	<0,035		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslauf	2	2	<0,27	<1,0	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	2	<0,41	<0,53	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	2	0	3,70	4,40	4,05	3,20
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	0	28,0	41,2	34,6	50,2
nn nicht nachgewiesen/nachweisbar - Messung/Angabe nicht erforderlich								

Tabelle T II.35 Radioaktive Kontamination von Weideböden
(Radioactive contamination of pasture soil)

Bundesland	Jahr	Entnahme- tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden- Württemberg	2016	0 - 10	11	20,1	50,7	6	3,0	5,7
	2017	0 - 10	12	18,8	44,1	8	<3,3	6,8
	2018	0 - 10	13	21,2	51,6	98	<4,4	11,0
Bayern	2016	0 - 10	20	68,7	278,3	17	2,8	4,9
	2017	0 - 10	20	78,3	442,1	17	3,1	5,7
	2018	0 - 10	20	63,7	252,3	17	2,6	5,1
Berlin	2016	0 - 10	3	6,4	7,8	1	0,6	
	2017	0 - 10	3	7,5	9,0	1	0,5	
	2018	0 - 10	3	6,3	7,1	1	0,5	
Brandenburg	2016	0 - 10	10	13,1	31,0	6	1,1	2,0
	2017	0 - 10	11	13,8	45,0	6	1,1	3,0
	2018	0 - 10	11	13,1	39,0	6	1,2	3,0
Bremen	2016	0 - 10	2	13,3	18,3	a)	a)	a)
	2017	0 - 10	2	11,4	17,1	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Hamburg	2016	0 - 10	1	3,8		a)	a)	a)
	2017	0 - 10	1	4,5		a)	a)	a)
	2018	0 - 10	1	3,6		a)	a)	a)
Hessen	2016	0 - 10	2	12,1	14,8	a)	a)	a)
	2017	0 - 10	2	17,1	23,8	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	2	15,3	19,0	a)	a)	a)
Mecklenburg- Vorpommern	2016	0 - 10	11	14,9	58,6	3	0,6	0,8
	2017	0 - 10	10	10,6	39,0	3	<0,4	0,9
	2018	0 - 10	11	11,2	38,2	3	0,7	1,3

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Niedersachsen	2016	0 - 10	14	18,4	39,7	12	3,1	9,5
	2017	0 - 10	14	15,2	21,7	10	2,5	5,1
	2018	0 - 10	16	16,9	35,8	9	1,6	2,8
Nordrhein-Westfalen	2016	0 - 10	15	10,3	18,4	4	2,6	7,7
	2017	0 - 10	15	10,7	26,5	5	1,0	2,2
	2018	0 - 10	14	10,4	40,6	5	<1,0	2,9
Rheinland-Pfalz	2016	0 - 10	7	13,1	20,4	3	0,8	0,9
	2017	0 - 10	7	13,1	21,2	3	0,6	0,8
	2018	0 - 10	8	12,9	31,6	3	0,8	1,1
Saarland	2016	0 - 10	4	14,2	21,0	2	2,6	2,7
	2017	0 - 10	4	18,9	31,0	2	1,4	1,6
	2018	0 - 10	4	18,8	27,2	2	1,5	1,8
Sachsen	2016	0 - 10	8	8,5	24,4	5	0,7	1,1
	2017	0 - 10	8	9,2	26,0	5	0,7	1,1
	2018	0 - 10	8	9,3	28,8	5	0,6	1,1
Sachsen-Anhalt	2016	0 - 10	12	41,7	77,7	a)	a)	a)
	2017	0 - 10	14	36,9	89,4	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	13	46,6	110,2	a)	a)	a)
Schleswig-Holstein	2016	0 - 10	8	7,5	12,5	6	0,9	1,3
	2017	0 - 10	8	9,9	14,7	6	0,6	0,9
	2018	0 - 10	7	8,3	12,8	6	0,6	1,2
Thüringen	2016	0 - 10	7	15,8	23,0	3	0,8	1,0
	2017	0 - 10	7	15,2	28,4	3	1,0	1,2
	2018	0 - 10	7	13,9	24,8	3	0,7	1,2

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.36 Radioaktive Kontamination von Ackerböden
(Radioactive contamination of arable soil)

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	2016	0 - 30	9	17,2	60,6	a)	a)	a)
	2017	0 - 30	10	16,3	66,1	1	0,8	
	2018	0 - 30	11	14,2	52,1	1	3,1	
Bayern	2016	0 - 30	30	23,3	159,6	3	3,5	8,1
	2017	0 - 30	30	23,3	166,4	3	3,1	6,9
	2018	0 - 30	30	22,3	135,8	3	3,4	7,0
Berlin	2016	0 - 30	2	5,4	6,0	1	0,2	
	2017	0 - 30	2	4,6	4,6	1	0,6	
	2018	0 - 30	2	6,0	6,9	1	0,6	
Brandenburg	2016	0 - 30	9	6,6	23,0	2	1,3	2,0

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Bremen	2017	0 - 30	9	5,9	19,0	3	0,3	0,4
	2018	0 - 30	9	6,2	20,4	3	0,2	0,3
	2016	0 - 30	3	7,3	8,3	2	0,9	1,0
	2017	0 - 30	3	8,1	8,4	2	0,6	0,6
	2018	0 - 30	1	5,7		1	0,5	
Hamburg	2016	0 - 30	1	5,1		1	0,8	
	2017	0 - 30	1	5,5		1	0,5	
	2018	0 - 30	1	4,4		1	0,6	
Hessen	2016	0 - 30	6	7,7	13,5	1	0,3	
	2017	0 - 30	6	7,4	14,1	2	1,5	2,7
	2018	0 - 30	6	8,2	15,7	2	0,7	1,2
Mecklenburg-Vorpommern	2016	0 - 30	7	7,5	15,2	2	0,4	0,8
	2017	0 - 30	7	6,2	10,2	2	0,3	0,4
	2018	0 - 30	6	5,6	12,0	2	<0,4	<0,8
Niedersachsen	2016	0 - (25/30)	23	7,6	23,9	4	1,1	1,6
	2017	0 - (25/30)	25	7,1	22,7	6	1,0	1,4
	2018	0 - (25/30)	23	<6,1	12,1	6	0,8	1,2
Nordrhein-Westfalen	2016	0 - 30	10	6,1	11,1	5	1,6	4,2
	2017	0 - 30	9	6,4	10,1	4	1,7	5,6
	2018	0 - 30	10	5,7	9,7	5	<1,0	3,0
Rheinland-Pfalz	2016	0 - (25/30)	8	5,7	12,5	2	0,6	0,7
	2017	0 - (25/30)	8	6,1	12,8	2	0,4	0,4
	2018	0 - (25/30)	8	6,2	12,6	2	0,8	0,9
Saarland	2016	0 - 30	1	8,7		a)	a)	a)
	2017	0 - 30	1	11,0		a)	a)	a)
	2018	0 - 30	1	5,7		a)	a)	a)
Sachsen	2016	0 - 30	7	5,0	12,8	a)	a)	a)
	2017	0 - 30	7	5,8	12,6	a)	a)	a)
	2018	0 - 30	7	6,7	13,3	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	2016	0 - 30	15	9,0	34,8	5	<0,5	0,6
	2017	0 - 30	15	8,3	33,7	5	<0,4	1,1
	2018	0 - 30	15	8,4	37,9	5	<0,6	1,0
Schleswig-Holstein	2016	0 - 30	5	5,7	7,8	a)	a)	a)
	2017	0 - 30	5	5,5	7,4	a)	a)	a)
	2018	0 - 30	5	7,5	14,3	a)	a)	a)
Thüringen	2016	0 - 30	6	7,6	13,9	2	0,8	0,8
	2017	0 - 30	6	7,8	16,8	2	1,0	1,1
	2018	0 - 30	6	7,8	17,0	2	0,9	0,9

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.37 Radioaktive Kontamination von Waldböden
(Radioactive contamination of forest soil)

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	2016	0 - 10	4	30,1	65,7	2	1,0	1,3
	2017	0 - 10	4	31,1	56,7	2	1,9	3,6
	2018	0 - 10	4	33,4	67,1	2	1,8	2,9
Niedersachsen	2016	0 - 10	2	88,5	116,0	a)	a)	a)
	2017	0 - 10	2	37,5	59,9	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	2	59,2	92,1	a)	a)	a)
Nordrhein-Westfalen	2016	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2017	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	2016	0 - 10	2	37,3	53,9	a)	a)	a)
	2017	0 - 10	3	36,2	49,4	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.38 Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs
(Radioactive contamination of pasture and meadow vegetation)

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	2016	29	<0,7	14,5	4	0,7	1,1
	2017	31	<0,3	1,7	8	0,7	1,4
	2018	27	<0,2	0,4	9	<0,4	1,1
Bayern	2016	55	<0,5	3,3	28	0,4	1,1
	2017	53	<0,5	3,4	27	0,3	0,9
	2018	52	<0,5	4,4	23	0,3	1,0
Berlin	2016	3	0,4	0,9	1	0,2	
	2017	2	0,4	0,4	1	0,5	
	2018	3	0,3	0,5	1	0,2	
Brandenburg	2016	16	<0,8	3,5	8	0,3*	<3,1*
	2017	17	<1,2	4,2	9	0,3*	<4,3*
	2018	16	<1,4	11,0	8	<0,6	2,0
Bremen	2016	2	0,5	0,7	1	0,3	
	2017	2	<1,0	1,7	1	0,3	
	2018	1	0,3		1	0,3	
Hamburg	2016	3	0,1	0,2	a)	a)	a)
	2017	3	0,2	0,3	a)	a)	a)
	2018	4	0,1	0,2	a)	a)	a)
Hessen	2016	15	<0,2	0,3	8	0,2*	<3,3*

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Mecklenburg-Vorpommern	2017	15	<0,2	<0,4	8	0,3*	<1,2*
	2018	15	<0,3	0,7	8	<1,0*	2,4*
	2016	20	<0,2	0,9	8	<0,2	0,4
	2017	20	<0,1	0,4	9	<0,2	0,3
	2018	20	<0,2	0,9	8	<0,2	0,6
Niedersachsen	2016	42	<0,6	4,9	21	0,2	0,9
	2017	41	<0,6	5,7	18	0,2	0,5
	2018	42	<0,6	9,6	21	0,2	0,3
Nordrhein-Westfalen	2016	23	<0,3	1,2	11	0,97*	6,7
	2017	23	<0,3	0,8	10	0,4	1,4
	2018	24	<0,3	<0,4	10	<0,3	<1,0
Rheinland-Pfalz	2016	14	<0,1	0,4	7	0,3	0,6
	2017	14	<0,1	0,4	7	0,6	1,7
	2018	15	<0,1	<0,4	8	0,4	1,4
Saarland	2016	4	<0,2	<0,3	2	0,4	0,5
	2017	4	<0,2	<0,2	2	0,5	0,6
	2018	4	<0,4	0,6	2	0,2	0,4
Sachsen-Anhalt	2016	22	<5,3	54,5**	5	0,1	0,2
	2017	24	<6,3	54,3**	5	0,1	0,2
	2018	23	<8,9	76,5**	5	<0,1	0,2
Sachsen	2016	14	<0,8	9,0	6	0,18*	<11,7*
	2017	14	<0,3	1,4	6	0,3*	<3,3*
	2018	14	<0,3	1,8	6	<0,6	<1,8
Schleswig-Holstein	2016	22	<0,2	0,5	12	0,2	0,5
	2017	22	<0,1	0,5	12	0,2	0,6
	2018	22	<0,7	4,6	12	0,4	1,0
Thüringen	2016	17	<0,1	<0,2	9	0,14*	<9,3*
	2017	17	<0,1	0,2	5	0,2	0,5
	2018	17	<0,1	0,4	7	0,2*	0,5*

a) Messwerte lagen nicht vor **Der Wert ist nicht repräsentativ
* Die Nachweisgrenzen aus der Schnellmethode für Sr-90 wurden aus der Mittelwertbildung herausgenommen, da sie einer anderen statistischen Grundgesamtheit angehören

Tabelle T II.39 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)
(Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production)

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Mais u.	2016	250	<0,5	17,6	a)	a)	a)
Maissilagen	2017	246	<0,4	6,0	a)	a)	a)
	2018	251	<0,4	2,5	a)	a)	a)
Futterrüben	2016	13	<0,3	0,6	a)	a)	a)
	2017	11	<0,4	<0,8	a)	a)	a)
	2018	15	<0,5	<2,0	a)	a)	a)
Futtergetreide	2016	154	<0,2	0,7	1	0,1	
	2017	154	<0,2	0,6	a)	a)	a)
	2018	149	<0,2	<13,5*	a)	a)	a)
Grünfütterpflanzen (ohne Mais)	2016	6	<0,6	0,5	a)	a)	a)
	2017	6	<0,4	1,0	a)	a)	a)
	2018	6	<0,4	0,9	a)	a)	a)
Futterkartoffeln	2016	70	<0,4	1,0	a)	a)	a)
	2017	73	<0,4	1,2	a)	a)	a)
	2018	70	<0,4	2,1	a)	a)	a)
Erbsen	2016	6	<0,2	<0,3	a)	a)	a)
	2017	8	<0,2	<0,4	a)	a)	a)
	2018	3	<0,2	<0,3	a)	a)	a)
Raps	2016	44	<0,3	0,7	a)	a)	a)
	2017	51	<0,3	0,7	a)	a)	a)
	2018	59	<0,3	1,5	a)	a)	a)
Ölkuchen/ Ölschrote	2016	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2017	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2018	2	<0,1	<0,2	a)	a)	a)
Sonnenblumen	2016	1	0,4		a)	a)	a)
	2017	2	<0,4	0,7	a)	a)	a)
	2018	6	<0,2	<0,3	a)	a)	a)
Kraftfutter- mischung	2016	1	<0,2		a)	a)	a)
	2017	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2018	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Silage	2016	1	0,3		a)	a)	a)
	2017	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2018	a)	a)	a)	a)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor

* Der Wert ist nicht repräsentativ, nicht in die Mittelwertbildung einbezogen

Tabelle T II.40 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten
(Radioactive contamination of imported feedstuffs)

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	2016	12	<0,3	1,6
	2017	11	<0,1	0,4
	2018	10	<0,2	0,5
Mais, Maisprodukte	2016	9	<0,2	0,7
	2017	10	<0,2	<0,5
	2018	13	<0,2	<0,4
Maniok, Tapioka	2016	1	0,6	
	2017	a)	a)	
	2018	a)	a)	
Ölkuchen, Ölschrote	2016	9	<0,2	0,5
	2017	8	<0,2	0,4
	2018	2	<0,1	<0,2
Sonnenblumen	2016	2	0,2	0,3
	2017	7	<0,3	0,8
	2018	5	<0,2	<0,3
Sojabohnen	2016	30	<0,3	0,6
	2017	28	<0,2	0,4
	2018	27	<0,3	0,7
Krafftuttermischung	2016	a)	a)	a)
	2017	a)	a)	a)
	2018	a)	a)	a)
Mühlennachprodukte	2016	a)	a)	a)
	2017	a)	a)	a)
	2018	a)	a)	a)
a) Messwerte lagen nicht vor				



Tabelle T II.41 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)
(Radioactive contamination of plants - indicators)

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Blätter	2016	104	<4,8	73,1
	2017	105	<4,9	73,4
	2018	101	<3,2	29,1
Nadeln	2016	54	<28,7*	683,6**
	2017	47	<40,9*	1 602,0**
	2018	52	<16,3	321,0
Gras	2016	105	<6,9	166,0
	2017	95	<11,1	352,0
	2018	93	<5,3	130,0
Farne (Thüringen)	2016	2	20,2	38,4
	2017	2	20,3	39,9
	2018	2	26,1	51,0

* Der Wert ist nicht repräsentativ.
Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Nadeln: <16,4 im Jahr 2016; <7,0 im Jahr 2017

** Der Wert ist nicht repräsentativ

Tabelle T II.42 Spezifische Aktivität des Bodens in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz
(Specific activity of the soil in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert		Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	9	10,98	9	11,32	9	10,96 (3,81 - 32,90)
	Pu-238	7	<0,93	7	<1,40	7	<0,80 (<0,04 - <1,39)
	Pu-(239+240)	7	<0,46	7	<0,65	7	<0,54 (0,13 - 1,08)
	Sr-90	3	1,13	3	0,98	3	0,97 (0,31 - 2,24)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	3,66	4	4,67	4	4,43 (2,26 - 6,01)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	6	5,24	6	4,39	4	3,98 (1,46 - 9,10)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	9,85	6	8,68	6	8,75 (3,08 - 17,00)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	14,21	6	10,90	6	18,04 (8,19 - 30,32)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	13,01	2	15,03	2	13,60 (12,75 - 14,45)
Bayern							
KGK Gundremmingen	Cs-137	10	32,28	10	29,37	10	29,09 (18,60 - 39,70)
KKI Isar	Cs-137	12	30,36	12	34,29	12	36,06 (9,46 - 95,00)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	6,13	10	4,04	10	14,20 (1,65 - 7,70)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	117,03	4	39,08	4	<18,71 (<0,15 - 27,40)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert		Mittelwert (Bereich)
AREVA GmbH Standort Erlangen	Cs-137	4	16,42	4	10,87	4	9,80 (4,73 - 22,30)
	Pu-238	4	<0,29	4	<0,21	4	<0,19 (<0,05 - <0,34)
	Pu-(239+240)	4	<0,21	4	<0,30	4	<0,24 (<0,12 - <0,45)
	U-235	4	0,86	4	0,52	4	0,45 (0,32 - 0,67)
	U-238	4	16,40	4	10,55	4	7,60 (5,20 - 11,80)
	Am-241	4	<0,16	4	<0,09	4	<0,28 (<0,12 - <0,70)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	2	10,20	2	10,25	2	10,20 (8,40 - 12,00)
	Pu-238	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	
	Am-241	1	<0,17	1	<0,20	1	<0,20
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	2	7,45	4	6,60	4	7,71 (6,37 - 10,37)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	7,78	4	8,25	5	7,00 (2,80 - 11,00)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	6	5,35	6	6,06	6	4,92 (3,52 - 5,92)
	Pu-(239+240) Asche	a)		a)		a)	
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	4	5,41	4	1,53	3	<3,42 (<1,30 - 6,57)
	U-235	2	0,46	a)		a)	
Zwischenlager Nord	Cs-137	6	6,52	6	7,27	6	5,36 (2,08 - 8,06)
	U-235	6	0,66	a)		a)	
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	4	7,21	2	9,06	a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	10	8,67	9	7,97	5	8,37 (4,74 - 11,00)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	6	11,62	5	10,90	5	11,56 (8,47 - 18,00)
KKE Emsland	Cs-137	10	7,29	10	6,31	5	7,17 (2,92 - 15,40)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	22	19,28	24	19,79	13	21,03 (6,45 - 49,00)
	Sr-90	2	1,36	4	4,38	2	5,35 (5,23 - 5,47)
	Pu-238	2	<0,15	2	<0,20	2	<0,20 (<0,20 - <0,21)
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
Schacht Konrad II ^{b)}	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert		Mittelwert (Bereich)
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Cs-137	a)		a)		a)	
	U-234	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	2	8,16	7	5,72	3	5,57 (5,40 - 5,90)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	2	13,05	2	12,05	8	3,89 (3,18 - 5,73)
	Sr-90	a)		a)		6	0,92 (0,08 - 2,00)
KWW Würgassen ^{c)}	Cs-137	10	11,93	14	11,30	14	12,01 (6,10 - 24,30)
THTR Uentrop ^{c)}	Cs-137	4	12,56	4	16,20	4	<4,76 (<0,22 - 9,69)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	5	7,32	5	6,26	5	7,22 (5,40 - 9,10)
	Sr-90	5	1,50	5	0,59	5	0,41 (0,29 - 0,48)
UAG Gronau	U-238	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	9,07	4	8,12	4	6,46 (3,87 - 10,60)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	11	7,25	11	7,08	11	7,01 (1,64 - 12,80)
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	10	4,30	10	4,14	10	4,54 (1,90 - 9,10)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	9	5,93	9	4,84	6	5,42 (2,90 - 9,20)
	Sr-90	2	0,17	3	<0,31	2	0,23 (0,17 - 0,28)
	Gesamt-β	4	643	5	614	3	607 (540 - 670)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	6	5,96	6	6,30	6	4,80 (3,70 - 6,40)
	Sr-90	2	0,27	2	0,16	2	0,15 (0,11 - 0,18)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	5	12,68	5	17,84	6	18,10 (9,00 - 33,50)
	Sr-90	a)		1	2,10	1	2,70
KKK Krümmel	Cs-137	8	4,43	6	4,50	8	5,18 (3,50 - 8,30)
	Sr-90	4	0,43	4	0,48	4	0,53 (0,43 - 0,66)
KBR Brokdorf	Cs-137	8	7,06	6	8,57	8	7,71 (2,45 - 15,00)
	Sr-90	4	1,13	1	0,90	4	0,98 (0,54 - 1,40)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert		Mittelwert (Bereich)
Zwischenlager	Cs-137	4	7,58	4	10,43	4	11,12 (5,46 - 13,00)
Brokdorf	Sr-90	2	1,25	2	1,35	2	1,35 (1,20 - 1,50)

a) Messwerte lagen nicht vor
b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.
c) im Betrieb des sicheren Einschlusses

Tabelle T II.43 Spezifische Aktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz
(Specific activity of vegetation in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	10	<0,12	10	<0,11	10	<0,13 (<0,07 - <0,21)
	Pu-238	4	<0,04	4	<0,11	a)	
	Pu-(239+240)	4	<0,02	4	<0,04	4	<0,13 (<0,10 - <0,14)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,26	4	<0,23	4	<0,25 (<0,05 - <0,44)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	6	<0,25	6	<0,21	4	<0,23 (<0,07 - <0,33)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	<0,40	6	<0,31	6	<0,53 (0,04 - 1,70)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	<0,17	6	0,16	6	0,06 (0,03 - 0,15)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	0,15	2	0,25	2	0,66 (0,43 - 0,89)
Bayern							
KGK Gundremmingen	Cs-137	10	<0,32	10	<0,18	10	<0,12 (<0,03 - 0,32)
KKI Isar	Cs-137	12	0,37	12	0,35	12	0,32 (0,08 - 1,02)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	<0,20	10	<0,24	10	<0,17 (<0,07 - <0,30)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	<0,22	4	0,58	4	<0,28 (0,12 - <0,42)
AREVA GmbH	Cs-137	4	<0,20	4	<0,53	4	0,59 <0,04 - 1,03)
Standort Erlangen	Pu-238	4	<0,16	4	<0,01	a)	
	Pu-(239+240)	4	<0,12	4	<0,02	a)	
	U-235	4	<0,10	4	<0,01	4	0,47 (0,10 - 0,94)
	U-238	4	0,22	4	0,11	4	<0,02 (<0,00 - <0,04)
	Am-241	4	<0,09	4	<0,01	4	<0,06 (<0,00 - <0,19)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	2	<0,19	2	<0,23	2	<0,30 (<0,24 - <0,35)
	Pu-238	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Berlin Forschungsreaktor BERII	U-238	a)		a)		1	<0,25
	Am-241	1	<0,20	1	<0,37	a)	
	Cs-137	2	0,49	4	0,47	3	0,81 (0,60 - 0,93)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Brandenburg KKR Rheinsberg	Cs-137	4	1,08	4	<0,72*	7	<1,79* (<0,40 - 5,60)
Hessen KWB Biblis	Cs-137	6	<0,17	6	<0,17	6	<0,08 (<0,05 - <0,14)
Mecklenburg-Vorp. KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,36	4	<0,21	4	<0,15 (<0,10 - 0,19)
Zwischenlager Nord	Cs-137	6	<0,24	6	<0,66	6	<0,18 (<0,12 - 0,41)
Niedersachsen KKS Stade	Cs-137	4	<0,12	2	<0,06	a)	
KKU Unterweser	Cs-137	10	<0,13	9	<0,14	5	<0,10 (<0,04 - 0,13)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	6	<0,09	8	<0,12	5	<0,15 (<0,06 - <0,26)
Zwischenlager Grohnde	Cs-137	a)		a)		a)	
KKE Emsland	Cs-137	8	<0,18	8	<0,23	4	<0,25 (<0,05 - 0,56)
Zwischenlager Lingen	Cs-137	a)		a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	16	<13,74	17	<2,92	10	5,04 (0,20 - 20,09)
	Sr-90	2	2,59	2	1,06	2	0,95 (2,66 - 9,25)
Schacht Konrad II ^{b)}	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
	Gesamt- α	a)		a)		a)	
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Cs-137	a)		a)		a)	
	Pu-238	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
	U-234	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	2	<0,26	7	<0,11		<0,15 (<0,09 - 0,18)
Nordrhein-Westfalen FZ Jülich	Cs-137	2	<0,09	2	<0,17	3	<0,06 (0,04 - 0,08)
	Sr-90	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWW Würgassen ^{c)}	Cs-137	6	0,23	10	<0,18	10	<0,30 (0,07 - <0,53)
	Sr-90	a)		a)		a)	
THTR Uentrop ^{c)}	Cs-137	4	<3,38	4	<0,51	4	<0,21 (<0,03 - 0,54)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	10	<0,17	10	<0,19	10	<0,25 (0,06 - 0,58)
	Sr-90	10	0,93	10	0,35	10	0,36 (0,14 - 0,62)
UAG Gronau	U-238	a)		a)		a)	
	Uran (Bq/kg TM)	a)		12	<0,35	12	<0,27 (0,23 - 0,49)
	Fluor (mg/kg TM)	a)		12	<1,61	12	<1,76 (<1,50 - 3,10)
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	<0,24	4	<0,17	4	<0,18 (<0,10 - <0,25)
Cattenom (Frankreich)	Cs-137	6	<0,09	6	<0,12	6	<0,08 (<0,03 - <0,13)
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	10	<0,14	8	<0,10*	9	<0,16* (<0,06 - 0,32)
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	9	<0,29	10	<0,30	14	<0,79 (<0,03 - 8,60)
	Gesamt-β	4	233	4	220	2	260 (260 - 260)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,16	3	<0,12	4	<0,23 (0,14 - 0,28)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	5	<0,10	5	<0,09	6	<0,13 (<0,07 - 0,24)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKK Krümmel	Cs-137	4	<0,10	4	<0,10	4	<0,13 (<0,08 - <0,17)
	Sr-90	4	0,32	4	0,26	4	0,41 (0,35 - 0,48)
KBR Brokdorf	Cs-137	6	<0,20	8	<0,13	6	<0,13 (0,09 - 0,18)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	4	<0,14	3	<0,10	4	<0,12 (<0,09 - <0,16)
a) Messwerte lagen nicht vor b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme. c) im Betrieb des sicheren Einschusses * In Bq/kg TM angegebene echte Messwerte wurden mit dem Faktor 0,2 in Bq/kg FM umgerechnet. Nachweisgrenzen wurden nicht umgerechnet.							

Tabelle T II.44 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in Deutschland
(General monitoring of groundwater and drinking water in Germany)

	Nuklid	2018						2017
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^a	Maximal- wert ^a	Mittel- wert ^a	Median ^b	Median ^b
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	99	59	25	580		<170	200
	Cs-137	99	99				<8,0	<8,0
	Sr-90	51	26	0,23	14		<3,8	4,0
	H-3	62	55	860	1 600		<4 500	<3 900
	U-234	47	19	0,020	130	21	2,3	<2,5
	U-235	49	40	0,002	1,0		<0,86	<1,0
	U-238	47	21	0,013	98	11	<1,9	<2,5
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	96	6	22	870		170	<180
	Cs-137	101	97	0,14	2,1		<7,8	<7,6
	Sr-90	45	22	0,80	18	4,0	<3,5	3,0
	H-3	51	43	920	3 100		<3 400	<3 500
	U-234	43	17	0,18	97	14	<3,9	2,8
	U-235	44	35	0,20	8,7		<1,0	<0,92
	U-238	43	18	0,098	86	12	2,1	1,6
Reinwasser	K-40	239	175	18	870		<170	<150
	Cs-137	241	241				<8,5	<8,0
	Sr-90	72	35	0,90	10	3,4	3,2	3,0
	H-3	73	59	520	4 000		<5 000	<5 000
	U-234	71	28	0,067	110	11	<2,7	3,2
	U-235	71	59	0,006	4,0		<0,93	<0,94
	U-238	71	31	0,030	92	9,5	2,0	3,2
<p>a Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.</p> <p>b Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.</p>								

Tabelle T II.45 Umgebungsüberwachung von Anlagen nach Atomgesetz in Deutschland (Grundwasser und Trinkwasser)
(Surveillance of the surroundings of facilities - according to the Atomic Energy Act groundwater and drinking water)

	Nuklid	2018						2017
		Anzahl gesamt ^a	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^b	Maximal- wert ^b	Mittel- wert ^b	Median ^c	Median ^c
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	238	157	28	24 000		<500	<480
	Co-60	350	345	5,1	17		<29	<30
	Cs-137	240	240				<29	<30
	Sr-90	15	7	0,094	21	4,6	<5,6	2,9
	H-3	376	342	1 100	32 000		5 500	<5 700
	R-Beta	24	24				<100	<100
	G-Alpha	49	26	18	120		<50	<50
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	60	33	29	710		<190	<270
	Co-60	60	60				<8,5	<10
	Cs-137	55	55				<8,8	<10
	Sr-90	9	6	0,18	3,7		<1,0	<1,0
	H-3	62	52	910	9 100		<3 300	<2 800
	G-Alpha	6	0	26	50	36	34	44
Reinwasser	K-40	96	56	23	260		<98	<260
	Co-60	108	108				<4,6	<10
	Cs-137	96	96				<5,0	<9,7
	Sr-90	31	25	0,17	2,1		<10	5,0
	H-3	109	104	1 100	16 000		<5 300	<5 300
<p>a Gemäß REI-Messprogramm ist bei der γ-Spektrometrie die Einhaltung der NWG nur für das Radionuklid Co-60 vorgeschrieben, d. h. für andere γ-strahlende Radionuklide müssen die NWG von der Messstelle nicht angegeben werden. Da nicht alle Messstellen die NWG für Cs-137 und K-40 mitteilen, kann für diese Nuklide die Anzahl der gemeldeten Werte kleiner als für Co-60 sein.</p> <p>b Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.</p> <p>c Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.</p>								

Tabellen

Tabelle T II.46 Radioaktive Kontamination der Rohmilch
(Radioactive contamination of the raw milk)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2016	11	0,06	62	<0,15
	2017	16	<0,05 (<0,01 - <0,12)	69	<0,13 (<0,01 - 0,12)
	2018	19	<0,04 (<0,01 - <0,13)	63	<0,10 (<0,02 - 0,25)
Bayern	2016	24	0,04	218	<0,14
	2017	29	<0,17 (0,02 - <0,66)	216	<0,13 (<0,07 - <0,26)
	2018	26	<0,09 (0,02 - <0,46)	222	<0,13 (0,06 - 0,56)
Berlin	2016	13	<0,02	24	<1,22
	2017	14	<0,03 (<0,01 - <0,08)	24	<0,92 (<0,09 - 2,93)
	2018	12	<0,48 (<0,01 - <5,20)	24	<0,25 (<0,08 - 1,15)
Brandenburg	2016	24	<0,29	62	<0,29
	2017	23	<0,34 (<0,01 - <4,10)	60	<0,25 (<0,07 - 1,00)
	2018	23	<0,52 (0,01 - <4,90)	63	<0,16 (<0,05 - 1,00)
Bremen	2016	12	<0,03	12	<0,32
	2017	12	<0,02 (<0,01 - <0,04)	12	<0,46 (<0,06 - 1,56)
	2018	12	<0,02 (<0,00 - <0,05)	12	<0,24 (<0,06 - 0,79)
Hamburg	2016	12	0,01	12	<0,10
	2017	12	<0,01 (<0,01 - <0,02)	12	<0,11 (<0,07 - <0,17)
	2018	12	0,01 (0,01 - 0,02)	12	<0,12 (<0,07 - <0,16)
Hessen	2016	16	0,03	48	<0,07
	2017	16	<0,26 (0,02 - <1,20)	48	<0,08 (<0,04 - <0,16)
	2018	16	<0,45 (0,02 - <2,29)	49	<0,07 (<0,03 - <0,13)
Mecklenburg-Vorpommern	2016	12	<0,02	48	<0,18
	2017	13	<0,02 (<0,01 - <0,09)	48	<0,16 (<0,09 - 0,30)
	2018	13	<0,01 (0,01 - <0,02)	47	<0,16 (<0,12 - 0,19)
Niedersachsen	2016	26	<0,02	153	<0,17
	2017	27	<0,05 (0,01 - 0,13)	155	<0,21 (0,05 - 0,70)
	2018	27	<0,07 (0,02 - 0,28)	150	<0,25 (0,05 - 5,56)
Nordrhein-Westfalen	2016	13	<0,05	102	<0,12
	2017	13	<0,03 (<0,01 - <0,08)	105	<0,12 (<0,03 - 0,26)
	2018	13	<0,03 (<0,01 - <0,10)	104	<0,15 (<0,03 - 1,01)
Rheinland-Pfalz	2016	12	0,02	38	<0,06
	2017	13	0,02 (0,01 - 0,04)	39	<0,05 (<0,02 - <0,08)
	2018	12	0,02 (0,01 - 0,02)	36	<0,05 (<0,02 - <0,07)
Saarland	2016	12	0,02	15	<0,04
	2017	12	<0,05 (<0,02 - 0,13)	14	<0,08 (<0,01 - 0,19)
	2018	12	<0,04 (<0,02 - 0,07)	15	<0,08 (<0,05 - 0,19)
Sachsen	2016	12	<0,47	60	<0,09
	2017	12	<0,58 (0,02 - <5,10)	60	<0,10 (0,05 - 0,13)
	2018	12	<0,31 (0,01 - <1,80)	60	<0,10 (0,06 - <0,16)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	2016	12	<0,66	72	<0,39
	2017	12	<1,00 (<1,00 - <1,00)	72	<0,19 (<0,09 - 2,37)
	2018	12	<0,47 (<0,03 - <1,00)	72	<0,11 (0,07 - 0,37)
Schleswig-Holstein	2016	14	<0,04	86	<0,13
	2017	12	<0,04 (<0,02 - <0,10)	84	<0,12 (0,05 - <0,15)
	2018	12	<0,04 (<0,02 - <0,10)	84	<0,13 (0,06 - 0,20)
Thüringen	2016	16	0,69	36	<0,10
	2017	15	<0,66 (0,01 - <3,90)	36	<0,11 (<0,08 - <0,15)
	2018	16	<0,66 (0,01 - <3,27)	37	<0,10 (<0,09 - <0,12)
Bundesrepublik (gesamt)	2016	241	<0,15	1048	<0,18
	2017	249	<0,20 (<0,01 - <5,10)	1053	<0,17 (<0,01 - 2,93)
	2018	249	<0,21 (<0,00 - <5,20)	1050	<0,14 (<0,02 - 5,56)

Tabelle T II.47 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2018
(Range of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2018)

Produkt	N	Cs-134 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1050	<3,00	<0,01	5,56	<0,02
Käse	5	<0,13	<0,05	<0,26	<0,05
Milchpulver	a)				
Importe					
Käse	81	<0,25	<0,05	<0,30	0,04
Frischkäse	2	<0,10	<0,08	<0,11	<0,11
Schafskäse	6	<0,17	<0,04	<0,16	<0,04
Lakenkäse	1	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13

Tabelle T II.48 Radioaktive Kontamination der Milch in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz
(Radioactive contamination of milk in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l				
		2017		2018		
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,03	2	0,02 (0,01 - 0,02)
		Sr-90	2	0,02	2	0,02 (0,02 - 0,02)
		I-131 (nur Bereich)	a)		1	<0,032
KWO Obrigheim		Cs-137	4	<0,03	4	<0,04 (<0,02 - <0,05)
		Sr-90	4	0,02	4	0,01 (0,01 - 0,02)
		I-131 (nur Bereich)	10	<0,005 - <0,007	10	<0,004 - <0,007
GKN Neckarwestheim		Cs-137	4	<0,03	4	<0,03 (<0,02 - <0,03)
		Sr-90	4	0,01	4	0,02 (0,01 - 0,02)
		I-131 (nur Bereich)	10	<0,004 - <0,009	9	<0,004 - <0,009

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKP Philippsburg	Cs-137	4	<0,02	4	<0,02 (<0,01 - <0,03)
	Sr-90	4	0,02	4	<0,02 (<0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,006 - <0,009	11	<0,005 - <0,009
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	<0,03	5	<0,03 (<0,02 - 0,04)
	Sr-90	5	0,02	5	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,003 - <0,012	11	<0,003 - <0,007
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	<0,04	4	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,003 - <0,068	10	<0,004 - <0,006
Bayern					
KRB Gundremmingen	Cs-137	6	<0,03	6	<0,03 (0,02 - 0,05)
	Sr-90	6	<0,02	6	<0,01 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,005 - <0,007	18	<0,004 - <0,006
KKI Isar	Cs-137	4	<0,06	4	0,06 (0,04 - 0,08)
	Sr-90	4	<0,02	4	<0,02 (<0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,006 - <0,008	12	<0,004 - <0,005
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	6	<0,09	6	<0,08 (<0,08 - <0,09)
	Sr-90	6	<0,02	6	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,006 - <0,0010	18	<0,005 - <0,008
FRM II	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
Brandenburg					
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	<0,18	4	<0,11 (<0,08 - <0,16)
	Sr-90	4	0,06	4	0,01 (0,01 - 0,01)
	I-131 (nur Bereich)	4	<0,098 - <0,172	4	<0,080 - <0,119
Hessen					
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,06	10	<0,06 (<0,02 - <0,11)
	Sr-90	5	<0,01	10	<0,02 (<0,01 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	30	<0,003 - <0,010	28	<0,004 - <0,008
Mecklenburg-Vorpommern					
KGR Greifswald	Cs-137	2	<0,17	2	<0,17 (<0,15 - <0,19)
	Sr-90	2	<0,02	2	<0,02 (<0,01 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,140 - <0,155	2	<0,132 - <0,135
Niedersachsen					
KKS Stade	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	4	<0,07	2	<0,56 (<0,09 - 1,02)
	Sr-90	4	0,01	2	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,011	4	<0,006 - <0,008

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWG Grohnde	Cs-137	4	<0,07	2	<0,07 (<0,06 - <0,08)
	Sr-90	4	0,01	2	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,011	4	<0,006 - <0,049
KKE Emsland	Cs-137	4	<0,09	2	<0,05 (<0,05 - <0,05)
	Sr-90	4	0,01	2	0,01 (0,01 - 0,01)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,011	4	<0,005 - <0,010
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	24	<0,192	8	<0,12 (0,05 - 0,22)
	Sr-90	12	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-129 (µBq/l)	a)		a)	
Schacht Konrad II ^{b)}	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	1	<0,09	a)	
Nordrhein-Westfalen					
FZ Jülich	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	4	0,03	4	0,02 (0,01 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,003 - <0,008	38	<0,003 - <0,010
KWW Würgassen ^{c)}	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
THTR Uentrop ^{c)}	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
UAG Gronau	Uran (Bq/l)	12	<0,23	12	<0,23
	Fluor (mq/l)	12	<0,42	12	<0,42
Rheinland-Pfalz					
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	<0,07	2	<0,07 (<0,06 - <0,07)
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,08 - <0,09	2	<0,08 - <0,06
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	6	<0,02	6	<0,04 (<0,01 - <0,12)
	Sr-90	6	0,02	6	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,006 - <0,009	12	<0,006 - <0,008
Sachsen					
VKTA Rossendorf	Cs-137	2	0,06	2	<0,10 (<0,09 - 0,11)
	Sr-90	2	0,03	2	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,083 - <0,086	2	<0,081 - <0,1
Sachsen-Anhalt					
Endlager Morsleben	Cs-137	5	<0,10	3	<0,10 (<0,08 - <0,12)
	Sr-90	a)		a)	
Schleswig-Holstein					
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,13	4	<0,13 (<0,12 - <0,14)
	Sr-90	4	<0,03	4	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	4	<0,04	4	0,04 (0,03 - 0,05)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	31	<0,005 - <0,010	32	<0,004 - <0,010
KKK Krümmel	Cs-137	6	<0,05	6	0,04 (0,02 - 0,11)
	Sr-90	6	0,02	6	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,005 - <0,008	18	<0,005 - <0,009
KBR Brokdorf	Cs-137	6	<0,04	6	<0,05 (<0,03 - 0,07)
	Sr-90	6	0,02	6	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,005 - <0,010	18	<0,005 - <0,009
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	2	<0,03	2	<0,03 (<0,03 - <0,04)
	Sr-90	2	0,02	2	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	6	<0,006 - <0,010	6	<0,005 - <0,007

a) Messwerte lagen nicht vor
b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme
c) im Betrieb des sicheren Einschlusses

Tabelle T II.49 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen
(Specific Cs-137 activity in freshwater fish)

Messungen der Bundesländer

Gewässer	Region	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2018					2017
		N	nn	min.	max.	Median	Median
Binnenseen	Norddeutschland	57	6	<0,08	25,0	0,95	1,53
	Mitteldeutschland	9	3	<0,07	16,7	4,16	0,17
	Süddeutschland	6	2	<0,12	0,29	0,14	0,23
Fischteiche	Norddeutschland	7	2	<0,11	0,42	0,16	<0,21
	Mitteldeutschland	17	9	<0,11	1,21	0,14	0,10
	Süddeutschland	25	14	0,05	0,41	0,08	0,11
Fließgewässer	Norddeutschland	5	2	<0,09	0,30	0,17	<0,08
	Mitteldeutschland	19	13	0,07	2,50	0,10	0,11
	Süddeutschland	4	4	<0,14	<0,20	<0,17	<0,19
nicht spezifizierte Gewässer	Norddeutschland	8	2	<0,09	0,41	0,16	0,14
	Mitteldeutschland	16	7	<0,04	0,37	0,11	<0,10
	Süddeutschland	7	2	<0,05	0,21	0,08	<0,11

Tabelle T II.50 Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen
(Cs-137 activity in trout and carp)

Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

Fisch	Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2018					2017
	N	nn	min.	max.	Median	Median
Forellen	35	21	0,05	0,41	0,08	0,08
Karpfen	25	11	0,09	4,16	0,14	0,14

Tabelle T II.51 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus der Nord- und Ostsee
(Specific Cs-137 activity in fish, crustaceans and molluscs from the North Sea and the Baltic Sea)
 Messungen der Bundesländer und der Leitstelle

Gewässer	Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2018					2017
		N	nn	min.	max.	Median	Median
Nordsee	Fische	22	12	<0,08	6,99	0,11	0,13
	Garnelen	16	16	<0,08	<0,18	<0,10	<0,11
	Miesmuscheln	13	13	<0,08	<0,14	<0,09	<0,09
Ostsee	Fische	12	3	<0,14	5,65	0,26	1,36*

* Abweichung zum Jahresbericht 2017, da für die entsprechend Tabelle T II.55 nachgemeldete Messwerte berücksichtigt wurden

Tabelle T II.52 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen
(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products)

Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2018					2017
	N	nn	min.	max.	Median	Median
Süßwasserfisch	36	23	<0,05	2,94	<0,08	<0,13
Seefisch	123	79	<0,04	6,99	0,07	0,10
Krusten- u. Schalentiere	10	10	<0,08	<0,15	<0,10	<0,09
Fischereierzeugnisse	13	10	<0,08	0,28	<0,08	<0,09

Tabelle T II.53 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen aus dem Pazifik
(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products from the Pacific Ocean)

Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2018					2017
	N	nn	min.	max.	Median	Median
Seefisch	23	15	<0,04	0,29	0,09	0,10
Fischereierzeugnisse	4	4	<0,08	<0,11	<0,09	<0,12

Tabelle T II.54 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren
(*Specific Sr-90 activity in fish, crustaceans and molluscs*)

Messungen der Bundesländer

Probenart	Gewässer	spez. Sr-90-Aktivität in Bq/kg FM					
		2018					2017
		N	nn	min.	max.	Median	Median
Fisch	Binnenseen	15	4	0,003	0,110	0,018	0,026
	Fischteiche	5	0	0,011	0,090	0,016	0,035
	Fließgewässer	5	2	0,004	0,079	0,013	0,018
Garnelen	Nordsee	12	11	<0,010	0,023	<0,015	<0,020
Miesmuscheln	Nordsee	9	7	<0,010	0,061	<0,010	<0,010

Tabelle T II.55 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten von Fischen aus verschiedenen Meeresgebieten inkl. Nachtrag zu früheren Jahren
(*Specific radionuclide activities in fish from different marine areas incl. supplement to earlier years*)

Ergebnisse der Leitstelle am Thünen-Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven

Meer / Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
					min.	max.	Median
Grönland							
Fischfleisch	Cs-137	2014	6	0	0,18	0,32	0,20
		2016	2	0	0,16	0,20	0,18
	Cs-134	2014	6	6	<0,008	<0,018	<0,014
		2016	2	2	<0,009	<0,012	<0,010
Nordsee							
Fischfleisch	Cs-137	2014	5	0	0,06	0,25	0,18
		2015	1	0			0,22
		2016	3	0	0,14	0,15	0,15
Gesamtfisch	Cs-137	2013	1	0			0,08
		2014	13	0	0,08	0,20	0,15
		2015	8	0	0,07	0,25	0,16
		2016	14	0	0,07	0,22	0,11
		2017	3	0	0,05	0,07	0,05
		2018	1	0			0,09
Ostsee (südliche und westliche)							
Fischfleisch	Cs-137	2015	21	0	0,65	6,13	3,08
		2016	8	0	0,61	6,44	2,34
		2017	1	0			4,12
Gesamtfisch	Cs-137	2015	7	0	0,71	3,33	2,65
		2016	9	0	0,64	2,97	1,37
		2017	2	0	0,95	1,77	1,37
		2018	2	0	1,65	2,22	1,94

Tabelle T II.56 Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz

(Activity in fish and aquatic plants - within the framework of ambient surveillance for facilities according to the Atomic Energy Act)

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2018					2017
			N	nn	min.	max.	Median	Median
Fisch (Bq/kg FM)								
Donau	KGG Gundremmingen	Cs-137	6	2	0,12	0,30	0,16	0,19
Elbe	HZ Geesthacht (ex GKSS)	Cs-137	6	3	<0,12	0,30	<0,14	0,22
		Cs-137	4	0	0,20	0,34	0,28	0,28
		Cs-137	3	0	0,13	0,23	0,14	0,26
		Cs-137	0	0				0,26
		Sr-90	3	2	<0,004	0,014	<0,005	<0,05
		Cs-137	3	0	0,17	0,24	0,18	0,30
		Cs-137	3	0	0,14	0,19	0,19	0,42
Ems	KKE Emsland	Cs-137	2	0	0,12	0,27	0,2	0,16
Greifswalder Bodden	KGR Greifswald	Cs-137	3	0	0,56	2,82	0,60	4,36
Sacrower	HZB (ehem. HMI) Berlin	Cs-137	1	0			13	13
Kl. Wannsee		Cs-137	1	0			0,35	0,35
Gr. Wannsee		Cs-137	1	0			0,34	0,34
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	2	0,14	0,32	0,14	0,18
	FRM II Garching	Cs-137	1	0			0,23	<0,19
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	3	<0,16	1,20	<0,17	<0,19
Mosel	Cattenom (Frankreich)	Sr-90	4	4	<0,01	0,04	<0,01	<0,01
		Cs-137	4	4	<0,03	0,07	<0,075	<0,07
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	1	0,03	<0,06	0,04	0,04
	KWO Obrigheim	Cs-137	4	2	0,07	<0,09	0,08	0,02
Rhein	KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,07	0,11	0,09	0,10
		Sr-90	6	0	0,01	0,04	0,03	0,02
	Cs-137	6	5	0,05	<0,21	0,09	0,05	
	KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	3	<0,16	1,2	<0,17	0,05
	KKP Philippsburg	Sr-90	1	0			0,02	0,02
		Cs-137	4	0	0,04	0,28	0,11	0,07
	Rur	KIT Karlsruhe	Cs-137	3	0	<0,05	0,13	0,12
Cs-137			2	2	0,18	0,25	0,22	0,22
Co-60			0	0				<0,14
Stechlinsee *	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	11,7	25,0	18,4	18,0
Ellbogensee *	KKR Rheinsberg	Cs-137	1	0			3,10	3,80
Weser	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,08	0,32	0,15	0,25
	KWG Grohnde	Cs-137	3	2	<0,03	0,03	0,03	0,04
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)								
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60	1	1			<0,36	<0,29
		Cs-137	0	0				0,36

Tabellen

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2018					2017
			N	nn	min.	max.	Median	Median
Moorbach	Ahaus	Co-60	1	1			<0,36	<0,35
		Cs-137	0	0				
Donau	KGG Gundremmingen	Co-60	2	2	<0,18	<0,50	<0,34	0,65
		Cs-134	2	2	<1,05	<0,30	<0,20	<4,19
		Cs-137	2	0	3,18	6,04	4,61	4,04
Isar	FRM II Garching	Co-60	4	2	<0,14	0,74	0,19	<0,26
		Cs-137	4	0	0,38	10,1	7,92	7,29
	KKI 1/2 Isar	Mn-54	0	0				
		Co-60	1	0			0,57	1,16
Main	KKG Grafenrheinfeld	I-131	1	0			15,5	19,1
		Cs-137	1	0			10,8	16,5
		Co-60	2	1	0,14	0,50	<0,14	0,35
		Cs-137	2	0	0,66	3,50	2,08	2,15

N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG
* stehendes Gewässer

Tabelle T II.57 Weizen, Inland
(Wheat, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2017	22	<0,12 (<0,05 - <0,18)	2	0,18 (0,09 - 0,26)
	2018	21	<0,10 (<0,03 - <0,19)	3	0,17 (0,06 - 0,27)
Bayern	2017	53	<0,15 (<0,08 - <0,23)	11	0,19 (0,10 - 0,59)
	2018	55	<0,13 (0,05 - 0,26)	9	0,17 (0,04 - 0,40)
Berlin	2017	1	<0,09	1	0,07
	2018	1	<0,11	1	0,13
Brandenburg	2017	27	<0,11 (<0,04 - <0,18)	2	0,08 (0,06 - 0,10)
	2018	21	<0,12 (<0,06 - 0,20)	1	0,1
Bremen	2017	3	<0,11 (<0,06 - <0,14)		
	2018	3	<0,07 (<0,07 - <0,07)		
Hamburg	2017	3	<0,09 (0,06 - <0,12)	1	0,07
	2018	3	<0,10 (<0,09 - <0,10)		
Hessen	2017	17	<0,10 (<0,07 - <0,13)		
	2018	17	<0,09 (<0,04 - <0,12)		
Mecklenburg-Vorpommern	2017	36	<0,13 (<0,10 - <0,17)	1	0,09
	2018	36	<0,14 (<0,12 - <0,18)	3	0,05 (0,04 - 0,06)
Niedersachsen	2017	40	<0,20 (<0,08 - <1,94)	7	<0,12 (<0,04 - 0,21)
	2018	41	<0,15 (<0,04 - 0,30)	6	<0,24 (<0,04 - <1,00)
Nordrhein-Westfalen	2017	24	<0,14 (<0,04 - <0,27)	1	0,04
	2018	27	<0,12 (<0,03 - <0,19)	3	0,05 (0,02 - 0,09)
Rheinland-Pfalz	2017	24	<0,08 (<0,03 - <0,11)	3	0,10 (0,06 - 0,12)
	2018	21	<0,07 (<0,03 - <0,09)	5	0,09 (0,05 - 0,13)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Saarland	2017	2	<0,08 (<0,06 - 0,10)	1	0,27
	2018	2	<0,08 (<0,08 - 0,09)	1	0,12
Sachsen	2017	30	<0,12 (<0,10 - <0,17)	3	0,12 (0,09 - 0,14)
	2018	30	<0,12 (<0,10 - <0,15)	3	0,12 (0,09 - 0,13)
Sachsen-Anhalt	2017	33	<0,14 (<0,09 - 0,30)	3	0,07 (0,06 - 0,09)
	2018	36	<0,12 (<0,07 - <0,17)	3	<0,08 (<0,02 - 0,17)
Schleswig-Holstein	2017	35	<0,17 (<0,12 - 0,56)	4	0,08 (0,07 - 0,10)
	2018	35	<0,14 (<0,11 - <0,18)	4	0,11 (0,08 - 0,15)
Thüringen	2017	34	<0,13 (<0,10 - <0,16)	2	<0,89 (0,09 - <1,68)
	2018	34	<0,13 (<0,10 - <0,14)	2	<0,94 (0,04 - <1,84)
Bundesrepublik (gesamt)	2017	384	<0,14 (<0,03 - <1,94)	42	<0,16 (<0,04 - <1,68)
	2018	383	<0,12 (<0,03 - 0,30)	44	<0,17 (<0,02 - <1,84)

Tabelle T II.58 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import)

Importe	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Niederlande	2017	-	
	2018	1	<0,15
Österreich	2017	-	
	2018	2	<0,08 (<0,08 - <0,08)
Polen	2017	1	<0,12
	2018	2	<0,11 (<0,08 - <0,13)
Serbien	2017	-	
	2018	1	<0,1
Tschechische Republik	2017	3	<0,09 (<0,07 - <0,11)
	2018	1	<0,06

Tabelle T II.59 Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr
(Other cereals, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Gerste	2017	103	<0,14 (0,04 - <0,27)	4	0,24 (0,12 - 0,51)
	2018	110	<0,14 (<0,04 - <0,24)	4	0,13 (0,04 - 0,26)
Hafer	2017	20	<0,27 (<0,05 - 1,46)	2	<0,12 (<0,01 - 0,24)
	2018	24	<0,27 (0,09 - 0,84)	2	0,10 (0,03 - 0,17)
Reis	2017	9	<0,15 (<0,10 - <0,19)	-	
	2018	11	<0,17 (0,08 - 0,56)		
Roggen	2017	131	<0,14 (<0,04 - 0,47)	12	0,15 (0,06 - 0,32)
	2018	130	<0,13 (<0,04 - 0,63)	10	0,13 5(0,06 - 0,32)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Triticale	2017	15	<0,15	(0,05 - 0,40)	-		
	2018	14	<0,14	(<0,08 - 0,326)	2	0,11	(0,08 - 0,14)
sonstiges Getreide	2017	10	<0,11	(<0,04 - <0,20)	-		
	2018	6	<0,18	(<0,09 - 0,49)	1	0,07	
- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden							

Tabelle T II.60 Kalbfleisch, Inland
(*Veal, domestic production*)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2017	5	<0,19 (<0,07 - 0,48)
	2018	4	<0,20 (<0,11 - 0,40)
Bayern	2017	6	<0,23 (<0,08 - 0,82)
	2018	7	<0,22 (<0,09 - 0,60)
Berlin	2017	1	1,3
	2018	1	3,5
Brandenburg	2017	3	<0,24 (<0,12 - 0,30)
	2018	3	<1,27 (<0,10 - 2,70)
Bremen	2017	3	0,33 (0,19 - 0,57)
	2018	3	<0,13 (<0,07 - 0,20)
Hamburg	2017	3	0,17 (0,15 - 0,18)
	2018	4	0,20 (0,12 - 0,24)
Hessen	2017	3	<0,18 (<0,11 - 0,27)
	2018	3	<0,16 (<0,09 - 0,28)
Mecklenburg-Vorpommern	2017	2	0,56 (0,42 - 0,70)
	2018	3	<0,48 (<0,14 - 0,67)
Niedersachsen	2017	12	<0,79 (<0,10 - 4,10)
	2018	11	<0,61 (<0,10 - 3,90)
Nordrhein-Westfalen	2017	14	<0,18 (0,08 - 0,44)
	2018	15	<0,72 (0,11 - 8,45)
Rheinland-Pfalz	2017	2	<0,20 (<0,10 - 0,31)
	2018	2	0,20 (0,12 - 0,28)
Saarland	2017	1	<0,1
	2018		
Sachsen	2017	3	0,54 (0,13 - 1,37)
	2018	4	<0,35 (<0,13 - 0,61)
Sachsen-Anhalt	2017	3	<0,14 (<0,10 - 0,19)
	2018	3	<0,10 (<0,09 - <0,12)
Schleswig-Holstein	2017	1	<0,13
	2018	1	1,88

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Thüringen	2017	3	<0,12 (<0,12 - <0,13)
	2018	4	<0,12 (<0,08 - 0,19)
Bundesrepublik (gesamt)	2017	65	<0,35 (<0,07 - 4,10)
	2018	68	<0,51 (<0,07 - 8,45)

Tabelle T II.61 Rindfleisch, Inland
(Beef, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2017	43	<0,50 (<0,06 - 9,88)
	2018	41	<0,37 (<0,05 - 3,62)
Bayern	2017	89	<0,48 (<0,08 - 5,42)
	2018	86	<0,36 (<0,08 - 3,49)
Berlin	2017	6	3,11 (0,48 - 11,9)
	2018	6	0,31 (0,14 - 0,68)
Brandenburg	2017	9	<0,96 (<0,14 - 4,60)
	2018	8	<0,96 (<0,10 - 2,86)
Bremen	2017	6	<0,47 (<0,14 - 0,94)
	2018	6	<0,64 (<0,10 - 1,69)
Hamburg	2017	6	<0,13 (0,06 - 0,19)
	2018	6	<0,46 (0,08 - 1,32)
Hessen	2017	12	<0,13 (<0,09 - 0,26)
	2018	12	<0,11 (<0,01 - 0,25)
Mecklenburg-Vorpommern	2017	15	<0,54 (<0,08 - 1,57)
	2018	14	<0,33 (<0,08 - 0,72)
Niedersachsen	2017	49	<0,78 (<0,07 - 6,63)
	2018	44	<0,65 (0,08 - 7,12)
Nordrhein-Westfalen	2017	50	<0,16 (<0,04 - 1,18)
	2018	56	<0,17 (<0,03 - 1,66)
Rheinland-Pfalz	2017	16	<0,10 (<0,08 - 0,15)
	2018	15	<0,17 (<0,07 - 0,55)
Saarland	2017	6	<0,18 (<0,08 - 0,56)
	2018	6	<0,18 (0,12 - 0,26)
Sachsen	2017	11	<0,20 (0,13 - 0,40)
	2018	11	<0,15 (0,12 - 0,24)
Sachsen-Anhalt	2017	12	<0,25 (<0,09 - 0,71)
	2018	12	<0,56 (<0,09 - 4,50)
Schleswig-Holstein	2017	26	<0,53 (<0,09 - 5,06)
	2018	27	<0,47 (<0,08 - 4,14)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Thüringen	2017	11	<0,13 (<0,09 - 0,24)
	2018	10	<0,12 (<0,10 - 0,19)
Bundesrepublik (gesamt)	2017	367	<0,47 (<0,04 - 11,9)
	2018	360	<0,37 (<0,01 - 7,12)

Tabelle T II.62 Schweinefleisch, Inland
(Pork, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2017	21	<0,14 (<0,10 - <0,22)
	2018	23	<0,14 (<0,09 - 0,22)
Bayern	2017	41	<0,14 (<0,09 - 0,28)
	2018	41	<0,15 (<0,09 - 0,42)
Berlin	2017	7	<0,24 (<0,07 - 0,68)
	2018	6	0,11 (0,08 - 0,15)
Brandenburg	2017	13	<0,17 (<0,09 - 0,40)
	2018	14	<0,21 (<0,07 - 0,78)
Bremen	2017	8	<0,10 (<0,08 - <0,14)
	2018	8	<0,10 (<0,06 - <0,15)
Hamburg	2017	6	<0,17 (0,07 - 0,28)
	2018	6	<0,10 (0,06 - <0,16)
Hessen	2017	12	<0,10 (<0,09 - <0,13)
	2018	12	<0,09 (0,04 - <0,14)
Mecklenburg-Vorpommern	2017	18	<0,13 (<0,07 - 0,22)
	2018	17	<0,19 (<0,07 - 1,25)
Niedersachsen	2017	70	<0,18 (0,07 - 0,94)
	2018	70	<0,16 (<0,03 - 2,00)
Nordrhein-Westfalen	2017	93	<0,12 (<0,03 - <0,27)
	2018	86	<0,13 (<0,03 - <0,23)
Rheinland-Pfalz	2017	13	<0,10 (<0,08 - 0,15)
	2018	13	<0,12 (<0,07 - 0,35)
Saarland	2017	6	<0,11 (0,06 - <0,21)
	2018	6	<0,10 (<0,06 - <0,15)
Sachsen	2017	11	<0,17 (<0,14 - 0,41)
	2018	11	<0,14 (0,10 - <0,15)
Sachsen-Anhalt	2017	24	<0,14 (<0,07 - 0,30)
	2018	24	<0,14 (<0,08 - 0,33)
Schleswig-Holstein	2017	14	<0,12 (<0,09 - 0,18)
	2018	13	<0,19 (<0,10 - 0,76)
Thüringen	2017	15	<0,12 (<0,10 - <0,14)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
	2018	15	<0,13 (<0,10 - 0,20)
Bundesrepublik	2017	372	<0,14 (<0,03 - 0,94)
(gesamt)	2018	365	<0,14 (<0,03 - 2,00)

Tabelle T II.63 Sonstiges Fleisch, Inland und Einfuhr
(Other meat, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kalbfleisch (Import)	2017	29	<0,16 (<0,08 - 0,28)
	2018	34	<0,19 (<0,11 - 0,39)
Rindfleisch (Import)	2017	42	<0,16 (<0,05 - 1,07)
	2018	42	<0,19 (<0,06 - 1,63)
Schweinefleisch (Import)	2017	45	<0,12 (<0,06 - <0,20)
	2018	47	<0,14 (0,05 - <0,22)
Lamm	2017	17	<0,13 (<0,07 - 0,20)
	2018	24	<0,60 (0,05 - 5,40)
Geflügel			
Ente	2017	18	<0,14 (0,10 - <0,20)
	2018	17	<0,17 (<0,08 - 0,59)
Gans	2017	21	<0,15 (<0,07 - 0,36)
	2018	23	<0,12 (<0,05 - 0,29)
Huhn	2017	127	<0,14 (<0,03 - <0,35)
	2018	119	<0,13 (<0,05 - <0,25)
Pute	2017	40	<0,13 (<0,03 - <0,26)
	2018	40	<0,14 (<0,03 - 1,24)

Tabelle T II.64 Wild, Inland und Einfuhr
(*Game, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Haarwildfleisch				
Damwild	2017	10	<9,35	(<0,10 - 42,6)
	2018	7	<10,26	(<0,10 - 51,8)
Hirsch	2017	12	<16,5	(0,11 - 67,0)
	2018	7	<15,1	(<0,15 - 49,4)
Reh	2017	56	<15,2	(0,03 - 119)
	2018	44	<8,13	(<0,12 - 64,0)
Wildschwein	2017	235	<59,4	(<0,09 - 1 170)
	2018	248	<145	(<0,10 - 1 250)
sonstige	2017	-		
	2018	3	2,84	(0,16 - 7,92)

Tabelle T II.65 Kartoffeln, Inland
(*Potatoes, domestic production*)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2017	6	<0,11 (<0,04 - <0,15)		
	2018	6	<0,13 (<0,09 - <0,17)		
Bayern	2017	33	<0,16 (<0,09 - <0,26)	6	0,04 (0,01 - 0,08)
	2018	33	<0,16 (<0,08 - <0,31)	6	<0,04 (0,02 - <0,09)
Berlin	2017	2	<0,18 (<0,14 - 0,22)	1	0,06
	2018	2	<0,15 (<0,14 - 0,16)	1	0,02
Brandenburg	2017	7	<0,15 (<0,13 - <0,20)	1	<0,01
	2018	9	<0,14 (<0,06 - <0,17)	2	<0,01 (<0,01 - 0,02)
Bremen	2017	2	<0,11 (<0,10 - <0,12)		
	2018	2	<0,08 (<0,07 - <0,09)		
Hamburg	2017	2	<0,16 (<0,16 - <0,16)		
	2018	2	<0,11 (<0,07 - <0,16)		
Hessen	2017	5	<0,10 (<0,10 - <0,10)	1	0,03
	2018	5	<0,09 (<0,07 - <0,11)	1	0,02
Mecklenburg-Vorpommern	2017	11	<0,11 (<0,08 - <0,14)	1	0,01
	2018	10	<0,13 (<0,10 - 0,23)	2	<0,01 (<0,01 - <0,01)
Niedersachsen	2017	63	<0,18 (0,07 - 1,40)	8	<0,05 (<0,04 - 0,15)
	2018	59	<0,17 (<0,08 - 0,80)	8	<0,26 (0,02 - <1,00)
Nordrhein-Westfalen	2017	19	<0,15 (<0,05 - 0,28)	4	0,04 (0,02 - 0,06)
	2018	20	<0,12 (<0,05 - <0,19)	4	<0,03 (<0,01 - 0,08)
Rheinland-Pfalz	2017	17	<0,10 (<0,03 - <0,47)	4	0,03 (0,02 - 0,04)
	2018	16	<0,06 (<0,02 - <0,09)	4	<0,02 (<0,01 - 0,02)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Saarland	2017	2	<0,16 (0,08 - <0,24)		
	2018	4	<0,09 (<0,08 - <0,10)		
Sachsen	2017	6	<0,13 (<0,10 - 0,20)	1	0,01
	2018	6	<0,13 (<0,10 - <0,16)	1	0,01
Sachsen-Anhalt	2017	9	<0,13 (<0,10 - <0,16)	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	2018	9	<0,12 (<0,08 - <0,16)	2	<0,03 (<0,02 - 0,04)
Schleswig-Holstein	2017	5	<0,12 (0,09 - <0,15)	1	0,04
	2018	6	<0,13 (<0,09 - 0,21)	1	<0,02
Thüringen	2017	3	<0,12 (<0,11 - <0,13)	1	0,05
	2018	3	<0,11 (<0,09 - <0,12)	1	0,03
Bundesrepublik (gesamt)	2017	192	<0,15 (<0,03 - 1,40)	31	<0,04 (<0,01 - 0,15)
	2018	192	<0,14 (<0,02 - 0,80)	33	<0,08 (<0,01 - <1,00)

Tabelle T II.66 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr
(Fresh vegetables, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Blattgemüse	2017	686	<0,14 (<0,02 - 1,21)	70	<0,24 (<0,0005 - <4,14)
	2018	662	<0,13 (<0,02 - 1,00)	72	<0,42 (0,01 - <5,02)
Fruchtgemüse	2017	227	<0,13 (<0,02 - 0,51)	13	<0,33 (0,01 - <3,60)
	2018	228	<0,13 (<0,03 - 0,80)	11	<1,65 (<0,01 - <9,90)
Sprossgemüse	2017	226	<0,13 (<0,02 - <0,36)	23	<0,30 (<0,01 - <4,30)
	2018	224	<0,12 (<0,01 - <0,30)	24	<0,03 (0,01 - 0,12)
Wurzelgemüse	2017	180	<0,14 (<0,03 - <0,31)	13	<0,36 (<0,02 - <3,23)
	2018	187	<0,14 (<0,04 - 0,31)	16	<0,10 (0,01 - <0,53)
Kartoffeln (Import)	2017	38	<0,12 (<0,06 - <0,24)	-	
	2018	36	<0,13 (<0,07 - <0,37)	-	

Tabelle T II.67 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(Mushrooms, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kulturpilze	2017	4	<3,83 (<0,10 - 14,7)
	2018	3	<0,10 (<0,07 - <0,14)
Wild-Blätterpilze	2017	17	<9,80 (<0,17 - 70,3)
	2018	8	<4,32 (<0,18 - 17,4)
Wild-Leisten- u. Trompetenpilze	2017	37	<31,8 (0,58 - 148)
	2018*	22	74,3 (0,54 - 434)
Wild-Röhrenpilze	2017	72	<64,3 (<0,15 - 580)
	2018	36	<43,2 (<0,54 - 149)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
sonstige Wildpilze	2017	10	<33,5 (<0,26 - 131)
	2018	3	30,5 (1,64 - 56,0)
Wildpilzmischungen	2017	10	<26,0 (<0,43 - 83,7)
	2018	9	<11,4 (<0,43 - 41,1)

* nur Pfifferlinge

Tabelle T II.68 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr
(Fruit and rhubarb, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Brombeere/Himbeere	2017	7	<0,11 (<0,06 - <0,17)	1	0,01
	2018	19	<0,08 (<0,06 - <0,13)	-	
Erdbeere	2017	95	<0,12 (<0,04 - 0,55)	6	<0,04 (0,03 - 0,05)
	2018	80	<0,10 (<0,05 - <0,24)	8	<0,13 (<0,01 - <0,64)
Johannisbeere	2017	21	<0,11 (<0,06 - <0,19)	3	<0,30 (0,01 - <0,82)
	2018	22	<0,11 (<0,05 - <0,21)	4	<0,36 (0,01 - <1,35)
Stachelbeere	2017	2	<0,07 (<0,05 - <0,10)	-	
	2018	6	<0,11 (<0,06 - <0,16)	-	
Wald- u. Wildbeeren	2017	16	<2,39 (<0,10 - 17,6)	1	0,05
	2018*	25	<18,9 (<0,06 - 196)	5	<0,28 (<0,04 - 0,73)
Kernobst	2017	203	<0,12 (<0,02 - <0,27)	23	<0,02 (<0,001 - 0,09)
	2018	200	<0,12 (<0,02 - <0,30)	25	<0,02 (0,004 - <0,20)
Rhabarber	2017	15	<0,16 (<0,07 - 0,66)	-	
	2018	10	<0,12 (<0,03 - <0,24)	1	0,11
Steinobst	2017	76	<0,12 (<0,05 - <0,30)	8	<0,17 (0,02 - <1,09)
	2018	88	<0,11 (<0,03 - <0,28)	7	<0,02 (<0,003 - 0,04)
Tafelweitraube	2017	13	<0,11 (<0,03 - <0,19)	1	<0,01
	2018	13	<0,09 (<0,04 - 0,21)	-	
Zitrusfrüchte	2017	26	<0,13 (<0,05 - <0,22)	-	
	2018	22	<0,11 (<0,04 - <0,17)	-	
sonstige Obstarten	2017	8	<0,12 (<0,05 - <0,21)	-	
	2018	16	<0,13 (<0,05 - <0,21)	-	

- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden * überwiegend Heidelbeeren

Tabelle T II.69 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
(Other foodstuffs, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Getreideprodukte	2017	1	<0,19	
	2018	3	<0,09 (<0,06 - <0,11)	
Honig	2017	36	<8,75 (<0,10 - 96,5)	
	2018	38	<1,22 (0,12 - 34,4)	
Obstprodukte	2017	17	<12,38 (<0,08 - 209) *	
	2018	1	<0,07	
Schalenobst (Nüsse)	2017	8	<48,10 (<0,11 - 236) **	
	2018	3	<0,12 (<0,09 - <0,15)	

* hohe Werte durch Tiefkühlheidelbeeren ** hohe Werte durch Maronen

Tabelle T II.70 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production)

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1960	1,2	0,56	0,09	9,6	-	-	-	0,07	3,2
1961	0,85	0,15	0,07	-	-	-	2,2	5,6	2,2
1962	0,56	0,19	0,06	12	-	-	2,6	1,0	0,48
1963	5,6	0,22	0,67	18	13	31	18	4,1	7,0
1964	7,0	0,22	0,30	36	27	39	21	2,0	5,2
1965	3,3	0,33	0,26	18	19	23	9,2	0,85	2,3
1966	2,0	0,30	0,22	8,9	11	13	5,2	0,59	1,7
1967	1,5	0,26	0,11	6,7	5,2	7,4	3,0	0,37	1,7
1968	0,85	0,16	0,11	4,8	3,3	7,8	2,1	0,59	0,59
1969	0,92	0,19	0,06	4,1	3,1	4,8	1,8	0,59	0,59
1970	1,0	0,14	0,07	3,7	2,8	5,2	1,4	0,89	0,48
1971	1,1	0,13	0,07	2,9	2,7	3,6	3,5	0,81	0,52
1972	1,0	0,13	0,07	2,9	2,2	3,3	2,0	0,89	0,37
1973	0,63	0,20	0,07	2,2	1,0	2,8	0,41	2,0	0,35
1974	1,8	0,09	0,04	2,4	1,0	1,8	1,1	0,85	0,41
1975	0,56	0,09	0,05	1,8	1,7	1,7	1,6	0,85	0,25
1976	0,44	0,11	0,04	0,81	0,70	1,3	0,30	1,0	0,37
1977	0,70	0,06	0,05	0,74	0,70	0,89	0,81	0,15	0,18
1978	0,67	0,06	0,06	1,3	1,2	1,7	0,96	0,15	0,14
1979	0,41	0,08	0,04	0,85	0,96	0,92	0,37	0,15	0,21
1980	0,39	0,08	0,04	0,70	0,67	1,1	0,26	0,55	0,12
1981	0,47	0,19	0,06	0,87	0,72	1,2	0,61	0,14	0,15
1982	0,32	0,12	0,04	1,2	0,81	1,1	0,19	0,40	0,18
1983	0,31	0,15	0,07	0,39	0,63	0,85	0,10	0,10	0,09
1984	0,31	0,07	0,10	1,2	0,32	0,43	0,06	0,05	0,07
1985	0,28	0,15	0,04	0,49	0,31	0,30	0,14	0,09	0,09
1986	0,23	0,12	0,13	50	19	41	7,1	2,9	12

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1987	0,24	0,19	0,06	20	11	36	2,0	1,3	4,9
1988	0,54	0,20	0,06	7,4	3,9	10	0,91	1,2	1,4
1989	0,29	0,10	0,08	3,6	1,0	3,3	0,30	0,36	0,45
1990	0,24	0,08	0,05	1,6	0,70	1,9	0,23	0,23	0,25
1991	0,19	0,09	0,06	1,9	0,78	1,8	0,19	0,24	0,23
1992	0,19	0,07	0,05	1,8	0,84	1,4	0,16	0,27	0,18
1993	0,25	0,18	0,04	1,1	0,42	0,87	0,22	0,21	0,19
1994	0,21	0,08	0,03	0,88	0,29	0,99	0,14	0,31	0,17
1995	0,20	0,08	0,03 *	1,2	0,28	1,3	0,11	0,16	0,14 *
1996	0,19	0,07	0,03 *	1,1	0,33	1,3	0,11	0,17	0,13 *
1997	0,16	0,068	0,031 *	1,2	0,29	1,0	0,13	0,15	0,13 *
1998	<0,18	<0,06	<0,03 *	<1,05	<0,25	<1,08	<0,13	<0,16	<0,14 *
1999	<0,20	<0,04	<0,07 *	<1,05	<0,22	<0,96	<0,12	<0,14	<0,12 *
2000	<0,16	<0,05	<0,03 *	<0,85	<0,24	<1,18	<0,14	<0,16	<0,14 *
2001	<0,20	<0,04	<0,04 *	<0,81	<0,25	<0,66	<0,13	<0,15	<0,13 *
2002	<0,19	<0,04	<0,03 *	<0,77	<0,23	<1,51	<0,16	<0,16	<0,13 *
2003	0,21	<0,04	<0,02 *	<0,81	<0,20	<0,78	<0,14	<0,16	<0,13 *
2004	<0,17	<0,04	<0,02 *	<1,06	<0,23	<0,78	<0,14	<0,16	<0,13 *
2005	0,18	<0,06	<0,03 *	<1,26	<0,19	<0,66	<0,14	<0,16	<0,16 *
2006	0,16	<0,04	<0,02 *	<1,13	<0,21	<1,44	<0,15	<0,20	<0,13 *
2007	0,16	<0,05	<0,02 *	<0,65	<0,16	<1,11	<0,13	<0,17	<0,13 *
2008	0,15	<0,02	<0,02 *	<0,64	<0,19	<1,07	<0,14	<0,14	<0,12 *
2009	<0,16	<0,05	<0,02 *	<0,50	<0,22	<0,78	<0,14	<0,16	<0,12 *
2010	<0,16	<0,10	<0,02 *	<0,83	<0,20	<1,03	<0,13	<0,20	<0,13 *
2011	<0,14	<0,13	<0,02 *	<0,58	<0,24	<0,82	<0,13	<0,14	<0,13 *
2012	0,15	<0,14	<0,02 *	<0,42	<0,14	<0,39	<0,12	<0,14	<0,13 *
2013	<0,14	<0,04	<0,04 *	<0,48	<0,16	<0,53	<0,13	<0,14	<0,13 *
2014	<0,12	<0,03	<0,02 *	<0,48	<0,16	<0,46	<0,13	<0,15	<0,13 *
2015	<0,12	<0,03	<0,02 *	<0,56	<0,15	<0,87	<0,13	<0,13	<0,13 *
2016	<0,14	<0,06	<0,10 *	<0,55	<0,14	<0,70	<0,13	<0,16	<0,12 *
2017	<0,16	<0,04	<0,02 *	<0,47	<0,14	<0,35	<0,14	<0,15	<0,12 *
2018	<0,17	<0,08	<0,02 *	<0,37	<0,14	<0,51	<0,12	<0,14	<0,12 *

* Inland und Einfuhr - Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle T II.71 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung

(Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet)

Monat	Jahr	Aktivitätszufuhr Cs-137 in Bq/(d · p) (d = Tag und p = Person)			Aktivitätszufuhr Sr-90 in Bq/(d · p) (d = Tag und p = Person)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Januar	2017	72	<0,19	(0,02 - 0,59)	19	<0,06	(0,03 - 0,12)
	2018	75	<0,19	(0,03 - 0,85)	18	<0,05	(0,003 - 0,10)
Februar	2017	56	<0,25	(0,03 - 3,31)	3	0,13	(0,04 - 0,27)
	2018	55	<0,18	(0,02 - <0,42)	3	<0,05	(0,03 - 0,08)
März	2017	60	<0,18	(0,03 - <0,36)	7	<0,43	(<0,02 - 2,39)
	2018	60	<0,21	(0,02 - 0,70)	6	<0,04	(<0,002 - 0,10)
April	2017	65	<0,29	(0,03 - 5,18)	18	<0,07	(<0,01 - 0,33)
	2018	62	<0,24	(0,01 - 2,86)	15	<0,07	(0,004 - 0,16)
Mai	2017	65	<0,21	(0,01 - 0,57)	8	<0,05	(0,003 - 0,11)
	2018	65	<0,18	(<0,01 - 0,48)	8	<0,04	(<0,01 - 0,07)
Juni	2017	55	<0,26	(0,02 - 2,29)	5	0,06	(0,02 - 0,11)
	2018	58	<0,26	(0,02 - 0,92)	6	<0,05	(<0,02 - <0,09)
Juli	2017	65	<0,22	(0,03 - 2,48)	19	<0,05	(0,02 - 0,11)
	2018	68	<0,22	(0,01 - 2,43)	20	<0,04	(0,002 - 0,11)
August	2017	65	<0,20	(0,02 - 0,50)	4	0,06	(0,02 - 0,09)
	2018	62	<0,22	(0,02 - 1,80)	1	0,04	
September	2017	56	<0,23	(0,02 - 1,28)	4	0,05	(0,02 - 0,07)
	2018	59	<0,19	(0,02 - <0,38)	7	<0,05	(0,004 - 0,22)
Oktober	2017	66	<0,19	(<0,03 - 0,50)	17	<0,05	(0,004 - 0,12)
	2018	65	<0,18	(0,03 - 0,99)	16	<0,04	(0,002 - 0,08)
November	2017	62	<0,21	(0,02 - 1,00)	6	0,06	(0,04 - 0,10)
	2018	60	<0,19	(0,02 - <0,39)	3	<0,04	(0,03 - <0,05)
Dezember	2017	58	<0,23	(0,02 - 1,66)	6	0,06	(0,02 - 0,08)
	2018	52	<0,35	(0,02 - 9,21)	4	<0,07	(<0,01 - 0,14)
Jahr (gesamt)	2017	745	<0,22	(0,01 - 5,18)	116	<0,08	(0,003 - 2,39)
	2018	741	<0,21	(0,01 - 9,21)	107	<0,05	(0,001 - 0,22)



Tabelle T II.72 Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food)

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2017	21	<0,14 (<0,02 - 0,80)	8	<0,03 (0,02 - 0,04)
	2018	25	<0,10 (<0,03 - 0,33)	10	<0,02 (0,01 - 0,04)
Februar	2017	23	<0,15 (<0,03 - 0,67)	2	<0,03 (<0,02 - 0,04)
	2018	17	<0,11 (<0,05 - <0,20)	2	<0,03 (<0,02 - 0,05)
März	2017	19	<0,12 (0,02 - <0,30)	6	<0,05 (0,02 - 0,15)
	2018	19	<0,10 (<0,01 - 0,24)	4	0,07 (0,02 - 0,21)
April	2017	22	<0,11 (0,02 - 0,22)	3	<0,03 (<0,02 - 0,05)
	2018	20	<0,13 (<0,03 - 0,52)	3	<0,03 (<0,02 - 0,04)
Mai	2017	18	<0,15 (<0,03 - 0,78)	-	
	2018	22	<0,11 (<0,03 - <0,22)	1	0,06
Juni	2017	22	<0,12 (<0,01 - 0,39)	-	
	2018	18	<0,17 (<0,03 - 1,15)	1	<0,03
Juli	2017	24	<0,11 (<0,02 - 0,55)	6	<0,04 (0,02 - <0,10)
	2018	22	<0,12 (<0,02 - 0,47)	6	<0,04 (0,01 - <0,10)
August	2017	19	<0,11 (<0,03 - 0,23)	-	
	2018	17	<0,15 (0,03 - 1,00)	1	<0,02
September	2017	20	<0,12 (<0,02 - <0,26)	7	0,04 (0,02 - 0,08)
	2018	23	<0,12 (0,04 - 0,65)	6	<0,04 (0,01 - 0,08)
Oktober	2017	20	<0,11 (0,02 - <0,19)	1	0,06
	2018	24	<0,15 (<0,02 - 1,30)	1	0,05
November	2017	24	<0,12 (<0,03 - 0,71)	2	0,03 (0,02 - 0,04)
	2018	19	<0,09 (<0,04 - <0,24)	1	0,03
Dezember	2017	18	<0,11 (0,04 - <0,26)	1	0,06
	2018	20	<0,10 (0,05 - <0,21)	-	
Jahr (gesamt)	2017	250	<0,12 (<0,01 - 0,80)	36	<0,04 (0,02 - 0,15)
	2018	246	<0,12 (<0,01 - 1,30)	36	<0,04 (0,01 - 0,21)

- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle T II.73 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	28	<0,05	22	<0,04	18	<0,04 (<0,02 - <0,07)
	Sr-90	14	<0,05	12	0,05	8	0,05 (0,02 - 0,12)
KWO Obrigheim	Cs-137	11	<0,05	9	<0,04	10	<0,05 (<0,02 - <0,09)
	Sr-90	7	0,08	6	0,06	7	0,07 (0,03 - 0,12)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	7	<0,06	11	<0,05	11	<0,04 (<0,02 - <0,10)
	Sr-90	5	0,06	6	0,07	7	0,10 (0,04 - 0,22)
KKP Philippsburg	Cs-137	3	<0,05	7	<0,04	13	<0,05 (0,02 - 0,08)
	Sr-90	3	<0,03	5	0,03	10	0,05 (0,01 - 0,13)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	8	<0,05	7	<0,10	16	<0,04 (0,01 - <0,06)
	Sr-90	4	0,06	4	0,08	4	0,05 (0,03 - 0,08)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	8	<0,07	11	<0,07	7	<0,05 (<0,03 - <0,10)
	Sr-90	1	<0,02	2	0,11	2	0,05 (0,03 - 0,08)
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	1	<0,04	2	<0,03	1	<0,06
	Sr-90	1	0,04	2	0,08	1	0,02
KKI Isar	Cs-137	1	<0,02	1	<0,02	1	<0,02
	Sr-90	1	0,11	1	0,03	1	0,08
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	3	<0,12	3	<0,11	3	<0,13 (<0,12 - <0,13)
	Sr-90	3	<0,04	3	<0,05	3	<0,07 (0,03 - <0,16)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	<0,04	1	<0,04	1	<0,04
	Sr-90	1	<0,01	1	0,03	1	0,01
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	3	<0,18	15	<0,16	16	<0,14 (0,07 - 0,32)
	Sr-90	a)		5	0,09	3	0,02 (0,02 - 0,08)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	12	<0,17	13	<0,19	12	<0,29 (<0,094 - 0,90)
	Sr-90	12	<0,46	13	0,17	12	0,28 (0,02 - 1,67)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	15	<0,06	15	<0,05	11	<0,05 (<0,01 - <0,12)
	Sr-90	15	<0,03	15	0,03	11	0,04 (0,01 - 0,12)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

Tabellen

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	2	<0,12	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	8	<0,11	7	<0,09	a)	
	Sr-90	8	0,09	7	0,10	a)	
KWG Grohnde	Cs-137	6	<0,12	6	<0,12	a)	
	Sr-90	6	0,08	6	0,07	a)	
KKE Emsland	Cs-137	8	<0,11	8	<0,11	a)	
	Sr-90	8	0,05	8	0,08	a)	
Schacht Konrad II ^{b)}	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	3	<0,04	3	<0,04	a)	
	Sr-90	3	<0,12	3	<0,03	a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	3	<0,04	3	<0,05	3	<0,08 (<0,05 - <0,10)
	Sr-90	3	0,02	3	0,02	3	0,02 (0,01 - 0,02)
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	a)		17	<1,55	16	<1,69 (<1,50 - 2,50)
	Uran (Bq/kg TM)	a)		17	<0,24	16	<0,31 (<0,23 - 1,10)
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a)		2	<0,02	a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	3	<0,11	3	<0,17	3	<0,16 (<0,15 - <0,18)
	Sr-90	a)		1	0,04	1	0,04
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	6	<0,15	6	<0,17	6	<0,14 (<0,10 - <0,16)
	Sr-90	2	0,04	1	0,02	1	<0,02
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	a)		1	<0,04	1	<0,05
	Sr-90	a)		1	<0,02	1	0,08
KKB Brunsbüttel	Cs-137	a)		1	<0,06	1	<0,05
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKK Krümmel	Cs-137	5	<0,15	1	<0,06	1	0,05
	Sr-90	a)		1	0,03	1	0,14
a) Messwerte lagen nicht vor							
b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.							

Tabelle T II.74 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Getreide

(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,08	2	<0,09	a)	
	Sr-90	2	0,08	2	0,15	a)	
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,06	4	<0,05	4	<0,04 (<0,03 - <0,05)
	Sr-90	2	0,09	4	<0,05	2	0,05 (0,02 - 0,07)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,05	4	<0,06	4	<0,04 (<0,04 - <0,05)
	Sr-90	2	0,08	4	<0,05	2	0,07 (0,06 - 0,07)
KKP Philippsburg	Cs-137	2	<0,08	2	<0,08	3	<0,05 (<0,04 - <0,07)
	Sr-90	1	0,07	2	<0,07	2	0,07 (0,07 - 0,08)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	5	<0,04	5	<0,05	6	<0,05 (0,03 - <0,09)
	Sr-90	2	0,06	5	<0,04	2	0,07 (0,04 - 0,10)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	<0,05	3	<0,07	3	<0,06 (<0,03 - <0,11)
	Sr-90	2	0,11	3	<0,06	2	0,10 (0,09 - 0,11)
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	4	<0,03	3	<0,03	4	<0,03 (<0,02 - 0,05)
	Sr-90	4	<0,06	3	<0,02	4	<0,04 (0,01 - 0,08)
KKI Isar	Cs-137	5	<0,06	5	<0,03	5	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	5	<0,08	5	<0,02	5	<0,05 (<0,01 - 0,13)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,11	2	<0,10	2	<0,09 (<0,09 - <0,09)
	Sr-90	2	<0,04	2	<0,10	2	<0,03 (<0,02 - <0,04)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	<0,03	1	<0,02	1	<0,02
	Sr-90	1	0,10	1	<0,02	1	0,04
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	a)		a)		a)	
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	1	<0,13	5	<0,13	6	<0,10 (<0,08 - <0,13)
	Sr-90	1	0,06	2	0,07	2	<0,06 (<0,02 - 0,12)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	5	<0,14	5	<0,12	a)	
	Sr-90	5	<0,11	5	<0,12	a)	
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	a)		a)		a)	

Tabellen

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWG Grohnde	Sr-90	a)		a)		a)	
	Cs-137	2	<0,15	2	<0,14	a)	
	Sr-90	2	0,12	2	<0,14	a)	
KKE Emsland	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Schacht Konrad II ^{b)}	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	2	<0,14	2	<0,11	a)	
	Sr-90	2	0,13	2	0,05	a)	
Nordrhein-Westfalen							
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
FZ Jülich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	a)		6	<0,15	6	<0,15
	Uran (Bq/kg TM)	a)		a)	<0,23	6	<0,23
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Cattenom	Cs-137	2	<0,03	2	<0,03	2	<0,03 (<0,03 - <0,03)
Frankreich	Sr-90	2	0,10	2	<0,03	2	0,08 (0,08 - 0,09)
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	2	<0,14	3	<0,12	3	<0,16 (<0,12 - <0,18)
	Sr-90	1	0,05	2	0,09	a)	
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,13	1	<0,16	1	<0,14
	Sr-90	1	0,22	1	0,30	1	0,12
KKB Brunsbüttel	Cs-137	2	<0,12	2	<0,12	2	<0,16 (<0,11 - <0,20)
	Sr-90	2	0,07	2	<0,06	2	0,07 (0,05 - 0,10)
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,13	2	<0,10	2	<0,12 (<0,10 - <0,14)
	Sr-90	2	0,12	2	<0,05	2	0,15 (0,13 - 0,17)

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.

Tabelle T II.75 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	5	<0,03	4	<0,04	7	<0,04 (<0,02 - <0,06)
	Sr-90	3	<0,02	3	0,07	6	0,07 (0,01 - 0,16)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,04	4	<0,04	4	<0,06 (<0,03 - <0,06)
	Sr-90	2	0,10	2	0,06	2	0,08 (0,08 - 0,09)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,05	3	<0,05	4	<0,04 (<0,02 - <0,07)
	Sr-90	2	0,07	2	0,07	2	0,12 (0,06 - 0,18)
KKP Philippsburg	Cs-137	4	<0,06	2	<0,03	7	<0,05 (<0,02 - <0,08)
	Sr-90	2	0,02	2	<0,02	5	0,03 (0,01 - 0,05)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	4	<0,06	5	<0,05	6	<0,04 (<0,02 - <0,07)
	Sr-90	3	0,05	3	0,07	3	0,16 (0,01 - 0,47)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	<0,07	2	<0,06	2	<0,02 (<0,02 - <0,03)
	Sr-90	2	0,06	1	0,04	1	0,07
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	2	<0,02	2	<0,03	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	Sr-90	2	<0,01	1	0,03	2	<0,01 (<0,01 - <0,01)
KKI Isar	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,10	2	<0,12	2	<0,09 (<0,08 - <0,09)
	Sr-90	2	<0,03	2	<0,03	2	<0,04 (<0,03 - <0,04)
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	2	<0,13	6	<0,13	6	<0,11 (<0,04 - <0,16)
	Sr-90	a)		1	0,01	3	0,04 (0,02 - 0,06)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	1	<0,26	a)		a)	
	Sr-90	1	0,03	a)		a)	
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	3	<0,05	5	<0,02	4	<0,06 (<0,03 - <0,08)
	Sr-90	3	0,14	5	0,01	4	0,06 (0,02 - 0,15)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,09	4	<0,11	1	<0,09
	Sr-90	4	<0,01	4	<0,02	1	<0,01
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	4	<0,06	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	a)		a)		a)	

Tabellen

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWG Grohnde	Sr-90	a)		a)		a)	
	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKE Emsland	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
	Cs-137	a)		a)		a)	
Schacht Konrad II ^{b)}	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
	Cs-137	3	<0,04	2	<0,02	a)	
Forschungsbergwerk Asse	Sr-90	3	<0,04	2	<0,08	a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	a)		a)		2	<0,15 (<0,15 - <0,15)
	Uran (Bq/kg TM)	a)		a)		2	<0,23 (<0,23 - <0,23)
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	5	<0,03	2	<0,02	5	<0,02 (<0,01 - <0,04)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Cattenom Frankreich	Cs-137	3	<0,03	3	<0,03	3	<0,02 (<0,02 - <0,03)
	Sr-90	3	<0,01	3	<0,01	3	<0,01 (<0,01 - <0,01)
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	1	<0,12	1	<0,16	1	<0,14
	Sr-90	a)		1	<0,01	1	0,01
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	5	<0,17	2	<0,20	4	<0,12 (<0,08 - <0,14)
	Sr-90	1	0,02	1	<0,02	1	<0,02
Schleswig-Holstein							
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,04	2	<0,28	2	<0,06 (<0,05 - <0,08)
	Sr-90	2	0,02	2	0,03	2	0,04 (0,02 - 0,05)

a) Messwerte lagen nicht vor
b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor.
Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.

Tabelle T II.76 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln
(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: potatoes)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,07	3	<0,05	3	<0,05 (<0,04 - <0,05)
	Sr-90	1	0,01	2	<0,01	3	<0,01 (<0,01 - 0,02)
KWO Obrigheim	Cs-137	1	<0,04	2	<0,05	2	<0,05 (<0,04 - <0,05)
	Sr-90	a)		2	0,02	2	0,02 (0,02 - 0,02)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	<0,06	2	<0,05	2	<0,03 (<0,03 - <0,04)
	Sr-90	a)		2	0,02	2	0,02 (0,01 - 0,02)
KKP Philippsburg	Cs-137	1	<0,06	1	<0,04	a)	
	Sr-90	1	<0,02	1	<0,01	a)	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	<0,06	3	<0,03	2	<0,05 (<0,05 - 0,06)
	Sr-90	2	0,02	2	<0,02	2	0,02 (0,01 - 0,02)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	<0,05	2	<0,04	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)
	Sr-90	2	0,02	2	0,01	2	0,01 (0,01 - 0,01)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	2	<0,03	2	<0,04	2	<0,02 (<0,00 - <0,03)
	Sr-90	2	0,03	2	0,01	2	0,02 (0,01 - 0,02)
Bayern							
KGG Gundremmingen	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	a)		4	<0,18	2	<0,21 (<0,15 - 0,26)
	Sr-90	a)		a)		1	0,02
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	9	<0,04	3	<0,05	7	<0,04 (<0,01 - <0,11)
	Sr-90	9	0,02	2	0,02	7	0,02 (0,02 - 0,03)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	a)		1	<0,14	a)	
	Sr-90	a)		1	<0,02	a)	
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	a)		1	<0,12	a)	
	Sr-90	a)		1	0,02	a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2016		2017		2018	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWG Grohnde	Cs-137	1	<0,10	a)		a)	
	Sr-90	1	0,02	a)		a)	
KKE Emsland	Cs-137	1	<0,06	a)		a)	
	Sr-90	1	0,01	a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	a)		a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	3	<0,05	3	<0,06	3	<0,08 (<0,05 - <0,10)
	Sr-90	3	0,02	3	0,02	3	0,01 (0,01 - 0,01)
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a)		1	<0,03	a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
a) Messwerte lagen nicht vor							

Tabelle T II.77 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in ausgewählten Arzneimittelpflanzen für das Jahr 2018
(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected medicine plants for the year 2018)

Probe	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Basilikumblätter, gerebelt	Ägypten	1000	< NWG: 0,6
Bitterklee Bio, geschnitten	Polen	700	56
Bohnenkraut, gerebelt	Polen	1300	< NWG: 0,6
Brennnesselblätter, geschnitten	Mazedonien	1300	0,87
Brombeerblätter, geschnitten	Albanien	1400	12
Carrageenmoos, geschnitten	Frankreich	540	< NWG: 0,3
Chilis gemahlen, Cayennepfeffer	China	1700	< NWG: 0,7
Fenchel, bitter, ganz	Bulgarien	300	< NWG: 0,4
Flohsamen, schwarz, ganz	Polen	230	< NWG: 0,3
Grüner Tee, Sencha	China	480	< NWG: 0,4
Island Moos, geschnitten	Rumänien	73	41
Johanniskraut, geschnitten	Serbien	350	< NWG: 0,3
Kamillenblüten, ganz	Kroatien	1800	< NWG: 0,9
Kümmel	Litauen	330	< NWG: 0,8
Mateblätter, geschnitten	Brasilien	440	< NWG: 0,3
Melissenblätter, Feinschnitt	Serbien	1020	2,5
Paprika, edelsüß, gemahlen	Spanien	910	< NWG: 0,3
Paprika, edelsüß, gemahlen	Bulgarien	2100	< NWG: 3,8
Pfeffer, schwarz, ganz	Brasilien	440	< NWG: 0,5
Pfefferminzblätter, geschnitten	Polen	900	< NWG: 0,8
Rotbuschtee, Feinschnitt	Südafrika	170	< NWG: 0,7
Salbeiblätter, ganz	Bosnien-Herzegowina	1010	1,6
Schwarzer Tee, Earl Grey	China	630	< NWG: 0,2
Thymian, gerebelt	Polen	510	< NWG: 0,6

Tabelle T II.78 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Islandmoos für die Jahre 2000 bis 2018 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in iceland moss for the years 2000-2018 and indication of their country of origin)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
2000	Ungarn	72	380
2001	Bosnien-Herzegowina	66	87
2002	Polen	86	360
2003	Bosnien-Herzegowina	74	100
2004	Rumänien	87	460
2005	Rumänien	110	200
2006	Bosnien-Herzegowina	63	31
2007	Bosnien-Herzegowina	57	23
2009	Kroatien	66	26
2011	Serbien	58	27
2012	Bosnien-Herzegowina	59	18
2013	Russische Föderation	63	15
2014	Russische Föderation	61	16
2015	Russische Föderation	62	15
2016	Montenegro	61	12
2017	Montenegro	76	12
2018	Rumänien	73	41

Tabelle T II.79 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Bitterkleeblättern für die Jahre 2005 bis 2018 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in bogbean leaves for the years 2005 - 2018 and indication of their country of origin)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
2005	Polen	930	550
2006	Polen	790	320
2007	Polen	790	220
2009	Polen	860	470
2011	Polen	960	81
2012	Polen	960	69
2013	Polen	940	35
2014	Polen	940	17
2015	Ukraine	360	11
2016	Ukraine	790	71
2018	Polen	700	56

Tabelle T II.80 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Gänsefingerkraut für die Jahre 2000 bis 2015 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in silverweed herb for the years 2005 - 2015 and indication of their country of origin)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
2000	Polen	510	52
2001	Polen	540	52
2002	Polen	540	58
2003	Polen	660	53
2004	Polen	820	37
2005	Polen	480	27
2011	Polen	790	30
2012	Polen	710	33
2013	Ungarn	710	< NWG: 0,3
2014	Ungarn	660	< NWG: 0,3
2015	Ungarn	620	0,3

Tabelle T II.81 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Frischmasse - in ausgewählten Sonderproben für das Jahr 2018

(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected special samples for the year 2018)

Artikel	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Kultur-Heidelbeeren	Polen	27	< NWG: 0,3
Kultur-Heidelbeeren	Rumänien	23	< NWG: 0,3
Wild-Heidelbeeren	Österreich	35	65
Senfkörner	Russland	218	< NWG: 1,1
Mohn	Tschechien	330	< NWG: 3,6

Tabelle T II.82 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2018 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2018 - minimum, maximum, and mean values)

Land	Nuklid	2018						2017
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	16	2,2	3,0		<2,0	<2,0
	Co-60	20	20				<0,09	<0,084
	I-131	20	18	0,13	0,2		<0,12	0,14
	Cs-137	20	20				<0,089	<0,082
	Sr-90	4	4				<0,1	<0,1
	U-234	4	4				<0,1	<0,1
	U-235	4	4				<0,1	<0,1
	U-238	4	4				<0,1	<0,1
Hamburg	K-40	4	4				<0,9	<1,1
	Co-60	4	4				<0,048	<0,071
	I-131	4	0	0,054	0,32	0,17	0,16	0,11
	Cs-137	4	4				<0,048	<0,069
	Sr-90	4	0	0,0017	0,0051	0,0031	0,0028	0,0048
	U-234	4	1	8,9E-05	0,00024	0,00015	0,00011	0,00015
	U-235	4	3			2,0E-05	<3,5E-05	<5,1E-05
	U-238	4	1	6,2E-05	0,00022	0,00012	8,8E-05	0,0001
Niedersachsen	K-40	47	9	0,42	2,3	0,82	0,75	0,6
	Co-60	47	47				<0,027	<0,026
	I-131	47	29	0,039	0,26		<0,068	0,059
	Cs-137	47	47				<0,023	<0,021
	Sr-90	6	2	0,0051	0,015	0,0089	<0,01	0,006
	U-234	4	1	0,00033	0,0059	0,0025	0,0013	0,0018
	U-235	4	4				<0,00059	<0,00061
	U-238	4	1	0,00042	0,0053	0,0022	0,00072	0,0015
Bremen	K-40	8	4	0,9	1,4	1,2	<1,1	1,1
	Co-60	8	8				<0,049	<0,033
	I-131	8	1	0,075	0,88	0,27	0,16	0,14
	Cs-137	8	8				<0,05	<0,036
	Sr-90	4	4				<0,018	<0,042
	U-234	4	4				<0,0074	0,01
	U-235	4	4				<0,0093	<0,0073
	U-238	4	2	0,0013	0,0085	0,0049	0,0085	0,0087
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	29	0,56	5,4		<1,8	1,3
	Co-60	40	40				<0,081	<0,066
	I-131	37	21	0,027	0,7		0,13	0,15
	Cs-137	40	40				<0,081	<0,062
	Sr-90	4	3			0,098	<0,044	0,028
	U-234	4	0	0,0066	0,015	0,0096	0,0084	0,0093
	U-235	4	3			0,0015	<0,0026	<0,0041
	U-238	4	0	0,0026	0,0092	0,0066	0,0072	0,0065
Hessen	K-40	20	16	0,39	0,68		<0,9	<0,9
	Co-60	20	20				<0,038	<0,036
	I-131	20	18	0,071	0,1		0,1	<0,077
	Cs-137	20	19			0,025	<0,039	<0,039
	Sr-90	4	3			0,007	<0,0085	0,013
	U-234	4	0	0,007	0,049	0,019	0,0095	<0,005
	U-235	4	0	0,0002	0,002	0,00078	0,00045	<0,005
	U-238	4	0	0,005	0,03	0,012	0,007	<0,005
Rheinland-Pfalz	K-40	20	4	0,22	2,8	1,1	0,84	<0,59
	Co-60	20	20				<0,014	<0,013
	I-131	20	11	0,019	0,19		<0,033	0,03
	Cs-137	20	20				<0,014	<0,014

Tabellen

Land	Nuklid	2018						2017
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	Sr-90	4	0	0,0011	0,026	0,0084	0,0032	0,0015
	U-234	4	0	0,0032	0,022	0,015	0,017	0,016
	U-235	4	4				<0,0013	<0,001
	U-238	4	0	0,0029	0,019	0,012	0,013	0,014
Baden-Württemberg	K-40	49	2	0,18	0,91	0,49	0,49	0,46
	Co-60	49	49				<0,0074	<0,011
	I-131	21	17	0,0081	0,26		<0,042	<0,019
	Cs-137	49	49				<0,0074	<0,011
	Sr-90							<0,0075
	U-234							0,0031
	U-235							<0,0015
Bayern	U-238							0,0025
	K-40	40	28	0,42	2,6		<1,1	1,2
	Co-60	40	40				<0,075	<0,096
	I-131	37	26	0,082	1,3		0,19	<0,19
	Cs-137	40	40				<0,078	<0,1
	Sr-90	4	0	0,0062	0,016	0,0099	0,0086	0,0059
	U-234	4	0	0,00091	0,012	0,0066	0,0069	0,01
	U-235	9	8			0,00043	<0,1	<0,00094
U-238	4	0	0,00071	0,011	0,0071	0,0083	0,01	
Saarland	K-40	8	0	0,16	0,87	0,57	0,61	0,71
	Co-60	8	8				<0,0045	<0,0052
	I-131	8	6	0,024	0,044		<0,0058	<0,0064
	Cs-137	8	8				<0,0053	<0,0054
	Sr-90	4	2	0,021	0,024	0,023	0,021	<0,02
	U-234	4	4				<0,006	<0,0056
	U-235	4	4				<0,0042	<0,0035
	U-238	4	4				<0,0041	<0,0035
Berlin	K-40	4	0	0,86	0,89	0,87	0,87	1,0
	Co-60	4	4				<0,0039	<0,0041
	I-131	0	0					<0,044
	Cs-137	4	4				<0,0039	<0,0034
	Sr-90	4	0	0,0021	0,0028	0,0023	0,0022	0,0023
	U-234	4	0	0,0011	0,0025	0,0018	0,0019	0,002
	U-235	4	2	0,00011	0,00012	0,00011	0,00011	<7,1E-05
	U-238	4	0	0,00098	0,0021	0,0016	0,0017	0,0018
Brandenburg	K-40	30	11	0,8	1,2	1,0	1,0	1,0
	Co-60	30	30				<0,014	<0,018
	I-131	18	9	0,1	0,9	0,36	0,1	<0,1
	Cs-137	30	30				<0,012	<0,016
	Sr-90	11	0	0,001	0,0028	0,0019	0,002	0,002
	U-234	11	4	0,0003	0,0012	0,00076	0,0005	<0,00053
	U-235	11	11				<0,00015	<0,0003
	U-238	11	4	0,00032	0,0011	0,00069	0,0005	<0,00042
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	0,34	0,92	0,77	0,83	0,73
	Co-60	20	20				<0,012	<0,012
	I-131	19	11	0,028	0,55		<0,033	<0,029
	Cs-137	20	20				<0,01	<0,0093
	Sr-90	4	4				<0,0055	<0,0056
	U-234	4	4				<0,0081	<0,0081
	U-235	4	4				<0,0056	<0,0052
	U-238	4	4				<0,0063	<0,005
Sachsen	K-40	20	6	0,53	1,8	1,1	<0,93	<1,0
	Co-60	20	20				<0,087	<0,089
	I-131	20	14	0,061	0,16		<0,097	<0,13
	Cs-137	20	20				<0,075	<0,08
	Sr-90	4	4				<0,019	0,013
	U-234	4	2	0,0028	0,0037	0,0032	0,0028	0,0038

Land	Nuklid	2018						2017
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	U-235	4	4				<0,0019	<0,0025
	U-238	4	3			0,0025	<0,0022	<0,0031
Sachsen-Anhalt	K-40	20	3	0,28	0,75	0,54	0,49	0,44
	Co-60	20	20				<0,0085	<0,0097
	I-131	20	9	0,0091	0,21	0,048	<0,013	<0,015
	Cs-137	20	20				<0,0083	<0,01
	Sr-90	4	4				<0,1	<0,1
	U-234	4	1	0,0027	0,0062	0,0044	0,0035	0,004
	U-235	4	4				<0,00063	<0,00038
	U-238	5	1	0,0015	0,57	0,14	0,0017	0,0031
Thüringen	K-40	20	14	1,1	5,3		1,4	<1,2
	Co-60	20	20				<0,084	<0,076
	I-131	20	18	0,11	0,55		<0,1	0,11
	Cs-137	20	20				<0,089	<0,084
	Sr-90	4	4				<0,011	<0,007
	U-234	4	0	0,0063	0,063	0,031	0,027	0,024
	U-235	4	1	0,00043	0,0014	0,001	0,0014	0,0011
	U-238	4	0	0,0035	0,035	0,018	0,016	0,015
Bundesrepublik Deutschland	K-40	370	146	0,16	5,4	0,87	<0,9	<0,81
	Co-60	370	370				<0,032	<0,026
	I-131	319	208	0,0081	1,3		0,092	<0,085
	Cs-137	370	369			0,025	<0,032	<0,022
	Sr-90	69	34	0,001	0,098	0,0086	<0,0098	0,0064
	U-234	67	25	8,9E-05	0,063	0,0086	<0,0044	<0,0043
	U-235	72	60	2,0E-05	0,002		<0,001	0,0011
	U-238	68	24	6,2E-05	0,57	0,019	0,0035	<0,0035
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	1	35	130	75	75	69
	Co-60	20	20				<1,8	<2,2
	I-131	20	6	5,6	34	16	8,2	17
	Cs-137	20	18	1,3	2,7		<2,0	<2,4
	Sr-90	4	0	0,82	1,9	1,2	1,1	0,8
	U-234	4	0	9,5	17	14	14	13
	U-235	4	4				<5,0	<5,0
	U-238	4	0	9,1	17	13	12	11
Hamburg	K-40	8	0	93	400	240	200	250
	Co-60	8	8				<1,2	<1,1
	I-131	8	0	8,7	41	24	23	19
	Cs-137	8	3	0,61	1,6	0,92	1,3	<1,5
	Sr-90	4	0	0,81	1,5	1,1	1,0	0,86
	U-234	4	0	12	19	16	16	15
	U-235	5	0	0,47	2,0	0,93	0,71	0,64
	U-238	5	0	11	73	26	15	14
Niedersachsen	K-40	40	1	31	910	230	89	84
	Co-60	40	40				<1,3	<1,3
	I-131	40	2	0,94	550	68	24	25
	Cs-137	40	15	0,46	4,7	1,7	<1,3	1,5
	Sr-90	5	0	1,9	3,5	2,5	2,2	1,8
	U-234	4	0	11	39	23	21	25
	U-235	4	0	0,29	1,4	0,77	0,67	0,8
	U-238	4	0	10	31	19	17	19
Bremen	K-40	8	0	150	280	190	180	280
	Co-60	8	8				<1,2	<1,3
	I-131	8	0	16	74	36	35	44
	Cs-137	8	7			1,7	<1,3	<1,7
	Sr-90	4	1	1,1	2,1	1,5	1,2	1,3
	U-234	4	0	8,1	18	13	12	11

Land	Nuklid	2018						2017
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	U-235	4	3			1,1	<2,2	0,64
	U-238	4	0	6,9	13	9,9	10	9,5
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	1	47	470	180	120	110
	Co-60	40	40				<0,4	<0,48
	I-131	40	1	3,0	160	47	36	33
	Cs-137	40	8	0,75	4,3	2,0	1,6	1,8
	Sr-90	4	0	0,78	5,2	2,9	2,9	1,7
	U-234	4	0	34	86	53	45	45
	U-235	4	0	1,3	3,9	2,2	1,7	1,7
	U-238	4	0	29	58	40	37	33
Hessen	K-40	20	0	76	170	120	120	110
	Co-60	20	20				<0,73	<0,96
	I-131	20	2	2,1	190	37	15	16
	Cs-137	20	7	1,2	5,7	2,4	1,4	1,7
	Sr-90	4	0	0,5	1,9	0,96	0,74	0,55
	U-234	4	0	26	140	81	78	93
	U-235	4	0	0,71	4,3	2,6	2,6	2,8
	U-238	4	0	19	92	55	55	61
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	97	290	170	160	150
	Co-60	20	20				<0,26	<0,36
	I-131	20	3	2,9	56	21	11	15
	Cs-137	20	4	0,86	5,5	2,2	<1,9	1,6
	Sr-90	4	0	0,72	1,2	0,92	0,88	0,78
	U-234	4	0	62	65	64	65	57
	U-235	3	0	0,65	5,6	2,7	1,7	1,6
	U-238	4	0	40	48	44	43	32
Baden-Württemberg	K-40	34	0	72	470	180	160	130
	Co-60	34	34				<0,52	<0,52
	I-131	32	8	3,7	3400	210	24	10
	Cs-137	34	0	1,2	35	9,5	4,9	3,5
	Sr-90							0,8
	U-234							36
	U-235							1,4
	U-238							31
Baden-Württemberg (West ³)	Co-60	25	25				<0,51	<0,52
	Cs-137	25	0	1,2	22	5,7	3,5	2,8
	Sr-90							0,8
Baden-Württemberg (Ost ⁴)	Co-60	9	9				<0,58	<0,48
	Cs-137	9	0	7,1	35	20	20	15
	Sr-90							<4,0
Bayern	K-40	40	0	48	1200	300	210	190
	Co-60	40	40				<1,8	<1,9
	I-131	40	6	6,5	220	43	26	33
	Cs-137	40	2	1,3	23	5,5	4,0	4,5
	Sr-90	4	0	2,2	4,9	3,5	3,4	3,1
	U-234	4	0	37	280	110	62	57
	U-235	13	7	1,6	12		<7,9	3,9
	U-238	4	0	37	250	100	58	54
Bayern (Nord ³)	Co-60	20	20				<1,9	<2,0
	Cs-137	20	1	1,3	5,9	3,3	2,8	2,6
	Sr-90	2	0	3,1	3,8	3,4	3,4	3,9
Bayern Süd ⁴)	Co-60	20	20				<1,7	<1,9
	Cs-137	20	1	2,0	23	7,6	6,6	7,5
	Sr-90	2	0	2,2	4,9	3,6	3,6	2,7
Saarland	K-40	8	0	86	280	180	160	150
	Co-60	8	8				<0,26	<0,22
	I-131	8	0	2,7	98	30	9,4	13

Land	Nuklid	2018						2017
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	Cs-137	8	1	0,71	7,3	3,5	2,5	2,4
	Sr-90	4	1	3,3	3,9	3,6	3,5	1,8
	U-234	4	0	69	100	90	94	62
	U-235	4	0	2,4	20	7,1	3,1	2,0
	U-238	4	0	49	72	66	71	44
Berlin	K-40	4	0	52	100	67	58	80
	Co-60	4	4				<0,98	<1,1
	I-131	4	0	70	130	110	120	85
	Cs-137	4	2	0,66	1,5	1,1	<1,1	0,9
	Sr-90	2	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
	U-234	2	0	12	13	12	12	10
	U-235	2	0	0,53	0,6	0,56	0,56	0,43
	U-238	2	0	10	11	11	11	9,1
Brandenburg	K-40	30	0	30	150	84	82	70
	Co-60	29	29				<0,42	<0,4
	I-131	27	0	1,0	200	53	48	39
	Cs-137	30	8	0,31	4,4	1,1	0,67	0,7
	Sr-90	9	0	0,56	2,4	1,4	1,3	1,0
	U-234	9	0	12	20	17	17	20
	U-235	9	3	0,65	0,93	0,84	0,9	<0,66
	U-238	9	0	12	20	16	15	10
Mecklenburg- vorpommern	K-40	20	1	48	270	120	110	110
	Co-60	20	20				<0,39	<0,42
	I-131	19	2	2,4	140	57	49	45
	Cs-137	20	4	0,42	2,8	1,3	0,92	0,75
	Sr-90	4	1	0,44	1,3	0,86	0,8	1,5
	U-234	4	0	11	21	17	17	16
	U-235	4	0	0,68	3,1	1,5	1,2	0,9
	U-238	4	0	12	20	16	16	15
Sachsen	K-40	20	0	82	250	130	130	140
	Co-60	20	20				<0,73	<0,63
	Cs-137	20	1	0,65	5,4	1,6	0,96	1,2
	Sr-90	4	0	1,4	2,1	1,7	1,7	1,8
	U-234	4	0	63	77	69	68	86
	U-235	4	2	3,3	3,4	3,4	<4,1	<5,3
	U-238	4	0	60	79	69	68	79
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	71	330	140	120	120
	Co-60	20	20				<0,54	<0,56
	I-131	20	5	1,2	76	23	9,5	7,5
	Cs-137	20	4	0,63	6,5	2,3	<1,0	0,97
	Sr-90	4	4				<2,5	<2,5
	U-234	4	0	4,7	100	47	42	70
	U-235	15	2	1,7	7,8	4,4	4,1	3,4
	U-238	20	0	4,1	170	70	67	72
Thüringen	K-40	20	0	110	250	170	170	160
	Co-60	20	20				<0,5	<0,54
	I-131	20	6	1,1	98	55	34	44
	Cs-137	20	1	0,73	2,9	1,5	1,4	1,3
	Sr-90	4	0	0,68	0,89	0,8	0,82	0,92
	U-234	4	0	35	150	96	100	100
	U-235	4	0	0,92	5,4	3,2	3,2	2,8
	U-238	5	0	20	82	56	71	57
Bundesrepublik Deutschland	K-40	352	4	30	1200	170	120	120
	Co-60	351	351				<0,7	<0,78
	I-131	326	41	0,94	3400	59	24	23
	Cs-137	352	85	0,31	35	3,3	1,6	1,7
	Sr-90	64	7	0,44	5,2	1,7	1,2	<1,1
	U-234	63	0	4,7	280	47	26	39

Land	Nuklid	2018						2017
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	U-235	83	21	0,29	20	3,1	2,4	2,0
	U-238	81	0	4,1	250	46	37	39
Bundesrepublik Deutschland (Nord ³)	Co-60	322	322				<0,65	<0,77
	Cs-137	323	84	0,31	22	2,3	1,5	1,5
	Sr-90	62	7	0,44	5,2	1,6	1,2	1,1
Bundesrepublik Deutschland (Süd ⁴)	Co-60	29	29				<1,4	<1,3
	Cs-137	29	1	2,0	35	12	7,7	11
	Sr-90	2	0	2,2	4,9	3,6	3,6	2,7
¹ Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind. ² Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden. ³ Nördlich bzw. westlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel ⁴ Südlich bzw. östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel								

Tabelle T II.83 Überwachung von Abfällen
(Monitoring of wastes)

		2018						2017
Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel ¹ -/ Einzelwert	Median ²	Median ²
Sickerwasser (Bq/l)								
Alle Länder	H-3	61	12	0,88	430	41	20	18
	K-40	67	9	0,29	39	15	12	11
	Cs-137	67	36	0,0047	0,2		0,043	<0,047
Nord ³	Cs-137	62	35	0,0047	0,11			
Süd ⁴	Cs-137	5	1	0,077	0,2			
Flugasche / Filterstaub (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	51	0	290	6200	1500	1400	1400
	Co-60	51	50			0,24	<0,48	<0,45
	I-131	47	29	0,51	310		<1,2	<1,2
	Cs-137	51	2	1,2	310	34	17	16
Nord ³	Cs-137	45	2	1,2	57			
Süd ⁴	Cs-137	6	0	41	310			
Schlacke (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	74	1	120	2100	360	280	300
	Co-60	74	74				<0,22	<0,29
	I-131	66	58	0,41	34		<0,33	<0,49
	Cs-137	74	4	0,24	47	3,6	1,4	1,4
Nord ³	Cs-137	68	4	0,24	39			
Süd ⁴	Cs-137	6	0	1,8	47			
feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	49	4	1,8	1800	460	190	220
	I-131	47	16	0,5	160	23	4,7	3,0
	Cs-137	49	15	0,042	55	11	1,6	2,5
Nord ³	Cs-137	48	15	0,042	55			
Süd ⁴	Cs-137	1	0			34		
flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)								
Alle Länder	K-40	33	5	0,16	370	43	9,3	8,8
	I-131	32	7	0,18	500	61	4,0	1,8
	Cs-137	33	20	0,046	1,7		<0,091	<0,099
Nord ³	Cs-137	30	18	0,046	1,7			
Süd ⁴	Cs-137	3	2			1,0		
Kompost (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	75	0	240	780	500	490	500
	Cs-137	75	2	1,7	34	5,6	4,4	4,9
Nord ³	Cs-137	71	2	1,7	8,8			
Süd ⁴	Cs-137	4	0	10	34			
<p>1 Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.</p> <p>2 Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.</p> <p>3 Nördlich bzw. westlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel</p> <p>4 Südlich bzw. östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel</p>								

Tabelle T II.84 Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum München
(Annual and monthly mean values in the Munich area)

Messstelle: Bundesamt für Strahlenschutz, Leitstelle Inkorporationsüberwachung

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Messwerte	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Messwerte	spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1996	282	47	0,93	289	56	1,06
1997	304	44	0,72	332	54	0,85
1998	316	45	0,61	265	52	0,67
1999	290	56	<1,4	255	61	<1,2
2000	265	58	<1,6	242	63	<1,2
2001	362	57	<1,4	236	62	<1,1
2002	367	57	<1,3	245	62	<1,1
2003	419	57	<1,3	274	63	<1,1
2004	398	56	<1,4	278	62	<1,1
2005	444	55	<1,3	299	61	<1,1
2006	456	55	<1,4	314	61	<1,1
2007	387	54	<1,3	292	59	<1,1
2008	421	49	<1,15	339	54	<0,9
2009	432	49	<1,2	353	53	0,9
2010	392	49	1,1	294	53	<1,0
2011	322	52	1,14	282	56	0,9
2012	306	49	1,12	262	54	0,9
2013	325	46	0,5	268	52	0,5
2014	273	42	0,36	241	41	0,39
2015	320	37	0,38	328	44	0,39
2016	359	39	0,34	291	45	0,31
2017	406	40	0,35	310	46	0,40
2018	334	41	0,28	319	48	0,31
Monatsmittelwerte für 2018						
Januar	25	39	0,33	28	47	0,32
Februar	30	43	0,30	27	47	0,32
März	34	42	0,27	29	48	0,31
April	31	41	0,26	25	46	0,36
Mai	22	41	0,25	22	51	0,39
Juni	26	40	0,27	21	46	0,36
Juli	32	40	0,25	31	49	0,28
August	33	40	0,27	27	48	0,28
September	31	41	0,25	34	49	0,24
Oktober	19	42	0,33	19	49	0,26
November	27	40	0,31	35	48	0,31
Dezember	24	41	0,32	21	49	0,30

Tabelle T II.85 Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Berlin
(Annual and monthly mean values in the Berlin area)

Messstelle: Bundesamt für Strahlenschutz, Leitstelle Inkorporationsüberwachung

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Messwerte	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Messwerte	spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
2005	148	43	0,7	90	51	0,6
2006	157	45	0,7	96	51	0,5
2007	143	45	0,7	90	53	0,5
2008	3	43	nn	1	35	nn
2009	105	44	0,8	78	49	0,6
2010	148	44	0,7	83	53	1
2011	171	45	0,8	113	54	0,9
2012	198	45	0,7	122	56	0,3
2013	202	44	0,8	136	56	0,6
2014	178	43	0,5	116	55	0,5
2015	164	45	0,72	121	57	0,33
2016	77	45	0,48	62	57	0,45
2017	152	45	0,45	129	54	0,45
2018	201	43	0,41	215	55	0,42
Monatsmittelwerte für 2018						
Januar	15	45	0,43	15	56	0,49
Februar	14	45	0,45	15	55	0,46
März	17	41	0,47	18	54	0,50
April	15	44	0,47	19	57	0,47
Mai	18	42	0,49	19	57	0,43
Juni	19	41	0,53	19	54	0,41
Juli	19	43	0,44	20	55	0,43
August	19	43	0,48	20	57	0,49
September	16	43	0,49	18	55	0,52
Oktober	18	41	0,24	19	56	0,28
November	18	44	0,24	20	56	0,29
Dezember	13	43	0,22	13	54	0,23
nn nicht nachgewiesen						

Tabellen

Tabelle T II.86 Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Karlsruhe
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)

Messstelle: Forschungszentrum Karlsruhe

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Messwerte	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Messwerte	spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1996	36	49	<0,21	38	57	<0,22
1997	112	51	0,22	112	61	0,21
1998	114	51	<0,21	118	63	<0,24
1999	110	51,5	<0,23	115	61	<0,27
2000	109	51	<0,16	106	60	<0,27
2001	94	52	<0,20	101	61	<0,31
2002	86	50	0,22	86	60	0,31
2003	56	52	0,20	54	59	0,31
2004	62	53	0,24	56	61	0,32
2005	41	52	0,16	35	57	0,26
2006	19	41	0,17	18	44	0,21
2007	83	49	0,06	73	62	0,12
2008	81	48	0,07	69	64	0,15
2009	72	48	0,11	96	64	0,17
2010	69	49	0,09	97	65	0,15
2011	70	47	0,10	91	65	0,10
2012	43	47	0,12	82	65	0,08
2013	49	45	0,12	80	66	0,11
2014	71	47	0,07	98	62	0,08
2015	75	46	0,08	94	63	0,07
2016	79	47	0,08	105	62	0,08
2017	92	47	0,16	82	58	0,12
2018	96	46	0,08	78	58	0,10
Monatsmittelwerte für 2018						
Januar	8	47	0,03	7	60	0,20
Februar	9	48	0,13	7	56	0,10
März	8	47	0,03	9	59	0,08
April	8	47	0,16	7	59	0,10
Mai	8	46	0,00	6	58	0,00
Juni	9	46	0,04	7	59	0,04
Juli	9	44	0,08	6	58	0,07
August	6	47	0,07	3	60	0,10
September	5	42	0,10	7	56	0,06
Oktober	9	46	0,09	7	60	0,14
November	8	49	0,14	6	61	0,15
Dezember	9	48	0,12	6	54	0,10
a) Daten lagen nicht vor						



III. Tabellen zur beruflichen Strahlenexposition
(*Tables on occupational radiation exposure*)

In diesem Bereich sind keine Tabellen verfügbar.

IV. Tabellen zur medizinischen Strahlenexposition
(*Tables on radiation exposure from medical applications*)

Tabelle T IV.1 Typische Werte für die effektive Dosis häufiger Röntgenmaßnahmen
(*Ranges of effective doses for frequently applied x-ray diagnostic procedures*)

Untersuchungsart	effektive Dosis in mSv
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	<0,01
untere Extremitäten (Gliedermaßen)	0,01
Schädelaufnahme	0,02
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,04
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,4
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,3
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,6
Beckenübersicht	0,3
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,4
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	5
Koronarangiographie	5
PTCA (perkutane transluminale koronare Angiographie zur Herzkranzgefäßerweiterung)	9
Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein)	0,4
Becken-Bein-Arteriographie	5
CT-Untersuchungen	
Hirnschädel	2
Lendenwirbelsäule (Bandscheibe)	2
Brustkorb (Thorax)	5
Bauchraum (Abdomen)	10

V. Tabellen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung
(Tables on the handling of radioactive materials and sources of ionising radiation)

Tabelle T V.1 Einfuhr radioaktiver Stoffe nach Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Import of radioactive materials to Germany - without radioactive waste)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamteinfuhr (ohne radioakt. Abfälle) * (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) (kg)
1990	2 682 529	319 142	61 850 900	64 852 571	2 206 300
1991	3 040 547	72 469	102 929 300	106 042 316	1 461 661
1992	4 470 768	1 470 922	31 326 500	37 268 190	1 742 521
1993	3 227 143	2 546 470	23 330 800	29 104 413	2 306 737
1994	1 911 797	1 072 513	71 315 900	74 300 210	1 999 972
1995	4 686 926	73 629	38 600 400	43 360 955	2 049 273
1996	10 447 635	511 014	59 959 336	70 917 985	2 226 240
1997	1 541 873	51 048	79 215 145	80 808 066	2 490 191
1998	3 254 186	26 300	63 455 965	66 736 451	2 685 212
1999	2 149 973	237	49 894 030	52 044 519	2 540 221
2000	2 070 200	299 203	59 094 344	61 465 318	2 446 259
2001	1 621 780	39 392	25 840 589	27 547 253	3 211 796
2002	2 154 465	34	25 656 390	27 814 225	3 070 944
2003	9 871 929	1	45 034 300	54 906 251	4 565 497
2004	634 604	1220	25 150 300	25 786 133	2 558 317
2005	488 683	0	27 969 374	28 458 227	4 219 415
2006	336 046	0	80 811 680	81 148 626	3 397 848
2007	2 116 020	1300	36 896 630	39 013 950	3 830 256
2008	591 121	0	20 038 339	20 629 456	3 760 712
Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	wie oben (GBq)	umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	wie oben (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe unbestrahlt (kg)
2009	162 310	8100	50 689 823	50 860 233	4 747 953
2010	578 964	0	32 783 390	33 362 734	6 204 450
2011	448 512	780	25 170 470	25 622 149	5 550 891
2012	289 541	0	48 678 600	48 968 143	4 701 992
2013	429 556	0	50 145 023	50 574 534	5 361 347
2014	273 682	0	61 174 877	61 448 525	3 976 324
2015	2 124 094	0	51 344 557	53 468 651	3 325 377
2016	3 920 877	24 722	114 183 613	118 129 212	4 698 422
2017	53 337	0	138 255 331	138 308 668	4 116 212
2018	1 995 553	0	76 556 076	78 551 629	4 182 210

* seit 1998 inklusive radioaktive Gemische, z. B. kontaminierte Werkzeuge

Tabelle T V.2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Export of radioactive materials from Germany - without radioactive waste)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamtausfuhr (ohne radioakt. Abfälle)* (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) (kg)
1990	1 511 312	17 808	2 499 700	4 028 820	2 800 495
1991	651 462	244	12 399 100	13 050 806	8 164 086
1992	2 015 066	27	5 994 200	8 009 293	2 990 557
1993	2 365 740	0	3 063 200	5 428 940	2 983 893
1994	1 447 018	98	2 137 812	3 584 928	2 078 477
1995	1 088 060	22 201	5 702 702	6 812 963	1 657 725
1996	960 351	1335	3 009 100	3 970 786	2 146 830
1997	392 404	22	2 146 212	2 538 638	3 550 137
1998	550 637	25 044	2 333 673	2 909 354	3 133 196
1999	711 403	81	1 705 422	2 424 966	3 257 216
2000	828 677	94	3 001 795	3 838 040	2 719 502
2001	548 627	23	1 122 457	1 671 185	3 228 135
2002	484 827	0	2 057 005	2 541 842	3 387 520
2003	603 203	14	4 223 996	4 833 831	3 691 535
2004	553 012	7	1 323 180	1 876 208	1 971 109
2005	293 648	0	919 800	1 213 957	1 244 377
2006	238 211	0	5 112 175	5 351 392	3 111 272
2007	197 017	0	2 698 485	2 895 503	3 836 072
2008	2 470 380	0	1 512 330	3 982 713	4 297 148
Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	wie oben (GBq)	umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	wie oben (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe unbestrahlt (kg)
2009	133 245	0	4 812 237	4 945 482	4 243 784
2010	102 567	0	5 671 642	5 774 155	4 032 449
2011	115 285	1	2 053 722	2 168 993	3 338 873
2012	121 877	0	3 187 561	3 309 422	4 372 018
2013	106 189	0	4 518 028	4 624 175	1 683 737
2014	121 035	0	1 779 279	1 900 294	1 861 879
2015	95 633	0	1 862 494	1 958 127	1 187 779
2016	110 844	29	2 844 413	2 955 286	885 891
2017	73 987	0	9 858 401	9 932 388	941 521
2018	2 970 938	0	2 162 711	5 133 649	835 530

* seit 1998 inklusive radioaktive Gemische, z. B. kontaminierte Werkzeuge



Tabelle T V.3 Aktivität der 2018 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab A1/100)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2018 - without sources at levels of above A1/100)

a)

Versender- land	Aktivität in GBq									
	H-3	C-14	P-33	Fe-55	Co-57	Co-60	Ni-63	Ge-88	Kr-85	Sr 90
Australien			216,0							
Belarus				370,0						
Indien						1,7			75,3	
Japan		0,0					24,1		23,0	
Kanada	1793 700,1									
Kolumbien						22,2				
Malaysia										
Norwegen	1 000,0									
Russ. Föderation					36,5			8 396,4	12 476,4	14 215,4
Saudi-Arabien										
Schweiz	17 704,5	37,1		14,8						
Singapur									138,8	
Südafrika								47,4		
Türkei								12,0	46,3	
Usbekistan			222,0							
USA	270,8	110,0	359,4		115,8	0,3	1 949,8	37 671,0	2 244,5	0,5
VR China							172,6		24,1	
sonstige			7,4	3,9		104,0	5,0	16,3	17,0	0,1
Summe	1812 675,4	147,1	804,8	388,7	152,3	128,2	2 151,5	46143,0	15 045,3	14 216,0

b)

Versender- land	Aktivität in GBq								Summe (a-b)
	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Lu-177	W-188	Am-241	Sonstige	
Australien			37,7					0,02	254
Belarus								37,00	407
Indien				51,0				1,21	129
Japan									47
Kanada	11 535,0				712,0			5,95	1 805 953
Kolumbien				50,0					72
Malaysia			25,9	25,0			22,2		73
Norwegen							133,2	70,39	1 204
Russ. Föderation	5 860,6			7 499,9	314,5	1 363,5		34,84	50 198
Saudi-Arabien			12,8						13
Schweiz				74,0				5,90	17 836
Singapur			31,0					0,00	170
Südafrika		16 397,0			47 610,0			0,74	64 055
Türkei								30,00	88
Usbekistan	11 248,0				44,8				11 515
USA	224,5				10,9		31,8	86,15	43 075
VR China								0,00	197
sonstige	2,2	0,0	39,6	11,0	1,2	22,2	13,1	23,58	267
Summe	28 870,4	16 397,0	147,0	7 710,9	48 693,4	1 385,7	200,4	295,8	1 995 552,9



Tabelle T V.4 Aktivität der 2018 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab A1/100
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2018 with levels of above A1/100)

Versenderland	Aktivität in GBq						Summe
	Co-60	Se-75	Sr-90	Cs-137	Ir-192	Cf-252	
Australien		2 425				2,1	2 427
Belarus	5 587						5 587
Ecuador	15 700						15 700
Indien	31	5 739					5 770
Kanada	70 932 560				187		70 932 747
Kolumbien	46 400						46 400
Paraguay	57 100						57 100
Russland	2 318 010	2 584 723					4 902 733
Saudi-Arabien	260	914		72 000	40		73 214
Schweiz	37	1 691			2 104		3 833
Südafrika		15 158					15 158
Thailand	212 000						212 000
USA	2 146		33		2 893	3,6	5 076
VR China				278 080			278 080
sonstige	252						252
Summe	73 590 083	2 610 650	33	350 080	5 224	6	76 556 076

Tabelle T V.5 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2018
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2018)

Versenderland	Einfuhr in kg				Summe in kg
	abger. Uran	Natururan	bis 3 % U-235	>3-10 % U-235	
Finnland				0,9	1
Frankreich			131	83 857	83 987
Kanada	0,320	1 676 530			1 676 530
Niederlande			16 632	18 119,61700	34 752
Russische Föderation	0,163			84 463	84 463
Schweden				75 491	75 491
Spanien				15 258	15 258
USA	5,184	2 194 106		35	2 194 146
Vereinigtes Königreich			12 070		12 070
sonstige	5 511				5 511
Summe in kg	5 516	3 870 636,1	28 833,5	277 224,2	4 182 210,2

Tabelle T V.6 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2018
(Export of sealed and unsealed radionuclides without sources at levels of above A1/100 in the year 2018)

a)

Empfängerland	Aktivität in GBq								
	H-3	C-14	F-18	Co-60	Ni-63	Ge-68	Kr-85	Sr-90	Y-90
Ägypten				3,7			32,1		
Aserbaidshan									
Australien									
Brasilien				4,1		35,4	37,3		
Chile									
Hongkong									
Indien				15,7	22,2	48,0	410,8		
Indonesien				7,4			138,8		
Islam. Rep. Iran									
Israel						12,7			78,0
Japan					687,0		3 768,1	8,1	66,6
Kanada	2 841 272,3			11,1			85,8		10,6
Kolumbien									
Libanon									
Malaysia				3,6			155,4		
Mexiko									
Norwegen	30,6		12,2						15,0
Oman									
Pakistan							112,3		
Philippinen							83,3		
Republik Korea					26,1		212,8	7,0	
Russ. Föderation							272,6		
Saudi-Arabien									
Schweiz	6 996,1		6 150,5			581,3	47,0		354,0
Singapur							92,5		15 935,0
Südafrika						14,5			
Taiwan				13,2			49,3		
Thailand							71,5		
Türkei				4,6		14,0	45,1		
Ukraine							37,0		
Uruguay									
USA	11,1	142,0		47,4	94,7	214,9	4 949,2	61,1	2 511,7
VR China				29,3	69,9	27	4 977,6	19,2	
sonstige	0	5,8		33	51	67	101	34	3
Summe	2 848 310	147,9	6 163	174	951	445	15 679	129	18 974



b)

Empfängerland	Aktivität in GBq							Summe a) - b)
	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Lu-177	Am-241	sonstige	
Ägypten			102,9					138,69
Aserbaidshan			66,5				18,03	84,52
Australien	43,1		89,3		1 240,4		21,07	1 393,89
Brasilien				62,0		23,38		162,17
Chile			41,7		836,0			877,74
Honkong		1 579,5			555,0			2 134,53
Indien			355,2	155,5	6 780,0	44,40	88,62	7 920,46
Indonesien			22,9	25,0				194,09
Islam. Rep. Iran			16,7		402,0			418,66
Israel	83,0				2 673,0			2 846,69
Japan				728,2	70,0			5 327,95
Kanada	449,0	125,4			7 585,0		25,10	2 849 564,28
Kolumbien				25,0	449,0			474,00
Libanon					107,0			107,00
Malaysia			482,9	25,0				666,95
Mexiko	38,5		14,8	25,0	1 638,0			1 716,30
Norwegen	44,1	442,6	528,2		633,0		28,15	1 734,00
Oman			74,0			196,10		270,13
Pakistan					363,0			475,30
Philippinen					340,0			423,25
Republik Korea		8 221,5	276,8		124,0		8,95	8 877,13
Russ. Föderation	1 671,0			51,8				1 995,40
Saudi-Arabien			66,0		143,0	37,00		246,05
Schweiz	94,6	11,0		55,5	6 124,7		88,03	20 502,70
Singapur					3 209,0			19 236,50
Südafrika	27,3				1 717,1	16,70		1 775,62
Taiwan			24,1	25,0		38,67		150,17
Thailand			80,2		464,0			615,65
Türkei			64,7		3 834,0		7,46	3 969,94
Ukraine						5 391,90		5 428,90
Uruuay					474,0			474,00
USA	221,9		72,9	2 738,1	11 044,8	26,69	32,04	22 168,64
VR China			276,0	394	2 206,0		11,16	8 010,39
sonstige	118		293	69	228,0	108,38	14,60	1 126,64
Summe	2 790	10 380	2 949	4 380	53 240,0	5 883,22	343,22	2 970 938,31

Tabelle T V.7 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2018
(Export of sealed radiation sources with levels of above A1/100 in the year 2018)

Empfängerland	Aktivität in GBq							Summe
	Co-60	Se-75	Sr-90	Cs-137	Ir-192	Am-241	Cf-252	
Ägypten	325 069				4 625			329 694
Argentinien	68	10 046		4 810				14 924
Bahrain				42 920				42 920
Brasilien		4 987		48 470				53 457
Chile	129			296				425
Indien	469	106 185		2 017		222		108 893
Indonesien	640 151							640 151
Israel		6 014						6 014
Kanada	63 260			70 000	18 702			151 962
Kasachstan	154			75				229
Kuwait		6 635						6 635
Mexiko	89			929		370		1 389
Neuseeland		9 896						9 896
Oman						566		566
Republik Korea	1 611			150 126				151 737
Russische Föderation	990	75 961						76 951
Saudi-Arabien		5 106						5 106
Schweiz		2 023			8 236			10 259
Südafrika	68	240 438						240 506
Taiwan	444							444
Tunesien					7 400			7 400
Türkei	118			181				300
Vereinigte Staaten	1 497		570	55			1,2	2 124
Volksrepublik China	107		93	297 598				297 797
sonstige	2 823		22	89				2 934
Summe	1 037 047	467 291	685	617 565	38 963	1 158	1	2 162 711

Tabellen

Tabelle T V.8 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2018
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2018)

Empfängerland	Ausfuhr in kg				Summe
	abger. Uran	Natururan	bis 3 % U-235	>3-10 % U-235	
Belgien				12 927	12 927
Brasilien				29 506	29 506
Finnland			26 086	19 411	45 497
Frankreich			3 548	52 017	55 565
Kanada		412			412
Niederlande				67	67
Republik Korea				47 053	47 053
Russische Föderation				81	81
Schweden				119 498	119 498
Schweiz	0,009			54 935	54 935
USA	1,05	42 290	4 336	329 371	375 997
Vereinigtes Königreich			5	88 927	88 932
sonstige	5 059	0,0001			5 059
Summe	5 060	42 702	33 975	753 793	835 530

Tabellen

Tabelle T V.9 Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2018
(Overview of the number of licenses and notifications in the year 2018)

Anzahl der Genehmigungen § 3 AtG und § 19 StrISchV			Anzahl der Anzeigen § 20 StrISchV	
für	erteilt	genutzt	Abs. 1 Nr.1 + Abs. 3 (Einfuhr)	Abs. 1 Nr. 2 (Ausfuhr)
Einfuhr § 3 AtG	28	22	2 277	6 051
Ausfuhr § 3 AtG	56	36		
Einfuhr § 19 Abs. 1 StrISchV	37	36		
Ausfuhr § 19 Abs. 2 StrISchV	37	34		
Bei den Ein- und Ausfuhrgenehmigungen nach § 19 StrISchV sind ausschließlich Genehmigungen für HRQs ab A1 genannt				

Tabelle T V.10 Übersicht über die Anzahl der durchgeführten Kernbrennstofftransporte (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of reported shipments of nuclear fuels – for various modes and types of transport)

Anzahl der Inlandtransporte	2018	2017
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	0
Straße / unbestrahltes Material	26	25
Straße / bestrahltes Material	1	0
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
Binnenwasserstraße / unbestrahltes Material	0	0
Binnenwasserstraße / bestrahltes Material	0	5
Binnenwasserstraße / Reststoffe und Abfall	0	0
insgesamt	27	30
Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte		
Luft / unbestrahltes Material	0	0
Luft / bestrahltes Material	0	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0	0
See / unbestrahltes Material	88	75
See / bestrahltes Material	0	1
See / Reststoffe und Abfall	2	7
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	0
Straße / unbestrahltes Material	239	239
Straße / bestrahltes Material	102	83
Straße / Reststoffe und Abfall	8	1
insgesamt	439	406

Tabelle T V.11 Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen/Transporte mit radioaktiven Stoffen
(Number of yearly transported truck loads / transports containing radioactive materials)

Jahr	Anzahl Wagenladungen	Anzahl der Transporte
1999	204 ^a	
2000	258 ^a	
2001	336	
2002	433	
2003	552	
2004	509	
2005	610	
2006	536	
2007	528	
2008	481	
2009	405	116
2010	416	102
2011	434	129
2012	451	134
2013	352	132
2014	294	102
2015	329	95
2016	327	101
2017	279	80
2018	217	86

a geringe Anzahl überwiegend wegen Aussetzung von Brennelementetransporten

Tabelle T V.12 Anzahl der Beförderungen radioaktiver Stoffe (Bahn) in Abhängigkeit von der rechtlichen Grundlage
(Number of transports of radioactive materials (railway) in respect of their legal basis)

Rechtliche Grundlage	Genehmigungsbehörde	Anzahl Transporte		Anzahl Wagenladungen	
		2018	2017	2018	2017
AtG § 4	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
AtG § 23 Abs. 2	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
StrlSchV § 16	Eisenbahn-Bundesamt (EBA)	86	80	217	279
StrlSchV § 17	genehmigungsfrei	-	-	-	-

Tabelle T V.13 Wagenladungssendungen
(Truck-loads)

Art der beförderten Stoffe	UN- Nummer*	Anzahl der Wagen	
		2018	2017
Kernbrennstoffe			
verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	3328	-	-
unbestrahtes, angereichertes Uran (< 1 % U-235) als U ₃ O ₈	3321	-	-
sonstige radioaktive Stoffe			
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	2978	62	109
Natururan in Form von Uranoxid (U ₃ O ₈)	2912	91	62
Rückstände/Abfälle aus kerntechnischen Anlagen			
- in Typ (BU)-Behältern	2916	20	-
- SCO in Industrierversandstücken	2913	3	15
- Industrierversandstücke	3321	41	93
- in Typ A-Versandstücken	2915	-	-
freigestellte Versandstücke			
- als leere Verpackung	2908	-	-
- als begrenzte Stoffmenge	2910	-	-
Summe		217	279

* Nummer zur Stoffkennzeichnung nach Gefahrgutrecht

Tabellen

Tabelle T V.14 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported)

Art der beförderten Stoffe	beförderte Gesamtaktivität (Werte zum Teil geschätzt)	
	2018 (TBq)	2017 (TBq)
Kernbrennstoffe		
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	-	-
unbestrahtes, angereichertes Uran (< 1 % U-235) als U ₃ O ₈	-	-
sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	49,8	73,1
Natururan in Form von Uranoxid (U ₃ O ₈)	125,2	74,5
Rückstände/Abfälle aus kerntechnischen Anlagen		
- in Typ (BU)-Behältern	6 535,4	-
- SCO in Industrierversandstücken	0,3	0,3
- Industrierversandstücke	474,5	31,6
- in Typ A-Versandstücken	-	-
freigestellte Versandstücke		
- als leere Verpackung	-	-
- als begrenzte Stoffmenge	-	-
Summe	7 185,1	179,5

Tabelle T V.15 Anteil der überprüften Beförderungen, bezogen auf Transportarten, sowie festgestellte Mängel
(Contingent of reviewed transports based on types of transport and detected defects)

Transportart	Transporte				Beanstandungsquote	
	Anzahl (überprüft)		Prüfquote		2018	2017
	2018	2017	2018	2017	2018	2017
sonstige radioaktive Stoffe	86 (28)	80 (33)	32,6 %	41,3 %	7,1 %	15,2 %
Kernbrennstoffe	-	-	-	-	-	-

Tabelle T V.16 Festgestellte Verstöße gegen Gefahrgutvorschriften
(Detected contemptes against dangerous goods regulations)

Verstöße	Anzahl	
	2018	2017
Gefahrenkategorie I (schwerwiegender Verstoß)	-	-
Gefahrenkategorie II (weniger schwerwiegender Verstoß)	-	-
Gefahrenkategorie III (kein schwerwiegender Verstoß)	3	2

Tabelle T V.17 Übersicht über die Zahl der Genehmigungen* nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2018)
(Survey of the number of licences according to § 7 StrlSchV relating to the handling of radioactive substances - as at December 31, 2018)

Land	Zahl der Genehmigungen nach § 7 StrlSchV			
	Anwendung am Menschen	Forschung und Lehre ohne Anwendung am Menschen	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	485	314	631	64
Bayern	259	157	581	105
Berlin	168	215	230	2
Brandenburg	36	46	136	37
Bremen	39	8	57	12
Hamburg	28	36	70	23
Hessen	203	115	362	37
Mecklenburg-Vorpommern	28	51	83	8
Niedersachsen	245	238	540	67
Nordrhein-Westfalen	607	328	1010	87
Rheinland-Pfalz	107	100	246	10
Saarland	38	22	42	10
Sachsen	57	70	223	90
Sachsen-Anhalt	47	27	181	22
Schleswig-Holstein	65	45	106	35
Thüringen	56	21	131	106
Summe	2 468	1 793	4629	715

* Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind nicht berücksichtigt

Tabelle T V.18 Zahl der Genehmigungen* nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2018)
(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2018)

Land	Zahl der Genehmigungen nach § 7 StrlSchV			
	Anwendung am Menschen	Forschung und Lehre ohne Anwendung am Menschen	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	davon zerstörungsfreie, ortsveränderliche Werkstoffprüfung
Baden-Württemberg	212	134	473	36
Bayern	65	52	540	11
Berlin	7	12	18	12
Brandenburg	9	27	125	7
Bremen	13	3	45	3
Hamburg	9	16	55	4
Hessen	59	30	222	8
Mecklenburg-Vorp.	7	34	61	2
Niedersachsen	55	88	419	32
Nordrhein-Westf.	186	149	801	86
Rheinland-Pfalz	27	32	84	17
Saarland	8	9	32	1
Sachsen	18	41	204	10
Sachsen-Anhalt	10	9	177	15
Schleswig-Holstein	29	14	89	3
Thüringen	13	5	130	12
Summe	727	655	3 475	259

* Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind nicht berücksichtigt

Tabellen

Tabelle T V.19 Übersicht über die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen* nach § 11 StrlSchV (Stand: 31.12.2018)
(Survey of the number of licencees according to § 11 StrlSchV - as at December 31, 2018)

Land	Zahl der Genehmigungen nach § 11 StrlSchV			
	Anwendung am Menschen	ohne Anwendung am Menschen (Forschung und Lehre)	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	95	9	12	7
Bayern	112	15	29	0
Berlin	39	14	1	0
Brandenburg	13	1	0	0
Bremen	6	0	0	1
Hamburg	21	3	2	5
Hessen	53	4	225	0
Mecklenburg-Vorp.	11	2	0	0
Niedersachsen	58	13	14	1
Nordrhein-Westfalen	204	22	19	0
Rheinland-Pfalz	32	4	0	0
Saarland	10	0	1	0
Sachsen	53**	20	7	1
Sachsen-Anhalt	15	0	4	0
Schleswig-Holstein	19	0	3	0
Thüringen	34	3	3	0
Summe	775	110	320	15

* einschließlich in Verbindung mit nach § 7 StrlSchV erteilten Genehmigungen
** in 25 Genehmigungen

Tabelle T V.20 Übersicht über gültige Genehmigungen
(Survey of current licences)

Land	Am 31.12.2018 gültige Genehmigungen* nach:					
	§ 7 StrISchV (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 11 StrISchV (Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Strah- len)**	§ 15 StrISchV (Beschäfti- gung in fremden Anlagen und Einrichtun- gen)	§ 16 StrISchV (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)	§ 106 StrISchV (ausschließlich Genehmigun- gen für den Zusatz radioakti- ver Stoffe zu Konsumgütern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrenn- stoffen)
Baden- Württemberg	1 827	123 (10)	363	79	3	0
Bayern	1 102	156 (13)	326	64	12	0
Berlin	615	54 (5)	179	43	1	2
Brandenburg	255	14 (1)	71	15	0	0
Bremen	115	7 (0)	47	8	0	0
Hamburg	192	31 (4)	82	5	0	0
Hessen	717	282 (4)	156	19	0	4
Mecklenburg-Vorp.	170	13 (8)	63	3	1	0
Niedersachsen	1 090	86 (1)	203	36	0	2
Nordrhein-Westf.	2 047	245 (17)	534	85	2	8
Rheinland-Pfalz	404	36 (24)	151	31	0	1
Saarland	112	11 (0)	17	12	0	0
Sachsen	440	81 (6)***	148	26	4	1
Sachsen-Anhalt	292	19 (17)	48	14	0	0
Schleswig-Holstein	292	22 (0)	76	8	1	0
Thüringen	319	40 (0)	38	6	1	0
Summe	9 989	1 220	2 502	454	25	18
* Genehmigung ohne Nachträge, Änderungen und Verlängerungen („Stammgenehmigung“)						
** Errichtungsgenehmigungen nach § 11 in Klammern						
***in 49 / 4 Genehmigungen						

Tabelle T V.21 Übersicht über die Zahl der im Jahr 2018 erstatten Anzeigen
(Survey of the number of notifications in the year 2018)

Land	Zahl der erstatteten Anzeigen			
	§12 StrlSchV (Anzeigebedürftiger Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen)	Radon § 95 i.V.m. Anlage XI Teil A StrlSchV (Erhöhte Radon-222-Exposition) *	NORM § 95 Absatz 2 i.V.m. Anlage XI Teil B StrlSchV sowie § 96 Absatz 5 StrlSchV (Erhöhte Exposition durch Uran und Thorium und deren Zerfallsprodukte)	BAZ § 117 Absatz 7 Satz 2 StrlSchV (Verwendung und Lagerung bestimmter BAZ-Vorrichtungen nach StrlSchV 1989)
Baden-Württemberg	19	2	0	815
Bayern	13	51	1	710
Berlin	2	0	1	ca. 500
Brandenburg	0	0	0	125
Bremen	1	0	0	0
Hamburg	0	0	0	171
Hessen	0	0	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	2	0	0	4
Niedersachsen	0	0	0	1130
Nordrhein-Westfalen	9	0	0	ca. 2 633
Rheinland-Pfalz	0	0	0	599
Saarland	0	0	0	148
Sachsen	8**	12	0	48 ***
Sachsen-Anhalt	0	1	0	15
Schleswig-Holstein	0	0	0	174
Thüringen	0	8 (2)	0	0
Summe	54	74	2	7 072
* fremde Betriebsstätten in Klammern ** 8 Anzeigen mit insgesamt 128 einzelnen Anlagen				
*** 48 Anzeigen mit insgesamt 87 Quellen				



Tabelle T V.22 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 66 StrlSchV im Jahr 2018
(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2018)

Land	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	Anzahl HRQ	Anzahl und Nuklid der bei den Prüfungen als undicht ermittelten Präparate	Anzahl undichter HRQ
Baden-Württemberg	1 875	305	4	0
Bayern	2 285	122	6 davon 4 x Ni-63, 1 x Kr-85, 1 x Ra-226	0
Berlin	324	80	0	0
Brandenburg	590	4	0	0
Bremen	59	4	0	0
Hamburg	387	205	0	0
Hessen	412	7	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	240	6	0	0
Niedersachsen	1 833	268	6 davon 1 x Am-241, 2 x Cs-137, 2 x H-3, 1 x Ba-133	0
Nordrhein-Westfalen	2 659	147	4 davon 1 x Na-22, 1 x Cs-137, 2 x Am-241	0
Rheinland- Pfalz	333	13	1	0
Saarland	74	4	0	0
Sachsen	1 976	639	11 davon 3 x Co-60, 7 x Cs-137, 1 x Am-241	0
Sachsen- Anhalt	128	11	0	0
Schleswig-Holstein	271	15	0	0
Thüringen	35	0	0	0
Summe	13 481	1 830	32	0

Tabelle T V.23 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin im Jahr 2018
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine in 2018)

Land	Teleradiologie							Anzahl der RöE im Rahmen von Röntgenreihenuntersuchungen gemäß § 3 Absatz 4a RöV	Gesamtzahl der nach § 4 Absatz 1 RöV angezeigten RöE
	Gesamtzahl der nach § 3 Absatz 1 i.V.m. § 4 Absatz 4 Nr. 2 RöV genehmigten RöE für die Behandlung von Menschen	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 RöV genehmigten RöE	Anzahl genehmigter RöE für die Teleradiologie nach § 3 Absatz 1 und 4 i.V.m. § 4 Absatz 4 Nummer 3 RöV	Teleradiologie regional* (ohne Vorliegen eines begründeten Falles nach § 3 Absatz 4 Nummer 6 RöV)	Teleradiologie überregional (Vorliegen eines begründeten Falles nach § 3 Absatz 4 Nummer 6 RöV)	Teleradiologie mit Ausdehnung auf reguläre Dienstzeit **	Anzahl der RöE im Rahmen von Röntgenreihenuntersuchungen gemäß § 3 Absatz 4a RöV		
Baden-Württemberg	42	504	70	49	21	36	76	4 103	
Bayern	27	439	130	103	27	53	96	5 573	
Berlin	11	150	14	14	0	3	20	1 863	
Brandenburg	5	104	76	74	2	53	20	900	
Bremen	1	15	1	1	0	1	8	322	
Hamburg	4	16	12	9	0	0	4	933	
Hessen	23	77	79	73	6	25	15	2 380	
Mecklenburg-Vorpommern	6	58	29	29	0	7	18	673	
Niedersachsen	15	258	62	41	21	13	80	3 075	
Nordrhein-Westfalen	86	866	186	163	23	13	162	6 920	
Rheinland-Pfalz	25	146	61	40	25	14	22	2 760	
Saarland	1	27	19	2	17	6	6	556	
Sachsen	15	134	84	70	14	21	39	1 591	
Sachsen-Anhalt	7	68	29	24	5	9	13	1 069	
Schleswig-Holstein	4	88	25	22	3	5	15	1 022	
Thüringen	11	39	25	23	2	1	18	929	
Summe	283	2 989	902	737	166	260	612	34 669	
* Genehmigungen, bei denen der Teleradiologe innerhalb eines für eine Notfallversorgung erforderlichen Zeitraumes am Ort der technischen Durchführung eintreffen kann.									
** Erteilung auf Grund eines besonderen Bedürfnisses nach § 3 Absatz 4 Satz 4 RöV über Nacht-, Wochenend- und Feiertagsdienst hinaus									



Tabelle T V.24 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Zahnmedizin und Tiermedizin im Jahr 2018

(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in dentistry and veterinary medicine in 2018)

Land	Zahnmedizin		Anwendung am Tier in der Tierheilkunde	
	Gesamtzahl der nach § 3 Absatz 1 RöV genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Absatz 1 Nummer 2 RöV angezeigten RöE	Gesamtzahl der nach § 3 Absatz 1 RöV genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Absatz 1 RöV angezeigten RöE
Baden-Württemberg	1 053	13 208	331	696
Bayern	184	16 727	405	1 032
Berlin	41	4 176	61	353
Brandenburg	18	2 365	90	235
Bremen	6	644	11	36
Hamburg	6	2 625	31	80
Hessen	107	7 042	150	563
Mecklenburg-Vorp.	3	1 954	43	108
Niedersachsen	165	8 548	246	863
Nordrhein-Westfalen	1 691	16 331	574	1 101
Rheinland-Pfalz	24	4 044	97	338
Saarland	0	940	11	96
Sachsen	32	5 074	102	273
Sachsen-Anhalt	8	2 649	36	169
Schleswig-Holstein	58	3 213	160	268
Thüringen	2	2 685	38	163
Summe	3 398	92 225	2 386	6 374

Tabelle T V.25 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik/Nichtmedizin im Jahr 2018
(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological/non-medical areas in 2018)

Land	Gesamtzahl der nach § 3 Absatz 1 RöV genehmigten RöE	Anzahl der nach § 3 Absatz 1 i.V.m. § 4 Absatz 4 Nummer 1 RöV genehmigten RöE *	Gesamtzahl der angezeigten RöE nach § 4 Absatz 1 Nummer 1 i.V.m. Anlage 2 Nummer 1 RöV und der RöE nach § 4 Absatz 1 Nummer 3 RöV **	Gesamtanzahl der angezeigten RöE nach § 4 Absatz 1 Nummer 1 i.V.m. Anlage 2 Nummer 2,3,4 und 6 RöV ***	Gesamtzahl der nach § 5 Abs. 1 RöV genehmigten Störstrahler)
Baden-Württemberg	1 861	111	654	951	323
Bayern	2 326	525	1035	745	310
Berlin	545	116	283	216	115
Brandenburg	260	127	167	87	23
Bremen	130	43	112	36	5
Hamburg	145	12	123	263	23
Hessen	910	72	550	350	141
Mecklenburg-Vorp.	139	90	67	21	25
Niedersachsen	1 014	164	641	538	45
Nordrhein-Westfalen	2 270	585	1375	905	159
Rheinland-Pfalz	508	105	226	226	52
Saarland	98	61	70	30	79
Sachsen	594	165	451	180	136
Sachsen-Anhalt	281	101	160	84	51
Schleswig-Holstein	343	22	131	160	23
Thüringen	205	59	259	138	16
Summe	11 629	2 358	6 304	4 930	1 526

* Für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse
** Bauartzugelassene Röntgenstrahler und Verwendung von med. RöE außerhalb der Anwendung am Menschen bzw. Tier in der Tierheilkunde
*** Basis-, Hoch- und Vollschutzgeräte sowie Schulröntgeneinrichtungen

Tabellen

Tabelle T V.26 Übersicht über die Entwicklung der Daten im HRQ-Register seit dem Jahr 2006
(Survey on the development of data in the HASS-register since the year 2006)

Stand	Genehmigungsinhaber	Behörden	Strahlenquellen	Meldungen
Ende 2006	321	43	1 740	3 139
Ende 2007	453	47	7 626	16 863
Ende 2008	540	47	13 800	32 600
Ende 2009	580	49	17 300	49 200
Ende 2010	590	49	20 100	63 000
Ende 2011	630	50	23 500	79 000
Ende 2012	646	60	27 200	97 200
Ende 2013	657	64	31 000	115 300
Ende 2014	667	73	34 500	134 000
Ende 2015	684	73	40 000	153 000
Ende 2016	693	73	42 000	170 000
Ende 2017	702	73	45 500	190 000
Ende 2018	712	74	49 200	210 000

Tabelle T V.27 Übersicht über die Mengen (Massen und Volumina) vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2018

(Survey of quantities (masses and volumes) of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2018)

Kategorie	Einheit	Endlagerziel Konrad	anderes Endlager
Rohabfälle (RA)	[t]	5 384	2 338
vorbehandelte Abfälle (VA)	[t]	9 937	2 216
Abfallprodukte in Innenbehältern (P1)	[m ³]	13 523	137
produktkontrollierte Abfallprodukte (P2)	[m ³]	3 131	0
Abfallprodukte in Konradbehältern (G1)	[m ³]	103 781	0
produktkontrollierte Abfallbinde (G2)	[m ³]	2 936	0
Summe	[t] [m ³]	15 321 123 371	4 554 137

Tabelle T V.28 Übersicht über den Bestand radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergруппen am 31. Dezember 2018

(Survey on the stock of radioactive wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2018)

Abfallverursacher	RA [t]	VA [t]	P1 [m ³]	G1 [m ³]	P2 [m ³]	G2 [m ³]
Forschungseinrichtungen	1 401	5 871	1 919	42 682	96	0
kerntechnische Industrie	170	14	299	7 625	89	2 921
Kernkraftwerke*	5 229	5 503	8 505	37 606	2 643	15
Landessammelstellen	760	443	2 370	959	67	0
Wiederaufarbeitung (WAK)	162	322	567	14 911	235	0
Summe	7 722	12 153	13 660	103 783	3 130	2 936

* in Betrieb befindliche, dauerhaft abgeschaltete, in Stilllegung befindliche und zurückgebaute Kernkraftwerke

Tabelle T V.29 Übersicht über den Bestand an Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen - ohne bestrahlte BE - nach Verursachergруппen am 31. Dezember 2018

(Survey on the stock of radioactive heat generating wastes - without irradiated BE - according to groups of waste producers on 31 December 2018)

Verursachergруппe	Volumen in m ³	
	radioaktive Abfälle	
	2018	2017
Forschungseinrichtungen	4	5
kerntechnische Industrie	0	0
Kernkraftwerke	0	0
stillgelegte Kernkraftwerke	0	0
Landessammelstellen	2	2
Wiederaufbereitung europäisches Ausland (HAW) und WAK/VEK	570	570
Summe	576	577

Tabelle T V.30 Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen (Meldungen nach § 51, § 71 alte StrlSchV sowie § 42 RöV)
(Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and X-ray devices and during transport of radioactive material)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
03.06.2003	Verlust eines Analysegerätes mit einer Strahlenquelle (Am-241, 370 MBq) bei einer Transportfirma	Verlustursache unbekannt	keine	Nachforschungen bisher ergebnislos; keine polizeilichen Ermittlungen wegen Verjährung, da Verlustmeldung an die zuständige Behörde erheblich verspätet erfolgte
03.01.2018	Fund einer Radium-Nadel (Ra-226, 95 MBq) bei einem Industriekraftwerk	unzulässige Entsorgung	unbekannt	Separierung, sichere Verwahrung, polizeiliche Ermittlungen
08.01.2018	Fund von radioaktiv kontaminierten Elektronenröhren (Co-60; Ra-226, Dosisleistung max. 11 µSv/h) bei einem Händler	unterlassene Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
18.01.2018	Fund von Anzeigeelementen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 40 kBq) bei einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
19.01.2018	Fund einer Strahlenquelle (Co-60, 175 kBq) bei einem Schrotthändler	unbekannt	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
22.01.2018	Fund einer Radium-Nadel (Ra-226, 95 MBq) bei einem Industriekraftwerk	unzulässige Entsorgung	unbekannt	Separierung, sichere Verwahrung, polizeiliche Ermittlungen
22.01.2018	Fund eines Anzeigenelements mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 110 kBq) in einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
30.01.2018	Fund von radioaktiv kontaminierten Rohren (Ra-226, Dosisleistung 2 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
02.02.2018	Fund von 589 Ionisationsrauchmeldern (557x Am-241 je 29,6 kBq und 32x Am-241 je 14,8 kBq) bei einer Firma	unterlassene Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
02.02.2018	Fund von radioaktiv kontaminierten Krankenhausabfällen (I-123, Dosisleistung 0,4 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
06.02.2018	Verlust einer radioaktiven Strahlenquelle (Ra-226, 60 kBq) an einer Schule	mangelnde Kontrollen	unbekannt	keine
07.02.2018	Angebot eines Messgeräts mit einer Strahlenquelle (Sr-90, 111 kBq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Unkenntnis oder mangelnde Aufklärung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung



Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
09.02.2018	Fund von Steinpulver und Schmuckstücken mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Zerfallsprodukte der Uran- und Thorium-Reihe) beim Zoll	Unkenntnis oder mangelnde Aufklärung	unbekannt	Veranlassung zur Rückgabe der Schmuckstücke durch die Käufer, Beschlagnahmung und Sicherstellung von Schmuckstücken und Steinpulver beim Verkäufer, ordnungsgemäße Entsorgung
16.02.2018	Irrtümliches Betreten des Kontrollbereichs durch eine Person während einer Werkstoffprüfung mit einer Strahlenquelle (Se-75) in einer Firma	mangelhafte Absperrung, Verstoß gegen Arbeitsschutzvorschriften	Personendosis max. 9 µSv	Vorstellung der betroffenen Person beim ermächtigten Arzt, Anweisung für eine ortskundige Begleitung der Absperrmaßnahmen
22.02.2018	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Lu-177, Dosisleistung 0,5 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
06.03.2018	Fund eines radioaktiven Metallteils in einer Schrottlieferung (U-238, 154 MBq) bei einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Übernahme durch Recyclingfirma mit Genehmigung zur Verarbeitung von kontaminiertem Schrott
16.03.2018	Fund eines Messgeräts und von drei Messsonden mit Strahlenquellen (1x Sr-90, 3,7 kBq und 3x Sr-90, 260 kBq) bei Aufräumarbeiten in einer Behörde	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.03.2018	Fund von 184 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 0,92 MBq) bei Sanierungsmaßnahmen an einer Brandmeldeanlage	unterlassene Entsorgung	keine	Abgabe an einen Genehmigungsinhaber
05.04.2018	Fund einer Schulstrahlenquelle (Pb-210, 18,5 kBq) sowie von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminiertem Gestein (Uran-natürlich) in einer Oberschule	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
06.04.2018	Verlust einer Strahlenquelle (Eu-152, 6,3 kBq) bei einer Behörde	unterlassene Kontrollen (letzte Rückgabe wurde vor 4 Jahren protokolliert)	keine	Versuche zum Wiederauffinden bisher erfolglos
13.04.2018	Fund eines Anzeigeinstruments mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 171 kBq) bei einer Metallrecyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
17.04.2018	Fund eines radioaktiv kontaminierten Bauteils (Ra-226, 500 kBq) bei einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
23.04.2018	Fund von zwei Prüfstrahlern (Cs-137, 200 kBq) und 15 Th-Schweißelektroden (Th-232, Dosisleistung 1 µSv/h) in einer privaten Garage	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
25.04.2018	Fund einer mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Keramik (Ra-226, Dosisleistung 0,14 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
04.05.2018	Fund eines mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Bauteils (Ra-226, 120 kBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
09.05.2018	Fund von Verstärker-Röhren mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Ra-226, 210 kBq) im Schrott	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
09.05.2018	Fund eines mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Bauteils (Ra-226, 230 kBq) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine Expositionen, jedoch geringfügige Kontamination durch Regenwasser-eintrag in das Bauteil	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.05.2018	Fund eines Radon-Emanators (Ra-226, 1,2 MBq) bei einem Schrottverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
29.05.2018	Fund von radioaktiv kontaminierten Windeln (I-131, 4 MBq) im Hausmüll bei der Müllverwertung	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
05.06.2018	Fund von fünf Behältern mit verschiedenen radioaktiven Stoffen (Ra-226; Po-210 etc.) in einer Schule	unterlassene Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
05.06.2018	Fund eines Anzeigeelements mit radioaktiven Leuchtziffern (Ra-226, 26 kBq) im Schrott	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
06.06.2018	Fund von Instrumenten mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 400 kBq) in einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
13.06.2018	Fund einer Steinesammlung mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Ra-226, 190 µSv/h) im Hausmüll bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
18.06.2018	Fund eines Bauteils mit einer Strahlenquelle (Sr-90, 370 MBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine Expositionen für die Bevölkerung; jedoch Exposition von Personal des Nutzers bzw. des Transportunternehmens nicht abschließbar	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliche Ermittlungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
20.06.2018	Fund von Uhrenteilen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 450 kBq) in einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
22.06.2018	Fund von ca. 50 Röhrchen mit radioaktiven Stoffen (Ra-226, 6,2 MBq) in einem Wertstoffhof	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
01.07.2018	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, ca. 44 kBq) aus Deutschland bei einer ausländischen Zollbehörde	unzulässige Weitergabe radioaktiver Stoffe	keine	Rückführung nach Deutschland und ordnungsgemäße Entsorgung
04.07.2018	Fund einer Strahlenquelle (Ra-226, 2,22 MBq) bei einem Schrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
05.07.2018	Fund eines stark deformierten Radon-Emanators (Ra-226, 200 kBq) bei einem Schrottverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.07.2018	Fund eines radioaktiven Metallzylinders (Co-60, 250 kBq) in einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Untersuchungen durch Anlieferungs-firma, ordnungsgemäße Entsorgung
11.07.2018	Fund von radioaktiv kontaminierten Kabelstücken (Ra-226, 90 kBq) im Schrott	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
18.07.2018	Fund von radioaktiv kontaminierten Kunststoffteilen (Ra-226; Ra-228, 165 kBq) in einem Industriekraftwerk	unterlassene Entsorgung	keine	Separierung, Verbrennung in einem Industriekraftwerk
19.07.2018	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (Tc-99m, Dosisleistung 0,24 Sv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen und ordnungsgemäße Entsorgung
24.07.2018	Fund von radioaktiv kontaminierten Klinikabfällen (I-131, 1,6 MBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen und ordnungsgemäße Entsorgung
10.08.2018	Fund eines Anzeigeinstruments mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, Dosisleistung 43 µSv/h an der Oberfläche) in einer Recycling-Anlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
14.08.2018	Verlust eines Prüfstrahlers (Co-57, 0,185 MBq) in einem Universitätsklinikum	unbekannt	keine	Umstellung des internen Postverfahrens
23.08.2018	Fund eines Bauteils mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 200 kBq) bei einer Schrottre-cyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
27.08.2018	Fund von Anzeigeinstrumenten mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 185 kBq) bei einem Wertstoffhof	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
29.08.2018	Fund eines Transmitters mit radioaktiver Leuchtskala (Ra-226, 100 kBq) im Schrott	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
10.09.2018	Fund eines Buchstabens mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 240 kBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
14.09.2018	Fund einer Strahlenquelle in geschreddertem Material (Ra-226, 400 kBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
17.09.2018	Fund eines innen mit radioaktiver Leuchtfarbe versehenen Containers (Ra-226, Dosisleistung 3,4 µSv/h) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung, Dekontamination, ordnungsgemäße Entsorgung des kontaminierten Abfalls
18.09.2018	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (Lu-177, Dosisleistung 4,5 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
21.09.2018	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Tc-99m, Dosisleistung 0,47 µSv/h) bei einer Müllverwertungsfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
08.10.2018	Verlust eines Koffers mit einem Röntgenfluoreszenzspektrometer mit einer Röntgenröhre aus einem Container	Diebstahl einer Quelle ionisierender Strahlung	unbekannt	Anschaffung eines verschließbaren Schrankes mit regulierter Schlüsselverwaltung zur Aufbewahrung des Röntgenfluoreszenzspektrometers
09.10.2018	Fund von Flugzeuginstrumenten mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 527 kBq) in einem Wasserkraftwerk	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
10.10.2018	Fund von 21 Objekten mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Uran-natürlich; Thorium) in einer Schule	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.10.2018	Fund eines Radon-Emanators (Ra-226, 183 kBq) bei Aufräumarbeiten in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.10.2018	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Lu-177, Dosisleistung 6,5 µSv/h) bei einer Müllverwertungsfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
29.10.2018	Fund radioaktiv kontaminierter Klinikabfälle (I-131, 3 MBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
29.10.2018	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Lu-177, Dosisleistung 2,3 µSv/h) bei einer Müllverwertungsfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
30.10.2018	Fehlbestrahlung der nicht erkrankten Brust einer Patientin	fehlerhafte Bedienung der Bedienungssoftware, menschliches Versagen	Fehlexposition: 2,66 Gy, Nebenwirkungen sind durch die Fehlbestrahlung nicht zu erwarten	Einführung zusätzlicher Kontrollmechanismen (u.a. Vier-Augen-Prinzip), erneute Unterweisung des Personals, Nachsorge für die betroffene Patientin

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
01.11.2018	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Rohrstücken (Ra-226, 300 kBq) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
02.11.2018	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Lu-177, Dosisleistung 6,5 µSv/h) bei einer Müllverwertungsfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
09.11.2018	Fund von Anzeigeelementen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, Dosisleistung max. 3,3 µSv/h) bei einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
12.11.2018	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226, 785 kBq) auf einem Flohmarkt	Unkenntnis	festhaftende Kontamination im Aufbewahrungsregal, Radium-Trinkbecher aber kontaminationsfrei; radiologische Gefährdung insgesamt gering	ordnungsgemäße Entsorgung
12.11.2018	Fund eines Abschirmbehälters mit einer Strahlenquelle (Cs-137, 12 MBq) auf einer Autobahnraststätte	unzulässige Entsorgung	unbekannt	polizeiliche Ermittlungen, Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
14.11.2018	Fehlbestrahlung eines Patienten an einem Linearbeschleuniger	Verwechslung des Bestrahlungsplans durch Abweichung von etabliertem Verfahren; menschliches Versagen	Überdosierung 0,5 Gy in der applizierten Fraktion (ca. 1 % der Gesamtdosis), keine klinischen Konsequenzen erwartet	erneute Unterweisung des Personals, Änderung im Sicherheitsbarrieresystem des Betreibers nicht erforderlich
15.11.2018	Fund von Tanks mit radioaktiv kontaminierten inneren Anbackungen (Ra-226, Dosisleistung bis 0,7 µSv.h in 5 cm Abstand) bei einer Abfallanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Herauslösung, Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung der Anbackungen
15.11.2018	Unbeabsichtigte Emission von Tritium (H-3, ca. 10 GBq) auf einem Forschungsgelände	allgemeines menschliches Versagen	effektive Dosis max. 1,52 mSv bei beruflich exponierten Personen (ermittelt durch Inkorporationsmessung)	Errichtung einer luftdichten Einhausung
16.11.2018	Fund eines Plastiksacks mit radioaktiv kontaminiertem rötlich braunem Material (Ra-226, 4,5 MBq; Th-232, 2,2 MBq) bei einer Müllverbrennungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
20.11.2018	Fund eines Radon-Emanators (Ra-226, 67 kBq) auf einem Privat-Grundstück	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.11.2018	Fund eines radioaktiv kontaminierten Bleibehälters (Lu-177, Dosisleistung 0,1 µSv.h an der Oberfläche) bei einer Recycling-Anlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung, Erstellung einer Vermeidungsstrategie beim Verursacher
26.11.2018	Feststellung einer radioaktiven Kontamination (Co-60, bis 0,18 Bq.g) von Stahlschmelze	unbekannt (keine Bestätigung des vermuteten Einschmelzens einer Strahlenquelle)	keine	Sicherstellung und Abklingen lassen bis zum Unterschreiten der Werte für die uneingeschränkte Freigabe
10.12.2018	Fund mehrerer Strahlenquellen (Cs-137; Ra-226; Th-230; Th-232, Dosisleistung max. 12 µSv/h) bei einem Schrotthändler sowie bei einer Privatperson	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und Untersuchung der Prüfstrahler, polizeiliche Ermittlungen
17.12.2018	Fund von vier Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 37 kBq) auf einem Privat-Grundstück	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

VI. Tabellen zur nichtionisierenden Strahlung
(Tables on non-ionising radiation)

Tabelle T VI.1 SAR-Werte für Mobiltelefone
(SAR values for mobile phones)

Erhebung Juni2018						
betrachtete Modelle	SAR-Werte für den Anwendungsfall „Handy am Kopf“			SAR-Werte für den Anwendungsfall „Handy körpernah betrieben“		
	Anzahl	SAR-Wert W/kg	bis 0,5 W/kg (strahlungs- arm*)	Anzahl	SAR-Wert W/kg	bis 0,5 W/kg (Messabstand 0,5 cm**)
Smartphones (nur aktuell erhältliche)	510	0,05 bis 1,82	41 % der Modelle	266	0,49 bis 1,99	0,4 % der Modelle
(aktuell und nicht mehr in Produktion befindliche Auslaufmodelle)	1340	0,05 bis 1,86	38 % der Modelle	299	0,36 bis 1,99	1 % der Modelle
klassische Mobiltelefone und Smartphones (nur aktuell erhältliche)	651	0,01 bis 1,82	41 % der Modelle	304	0,44 bis 1,99	0,7 % der Modelle
(aktuelle und nicht mehr in Produktion befindliche Auslaufmodelle)	2940	0,01 bis 1,94	29 % der Modelle	345	0,36 bis 1,99	1,2 % der Modelle
* „strahlungsarm“ gemäß seit Juli 2017 geltenden Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens „Blauer Engel“ für den Anwendungsfall „Handy am Kopf“ „SAR <0,5 W/kg						
** Abschätzung, wie viele Geräte das seit Juli 2017 geltende Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens für den Anwendungsfall „Handy körpernah betrieben“ einhalten						

VII. Abkürzungen und Glossar
(List of abbreviations and glossary)

Tabelle T VII.1 Abkürzungen
(Abbreviations)

Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
A	Ampere
ARTM	Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell <i>Atmospheric Radionuclide Transport Model</i>
ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen <i>Positions prescribed for doctors and dentists</i>
AMG	Arzneimittelgesetz <i>Medical Preparations Act</i>
AtAV	Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung <i>Waste Shipment Regulation</i>
AtG	Atomgesetz <i>Atomic Energy Act</i>
AVR	Atomversuchsreaktor <i>Nuclear test reactor</i>
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift <i>General Administrative Provisions</i>
B	magnetische Flussdichte <i>Magnetic flux density</i>
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle <i>Federal Office of Economics and Export Control</i>
BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben <i>Federal Agency for Digital Radio of Security Authorities and Organisations</i>
BEMFV	Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder <i>Regulation on verification procedure for limitation of electromagnetic fields</i>
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte <i>Federal Institute for Drugs and Medical Devices</i>
BfE	Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit <i>Federal Office for the Safety of Nuclear Waste Management</i>
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde <i>Federal Institute of Hydrology</i>
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz <i>Federal Office for Radiation Protection</i>
BGBI	Bundesgesetzblatt <i>Federal Law Gazette</i>
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe <i>Federal Institute for Geosciences and Natural Resources</i>
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung <i>Federal Company for Radioactive Waste Disposal</i>
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung <i>Federal Immission Control Ordinance</i>
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung <i>Federal Ministry of Education and Research</i>
BMG	Bundesministerium für Gesundheit <i>Federal Ministry of Health</i>
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit <i>Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety</i>
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit <i>Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety</i>
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur



Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
	<i>Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure</i>
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie <i>Federal Ministry of Economic Affairs and Energy</i>
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben <i>Security authorities and organisations</i>
BNetzA	Bundesnetzagentur <i>Federal Network Agency</i>
Bq	Becquerel
Bq/m ³	Becquerel pro Kubikmeter <i>Becquerel per cubic meter</i>
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie <i>Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography</i>
/d×p	pro Tag und Person <i>per day and person</i>
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm <i>German Mobile Telecommunication Research Programme</i>
DNS	Desoxyribonukleinsäure (engl. DNA) <i>Deoxyribonucleic acid</i>
DRW	Diagnostische Referenzwerte <i>Diagnostic reference levels</i>
DWD	Deutscher Wetterdienst <i>German Meteorological Service</i>
DWR	Druckwasserreaktor <i>Pressurized Water Reactor</i>
E	elektrische Feldstärke <i>electric field strength</i>
EAS	elektronische Artikel-Sicherung <i>electronic article surveillance</i>
EMF	elektromagnetische Felder <i>electromagnetic fields</i>
EU	Europäische Union <i>European Union</i>
EEG	Elektroenzephalogramm <i>Electroencephalogram</i>
E _{ery}	Erythemwirksame (sonnenbrandwirksame) Bestrahlungsstärke <i>erythematous irradiance</i>
Euratom	Europäische Atomgemeinschaft <i>European Atomic Energy Community</i>
EUREF	Europäische Referenzorganisation für qualitätsgesichertes Brustscreening und Diagnoseleistungen <i>European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services</i>
FFS	Fischereiforschungsschiff <i>Fisheries Research Vessel</i>
FM	Feuchtmasse <i>Wet weight</i>
GKV	gesetzliche Krankenversicherung <i>legal medical insurance</i>
GSM	Globales Mobilfunksystem <i>Global System for Mobile Communications</i>
FZ	Forschungszentrum <i>Research Centre</i>
G _α	Gesamt-Alpha-Aktivität <i>Total Alpha Activity</i>
G _β	Gesamt-Beta-Aktivität <i>Total Beta Activity</i>

Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
H	magnetische Feldstärke <i>magnetic field strength</i>
hED	Halbstunden-Erythemgewichtete UV-Dosiswerte <i>Halfhour-erythema-weighted UV dose values</i>
HF	hochfrequente elektromagnetische Strahlung <i>high frequently electromagnetic radiation</i>
HTR	Hochtemperaturreaktor <i>High Temperature Reactor</i>
HWZ	Halbwertszeit <i>Half-life</i>
Hz	Hertz
IAEA	Internationale Atomenergie-Organisation <i>International Atomic Energy Agency IAEA</i>
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung <i>International Agency for Research on Cancer</i>
ICNIRP	Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung <i>International Commission on Non-Ionising Radiation Protection</i>
ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission <i>International Commission on Radiological Protection</i>
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem <i>Integrated Measuring and Information System</i>
IR	Infrarot-Strahlung Wellenlänge 780 nm - 1 mm <i>Infrared Radiation wave length 780 nm - 1 mm</i>
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr <i>Annual Intake of Activity</i>
FZ	Kernforschungsanlage <i>Nuclear Research Facility</i>
KBV	Kassenärztliche Bundesvereinigung <i>National Association of Statutory Health Insurance Physicians</i>
KFZ	Kernforschungszentrum <i>Nuclear Research Centre</i>
KKW	Kernkraftwerk <i>Nuclear Power Plant</i>
KNK	Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage <i>Compact Sodium cooled nuclear plant</i>
KTA	Kerntechnischer Ausschuss <i>Nuclear Safety Standards Commission</i>
KVB	Kassenärztliche Bundesvereinigung <i>German Association of Statutory Health Insurance Physicians</i>
LET	Linearer Energietransfer <i>Linear energy transfer</i>
LTE	Long Term Evolution
m ³	Kubikmeter <i>Cubic metre</i>
MED	minimale erythemtogene Dosis für Hautrötung <i>minimal dose for erythema induction</i>
MRI	Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel <i>Federal Research Institute of Nutrion and Food</i>
MRT	Magnetresonanztomographie <i>Magnetic Resonance Tomography</i>
MSP	Mammographie-Screening-Programm <i>Mammography Screening Programme</i>
mSv	Millisievert
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor <i>Multipurpose research reactor</i>
NF	niederfrequente elektrische und magnetische Strahlung

Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
	<i>low frequently electromagnetic radiation</i>
NIR	nichtionisierende Strahlung <i>non-ionising radiation</i>
NGO	<i>non-governmental organisation</i>
NiSG	Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung <i>Act on Non-Ionising Radiation Protection</i>
NWG	Nachweisgrenze, siehe auch Grundlagenteil II- 2 Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren <i>Detection limit</i>
nSv	Nanosievert <i>Nanosievert</i>
ODL	Ortsdosisleistung <i>Ambient Dose Rate</i>
PAS	<i>Public Available Specification</i>
PET	Positronen-Emissions-Tomographie <i>Positron Emission Tomography</i>
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt <i>National Metrology Institute</i>
PTCA	Perkutane transluminale koronare Angioplastie <i>Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty</i>
PKV	Verband der Privaten Krankenversicherung <i>Private Health Insurances</i>
R β	Rest-Beta-Aktivität <i>Residual beta activity</i>
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen <i>Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities</i>
RMP	Routinemessprogramm <i>Routine Measuring Program</i>
RöV	Röntgenverordnung <i>X-ray Ordinance</i>
RTS	Runder Tisch Solarien <i>Roundtable solaria</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
S	Leistungsflussdichte <i>Power flux density</i>
SAR	Spezifische Absorptionsrate <i>Specific absorption rate</i>
SCO	oberflächenkontaminierte Objekte <i>surface contaminated objects</i>
SNR	Schneller natriumgekühlter Reaktor <i>Sodium-cooled reactor</i>
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie <i>Single Photon Emission Computed Tomography</i>
SSK	Strahlenschutzkommission <i>German Commission on Radiological Protection</i>
StrlSchG	Strahlenschutzgesetz <i>Radiation Protection Act</i>
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung <i>Radiation Protection Ordinance</i>
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz <i>Precautionary Radiation Protection Act</i>
SWR	Siedewasserreaktor <i>Boiling Water Reactor</i>
Sv	Sievert <i>Sievert</i>
T	Tesla

Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
TETRA-BOS	<i>Terrestrial Trunked Radio - Digitaler BOS-Funk</i>
TBL	Transportbehälterlager <i>Transport Container Repository</i>
TM	Trockenmasse <i>Dry weight</i>
UBA	Umweltbundesamt <i>Federal Environment Agency</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung <i>United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>
UV	Ultraviolette Strahlung Wellenlänge 100 - 400 nm <i>Ultraviolet Radiation wavelength 100 - 400 nm</i>
UVSV	UV-Schutzverordnung <i>UV protective ordinance</i>
V	Volt
VO	Verordnung <i>Ordinance</i>
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz <i>Ordinance on the Guarantee of Nuclear Safety and Radiation Protection</i>
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut <i>Johann Heinrich von Thünen Institute</i>
W	Watt
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage <i>Reprocessing Plant</i>
WBA	Wasserbehandlungsanlage <i>Water Treatment Plant</i>
WHO	Weltgesundheitsorganisation <i>World Health Organization</i>
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart <i>Russian Type Light Water Pressurized Water Reactor</i>
Z ₀	Feldwellenwiderstand des leeren Raums <i>Field characteristic impedance</i>
ZdB	Zentralstelle des Bundes <i>Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity</i>



Tabelle T VII.2 Glossar
(Glossary, German only)

Begriff	Bedeutung
Absorption	Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z. B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis.
Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität (Radioaktivität)	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Kernumwandlungen eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i. A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu.
AKR-Mäuse	Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Anthropogen	durch den Menschen beeinflusst bzw. verursacht
Äquivalentdosis	Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 μ Sv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert.
Ärztliche und zahnärztliche Stellen (ÄS)	Zur Qualitätssicherung einer medizinischen Strahlenanwendung am Menschen bestimmt die zuständige Landesbehörde ärztliche und zahnärztliche Stellen. Die zuständige Behörde legt fest, in welcher Weise diese Stellen die Prüfungen durchführen, mit denen sichergestellt wird, dass bei der Anwendung von ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen die Erfordernisse der medizinischen Wissenschaft beachtet werden und die angewendeten Verfahren und eingesetzten Einrichtungen oder Geräte den nach dem Stand der Technik jeweils notwendigen Qualitätsstandards entsprechen, um die Strahlenexposition des Patienten so gering wie möglich zu halten.
Athermische Effekte	eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus Elektronen (oder Positronen) besteht, die beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandt werden
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
Bioturbation	Bioturbation ist das Durchwühlen und Durchmischen (Turbation) von Böden oder Sedimenten durch Lebewesen. Sie gehört zu den Translokationsprozessen.
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper aufgelegte Strahlenquellen (s. a. Teletherapie)
Blut-Hirn-Schranke	Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Barriere zwischen Blut und Hirnsubstanz. Durch sie wird der Stoffaustausch zwischen Blut und Zentralnervensystem aktiv kontrolliert. Sie hält schädliche Stoffe von den Nervenzellen fern. Die Blut-Hirn-Schranke wird von der inneren Zellschicht der kleinen Blutgefäße im Gehirn (Kapillar-Endothelzellen) und den umgebenden Hilfszellen, den Astrozyten, gebildet.
Bystander-Effekt	Der Begriff „Bystander-Effekt“ beschreibt die Beobachtung, dass nicht nur Zellen, die von Strahlung getroffen werden, also Energiedepositionen erhalten, Schäden aufweisen, sondern dass zusätzlich auch in nicht getroffenen Zellen, in den sog. „bystander cells“ ebenfalls Schäden gefunden werden.
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen

Begriff	Bedeutung
deterministisch	Nicht-stochastisch; deterministische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung (siehe auch stochastisch).
Diagnostischer Referenzwert (DRW)	In der RöV sind DRW definiert als „Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren“. Die DRW dienen den Ärzten bei häufigen und/oder dosisintensiven Röntgenuntersuchungen als obere Richtwerte, die nicht beständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern Optimalwerte. Sie geben also die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden. Den ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Einhaltung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen. Die DRW stellen keine Grenzwerte für Patienten dar und gelten nicht für einzelne individuelle Untersuchungen.
Digitale Subtraktionsangiographie	Röntgendarstellung von Blutgefäßen durch Einspritzen von Kontrastmittel. Durch die elektronische Subtraktion des Leerbilds von dem Kontrastbild wird eine bessere Darstellung der Blutgefäße bei gleichzeitiger Einsparung von Kontrastmittel erreicht.
Dosimetrie	Quantitative Erfassung der Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosimeter	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosis	siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, effektive Dosis, Organdosis, Kollektivdosis, Ortsdosis, Personendosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für z. B. die betroffenen Organe, die Strahlungsart, die nuklidspezifischen Eigenschaften und die Art der Exposition berücksichtigt. Beispielsweise kann durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids der Wert der jeweils betrachteten Dosis errechnet werden. Der Dosisfaktor wird auch als Dosiskoeffizient bezeichnet.
effektive Dosis	Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C der StrlSchV angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; die effektive Dosis ergibt sich aus den Organdosen durch Multiplikation mit dem jeweiligen Gewebe-Wichtungsfaktor.
elektrisches Feld	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m).
elektrische Ladung	Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist Coulomb (C).
elektrostatisches Feld	elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
elektrische Spannung	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung; die Einheit ist Volt (V)
elektrischer Strom	die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung; die Einheit ist Ampere (A)
Elektrosensibilität	Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden.
Elektrosensitivität	besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z.B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung.

Begriff	Bedeutung
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement, die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy).
Epidemiologie	Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten.
Erkennungsgrenze	In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Erkennungsgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), die mit einem Messwert verglichen wird, um zu entscheiden, ob bei dieser Messung ein Beitrag dieser Größe vorliegt oder lediglich Nulleffekt gemessen wurde. Angaben zur Berechnung der Erkennungsgrenzen können z. B. den Messanleitungen der Leitstellen und der Norm DIN 25482 10 entnommen werden.
Erythem	Sonnenbrand
Erythemwirksame (sonnenbrandwirksame) Bestrahlungsstärke	Die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{ery} beschreibt die biologische Wirksamkeit der UV-Strahlung, einen Sonnenbrand zu erzeugen. Sie errechnet sich aus einem physikalischen UV-Spektrum, welches mit der biologischen Wirkungsfunktion eines Erythems verknüpft wird. Der durch 40 geteilte Zahlenwert von E_{Ery} ergibt den UV-Index.
Fall-Kontroll-Studie	In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen). Eingebettete Fall-Kontroll-Studie: Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird.
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
Fernfeld	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle)
Frequenz	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde, die Einheit ist Hertz (Hz)
Gammastrahlung	energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers
Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf eine horizontale Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
Gray	SI-Einheit der Energiedosis; 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
Hall-Sonde	Die Sonde beruht auf dem Hall-Effekt und dient zur Ausmessung statischer Magnetfelder.
Hochfrequenz	hochfrequente elektromagnetische Felder; hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)
Hot spots	räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder
Induktion	Vorgang, bei dem durch Änderung des von einem Leiter umschlossenen magnetischen Flusses elektrischer Strom (Wirbelstrom) in diesem Leiter erzeugt wird
Influenz	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsverteilung stattfindet, so dass an seiner Oberfläche lokal Überschüsse an positiven und negativen elektrischen Ladungen auftreten
Infrarotstrahlung	optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 nm - 1 mm

Begriff	Bedeutung
Ingestion	allgemein: Nahrungsaufnahme speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	allgemein: Einatmung von Gasen speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	allgemein: Aufnahme in den Körper speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
Interventionelle Radiologie	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden
ionisierende Strahlung	elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung), welche die Bildung von Ionen bewirken können
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Kohortenstudie	Eine Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte), deren Expositionsbedingungen bekannt sind, über längere Zeit beobachtet wird. Die verschiedenen Expositionen werden mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung gebracht.
Kollektivdosis	Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.
Kontamination	speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
kosmische Strahlung	sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Linearer Energietransfer (LET)	Der Lineare Energietransfer (LET) ist ein Maß für die Dichte der Ionisierung bei ionisierenden Strahlen
Leukämie	Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 - 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit.
LNT-Hypothese	Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Dosis und Krebsrisiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT). Da sich für den niedrigen Dosisbereich keine sicheren Angaben zum Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve machen lassen, ist man auf eine Extrapolation der im höheren Dosisbereich beobachtbaren Wirkungen hin zu kleinen Dosen angewiesen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar.
Machbarkeitsstudie	in einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann
Magnetfeld	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert
magnetische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes; die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)
magnetische Flussdichte	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt; die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden
magnetische Induktion	magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche; die Einheit ist Tesla (T)
Medianwert	derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50 % der Messwerte liegen
Nachweisgrenze	In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Nachweisgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), der mit einem vorgegebenen Richtwert (zum Teil als geforderte Nachweisgrenze bezeichnet) verglichen werden soll, um zu entscheiden, ob ein Messverfahren für einen bestimmten Messzweck geeignet ist.
Nahfeldexposition	räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle)
nichtionisierende Strahlung	elektrische und magnetische Felder sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen bewirken können
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart

Begriff	Bedeutung
Organdosis	Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C der StrlSchV. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition.
Ortsdosis	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort
Ortsdosisleistung	Ortsdosis pro Zeitintervall
Personendosis	Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm.
Perzentil	statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z. B. 95 % Perzentil ist der Wert, der von nur 5 % der Stichprobe überschritten wird)
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
Qualitätskorrigiertes Lebensjahr (QALY)	Ein qualitätskorrigiertes Lebensjahr (englisch quality adjusted life year oder QALY) ist eine Kennzahl für die Bewertung eines Lebensjahres in Relation zur Gesundheit. Ein QALY von 1 bedeutet ein Jahr in voller Gesundheit, während ein QALY von 0 einem Versterben entspricht. QALY ist damit ein Nutzwert für ein Leben(-sjahr). Das QALY ist die meistgenutzte Kennzahl in der gesundheitsökonomischen Evaluation (de.wikipedia.org/wiki/Qualitätskorrigiertes_Lebensjahr)
Querschnittsstudie	Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben.
radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden
radioaktives Gleichgewicht	Einige primordiale Isotope des Uran und Thorium zerfallen nicht direkt in stabile Elemente, sondern in Nuklide, die wieder radioaktiv sind. Sie bilden Zerfallsketten. Wenn die Halbwertszeit des Tochterproduktes kürzer ist als die des Mutternuklids, nähert sich dessen Aktivität im Laufe der Zeit an die des Mutternuklids an. Schließlich zerfallen im ungestörten Gestein pro Zeiteinheit genauso viele Atome des Tochternuklids, wie nachgeliefert werden. Die Aktivitäten der beiden Radionuklide befinden sich im radioaktiven Gleichgewicht.
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radioiod	radioaktive Iodisotope
Radionuklide	instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Retina	Netzhaut des Auges; hier werden optische Signale in Nervensignale umgewandelt
Risiko	Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung
Risikokommunikation	interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.)
Risikowahrnehmung	Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommenen Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen
Sendeleistung	die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
SI-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt.
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1.000 Millisievert (mSv) = 1.000.000 Mikrosievert (µSv)
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung; die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)
stochastisch	zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere (siehe auch deterministisch)

Begriff	Bedeutung
Strahlenbelastung	siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper oder Körperteile
Teletherapie	Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen (s. a. Brachytherapie)
terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium (H-3)	radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
UFOPLAN	Umweltforschungsplan / Ressortforschungsplan des BMUB zur Gewinnung von Entscheidungshilfen und sachgerechter Erfüllung von Fachaufgaben
UVI, UV-Index	Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung Der UV-Index beschreibt den am Boden erwarteten bzw. gemessenen Wert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und dient der Information der Bevölkerung über die Gefahren der solaren UV-Strahlung.
UV-Strahlung	optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm - 400 nm
Vorfluter	Natürliches oder künstliches Gewässer (Wasserlauf), der Wasser und Abwasser aufnimmt und weiterleitet
Wirbelstrom	durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom

Tabelle T VII.3 Tabellenabkürzungen
(Abbreviations in tables)

	Angaben nicht sinnvoll (data not relevant)
a)	Daten lagen nicht vor (data not available)
N	Zahl der Einzelmessungen (number of individual measurements)
nn	nicht nachgewiesen / nachweisbar (not detected/detectable)
-	Messung/Angabe nicht erforderlich (measurement/data not required)
<	[vor Mittelwerten] enthält mindestens einen Messwert unterhalb der Nachweisgrenze ([preceding mean values] includes at least one value below detection limit)

VIII. Physikalische Einheiten (Physical units)

Basiseinheiten

Die Basiseinheiten bilden ein System zusammenhängender Einheiten. Sie heißen nach den internationalen Empfehlungen SI-Einheiten (SI = Système International d'Unités).

Tabelle T VIII.1 Physikalische Einheiten - Basiseinheiten
(Physical units - basic units)

Einheiten	Kurzzeichen	Basisgröße
Meter	m	Länge
Kilogramm	kg	Masse
Sekunde	s	Zeit
Ampère	A	Stromstärke
Kelvin	K	Temperatur
Mol	mol	Stoffmenge
Candela	cd	Lichtstärke

Tabelle T VIII.2 Physikalische Einheiten - SI-Einheiten in der Radiologie
(Physical units - SI units applied in radiology)

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = 3,7 · 10 ¹⁰ Bq * 1 Bq = 2,7 · 10 ⁻¹¹ Ci = 27 pCi
Energiedosis	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy * 1 Gy = 100 rd *
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv * 1 Sv = 100 rem *
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = 2,58 · 10 ⁻⁴ C/kg * = 0,258 mC/kg * 1 C/kg = 3876 R
Energiedosisleistung	Gray pro Sekunde (Gy/s)	Rad pro Sekunde (rd/s)	1 rd/s = 0,01 Gy/s * 1 Gy/s = 100 rd/s *
Ionendosisleistung	Ampere pro Kilogramm (A/kg)	Röntgen pro Sekunde (R/s)	1 R/s = 2,58 · 10 ⁻⁴ A/kg * = 0,258 mA/kg *

Bei Werten mit * ist der Umrechnungsfaktor genau angegeben, bei den anderen ist er abgerundet

Tabelle T VIII.3 Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten
(Prefixes)

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor	Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10 ¹⁸	Dezi	d	10 ⁻¹
Peta	P	10 ¹⁵	Zenti	c	10 ⁻²
Tera	T	10 ¹²	Milli	m	10 ⁻³
Giga	G	10 ⁹	Mikro	μ	10 ⁻⁶
Mega	M	10 ⁶	Nano	n	10 ⁻⁹
Kilo	k	10 ³	Piko	p	10 ⁻¹²
Hekto	h	10 ²	Femto	f	10 ⁻¹⁵
Deka	da	10 ¹	Atto	a	10 ⁻¹⁸

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2-3 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

Tabelle T VIII.4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung
(Physical quantities in non-ionising radiation)

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	
magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
magnetische Flussdichte	B	Vs/m² (Voltsekunde pro Quadratmeter); T (Tesla) 1 Vs/m ² = 1 T gebräuchlich: 1 μT veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H^*$ für Luft und organische Materialien gilt: $B (\mu T) = 1,256 \cdot H (A/m)$ $1 G = 10^{-4} T = 100 \mu T$
Hochfrequente elektromagnetische Felder			
elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	$E = Z_0 \cdot H$ dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit $376,7 \Omega$ (Ohm) = 376,7 V/A
magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
Leistungsflussdichte	S	W/m² (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	SAR	W/kg (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	
* dabei ist μ die Permeabilitätskonstante, μ_0 die Permeabilitätskonstante im Vakuum und μ_r die Permeabilitätszahl eines Mediums			

Tabellen

Tabelle T VIII.5 Liste ausgewählter Radionuklide
(List of selected radionuclides)

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
1	Wasserstoff	H-3	12,3 a	β^-
4	Beryllium	Be-7	53,3 d	ϵ, γ
6	Kohlenstoff	C-14	5730 a	β^-
9	Fluor	F-18	1,83 h	β^+
11	Natrium	Na-22	2,6 a	β^+, γ
14	Silizium	Si-32	172 a	β^-
15	Phosphor	P-32	14,3 d	β^-
16	Schwefel	S-35	87,5 d	β^-
18	Argon	Ar-41	1,83 h	β^-, γ
19	Kalium	K-40	$1,28 \times 10^9$ a	$\beta^-, \epsilon, \beta^+, \gamma$
20	Calcium	Ca-45	163 d	β^-, γ
24	Chrom	Cr-51	27,7 d	ϵ, γ
25	Mangan	Mn-54	312,2 d	ϵ, γ
26	Eisen	Fe-59	44,5 d	β^-, γ
27	Kobalt	Co-57	272 d	ϵ, γ
		Co-58	70,9 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
		Co-60	5,27 a	β^-, γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	244 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
34	Selen	Se-75	120 d	ϵ, γ
36	Krypton	Kr-85	10,8 a	β^-, γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^-, γ
		Kr-87	76,3 m	β^-, γ
		Kr-88	2,84 h	β^-, γ
		Kr-89	3,18 m	β^-, γ
37	Rubidium	Rb-87	$4,8 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^-, γ
		Sr-90	28,6 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64,1 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	β^-, γ
41	Niob	Nb-95	35 d	β^-, γ
42	Molybdän	Mo-99	66,0 h	β^-, γ
43	Technetium	Tc-99	$2,1 \times 10^5$ a	β^-
		Tc-99m	6,0 h	$I\gamma$
44	Ruthenium	Ru-103	39,4 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-
46	Palladium	Pd-103	16,96 d	$\epsilon,$
47	Silber	Ag-108m	418 a	ϵ, γ
		Ag-110m	250 d	$\beta^-, \gamma, I\gamma$
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ϵ
49	Indium	In-111	2,81 d	ϵ, γ
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
		Sb-125	2,77 a	β^- , γ
52	Tellur	Te-123m	120 d	$I\gamma$
53	Iod	I-123	13,2 h	ϵ , γ
		I-125	59,4 d	ϵ , γ
		I-129	$1,57 \times 10^7$ a	β^- , γ
		I-131	8,02 d	β^- , γ
54	Xenon	Xe-131m	11,9 d	$I\gamma$
		Xe-133	5,25 d	β^- , γ
		Xe-133m	2,19 d	$I\gamma$
54	Xenon	Xe-135	9,1 h	β^- , γ
		Xe-135m	15,3 m	$I\gamma$, β^-
		Xe-137	3,83 m	β^- , γ
		Xe-138	14,1 m	β^- , γ
55	Cäsium	Cs-134	2,06 a	β^- , γ , β^+
		Cs-137	30,2 a	β^- , γ
56	Barium	Ba-140	12,8 d	β^- , γ
57	Lanthan	La-140	40,3 h	β^- , γ
58	Cer	Ce-141	32,5 d	β^- , γ
		Ce-144	285 d	β^- , γ
61	Promethium	Pm-147	2,62 a	β^- , γ
63	Europium	Eu-152	13,3 a	ϵ , β^+ , β^- , γ
		Eu-154	8,8 a	β^- , ϵ , γ
64	Gadolinium	Gd-153	239 d	ϵ , γ
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^- , γ
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	β^- , ϵ , γ
81	Thallium	Tl-201	73,1 h	ϵ , γ
82	Blei	Pb-210	22,3 a	β^- , γ , α
		Pb-214	26,8 m	β^- , γ
83	Wismut	Bi-214	19,9 m	β^- , α , γ
84	Polonium	Po-210	138 d	α
		Po-214	164 μ s	α
		Po-218	3,05 m	α
86	Radon	Rn-219	3,96 s	α , γ
		Rn-220	55,6 s	α
		Rn-222	3,83 d	α
88	Radium	Ra-224	3,66 d	α , γ
		Ra-226	1600 a	α , γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
90	Thorium**	Th-228	1,91 a	α , γ
		Th-230	$7,54 \times 10^4$ a	α
		Th-232	$1,41 \times 10^{10}$ a	α
		Th-234	24,1 d	β^- , γ
91	Protactinium	Pa-234	6,7 h	β^- , γ
92	Uran***	U-233	$1,59 \times 10^5$ a	α
		U-234	$2,46 \times 10^5$ a	α

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
		U-235	7,04 x 10 ⁸ a	α, γ
		U-238	4,47 x 10 ⁹ a	α
93	Neptunium	Np-239	2,36 d	β ⁻ , γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α
		Pu-239 *)	2,41 x 10 ⁴ a	α
		Pu-240 *)	6563 a	α
		Pu-241	14,4 a	β ⁻ , α
95	Americium	Am-241	432 a	α, γ
96	Curium	Cm-242	163 d	α
		Cm-244	18,1 a	α
			μs = Mikrosekunden s = Sekunden m = Minuten h = Stunden d = Tage a = Jahre	ε = Elektroneneinfang γ = Gammastrahlung Iγ = Isomerenzerfall β ⁺ = Positronen β ⁻ = Elektronen α = Helium-Kerne
+) entnommen aus: Magill J, Pfennig G, Galy J: Karlsruher Nuklidkarte. European communities, EUR22276EN, 7. Auflage, 2006 * Pu-(239+240): Historisch gewachsene, zusammenfassende Schreibweise (auch Pu-(239+240)) der beiden Radionuklide Pu-239 und Pu-240. Die Energien der Alphastrahlung dieser Radionuklide liegen so dicht beisammen, dass mit üblichen Alphaspektrometern meist nur die Summe ihrer Aktivitäten gemessen werden kann ** Bei natürlichem Thorium (Thnat) handelt es sich fast nur um das Isotop Th-232, das die längste Halbwertszeit besitzt. Th-228, 227Th, Th-230, Th-231 und Th-234 kommen nur in Spuren vor *** In natürlichem Uran (Natururan, Unat) finden sich die Isotope -238 zu 99,27 %, U-235 zu 0,72 %, U-234 zu 0,0055 % und U-236 in Spuren				

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle G 1	Übersicht über die Verwaltungsbehörden des Bundes zur Überwachung der Umwelt- bzw. Umgebungsradioaktivität gemäß StrlSchG, IMIS-ZustV bzw. REI (Leitstellen) <i>(Overview of the federal administrative authorities for the monitoring of environmental and ambient radioactivity in accordance with StrlSchG and REI)</i>	122
Tabelle G 1.1-1	Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R nach StrlSchV, Anl. VI, Teil C <i>(Radiation weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)</i>	124
Tabelle G I 1.1-1	Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten <i>(Typical values for the specific activity of different soil consistencies)</i>	138
Tabelle G I 1.1-2	Typische Bereiche der spezifischen Aktivität von Ra-226 in Böden <i>(Typical areas for specific Ra-226 activity in soil)</i>	138
Tabelle G I 1.2-1	Natürliche radioaktive Stoffe in Wässern und Sedimenten <i>(Natural radioactive substances in bodies of water and sediments)</i>	139
Tabelle G I 1.2-2	Konzentrationen wichtiger natürlicher Radionuklide im Trinkwasser <i>(Concentrations of the main natural radionuclides in drinking water)</i>	140
Tabelle G I 1.3-1	Aktivitätskonzentrationen der langlebigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen in der bodennahen Luft (Jahresmittelwerte) <i>(Activity concentrations of the long-lived radionuclides of the uranium and thorium decay series in air close to ground level - annual mean values)</i>	141
Tabelle G I 1.4-1	Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln (Median-Werte) <i>(Specific activity of natural radioactive substances in foodstuffs - median values)</i>	142
Tabelle G I 1.4-2	Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung (gemischte Kost aus Gemeinschaftseinrichtungen) <i>(Specific activity of natural radioactive substances in the general diet (mixed diet from public institutions))</i>	142
Tabelle G I 1.4-3	Natürlich radioaktive Stoffe im Menschen (nach UNSCEAR [1,2]) <i>(Natural radioactive substances in man - (UNSCEAR)[1,2])</i>	143
Tabelle G I 2.1-1	Abschätzung der Menge von industriellen Hinterlassenschaften mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g) 2003 <i>(Estimation of the amount of industrial relics with increased natural radioactivity (> 0,2 Bq/g) 2003)</i>	146
Tabelle G I 2.1-2	Abschätzung der jährlichen Mengen industrieller Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g, 2003) <i>(Estimation of the annual amount of industrial residues with enhanced natural radioactivity, > 0.2 Bq/g, 2003)</i>	147
Tabelle G I 2.3-1	Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten <i>(Specific activity of natural radionuclides in building materials and industrial products)</i>	151
Tabelle G II 1.1-1	Anzahl der Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2017 <i>(Number of nuclear weapons tests in the years 1945 - 2017)</i>	156
Tabelle G II 1.2-1	Mittlere effektive Dosis durch den Reaktorunfall in Tschernobyl für Erwachsene in Deutschland <i>(Mean effective dose to adults in Germany from the Chernobyl accident)</i>	158
Tabelle G I.3-1	Änderungen der Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken (Änderungen gegenüber dem Stand von 2008 sind hervorgehoben) <i>Changes in planning areas around NPPs for emergency protection</i>	163
Tabelle G II 2.4-1	Cs-137-Aktivitätskonzentration in Fischen unterschiedlicher Habitate im Zeitraum von 1995 bis 2014 <i>(Activity concentrations of Cs-137 in fish of different habitats between 1995 and 2014)</i>	171
Tabelle G VI 3.1	Grenzwerte für feststehende Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (26. BImSchV) <i>(Limit values for fixed low-frequency and DC installations - 26th BImSchV)</i>	193



Tabelle G VI 4.1	Grenzwerte der 26. BImSchV für hochfrequente Felder von ortsfesten Anlagen (<i>Limit values of the 26th BImSchV for high-frequency fields of fixed installations</i>)	196
Tabelle G VI 5.1-1	Teilbereiche des UV-Spektrums (<i>Sub-ranges of the UV radiation spectrum</i>)	197
Tabelle G VI 5.1-2	Beschreibung der Hauttypen nach UV-Schutzverordnung (UVSV) (<i>Definition of skin type according to UVSV</i>)	201
Tabelle G VI 5.1-3	Die Lichtempfindlichkeit steigernde Medikamente und chemische Stoffe (<i>Pharmaceuticals and chemical substances increasing sensitivity to light</i>)	201
Tabelle G VI 6.1	Schwellenwerte für die minimalen erythemwirksame Dosis (MED) für verschiedene Hauttypen in J/m ² (<i>Thresholds of the minimal erythemal dose (MED) for different skin types in J / m²</i>)	207

I. TABELLEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT (TABLES ON NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

Tabelle T I.1	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre im Zeitraum 1998 bis 2018 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2018 – Values measured by the Wismut GmbH</i>)	209
Tabelle T I.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre 2017 und 2018 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2017 and 2018 - Values measured by the Wismut GmbH</i>)	209
Tabelle T I.3	Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2018 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2018 – Values measured by the Wismut GmbH</i>)	210
Tabelle T I.4	Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2017 und 2018 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2017 and 2018 - Values measured by the Wismut GmbH</i>)	211
Tabelle T I.5	Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen (<i>Calculation of authorised limits for liquid discharges</i>)	211
Tabelle T I.6	Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2017/2018 und Sommer 2018; Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - winter 2017/2018 and summer 2018 -Values measured by the Wismut GmbH</i>)	212
Tabelle T I.7	Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2018 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations not influenced by mining activities - mean values 1991 - 2018 and range of variation of the mean values for the individual years - Values measured by the Wismut GmbH</i>)	212
Tabelle T I.8	Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbauggebiete 2017 und 2018 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the years 2017 and 2018 Values measured by the Wismut GmbH</i>)	213
Tabelle T I.9	Ergebnisse der Radionuklidbestimmungen in Baustoffgruppen (<i>Results of radionuclide assessments by building material categories</i>)	214

II. TABELLEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT (TABLES ON ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

Tabelle T II.1	Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland (<i>Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany</i>)	215
----------------	--	-----



Tabelle T II.2	Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in Deutschland (<i>Research reactors - not including reactors with zero output - in Germany</i>)	216
Tabelle T II.3	Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Deutschland (<i>Interim storage facilities of spent nuclear fuels in Germany</i>)	217
Tabelle T II.4	Schachtanlage Asse II und Endlager Morsleben für radioaktive Abfälle in Deutschland (<i>Asse II mine and the Morsleben radioactive waste repository in Germany</i>)	218
Tabelle T II.5	Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland (<i>Nuclear facilities in neighbouring countries located close to the German border</i>)	218
Tabelle T II.6	Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018 (<i>Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2018</i>)	219
Tabelle T II.7	Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018 (<i>Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2018</i>)	220
Tabelle T II.8	Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018 (I-131: Tabelle T II.6) (<i>Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2018 - I-131: Table T II.6</i>)	221
Tabelle T II.9	Aktivitätsableitung von radioaktiven Edelgasen, I-131 und an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden (ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler) mit der Fortluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Kernkraftwerke in den Jahren 2008 bis 2018 (<i>Discharges of radioactive noble gases, of I-131 and radioactive particulates (excluding I-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 2008 to 2018</i>)	224
Tabelle T II.10	Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren und Forschungsreaktoren von Universitäten im Jahr 2018 (<i>Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2018</i>)	224
Tabelle T II.11	Aktivitätsableitung alphastrahlender radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben (<i>Discharges of alpha emitting radioactive substances with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels</i>)	225
Tabelle T II.12	Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse II und dem Endlager Morsleben (<i>Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine II and the radioactive waste repository Morsleben</i>)	225
Tabelle T II.13	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in Deutschland im Jahr 2018 (Summenwerte, H-3 und Alphastrahler) (<i>Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2018 - summation values, H-3 and alpha sources</i>)	226
Tabelle T II.14	Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren (<i>Discharges of radioactive substances with waste water from research centres</i>)	227
Tabelle T II.15	Ableitungen radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben (<i>Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants</i>)	227
Tabelle T II.16	Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben (<i>Discharges of radioactive substances with waste water from the radioactive waste repository Morsleben</i>)	227
Tabelle T II.17	Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft (<i>Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with exhaust air</i>)	228

Tabelle T II.18	Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser <i>(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with waste water)</i>	229
Tabelle T II.19	Strahlenexposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft <i>(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)</i>	229
Tabelle T II.20	Strahlenexposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser* <i>(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with waste water)</i>	230
Tabelle T II.21	Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser <i>(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)</i>	230
Tabelle T II.22	Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Direktstrahlung* <i>(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to direct radiation)</i>	230
Tabelle T II.23	Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse II durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser <i>(Radiation exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)</i>	231
Tabelle T II.24	Strahlenexposition durch Direktstrahlung* aus zentralen Zwischenlagern <i>(Radiation exposure due to direct radiation from interim storage facilities)</i>	231
Tabelle T II.25	Einzelnuclid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft <i>(Activity concentrations of individual nuclides in ground-level air)</i>	232
Tabelle T II.26	Deposition von Einzelnucliden mit dem Niederschlag <i>(Deposition of individual nuclides with precipitation)</i>	235
Tabelle T II.27	Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131 <i>(Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131)</i>	236
Tabelle T II.28	Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60 <i>(Annual mean values for activity concentrations of Co-60)</i>	237
Tabelle T II.29	Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren <i>(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors)</i>	238
Tabelle T II.30	Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60 <i>(Deposition of radioactivity related to Co-60)</i>	239
Tabelle T II.31	Übersicht über die für 2018 insgesamt ausgewerteten Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrlSchG und REI mit den jeweiligen maximalen gemessenen Werten und den zugehörigen Gewässern und Bezugszeiten <i>(Overview of all measuring results for surface water, suspended matter, and sediment evaluated in 2018, in accordance with the StrlSchG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times)</i>	240
Tabelle T II.32	Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrlSchG bzw. StrVG (2017) <i>(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrlSchG, StrVG (2017) resp.)</i>	241
Tabelle T II.33	Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrlSchG bzw. StrVG (2017) <i>(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrlSchG, StrVG (2017) resp.)</i>	245

Tabelle T II.34	Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI (<i>Monitoring of bodies of water in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI</i>) 248	
Tabelle T II.35	Radioaktive Kontamination von Weideböden (<i>Radioactive contamination of pasture soil</i>)	255
Tabelle T II.36	Radioaktive Kontamination von Ackerböden (<i>Radioactive contamination of arable soil</i>)	256
Tabelle T II.37	Radioaktive Kontamination von Waldböden (<i>Radioactive contamination of forest soil</i>)	258
Tabelle T II.38	Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs (<i>Radioactive contamination of pasture and meadow vegetation</i>)	258
Tabelle T II.39	Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland) (<i>Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production</i>)	260
Tabelle T II.40	Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten (<i>Radioactive contamination of imported feedstuffs</i>)	261
Tabelle T II.41	Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren) (<i>Radioactive contamination of plants - indicators</i>)	262
Tabelle T II.42	Spezifische Aktivität des Bodens in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz (<i>Specific activity of the soil in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act</i>)	262
Tabelle T II.43	Spezifische Aktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz (<i>Specific activity of vegetation in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act</i>)	265
Tabelle T II.44	Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in Deutschland (<i>General monitoring of groundwater and drinking water in Germany</i>)	268
Tabelle T II.45	Umgebungsüberwachung von Anlagen nach Atomgesetz in Deutschland (Grundwasser und Trinkwasser) (<i>Surveillance of the surroundings of facilities - according to the Atomic Energy Act groundwater and drinking water</i>)	269
Tabelle T II.46	Radioaktive Kontamination der Rohmilch (<i>Radioactive contamination of the raw milk</i>)	270
Tabelle T II.47	Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2018 (<i>Range of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2018</i>)	271
Tabelle T II.48	Radioaktive Kontamination der Milch in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz (<i>Radioactive contamination of milk in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act</i>)	271
Tabelle T II.49	Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen (<i>Specific Cs-137 activity in freshwater fish</i>)	274
Tabelle T II.50	Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (<i>Cs-137 activity in trout and carp</i>)	274
Tabelle T II.51	Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus der Nord- und Ostsee (<i>Specific Cs-137 activity in fish, crustaceans and molluscs from the North Sea and the Baltic Sea</i>)	275
Tabelle T II.52	Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen (<i>Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products</i>)	275
Tabelle T II.53	Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fische- reierzeugnissen aus dem Pazifik (<i>Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products from the Pacific Ocean</i>)	275

Tabelle T II.54	Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (<i>Specific Sr-90 activity in fish, crustaceans and molluscs</i>)	276
Tabelle T II.55	Spezifische Radionuklid-Aktivitäten von Fischen aus verschiedenen Meeresgebieten inkl. Nachtrag zu früheren Jahren (<i>Specific radionuclide activities in fish from different marine areas incl. supplement to earlier years</i>)	276
Tabelle T II.56	Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz (<i>Activity in fish and aquatic plants - within the framework of ambient surveillance for facilities according to the Atomic Energy Act</i>)	277
Tabelle T II.57	Weizen, Inland (<i>Wheat, domestic production</i>)	278
Tabelle T II.58	Weizen, Einfuhr (<i>Wheat, import</i>)	279
Tabelle T II.59	Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr (<i>Other cereals, domestic production and import</i>)	279
Tabelle T II.60	Kalbfleisch, Inland (<i>Veal, domestic production</i>)	280
Tabelle T II.61	Rindfleisch, Inland (<i>Beef, domestic production</i>)	281
Tabelle T II.62	Schweinefleisch, Inland (<i>Pork, domestic production</i>)	282
Tabelle T II.63	Sonstiges Fleisch, Inland und Einfuhr (<i>Other meat, domestic production and import</i>)	283
Tabelle T II.64	Wild, Inland und Einfuhr (<i>Game, domestic production and import</i>)	284
Tabelle T II.65	Kartoffeln, Inland (<i>Potatoes, domestic production</i>)	284
Tabelle T II.66	Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr (<i>Fresh vegetables, domestic production and import</i>)	285
Tabelle T II.67	Speisepilze, Inland und Einfuhr (<i>Mushrooms, domestic production and import</i>)	285
Tabelle T II.68	Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr (<i>Fruit and rhubarb, domestic production and import</i>)	286
Tabelle T II.69	Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr (<i>Other foodstuffs, domestic production and import</i>)	287
Tabelle T II.70	Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland (<i>Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production</i>)	287
Tabelle T II.71	Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung (<i>Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet</i>)	289
Tabelle T II.72	Säuglings- und Kleinkindernahrung (<i>Baby and infant food</i>)	290
Tabelle T II.73	Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anla- gen: Gemüse (<i>Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables</i>) . . .	291
Tabelle T II.74	Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anla- gen: Getreide (<i>Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals</i>) . .	293

Tabelle T II.75	Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst <i>(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit)</i> 295
Tabelle T II.76	Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln <i>(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: potatoes)</i> 297
Tabelle T II.77	Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in ausgewählten Arzneimittelpflanzen für das Jahr 2018 <i>(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected medicine plants for the year 2018)</i> . . . 298
Tabelle T II.78	Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Islandmoos für die Jahre 2000 bis 2018 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes <i>(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in iceland moss for the years 2000-2018 and indication of their country of origin)</i> 299
Tabelle T II.79	Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Bitterkleeblättern für die Jahre 2005 bis 2018 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes <i>(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in bogbean leaves for the years 2005 - 2018 and indication of their country of origin)</i> 299
Tabelle T II.80	Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Gänsefingerkraut für die Jahre 2000 bis 2015 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes <i>(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in silverweed herb for the years 2005 - 2015 and indication of their country of origin)</i> 300
Tabelle T II.81	Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Frischmasse - in ausgewählten Sonderproben für das Jahr 2018 <i>(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected special samples for the year 2018)</i> 300
Tabelle T II.82	Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2018 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte <i>(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2018 - minimum, maximum, and mean values)</i> 301
Tabelle T II.83	Überwachung von Abfällen <i>(Monitoring of wastes)</i> 307
Tabelle T II.84	Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum München <i>(Annual and monthly mean values in the Munich area)</i> 308
Tabelle T II.85	Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Berlin <i>(Annual and monthly mean values in the Berlin area)</i> 309
Tabelle T II.86	Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Karlsruhe <i>(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)</i> 310
III. TABELLEN ZUR BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION <i>(TABLES ON OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE)</i>	
IV. TABELLEN ZUR MEDIZINISCHEN STRAHLENEXPOSITION <i>(TABLES ON RADIATION EXPOSURE FROM MEDICAL APPLICATIONS)</i>	
Tabelle T IV.1	Typische Werte für die effektive Dosis häufiger Röntgenmaßnahmen <i>(Ranges of effective doses for frequently applied x-ray diagnostic procedures)</i> 311
V. TABELLEN ZUM UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG <i>(TABLES ON THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)</i>	
Tabelle T V.1	Einfuhr radioaktiver Stoffe nach Deutschland - ohne radioaktive Abfälle <i>(Import of radioactive materials to Germany - without radioactive waste)</i> 312
Tabelle T V.2	Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus Deutschland - ohne radioaktive Abfälle <i>(Export of radioactive materials from Germany - without radioactive waste)</i> 313

Tabelle T V.3	Aktivität der 2018 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab A1/100) <i>(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2018 - without sources at levels of above A1/100)</i>	314
Tabelle T V.4	Aktivität der 2018 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab A1/100 <i>(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2018 with levels of above A1/100)</i>	316
Tabelle T V.5	Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2018 <i>(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2018)</i>	316
Tabelle T V.6	Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2018 <i>(Export of sealed and unsealed radionuclides without sources at levels of above A1/100 in the year 2018)</i>	317
Tabelle T V.7	Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2018 <i>(Export of sealed radiation sources with levels of above A1/100 in the year 2018)</i>	319
Tabelle T V.8	Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2018 <i>(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2018)</i>	320
Tabelle T V.9	Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2018 <i>(Overview of the number of licenses and notifications in the year 2018)</i>	320
Tabelle T V.10	Übersicht über die Anzahl der durchgeführten Kernbrennstofftransporte (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart) <i>(Overview of the number of reported shipments of nuclear fuels – for various modes and types of transport)</i>	321
Tabelle T V.11	Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen/Transporte mit radioaktiven Stoffen <i>(Number of yearly transported truck loads / transports containing radioactive materials)</i> . . .	322
Tabelle T V.12	Anzahl der Beförderungen radioaktiver Stoffe (Bahn) in Abhängigkeit von der rechtlichen Grundlage <i>(Number of transports of radioactive materials (railway) in respect of their legal basis)</i> . . .	322
Tabelle T V.13	Wagenladungssendungen <i>(Truck-loads)</i>	323
Tabelle T V.14	Beförderte Gesamtaktivität <i>(Total activity transported)</i>	323
Tabelle T V.15	Anteil der überprüften Beförderungen, bezogen auf Transportarten, sowie festgestellte Mängel <i>(Contingent of reviewed transports based on types of transport and detected defects)</i>	324
Tabelle T V.16	Festgestellte Verstöße gegen Gefahrgutvorschriften <i>(Detected contempts against dangerous goods regulations)</i>	324
Tabelle T V.17	Übersicht über die Zahl der Genehmigungen* nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2018) <i>(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of radioactive substances - as at December 31, 2018)</i>	324
Tabelle T V.18	Zahl der Genehmigungen* nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2018) <i>(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2018)</i>	325
Tabelle T V.19	Übersicht über die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen* nach § 11 StrlSchV (Stand: 31.12.2018) <i>(Survey of the number of licencees according to § 11 StrlSchV - as at December 31, 2018)</i>	325
Tabelle T V.20	Übersicht über gültige Genehmigungen <i>(Survey of current licences)</i>	326
Tabelle T V.21	Übersicht über die Zahl der im Jahr 2018 erstatten Anzeigen <i>(Survey of the number of notifications in the year 2018)</i>	327

Tabelle T V.22	Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 66 StrlSchV im Jahr 2018 <i>(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2018)</i>	328
Tabelle T V.23	Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin im Jahr 2018 <i>(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine in 2018)</i> ...	329
Tabelle T V.24	Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Zahnmedizin und Tiermedizin im Jahr 2018 <i>(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in dentistry and veterinary medicine in 2018)</i>	330
Tabelle T V.25	Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik/Nichtmedizin im Jahr 2018 <i>(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological/non-medical areas in 2018)</i>	331
Tabelle T V.26	Übersicht über die Entwicklung der Daten im HRQ-Register seit dem Jahr 2006 <i>(Survey on the development of data in the HASS-register since the year 2006)</i>	331
Tabelle T V.27	Übersicht über die Mengen (Massen und Volumina) vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2018 <i>(Survey of quantities (masses and volumes) of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2018)</i>	332
Tabelle T V.28	Übersicht über den Bestand radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2018 <i>(Survey on the stock of radioactive wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2018)</i>	332
Tabelle T V.29	Übersicht über den Bestand an Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen - ohne bestrahlte BE - nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2018 <i>(Survey on the stock of radioactive heat generating wastes - without irradiated BE - according to groups of waste producers on 31 December 2018)</i>	332
Tabelle T V.30	Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen (Meldungen nach § 51, § 71 alte StrlSchV sowie § 42 RöV) <i>(Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and X-ray devices and during transport of radioactive material)</i>	333

VI. TABELLEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG
(TABLES ON NON-IONISING RADIATION)

Tabelle T VI.1	SAR-Werte für Mobiltelefone <i>(SAR values for mobile phones)</i>	340
----------------	--	-----

VII. ABKÜRZUNGEN UND GLOSSAR
(LIST OF ABBREVIATIONS AND GLOSSARY)

Tabelle T VII.1	Abkürzungen <i>(Abbreviations)</i>	341
Tabelle T VII.2	Glossar <i>(Glossary, German only)</i>	346
Tabelle T VII.3	Tabellenabkürzungen <i>(Abbreviations in tables)</i>	351

VIII. PHYSIKALISCHE EINHEITEN
(PHYSICAL UNITS)

Tabelle T VIII.1	Physikalische Einheiten - Basiseinheiten <i>(Physical units - basic units)</i>	351
Tabelle T VIII.2	Physikalische Einheiten - SI-Einheiten in der Radiologie <i>(Physical units - SI units applied in radiology)</i>	352

Tabelle T VIII.3	Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten (<i>Prefixes</i>)	352
Tabelle T VIII.4	Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung (<i>Physical quantities in non-ionising radiation</i>)	353
Tabelle T VIII.5	Liste ausgewählter Radionuklide (<i>List of selected radionuclides</i>)	354