Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2019

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 Löbke-Reinl
Dr. Josef Peter

Redaktioneller Stand: Dezember 2020

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 am 31. Dezember 2018 in Kraft getreten und dient deshalb diesem Bericht als Grundlage. Zum gleichen Zeitpunkt ist die neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in Kraft getreten. Wo auf die vorher gültige Strahlenschutzverordnung Bezug genommen wird, ist sie als StrlSchV 2001 gekennzeichnet.

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

INHALTSVERZEICHNIS

BERICHT 2019 - AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG

ZUSAMMENFASSUNG **10**

SUMMARY **14**

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1. Natürliche Umweltradioaktivität 19
2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität 19
2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie 19
2.2 Radon in Gebäuden 22
2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten 22

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1. Quellen künstlicher Radioaktivität 25
1.1 Kernwaffenversuche 25
1.2 Zivile Freisetzungen 25
1.3 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall 27
1.4 Anlagen nach Atomgesetz 30
1.5 Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen nach Atomgesetz 30
1.6 Exposition durch Anlagen nach Atomgesetz 36
2. Allgemeine Umweltüberwachung (Immissionen) 41
2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse 41
2.2 Nord- und Ostsee 53
2.3 Binnengewässer 56
2.4 Böden 62
2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser 63
2.6 Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände 72
2.7 Abwasser und Klärschlamm 73
2.8 Abfälle 75
2.9 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 77

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

1. Personendosisüberwachung 82
1.1 Dosimeterüberwachte Personen 82
1.2 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen 84
2. Überwachung des fliegenden Personals 84
3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition 86
4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen 86

IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN

1. Diagnostische Strahlenanwendungen 89
1.1 Röntgendiagnostik 89
1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik 92
1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen 94
1.4 Magnetresonanztomographie als alternatives Untersuchungsverfahren 95
2. Therapeutische Strahlenanwendungen 96
2.1 Therapie mit ionisierender Strahlung 96
2.2 Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen 96

3. Medizinische Forschung ... 96
4. Bedeutsame Vorkommnisse in der Medizin nach Anlage 14 StrlSchV ... 96

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe ... 99
1.1 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe ... 99
1.2 Einfuhrstatistik ... 99
1.3 Ausfuhrstatistik ... 100
1.4 Genehmigungen und Anmeldungen ... 100
2. Beförderung radioaktiver Stoffe ... 100
2.1 Übersicht über Zulassungen, Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe ... 101
2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen ... 101
3. Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler ... 103
3.1 Anwender radioaktiver Stoffe ... 103
3.2 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen ... 103
3.3 Hochradioaktive Quellen (HRQ) ... 103
3.4 Störstrahler ... 104
3.5 Konsumgüter und sonstige Anwendungen ... 104
3.6 Bestand radioaktiver Abfälle ... 104
4. Bedeutsame Vorkommnisse ... 105

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

1. Elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen ... 107
1.1 Elektromagnetische Felder allgemein ... 107
1.2 Statische elektrische und magnetische Felder ... 107
1.3 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (NF) ... 107
1.4 Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF) ... 108
2. Optische Strahlung ... 111
2.1 Solares UV-Monitoring ... 111
2.2 Forschung ... 113
2.3 Hautkrebspräventionsmaßnahmen ... 113
2.4 Rechtliche Regelungen ... 114

GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANGABEN

GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND ERLÄUTERUNGEN

1. Historische und gesetzliche Grundlagen der Überwachung ... 118
1.1 Überwachung der Umwelt ... 118
1.2 Überwachungsmaßnahmen auf europäischer Ebene - Höchstwerteverordnung ... 119
1.3 Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen ... 119
1.4 Strahlenschutzmaßnahmen - Die Euratom-Grundnormen ... 120
1.5 Strahlenschutzmaßnahmen - Umsetzung in deutsches Recht (Überarbeitungsstand 2020) ... 121
1.6 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Stand 31.12.2020 ... 122
2. Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen ... 126
2.1 Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung ... 126
2.2 Strahlendosis und ihre Einheiten ... 126
2.3 Die Messung der Strahlendosen ... 128
2.4 Äußere und innere Bestrahlung ... 129

2.5 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung ... 130
2.6 Genetische Strahlenwirkungen ... 130
2.7 Induktion bösartiger Neubildungen ... 131
2.8 Risikoabschätzung ... 131

I GRUNDLAGEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1. Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt ... 134
1.1 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden ... 135
1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser ... 135
1.3 Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre ... 138
1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung ... 139
1.5 Natürliche Strahlenexposition ... 140

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität ... 142
2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie ... 142
2.2 Radon in Gebäuden ... 145
2.3 Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten ... 148

II GRUNDLAGEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1. Quellen künstlicher Radioaktivität ... 153
1.1 Kernwaffenversuche ... 153
1.2 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall ... 155
1.3 Fukushima ... 156
1.4 Anlagen nach Atomgesetz - Allgemeine Angaben ... 161

2. Aktivitätsmessungen und Messnetze ... 162
2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung ... 165
2.2 Nord- und Ostsee ... 166
2.3 Binnengewässer ... 167
2.4 Böden ... 168
2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser ... 168
2.6 Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe ... 170
2.7 Abwasser und Klärschlamm ... 170
2.8 Abfälle ... 171
2.9 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung ... 171

III GRUNDLAGEN ZUR BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION

1. Personendosisüberwachung mit Dosimetern ... 173

2. Überwachung des fliegenden Personals ... 173

3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition ... 173

4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen ... 173

IV GRUNDLAGEN ZUR STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN

1. Diagnostische Strahlenanwendungen ... 175
1.1 Röntgendiagnostik ... 175
1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik ... 176
1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen ... 176
1.4 Alternative Untersuchungsverfahren ... 176
1.5 Qualitätssicherung ... 177

2. Therapeutische Strahlenanwendungen ... 177
2.1 Strahlentherapie ... 177
2.2 Nuklearmedizinische Therapie ... 178

3. Medizinische Forschung ... 178

4. Herzschrittmacher ... 178

V GRUNDLAGEN ZUM UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe ... 180

2. Beförderung radioaktiver Stoffe ... 183

3. Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler ... 183

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe ... 183

3.2 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern und Industrieerzeugnissen ... 183

3.3 Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ) ... 184

3.4 Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler ... 185

3.5 Bestand radioaktiver Abfälle ... 185

3.6 Freigabe geringfügig radioaktiver Stoffe ... 185

4. Meldepflichtige bedeutsame Vorkommnisse ... 186

VI GRUNDLAGEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG

1. Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung ... 188

2. Statische Felder ... 189

3. Niederfrequente Felder ... 189

4. Hochfrequente Felder ... 191

5. Optische Strahlung ... 193

5.1 UV-Strahlung ... 194

5.2 Sichtbares Licht ... 200

5.3 Infrarotstrahlung ... 202

6. Grenzwerte ... 203

TABELLEN

I. Tabellen zur natürlichen Umweltradioaktivität ... 206

II. Tabellen zur künstlichen Umweltradioaktivität ... 212

III. Tabellen zur beruflichen Strahlenexposition ... 310

IV. Tabellen zur medizinischen Strahlenexposition ... 311

V. Tabellen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung ... 312

VI. Tabellen zur nichtionisierenden Strahlung ... 345

VII. Abkürzungen und Glossar ... 346

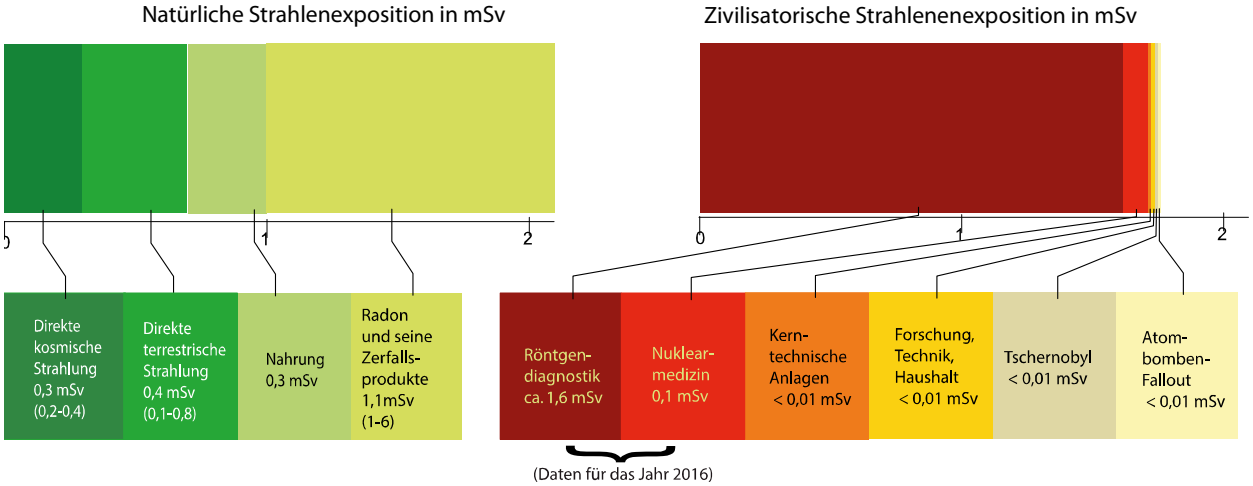
VIII. Physikalische Einheiten ... 356

Tabellenverzeichnis ... 362

BERICHT 2019 - AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG

(Überarbeitungsstand 2020)

(CURRENT DATA AND THEIR EVALUATION)



Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung in mSv im Jahr 2019, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands (Wertebereich in Klammern)

Effective annual dose to an individual due to ionising radiation in 2019 (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 2019 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 2019, 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 bedeutsame 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 und mit Trinkwasser. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 2 bis 3 mSv. Unter Verwendung der von der Strahlenschutzkommission 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 Uranerzbergbaugebiet in Sachsen und Thüringen werden über Luft und Wässer 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. Uranbergbaugebiete 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 Bergbaugebiete 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. Untersuchungen aus dem Jahr 2009 zeigten eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 16 % pro 100 Bq/m^3. Das 2017 verabschiedete Strahlenschutzgesetz sieht einen Referenzwert von 300 Bq/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 im Strahlenschutzgesetz festgelegte 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 Bq/m^2.

Im Jahr 2019 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 2019 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 2019 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV2001 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 2019 auf 75,1 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 2019 ca. 428 000 Personen. Der Großteil der beruflich strahlenexponierten Personen wurde mit Dosimetern überwacht. Die mittlere effektive Dosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 385 000) lag 2019 bei 0,06 mSv. Bei 85 % dieser überwachten Personen betrug während des ganzen Überwachungszeitraums die Personendosis 0 mSv. Bei den Überwachten mit einer messbaren Dosis (ca. 59 000 Personen) betrug die mittlere Jahrespersonendosis 0,46 mSv (Vorjahr: 0,46 mSv). Im Jahr 2019 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. 41 000 Personen im Jahr 2019 betroffen (Vorjahr: ca. 44 000). Die mittlere Jahresdosis dieser Beschäftigten betrug 1,8 mSv (Vorjahr: 2,1 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 wie im Vorbericht 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. Zum Mammographie-Screening-Programm werden die anspruchsberechtigten Frauen alle zwei Jahre schriftlich eingeladen. Anspruchsberechtigt sind ca. 11 Mio. Frauen. Die Teilnahmerate lag 2018 bei 50 %.

Radioaktive Abfälle

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern am 31. Dezember 2019, mit dem Endlagerziel Konrad oder einem anderen, 20 156 t Rohabfälle und vorbehandelte Abfälle. Der Bestand an Abfallprodukten in Innenbehältern belief sich auf ca. 16 802 m^3, von denen 3 709 m^3 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. 107 934 m^3, hiervon ist bei etwa 2 936 m^3 die Produktkontrolle abgeschlossen, so dass sie zur Einlagerung in das zukünftige Endlager Konrad abgerufen werden könnten. Lediglich 146 m^3 und 230 t an radioaktiven Abfällen sind derzeit nicht für das Endlager Konrad vorgesehen.

Bis zum 31. Dezember 2019 sind in Deutschland insgesamt ca.15 777 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.

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 2019 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 Ressortforschungssplans des Bundesumweltministeriums (BMU) vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in den Bereichen „Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder“ sowie „Optische Strahlung“ auch 2019 Forschungsvorhaben initiiert und koordiniert. Die Ergebnisse der 2019 abgeschlossenen Studien sind im Programmreport 2019 (nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424) 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 Leukämieerkrankungsrisiko 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. Auch die missbräuchliche Verwendung starker optischer Strahlungsquellen wie beispielsweise Laserpointer ist ein strahlenschutzrelevantes Thema. Ein Arbeitsschwerpunkt lag 2019 unter anderem auch auf der fachlichen Unterstützung des BMU bei der Erarbeitung der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV).

Vom UV-Schutz-Bündnis wurde 2019 die auf Basis des erarbeiteten Grundsatzpapiers (nbn-resolving.de/urn:nbn:de:-0221-2017031414248) nach den Vorgaben des Kooperationsverbundes „gesundheitsziele.de“ (www.gesundheitsziele.de) erstellte Kriterienanalyse dem Evaluationsbeirat, der Steuerungsgruppe und dem Ausschuss des Kooperationsverbundes präsentiert.

Im Rahmen des UV-Messnetzes (https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html) ergaben die Messungen der bodennahen, erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke 2019 - mit Ausnahme des alpinen Hochgebirgsraums - eine erwartungsgemäße Anzahl an Tagen mit sehr hohen UV-Index-Werten. Im alpinen Hochgebirgsraum wurde eine außergewöhnlich hohe Anzahl an Tagen mit dem extremen UV-Index-Wert 11 ermittelt.

In Bezug auf die gesetzlichen Regelungen des Solarienbetriebs unterstützten das BfS und das BMU auch 2019 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 2019, 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 2019, 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 par-

tially 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 16 % 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 to 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 2019; 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 2019. 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 2019 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 (StrlSchV2001). 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 Republikc of Germany. The total generation of electricity from the seven nuclear power plants currently in operation decreased to 76,3 terawatt hours (TWh) in 2019.

Occupational radiation exposure

Persons who might incur enhanced radiation doses at work are subject to radiation protection monitoring in Germany (approx. 428 000 individuals in 2019). Most of these persons occupationally exposed to radiation were monitored using personal dosimeters. The average annual individual dose (measured in approx. 385 000 individuals) amounted to 0.06 mSv in 2019. In 85 % 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: 0.46 mSv) was determined for all other cases with a measurable dose (approx. 59 000). In 2019, 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 2019, this applied to approx. 41 000 individuals (preceding year: 44 000 individuals). The average annual dose of these employees amounted to 1.8 mSv (preceding year: 2.1 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 as with the previous year's 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 50 % in 2018.

Radioactive waste

Primary waste and pretreated waste intended for the Konrad mine or another repository added up to a total of 20 156 t stored by all waste producers on 31 December 2019.The inventory of waste in inner containers was approx.16 802 m^3. A portion of 3 709 m^3 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. 107 934 m^3, of which about 2 936 m^3 were subject to product monitoring and are ready to be stored in by the future Konrad repository. Only 146 m^3 and 4 230 t of radioactive waste are not intended for the Konrad mine.

A total of approx. 15 777 tonnes (t) of HM (heavy metal = uranium + plutonium) accrued in the form of spent fuel elements up to 31 December 2019 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.

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 2019. 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 2019. 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 2019 are published in the Programme Report 2019 (nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424). Based on the current state of scientific knowledge, interdisciplinary efforts are beinig 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. Misuse of powerful optical radiation sources such as laser pointers is a subject relevant to radiation protection. One focus of the BfS's work in 2019 was, among others, 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).

Based on the position paper (nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017031414248), the UV-Protection Alliance presented the criteria analysis prepared under the guidelines of the cooperation association "gesundheitsziele.de" (www.gesundheitsziele.de), to the evaluation advisory council, the steering group and the cooperation association committee in 2019.

Continuous measurements of the intensity of ground-level erythema-effective UV radiation, performed within the solar UV measuring network https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html in 2019 showed an expectable number of days with very high UV index value with the exception of the alpine high mountain areas, where the extreme UV index value of 11 was identified at an exceptionally high number of days.

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 2019.

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 Immissionssituation 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 der Bericht der zuständigen Landesbehörde / Messstelle und die jährlichen Umweltberichte der Wismut GmbH (www.wismut.de).

2.1.1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft[1] und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen)

In Tabelle T I.1 (Seite 206) sind die Fortluftmengen und die Ableitungen radioaktiver Stoffe aller Wismut-Sanierungsbetriebe in den Jahren von 1998 bis 2019 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter den - in Klammern angegebenen - behördlich genehmigten Werten liegen.

In Tabelle T I.2 ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2018 und 2019 auf die einzelnen Standorte der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Einen Überblick gibt Abbildung B I 2.1-1. Es wurden die aus den Betrieben 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 auf dem Niveau der Vorjahreswerte. In Dresden-Gittersee konnte die aktive Bewetterung eingestellt werden, so dass lediglich noch geringfügige Rn-222-Freisetzungen mit jahreszeitlich bedingten Schwankungen mit der natürlichen Bewetterung erfolgen. Deren Überwachung geschieht im Rahmen der Immissionsmessungen in der Umgebung. Die Messung langlebiger Alphastrahler in Schlema/Alberoda ergab ebenfalls mit 2018 vergleichbare Emissionen; in Dresden-Gittersee erfolgten 2019 keine Ableitungen mehr und waren wegen zu geringer Konzentrationen bereits 2018 nicht mehr bilanzierbar. Die gesamten Ableitungen von Rn-222 und langlebigen Alpha-Strahlern werden inzwischen nur noch 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 sicher unterschreitet.

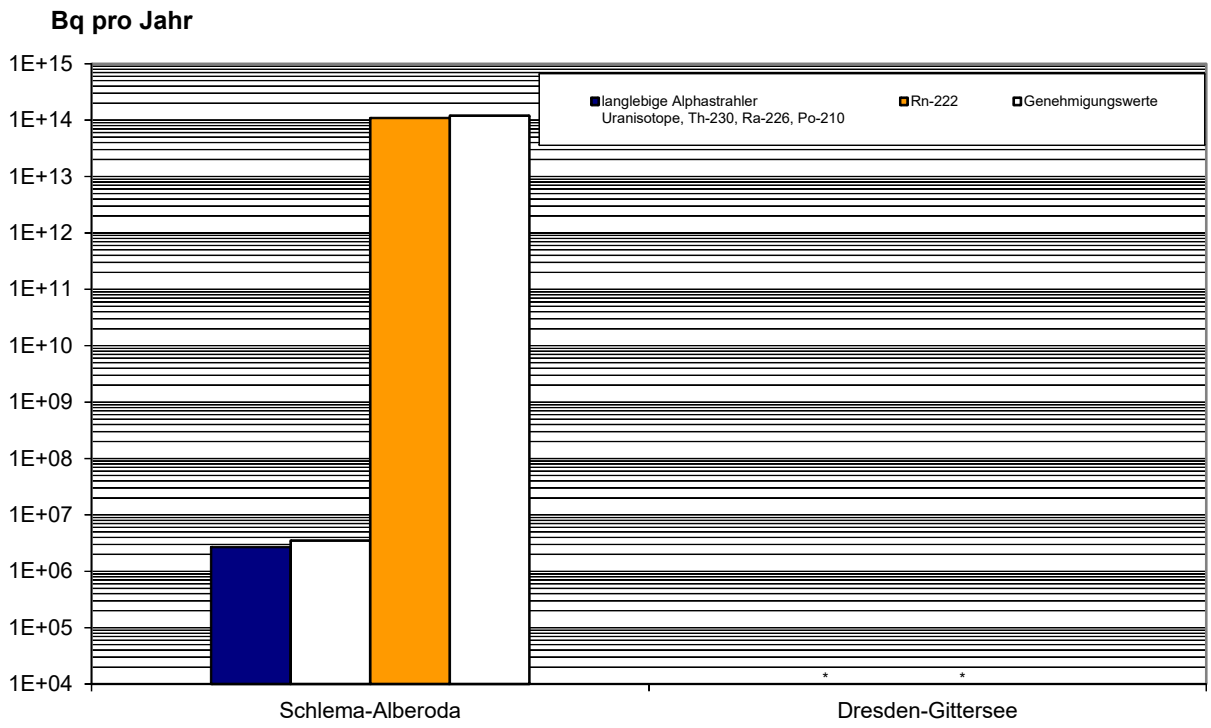
Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer (Vorfluter), die in Tabelle T I.3 und Abbildung B I 2.1-2 zusammengestellt sind, liegen ebenfalls seit Jahren deutlich unter den behördlichen Genehmigungswerten. Die gesamte Abwassermenge ist 2019 gegenüber dem Vorjahr leicht gestiegen 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 entsprechen in ihrer Gesamtmenge etwa denen des Jahres 2018. Die Freisetzungen in den Vorfluter Weiße Elster in Thüringen erhöhten sich bei deutlich steigender Abwassermenge, die durch das Aufrechthalten des vorgegebenen Flutungsniveaus in der Grube bedingt war, moderat für Uran und Ra-226. Dagegen blieben die Radioaktivitätsfreisetzungen in die Elbe und die Zwickauer Mulde in Sachsen summarisch etwa auf gleichem Niveau (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 0,33 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.

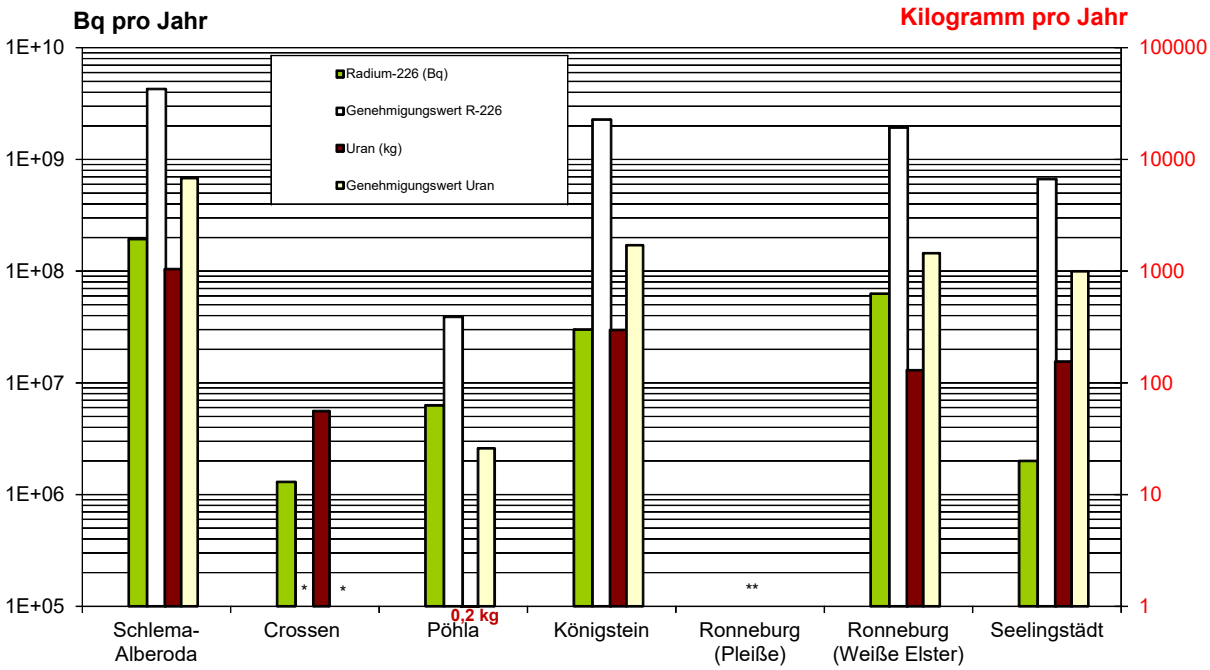
---

[1] Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.



* Emission aus aktiver Bewetterung eingestellt

Abbildung B I 2.1-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2019
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in the Wismut remediation areas 2019)



* 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 2019
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters from the Wismut remediation areas 2019)

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

Die behördlichen Genehmigungswerte für Abwässer aus den WBA (siehe Tabelle T I.5) wurden jeweils aus der von der zuständigen Landesbehörde 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 Sanierungsbetriebe (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 I.2 liegen.

In Tabelle T I.6 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen im Zeitraum Winter 2018/2019 bis Sommer 2019 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 Abhängigkeit von den Witterungseinflüssen unterliegen diese Rn-222-Freisetzungen aus den bergbaulichen Anlagen großen Fluktuationen.

In Tabelle T I.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. Sie sind in allen Regionen sehr stabil und zeigen im langjährigen Mittel keine Veränderungen.

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 Mitteldeutschlands charakteristischen Konzentrationswerten von 5 bis 15 Bq/m^3 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 Sanierung von Wismut-Hinterlassenschaften.

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 I.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 2019 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 59 mBq/l, während es bei Uran bis zum Faktor 140 erhöht ist und Werte zwischen 3 und 410 µg/l aufweist (vgl. Messpunkte k-0018, k-024, M-204, M-232, s-609 und E-369 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 weiteren Trockenjahr 2019 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 fast zum Dreifachen erhöht sind (1 - 8 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 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

Aktueller Stand

Über die in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse finden sich ausführliche Infomationen im Grundlagenteil, Kapitel I. Für die regionale Verteilung der Radonaktivitätskonzentration wird auf Abbildung G I 2.2-1 verwiesen.

In Kapitel 4 „Strahlenschutz bei bestehenden Expositionssituationen“ regelt das Strahlenschutzgesetz den Schutz vor Radon (§§ 121 bis 132). Auf Grund der Regelungen im neuen Strahlenschutzgesetz sind von den Bundesländern bis zum Ende des Jahres 2020 Radonvorsorgegebiete auszuweisen. In diesen Gebieten gilt eine Messpflicht an Arbeitsplätzen in Erd- und Untergeschossen. Des Weiteren sind spezielle Vorgaben im Neubau zu beachten. In diesem Zusammenhang wurden umfangreiche Messprogramme von Bund und Ländern initiiert. Die Ergebnisse werden zukünftig hier zusammengefasst.

Der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien wird im Vergleich zum geogenen Radon allgemein als gering angesehen.

2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Gesetzliche Grundlagen

Im Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 wurden erstmalig verpflichtende Vorgaben hinsichtlich der natürlichen Radioaktivität in Baustoffen geschaffen, die zur Begrenzung der durch sie verursachten äußeren Gammastrahlung in Aufenthaltsräumen dienen. In Übereinstimmung mit bisher geltenden Empfehlungen der Europäischen Kommission gilt dafür ein Referenzwert von 1 mSv pro Jahr zusätzlich zum natürlichen Untergrund im Freien. Um eine Messung aller Baumaterialien zu vermeiden, erfolgte eine Angabe von Ausgangsgesteinen mit potenziell erhöhten Konzentrationen natürlicher Radionuklide, die mit einer Liste von industriellen Rückständen ergänzt wurde, die sich als Zuschlagstoff zur Herstellung von Baumaterialien eignen. Bei Verwendung der im Strahlenschutzgesetz gelisteten Gesteine oder Zuschläge besteht die Pflicht des Herstellers, vor dem Inverkehrbringen eines solchen Baumaterials dessen spezifische Aktivität der Radionuklide K-40, Ra-226 und Th-228 bestimmen zu lassen und daraus einen so genannten Indexwert zu berechnen. Dieser gibt ein Maß für die aus dem Baumaterial resultierende Dosis für die Bewohner an und wird als Nachweis der uneingeschränkten Verwendbarkeit für Aufenthaltsräume genutzt. Bei Überschreitung des Referenzwertes ist die zuständige Behörde zu informieren, die über Einsatzbeschränkungen oder Einzelnachweise zur Einhaltung des Dosisrichtwertes entscheidet.

Die Berechnung des Indexwertes wird in der Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 konkretisiert. Diese Bestimmungen sind seit 31.12.2018 in Kraft. Mit diesen Regelungen wurden die EuratomGrundnormen zum Strahlenschutz (RL 2013/59/Euratom) umgesetzt.

Untersuchungen und Ergebnisse

Die von den Baustoffen ausgehende Gammastrahlung führt zu einer mittleren Umgebungsäquivalentdosisleistung in Wohngebäuden von rund 0,6 mSv/a, was einer jährlichen effektiven Dosis von 0,3 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 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 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 Magmagesteine 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 2019 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 aus Seismik, Infraschall, Hydroakustik und Radionuklidstationen (International Monitoring System, IMS). Von den vorgesehenen 337 Stationen (inklusive 16 Radionuklidlaboren) sind derzeit schon über 300 Messstationen installiert und das Messnetz damit weitestgehend fertiggestellt. Dreiundsiebzig (von 80) der operationellen Stationen sind mit Radionuklidmesssystemen ausgerüstet, die die Atmosphäre auf radioaktive Spuren überwachen, die an Luftstaub gebunden sind. Zusätzlich sind bzw. werden 40 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.

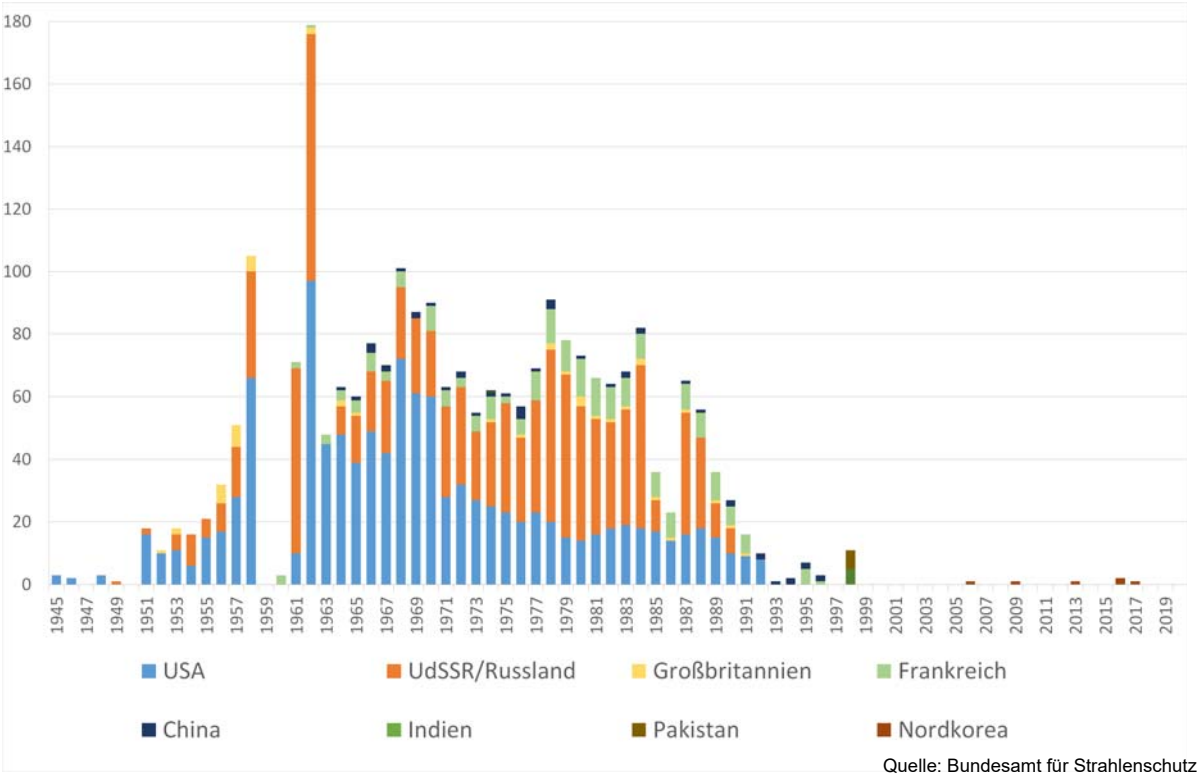
Seine Einsatzbereitschaft wie auch seine Sensitivität stellte das Überwachungssystem nach den sechs unterirdischen Kernwaffentests in Nordkorea in den Jahren 2006, 2009, 2013, 2016 und 2017 unter Beweis. Das Verifikationssystem der CTBTO war mit Hilfe der seismischen Stationen zeitnah in der Lage, die 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. Atmosphärische Ausbreitungsrechnungen lokalisierten ebenfalls das 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 auf 1 200 m in der Nähe 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 Neubau wurde das alte RASA-System ersetzt und im Oktober 2018 nach den Vorgaben der CTBTO re-zertifiziert. 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. Für 2021 ist geplant, ein neu entwickeltes, zeitlich höherauflösendes Edelgasmesssystem an der Station parallel zu dem bestehenden SPALAX-System zu betreiben und es auf seine Eignung für das Edelgasmessnetz der CTBTO zu testen.

1.2 Zivile Freisetzungen

Die hohe Sensitivität der Messsysteme führt dazu, dass regelmäßig Spuren künstlicher Radionuklide nachgewiesen werden. Dabei kann es sich beispielsweise 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 den Nachweis dieser - 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 ange-



Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz

Abbildung B II 1.1-1 Weltweite Kernwaffentests von 1945 bis 2018

(Worldwide nuclear testing 1945 to 2018)

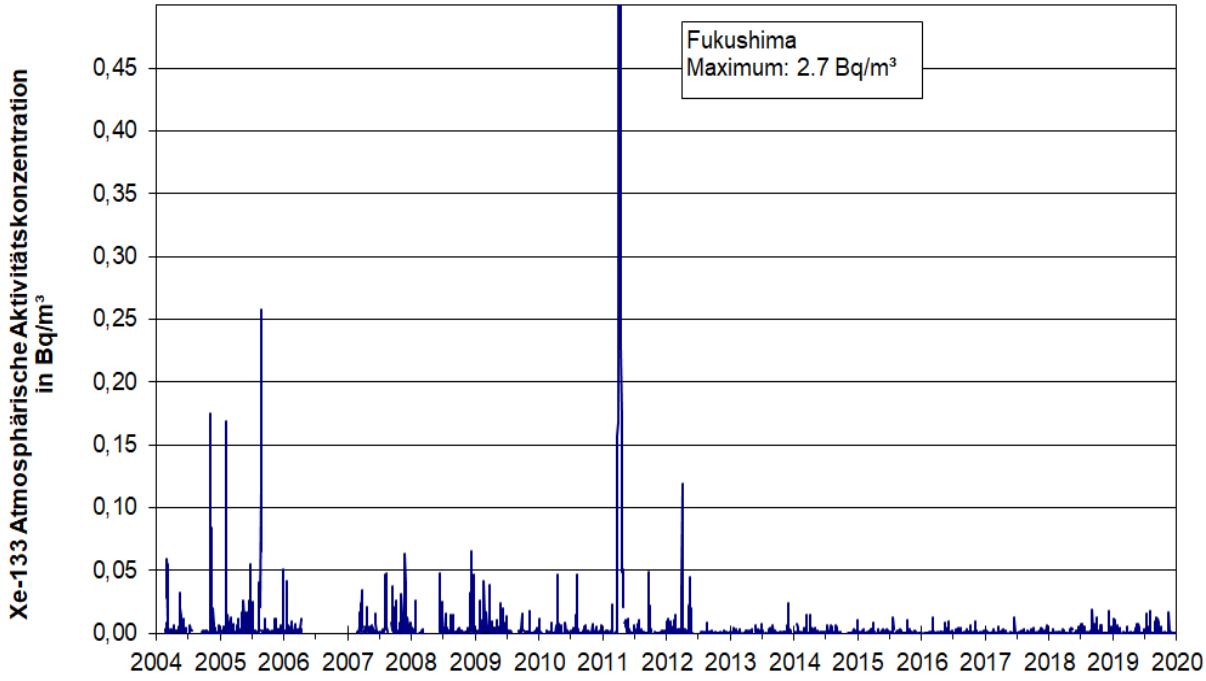


Abbildung B II 1.2-1 Zeitreihe der Xe-133-Aktivitätskonzentration in den Jahren 2004 bis 2019 an der CTBT-Station RN33 auf dem Schauinsland

(Time series of Xe-133-activity concentration at CTBT-station RN33 at Schauinsland mountain for the years 2004 to 2019)

nommen. Weitaus größere Emissionen beobachtet man bei medizinischen Isotopenproduktionsanlagen für Mo-99 (welches als Mutternuklid 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 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 erschweren 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. Der intensive Informationsaustausch zwischen Radionuklidexperten der CTBTO, Betreibern medizinischer Isotopenproduktionsanlagen und mit Verifikationsaufgaben betreuter Wissenschaftler über die letzten Jahre hat bewirkt, dass Xenon-Emissionsdaten einiger Anlagen vom Betreiber für die Modellierung des zivilen Xenon-Untergrundes an den IMS Stationen zur Verfügung gestellt werden.

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) freisetzten 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 emissionsreduzierender Maßnahmen in anderen Anlagen innerhalb Europas. Im Oktober 2016 wurde der Chalk-River Forschungsreaktor (135 MWt_{herm}), in Ontario, Kanada, stillgelegt. In diesem Reaktor wurden 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 2019. Die bisher ermittelte maximale Xe-133-Aktivitätskonzentration lag am 30.03.2011 bei 2,7 Bq/m^3 und ist auf den Unfall im Kernkraftwerk Fukushima zurückzuführen. Der höchste Wert der Xe-133-Aktivitätskonzentration für das Jahr 2019 betrug am 03.08.2019 18 mBq/m^3. Im Jahresmittel wurden 1,1 mBq/m^3 Xe-133 nachgewiesen, der Medianwert betrug 0,41 mBq/m^3.

Der Jahresmittelwert der Xe-133-Aktivitätskonzentration sank von 5,3 mBq/m^3 im Jahr 2005 auf Werte um 1 mBq/m^3 und darunter in den vergangenen Jahren. Dies sind Auswirkungen der Emissionsreduzierungen in Nordamerika und Europa und lassen sich in ähnlicher Form auch an anderen Messstationen der Nordhemisphäre 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 Radionukliddaten 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 Exposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2019 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. 46 % 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 während des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsiums am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein.

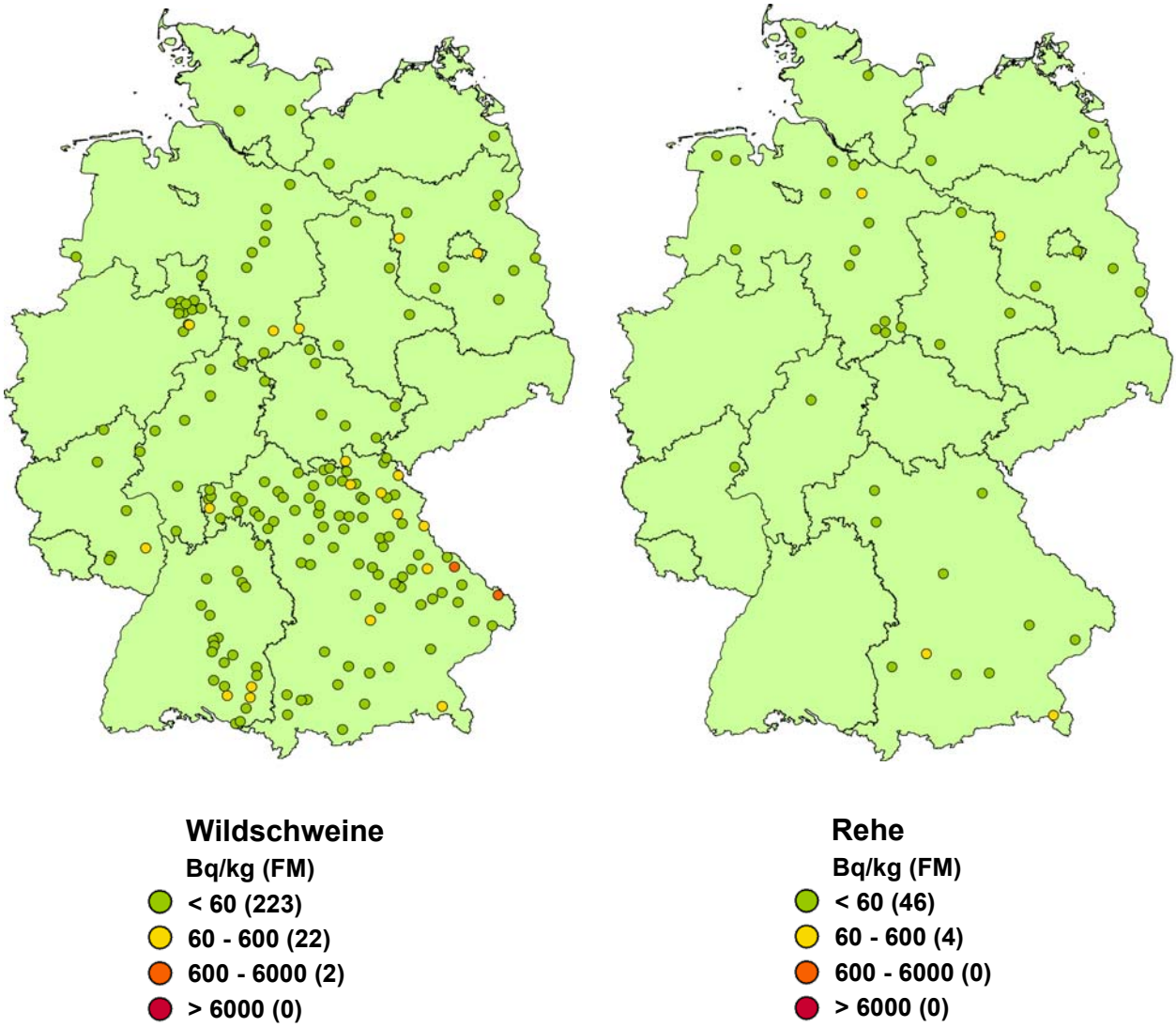


Abbildung B II 1.3-1 Cs-137-Gehalt (Mittelwerte) von Wildschweinen und Rehen im Jahr 2019 (Datenbasis des Bundes, Anzahl der Werte in Klammern)

(Specific Cs-137 activity (means) in wild boar and deer - year 2019 - data from IMIS, number of values in brackets)

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch radioaktives Cäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig belastet. In einem umfangreichen Messprogramm nach dem Strahlenschutzgesetz im Rahmen des Integrierten Mess- und Informationssystems (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. 0,22 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 bei der Datenerhebung im Rahmen von IMIS weiterhin höhere Werte gemessen. Die spezifischen Cs-137-Aktivitäten reichten bei einzelnen Messungen von Wildpilzen bis 324 Bq/kg (Grünling) und 254 Bq/kg (Semmel-Stoppelpilz). Bei Fischen traten bis zu 24 Bq/kg bei Flussbarschen auf (10 Messungen, Mittelwert 7 Bq/kg).

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 (93 Messungen an Wildschweinfleisch,

11 Messungen an Rehfleisch), Nordrhein-Westfalen (52 Messungen an Wildschweinfleisch), Niedersachsen (30 Messungen an Wildschweinfleisch, 24 Messungen an Rehfleisch) und Baden-Württemberg (29 Messungen 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 93 Messungen der Aktivitätskonzentration von Wildschweinen bei 57 Bq/kg, die Werte reichten bis 1 630 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. Die 11 Messungen an Rehfleisch in Bayern reichten bis zu einem Maximalwert von 201 Bq/kg bei einem Mittelwert von 30 Bq/kg. 52 Messungen an Wildschweinen in Nordrhein-Westfalen ergaben einen Mittelwert von 12 Bq/kg bei einem Höchstwert von 86 Bq/kg. In Niedersachsen lag der Mittelwert der Wildschweinmessungen bei 31 Bq/kg (30 Messungen), der Maximalwert bei 243 Bq/kg. In Baden-Württemberg ergaben 29 Messungen einen Maximalwert von 198 Bq/kg bei einem Mittelwert von 28 Bq/kg.

Cs-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffeln 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 (1 630 Bq/kg Cs-137) würde bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,01 mSv führen. Das BfS rät grundsätzlich, jede Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Die Strahlenexposition durch den Verzehr von Lebensmitteln 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, 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, Bonn, Oktober 2018

1.4 Anlagen nach Atomgesetz

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland existierten im Jahr 2019 folgende kerntechnische Anlagen:

- 7 in Betrieb befindliche Kernkraftwerke (Tabelle T II.1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 10 013 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 75,1 TWh und einem Anteil von 12,4 % an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung im Jahr 2019. 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, Grafenrheinfeld, Greifswald, Gundremmingen A und B, Hamm-Uentrop, Lingen, Mülheim-Kärlich, Obrigheim, Stade und Würgassen 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 Schachtanlage Asse II (Tabelle T II.4).

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser der Kernkraftwerke, der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht, Berlin, Garching sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren, des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben und der Schachtanlage Asse II für das Jahr 2019 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 2019 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 Exposition 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 2019 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 2019 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 Exposition 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 2019.

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 Exposition der Bevölkerung berücksichtigt.

1.5 Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen nach Atomgesetz

Die für das Jahr 2019 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 Exposition 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 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.

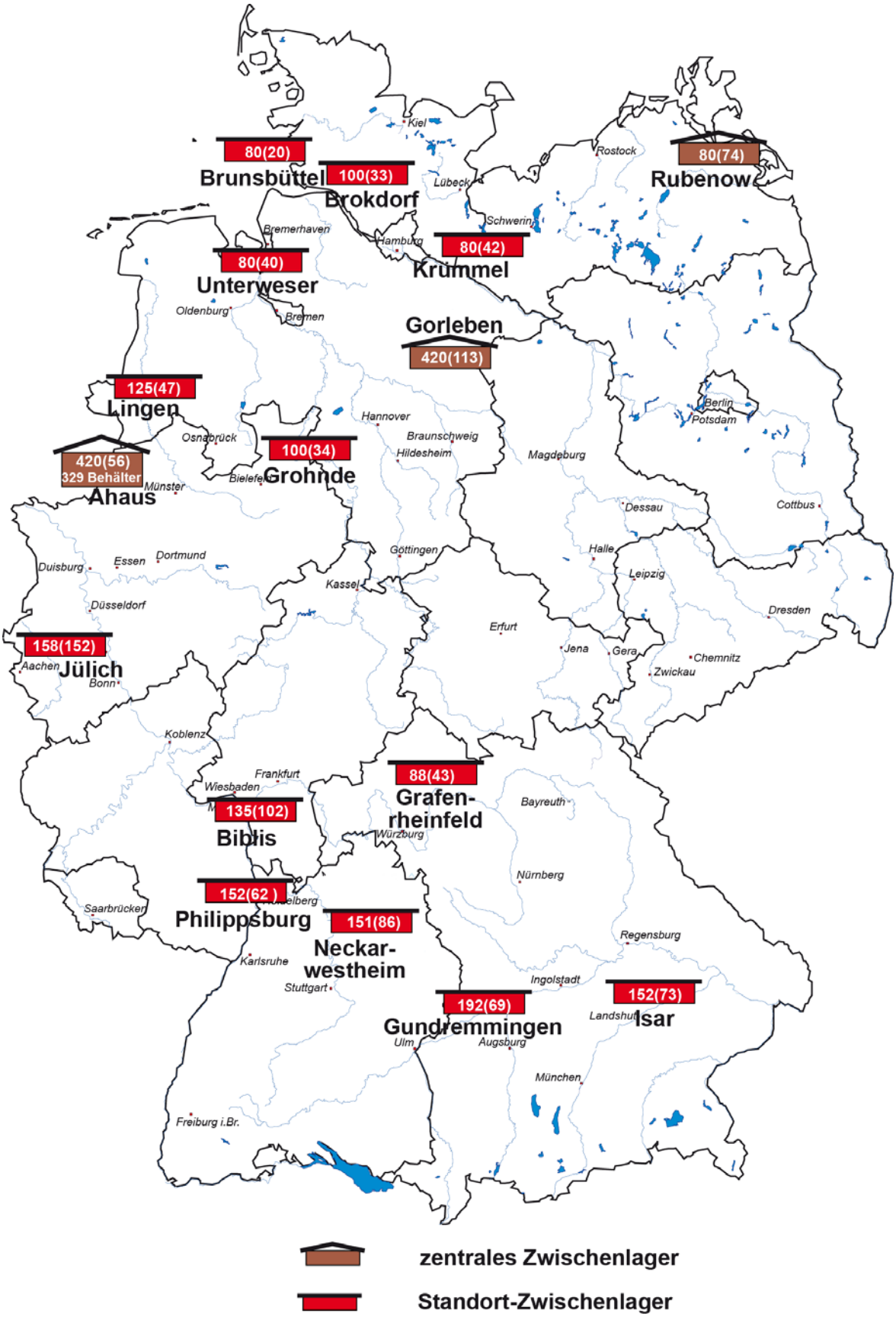


Abbildung B II 1.4-1 Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland im Jahr 2019 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern, Stand 31.12.2019)

(Interim storage for irradiated nuclear fuel in Germany in the year 2019 with number of storing positions (allocation in brackets, status 31.12.2019))

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 Exposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen ermittelt und die Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 99 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 Lebensmitteln 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).

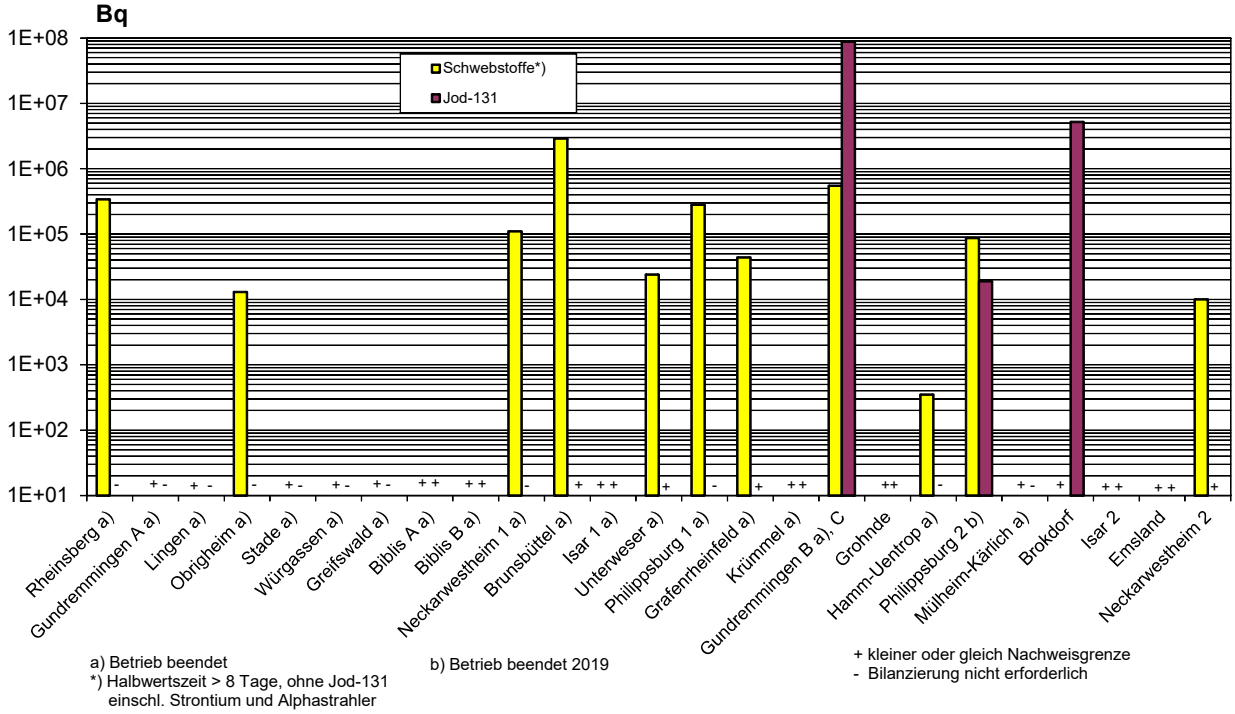


Abbildung B II 1.5-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2019 (Schwebstoffe und I-131)

(Discharge of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants (particulates and I-131) during the year 2019)

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft der Kernkraftwerke im Jahr 2019 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 2019 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 2019 mit $1{,}2 \cdot 10^{13}$ Bq kleiner als 2018 mit $1{,}9 \cdot 10^{13}$ Bq. Die Summe der Jahresaktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden lag mit $4{,}4 \cdot 10^{6}$ Bq unter dem Vorjahreswert von $7{,}3 \cdot 10^{6}$ Bq. Die Gesamtaktivitätsableitung von I-131 lag 2019 mit $9{,}3 \cdot 10^{7}$ Bq etwas über dem Vorjahreswert von $8{,}6 \cdot 10^{7}$ 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 Forschungsreaktoren in Garching und Mainz im Jahr 2019 für die Radionuklidgruppen radioaktive Edelgase und an Schwebstoffen

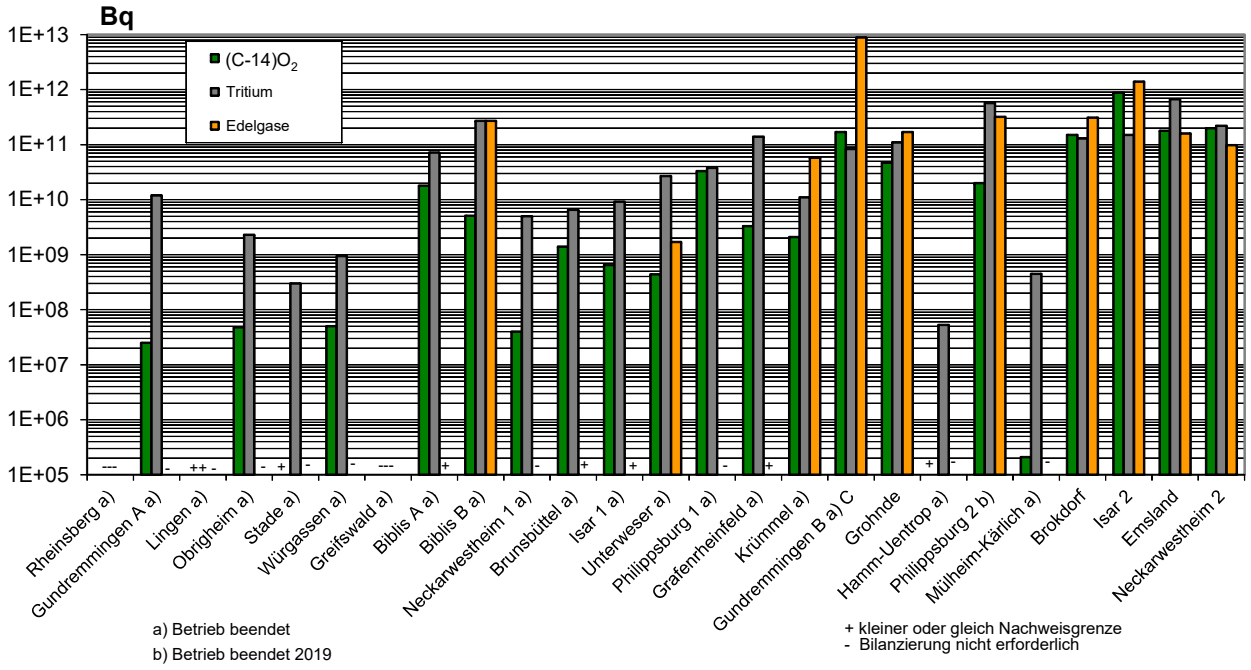


Abbildung B II 1.5-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2019 (C-14 als Kohlenstoffdioxid, Tritium und Edelgase)

(Discharge of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants C-14 as carbondioxide, tritium and noble gases during the year 2019)

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 2019 abgeleitete Gesamt-Alpha-Aktivität der Anlagen Gronau und Lingen betrug weniger als $4{,}5 \cdot 10^4$ Bq.

Einen Überblick über die Aktivitätsableitungen mit der Fortluft für das Endlager Morsleben und die Schachtanlage 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 Schachtanlage 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 (Abwetterlutten) nach Übertage gefördert und in die Umgebung abgegeben.

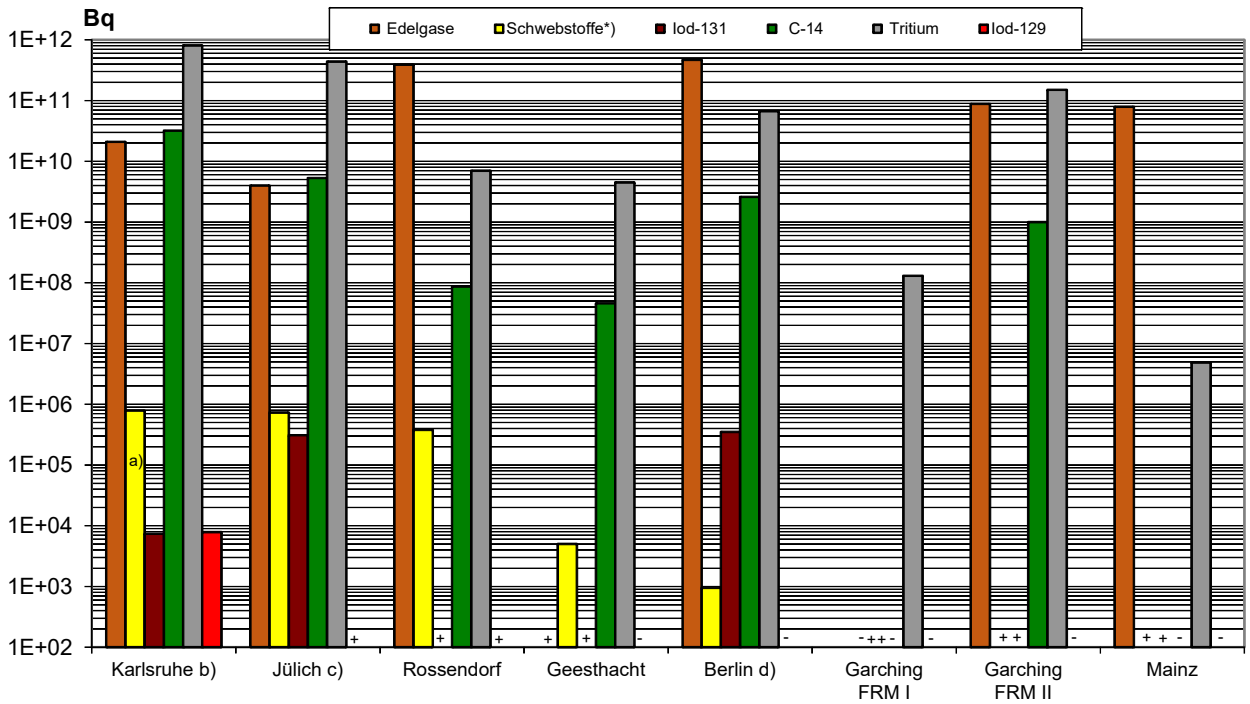
Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse II ist in der Tabelle T II.12 für gasförmige Verbindungen von H-3 und C-14 sowie Rn-222 sowie für die an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide zusammengestellt.

Die für das Jahr 2019 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 § 80 StrlSchG.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung ermittelten jährlichen Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe dienen als Grundlage für die Berechnung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen. Maß des Strahlenrisikos ist nicht die abgeleitete Aktivität, sondern die effektive Dosis (Grundlagen, Abschnitt 2.2). 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 vernachlässigbar ist, weil organisch gebundenes C-14 nicht über Assimilation in die Nahrungskette gelangt. Die gesam-



a) davon Alphastrahler: 1,4 E+04 Bq
b) einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
c) einschließlich Versuchsreaktor AVR
d) einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler
\+ kleiner oder gleich Nachweisgrenze
\- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung B II 1.5-3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2019 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 2019)

te abgeleitete Aktivität von C-14 in allen chemischen Verbindungen über die Fortluft im Jahr 2019 beträgt an den in Abbildung B II 1.5-2 und Tabelle T II.6 aufgeführten Standorten etwa $2{,}8 \cdot 10^{12}$ 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

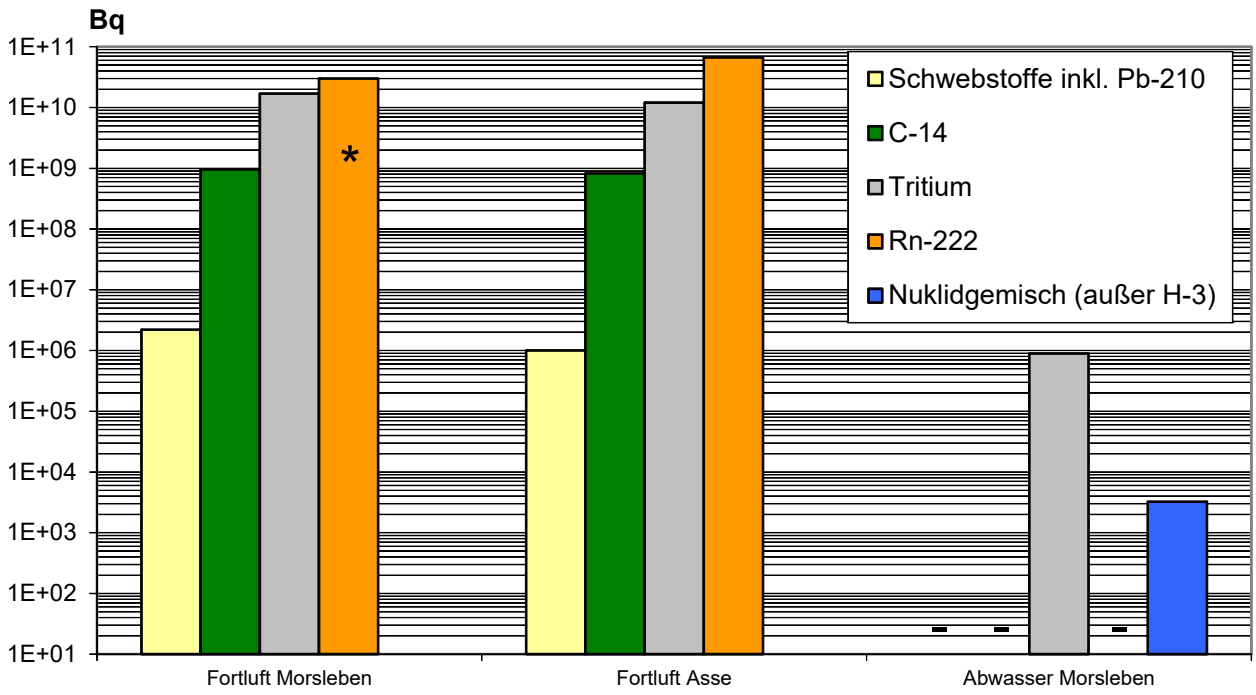
In den Tabellen II.13 bis II.16 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren, Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben und Endlagern in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2019 mit dem Abwasser abgegebenen Aktivitäten zusammengestellt.

Die Abgaben von Spalt- und Aktivierungsstoffen mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken (Tabelle T II.13 und Abbildung B II 1.5-5) liegen in etwa auf dem Niveau der Vorjahre, d. h. in der Größenordnung einiger Zehntel Gigabecquerel und damit in der Regel deutlich unter den Genehmigungswerten. Bedingt durch die Abschaltung einzelner Kernkraftwerke sind die Tritiumabgaben leicht rückläufig.

Aus Druck- und Siedewasserreaktoren wurden mit dem Abwasser insgesamt 0,12 GBq bzw. 0,51 GBq Spalt- und Aktivierungsprodukte (ohne Tritium) abgegeben. Die Tritium-Abgaben aus Druckwasserreaktoren liegen mit 100 TBq und aus Siedewasserreaktoren mit 1,97 TBq in der Größenordnung des Vorjahres. Die abgegebenen Aktivitäten an Alphastrahlern liegen deutlich darunter und betragen insgesamt etwa 0,6 MBq.

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 Schachtanlage Asse II keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet. Die Strahlenexposition in der Umgebung der Schachtanlage 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 Schachtanlage Asse II umgestellt. Die Entsorgung der Zutrittslösung geschieht seit 2009 über eine Freigabe nach § 29 der alten StrlSchV (von 2001) bzw. nach Kapitel 3 der neuen StrlSchV (von 2018).

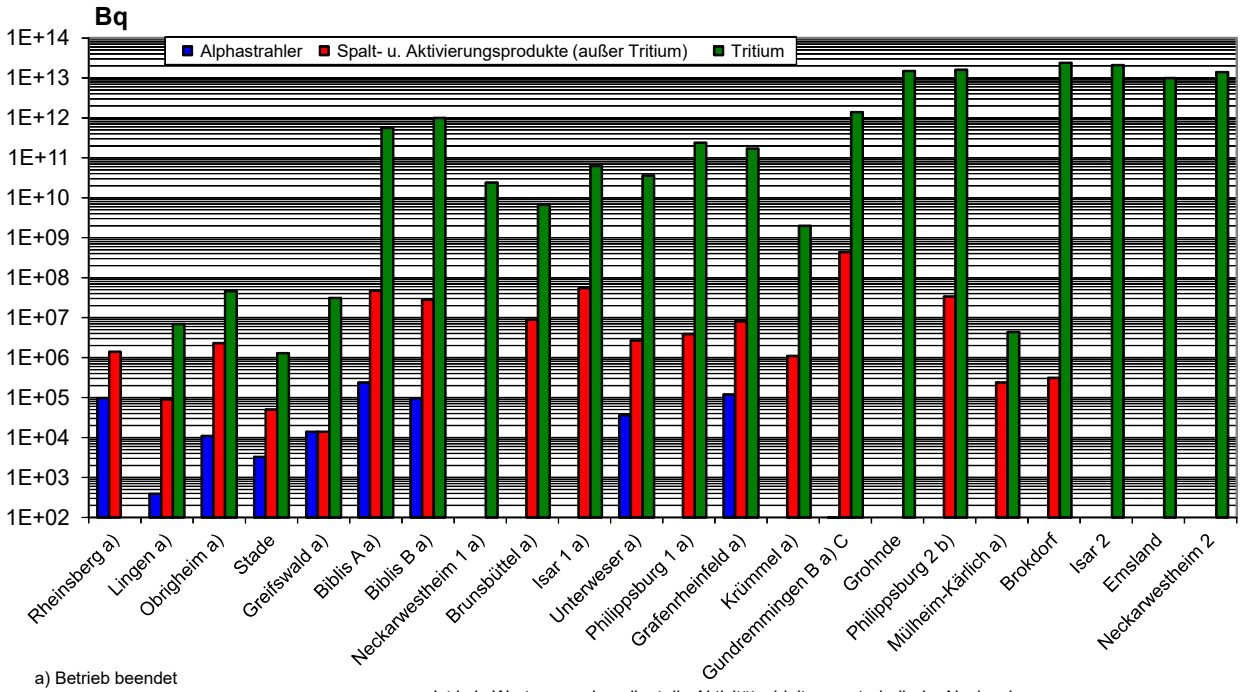


* aus den Zerfallsprodukten errechnete, gleichgewichtsäquivalente Radon-222-Aktivitätskonzentration

\- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung B II 1.5-4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben und der Schachtanlage Asse im Jahr 2019

(Discharges of radioactive substances with exhaust air and waste water from the Asse mineand the radioactive waste repository Morsleben in 2019)



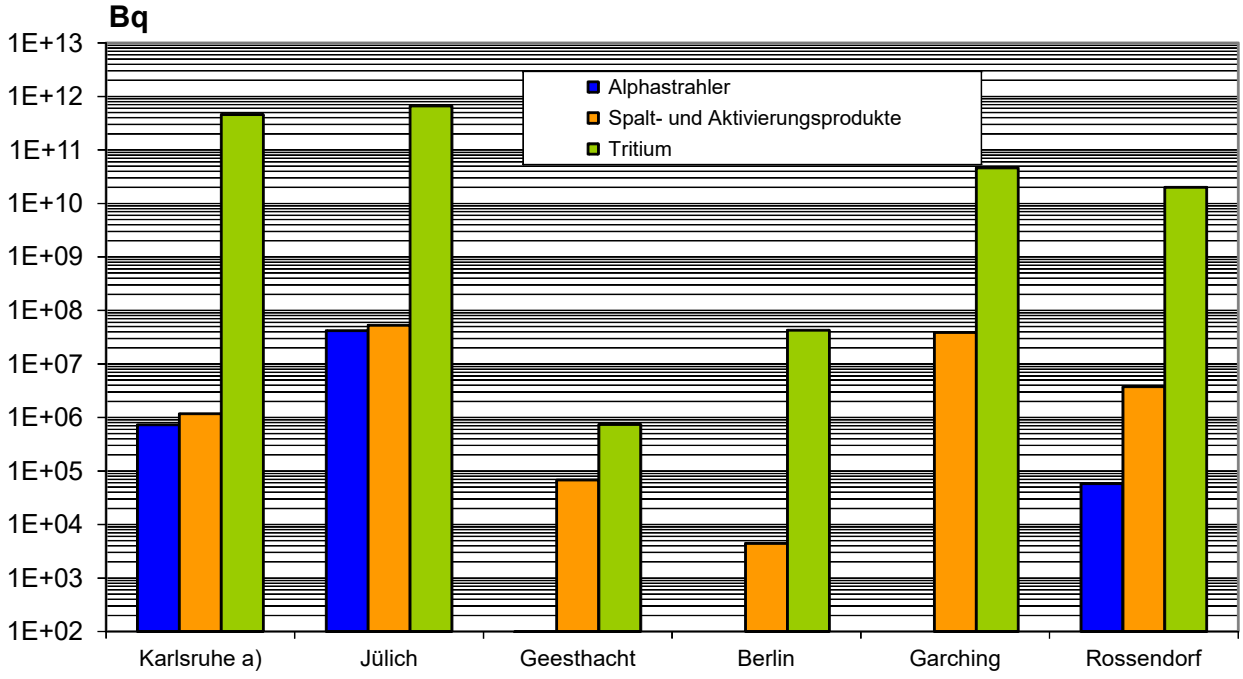
a) Betrieb beendet

b) Betrieb beendet 2019

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 2019 (Alphastrahler, Summenwerte und Tritium)

(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in the year 2019 (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 2019 (Alphastrahler, Summenwerte und Tritium)

(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2019 (alpha sources, summation values, and tritium))

1.6 Exposition durch Anlagen nach Atomgesetz

Berechnete obere Werte der Exposition

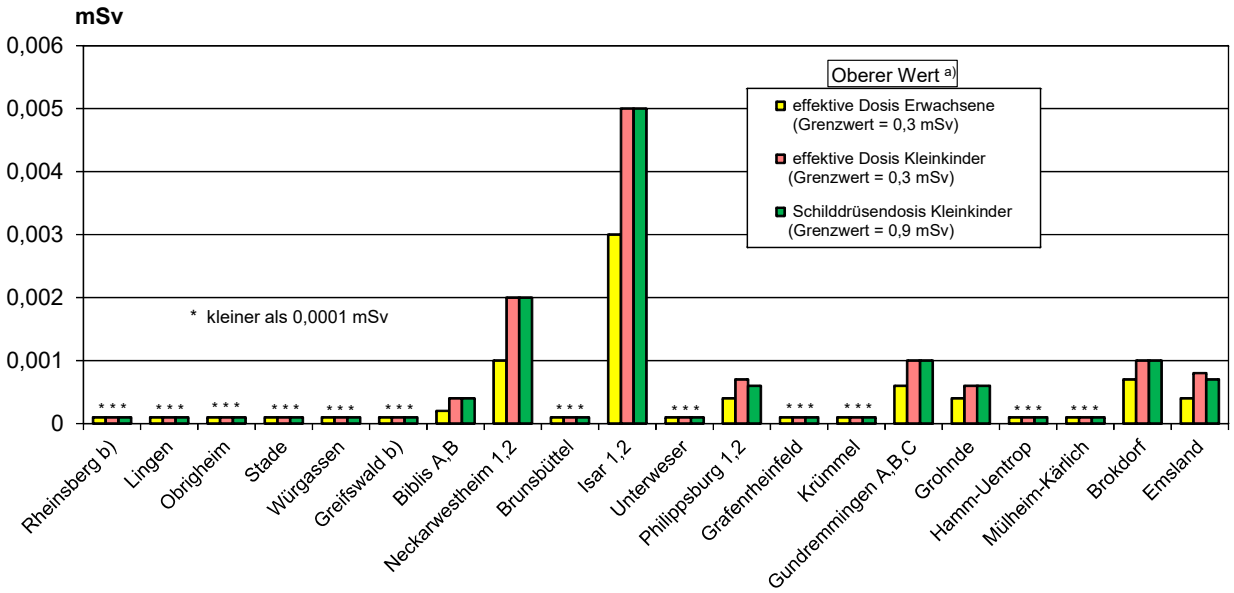
Die Berechnung der erhaltenen Exposition der Bevölkerung erfolgte gemäß § 193 StrlSchV für das Jahr 2019 nach § 47 und Anlage VII der StrlSchV in der bis zum 31. Dezember 2018 geltenden Fassung.

Die in den Tabellen angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen stellen obere Werte dar, da sie gemäß der AVV zu § 47 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. Es werden die effektive Dosis und einzelne Organdosen ermittelt. Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 µSv, die Schilddrüsendosis 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

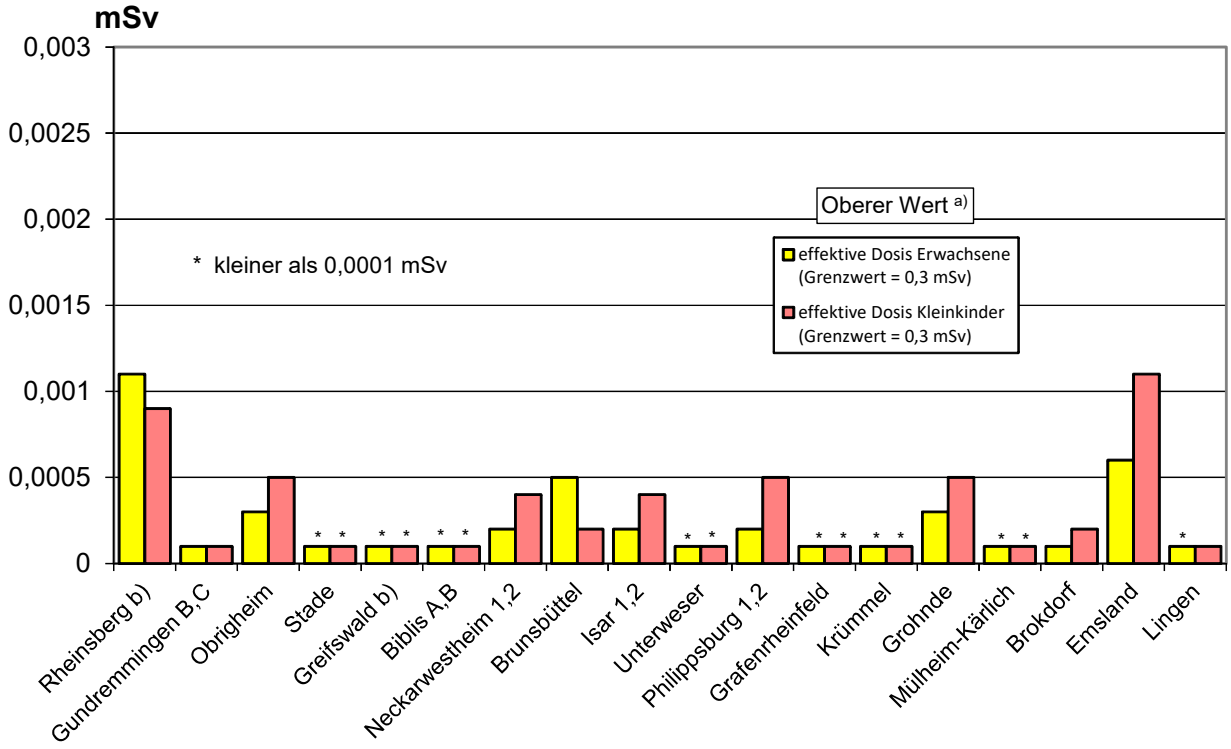
Tabelle T II.17 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Exposition der Bevölkerung im Jahr 2019 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft**. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe >17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe von >1 bis 2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Tabelle T II.17 zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 3 µSv (1 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) sowie für Kleinkinder 5 µSv (unter 2 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) jeweils beim Standort Isar. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 5 µSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) ebenfalls für Isar. Die höchste Grenzwertausschöpfung (4,7 µSv, entsprechend 1,6 % des Grenzwertes der StrlSchV) wird für Kleinkinder bei Hoden und rotem Knochenmark ermittelt. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr zum Teil etwas angestiegen. (s.a. Abbildung B II 1.6-1).



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 2019 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 2019)



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 2019 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

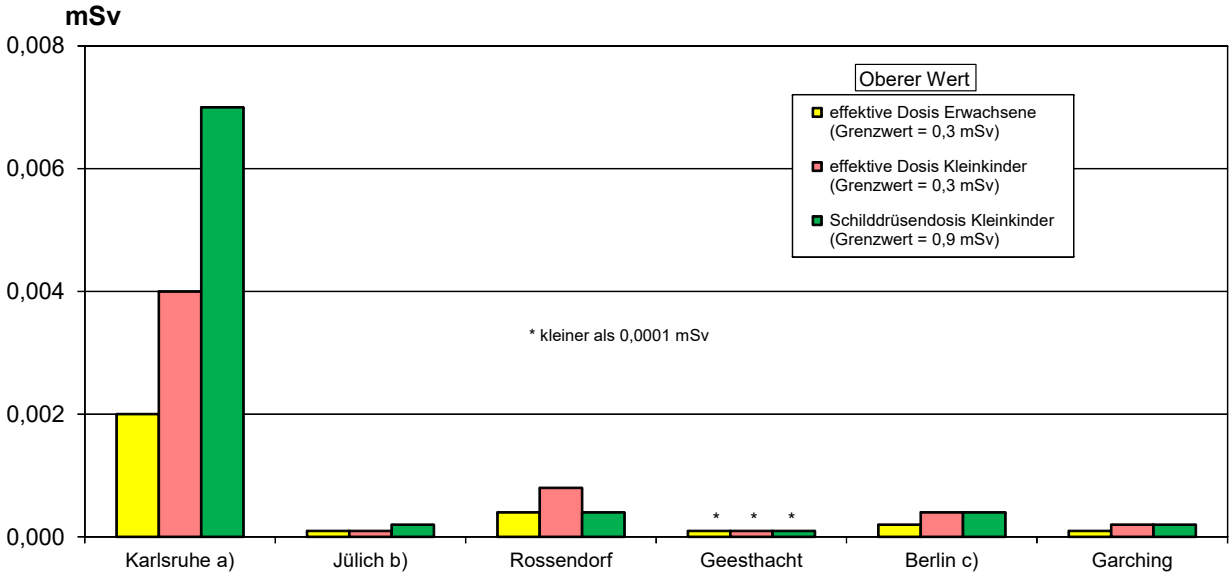
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with wastewater during the year 2019)

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 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 1,1 µSv (entsprechend ca. 0,37 % des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Emsland (s.a. Abbildung B II 1.6-2) und für Erwachsene ebenfalls 1,1 µSv am Kernkraftwerk Rheinsberg. Der höchste berechnete Wert einer Organdosis beträgt 19 µSv und wurde für die Knochenoberfläche der Altersgruppe der 12- bis 17-Jährigen in der Umgebung des Kernkraftwerkes Rheinsberg berechnet. Bei Rheinsberg ist vor allem die niedrige Wasserführung der Havel im Jahr 2019 für die im Vorjahresvergleich höhere Exposition ursächlich. Die berechneten Expositionen liegen jedoch auf sehr niedrigem Niveau deutlich unter dem Grenzwert von 300 µSv und auch unterhalb der Höchstwerte des Vorjahres.

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 0,6 µSv für Erwachsene und 1,0 µSv für Kleinkinder ermittelt; für den Main wurden für beide Personengruppen Werte von weniger als 0,1 µSv und für die Weser von 0,1 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 µSv bzw. 0,4 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 2019 als höchsten Wert 2 µSv (unter 1 % des Grenzwertes) für Erwachsene beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie 4 µSv (unter 2 % des Grenzwertes) für Kleinkinder aus. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 7 µSv (unter 1 % des Grenzwertes) ebenfalls am Standort Karlsruhe. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr zum Teil gesunken. (s.a. Abbildung B II 1.6-3).



Die Werte für die Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin sind den entsprechenden Jahresberichten 2019 entnommen.

a) einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
b) einschließlich Versuchsreaktor AVR
c) einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

Abbildung B II 1.6-3 Strahlenexposition im Jahr 2019 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 2019)

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 6,8 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 beträgt im Jahr 2019 0,7 µSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 1 µSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 2 µSv; dies sind 0,2 %, 0,4 % bzw. 0,6 % des Grenzwertes nach der StrlSchV von 0,3 mSv. Die Dosis für das Organ Knochenoberfläche errechnet sich zu 9 µSv für Erwachsene, 9 µSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 17 µSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (0,5 %, 0,5 % bzw. 0,9 % des Grenzwertes von 1,8 mSv). Die höchste Grenzwertausschöpfung (6 µSv, entsprechend 2 % des Grenzwertes) erhält die Altersgruppe ≤1 Jahr für das rote Knochenmark. Die Dosiswerte sind allerdings sehr konservativ, da kein Abzug der Radioaktivität natürlichen Ursprungs in der Fortluft erfolgt. Die berechneten Dosiswerte sind gegenüber dem Vorjahr leicht angestiegen, weil bei der Berechnung der Strahlenexposition durch Radon ein Gleichgewichtsfaktor (GGF) von 1,0 statt wie in den Vorjahren von 0,01 angewendet wird. Der GGF ist ein Maß für das Verhältnis zwischen Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten. Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis liegen auch im Berichtsjahr 2019 unterhalb von 0,1 µSv für Erwachsene und Kleinkinder.

Schachtanlage Asse II

Seit dem 1. Januar 2009 wird die Schachtanlage 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 realistischeren 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 2019 für Erwachsene 0,8 µSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 1 µSv und für Säuglinge 2 µSv (ca. 0,3 %, ca. 0,3 % bzw. 0,7 % des Grenzwertes nach der StrlSchV von 0,3 mSv). Die Dosis einschließlich der Inhalationsdosis durch Radon-Folgeprodukte für das kritische Organ Knochenoberfläche wird mit 14 µSv für Säuglinge, 7 µSv für Kleinkinder und 7 µSv für Erwachsene (ca. 0,8 %, 0,4 % bzw. 0,4 % des Grenzwertes von 1,8 mSv) ermittelt. Die höchste Grenzwertausschöpfung (5 µSv, entsprechend 1,7 % des Grenzwertes) erhalten die Säuglinge für das rote Knochenmark. Die berechneten Dosiswerte sind gegenüber dem Vorjahr höher ausgefallen, weil bei der Berechnung der Strahlenexposition durch Radon ein Gleichgewichtsfaktor (GGF) von 0,5 statt wie in den Vorjahren von 0,01 angewendet wird. Der GGF ist ein Maß für das Verhältnis zwischen Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten.

Die potenzielle Strahlenexposition wird in der Schachtanlage 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 Frischwettern in die Grube eingebracht. Radon-222 ist ebenfalls bereits in den Frischwettern vorhanden, wird aber auch aus den in der Schachtanlage 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 2019 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) 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 3 % 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 2019 deutlich unter 20 µSv pro Jahr.

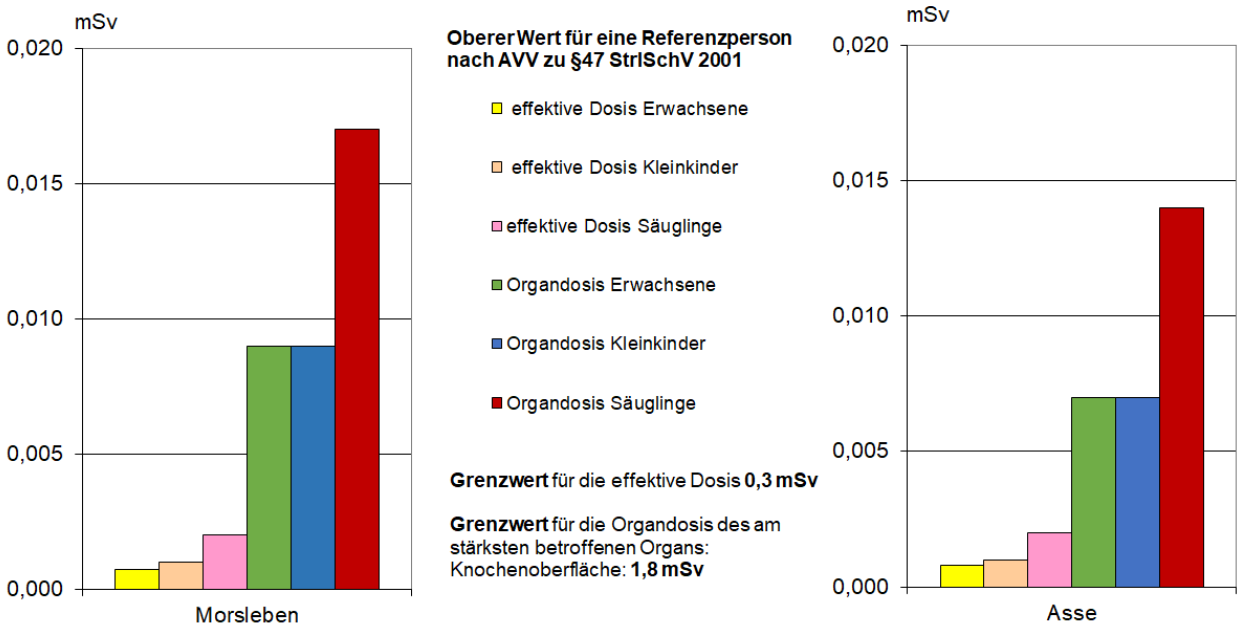


Abbildung B II 1.6-4 Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2019

(Radiation exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air in 2019)

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 und der PTB durchgeführt. Die von DWD, BfS und PTB erhobenen Daten werden nicht nur für IMIS, sondern auch für die Berichterstattung gegenüber der EU gemäß Artikel 36 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 2019, 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/m^3 Luft bezogen auf Cs-137 auf.

Edelgase

Auch im Jahr 2019 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/m^3 und maximal ca. 20 mBq/m^3 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/m^3 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 globale 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 2019 1,56 Bq/m³ (2018: 1,52 Bq/m²). 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 genommen Tagesproben am Probenentnahmeort Freiburg ist eine Ermittlung der Quelle mit Hilfe atmosphärischer Ausbreitungsrechnungen möglich.

Im Jahr 2019 wurden wiederholt erhöhte Kr-85-Aktivitätskonzentrationen an einzelnen oder zeitweise auch allen deutschen Sammelstationen gemessen. So wurden z. B. in den Wochen vom 12.08.2019 bis 16.09.2019 erhöhte Kr-85-Aktivitätskonzentrationen an nahezu allen deutschen Sammelstationen nachgewiesen. Der höchste Wert in diesem Zeitraum wurde mit 5,84 Bq/m³ ± 3,1 % in der Woche vom 26.08. - 02.09.2019 in Trier ermittelt. Als Quelle ist die Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague am wahrscheinlichsten.

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.

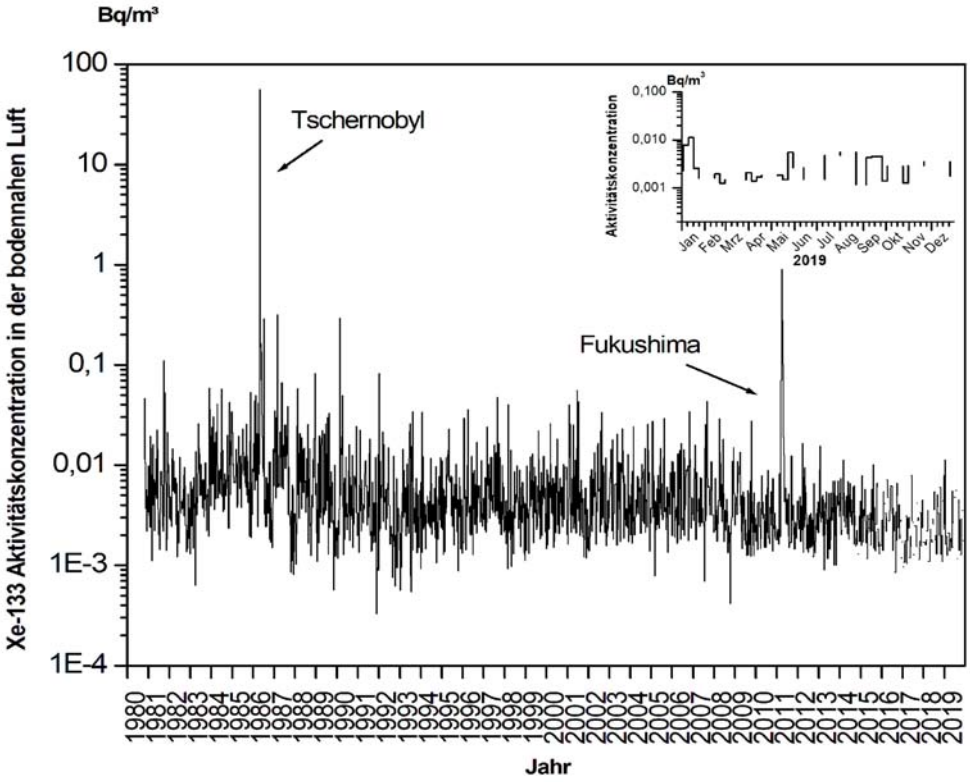


Abbildung B II 2.1-1 Xe-133-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Schauinsland

(Xe-133-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Schauinsland)

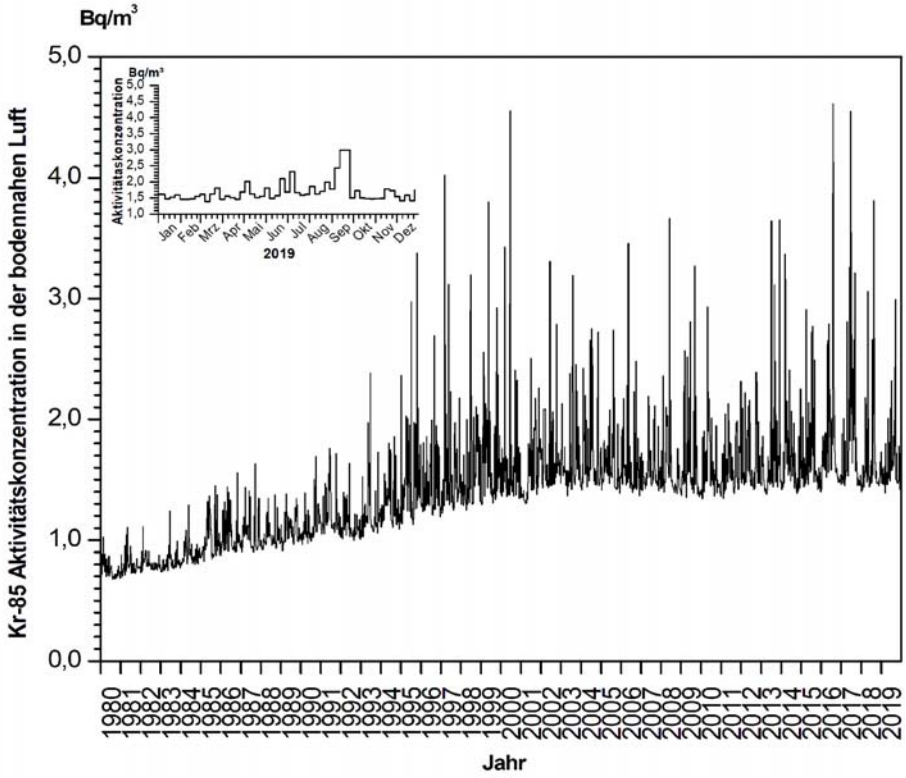
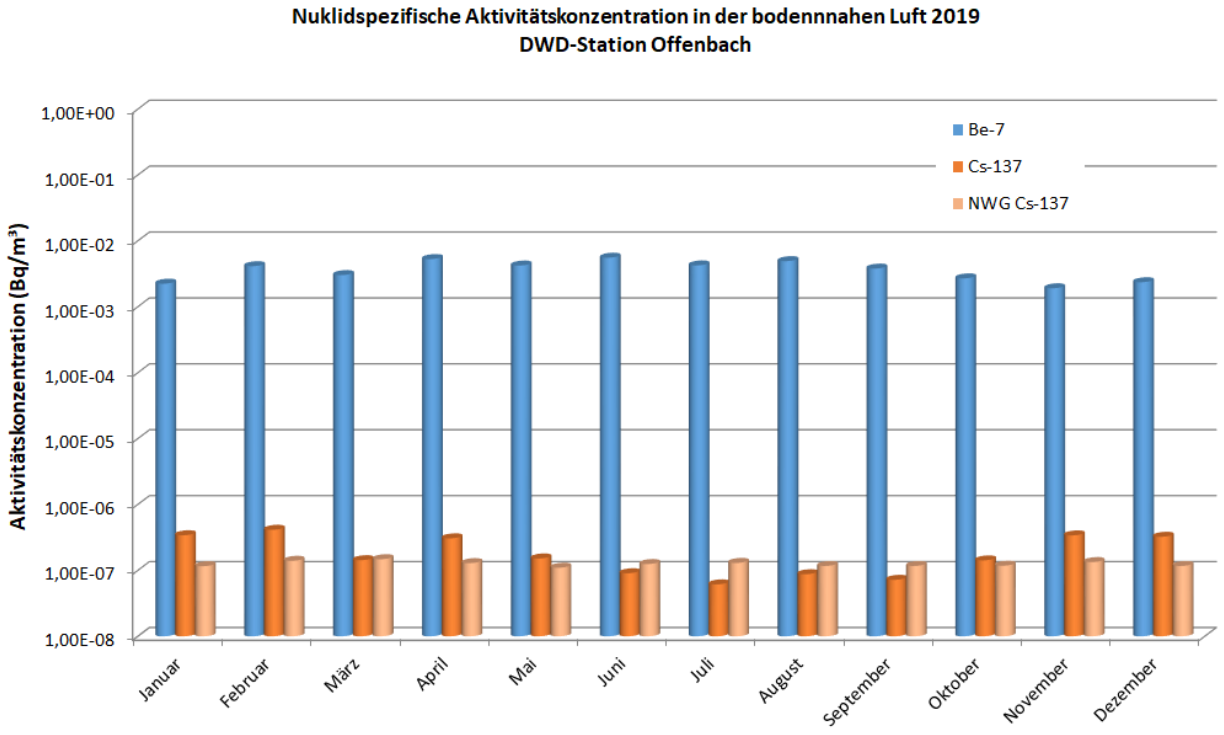


Abbildung B II 2.1-2 Kr-85-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Schauinsland

(Kr-85-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Schauinsland)



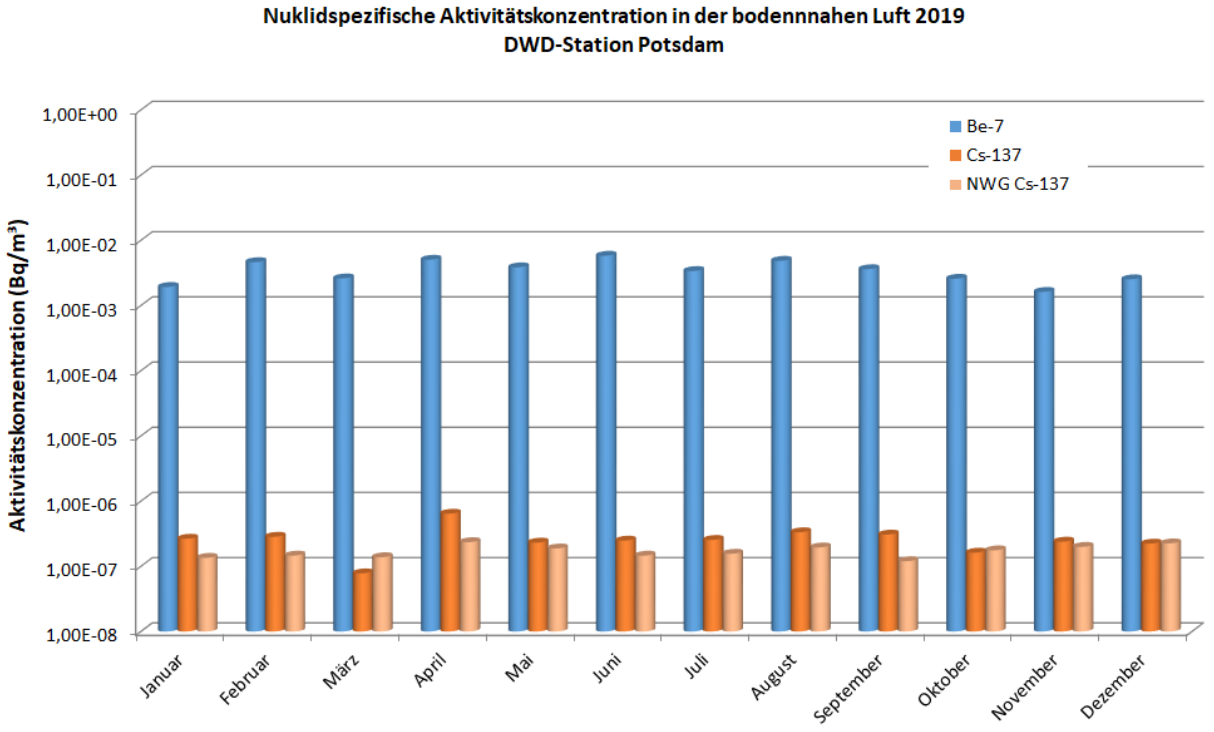


Abbildung B II 2.1-3 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2019 - DWD-Stationen Offenbach und Potsdam

(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2019 at the DWD stations in Offenbach and Potsdam)

Gammaspektrometrie

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 BfS (Schauinsland) und der PTB (Braunschweig) enthalten. Es handelt sich um Monatsmittelwerte und die daraus abgeleiteten Jahresmittelwerte.

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 0,16 µBq/m³ und 0,64 µBq/m^3 Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 0,14 µBq/m^3 und 0,41 µBq/m^3 Luft detektieren. Das kosmogene Be-7 wurde in Potsdam mit Werten zwischen 1,6 mBq/m^3 und 5,8 mBq/m^3 und in Offenbach mit Werten zwischen 1,9 mBq/m^3 und 5,6 mBq/m^3 Luft nachgewiesen, das heißt, die Werte liegen im üblichen Schwankungsbereich.

An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei 0,16 µBq/m^3 Luft (vgl. Abbildung B II 2.1-4, Tabelle T II.25c). Die in den Wochenproben gemessenen Aktivitätskonzentrationen lagen im Bereich der üblichen Schwankungen der Werte der vergangenen Jahre. Die Nachweisgrenze für Cs-137 beträgt etwa 0,1 µBq/m^3 Luft. Die Aktivitätskonzentrationen für Be-7 lagen in den Wochenproben mit Werten von ca. 1 mBq/m^3 bis zu 9,4 mBq/m^3 Luft ebenfalls innerhalb des für die Station Schauinsland üblichen Rahmens.

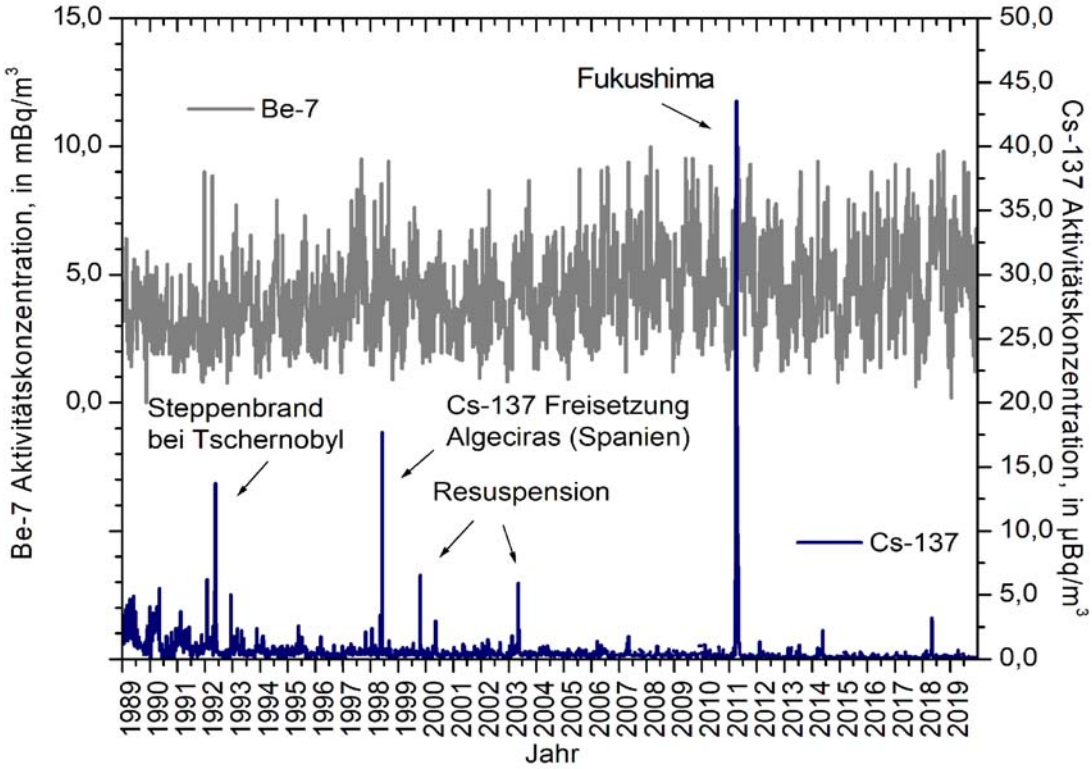


Abbildung B II 2.1-4 Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Schauinsland
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in ground level air at Schauinsland measuring station)

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 2019 (vgl. auch Abbildung B II 2.1-5) zeigt keine Auffälligkeiten.

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 µBq/m^3 und für Sr-90 eine Nachweisgrenze von 1 µBq/m^3 gefordert.

Für das aerosolgebundene U-234 wurden Aktivitätskonzentrationen von 0,0139 ± 0,0036 µBq/m^3 bis zu einem Wert von 0,3455 ± 0,0581 µBq/m^3 ermittelt, für U-238 lagen die Werte zwischen 0,0121 ± 0,0030 µBq/m^3 und 0,3556 ± 0,0597 µBq/m^3. Für U-235 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,0018 ± 0,0009 µBq/m^3 und 0,0150 ± 0,0034 µBq/m^3 festgestellt. Die erreichten Nachweisgrenzen für die Uran-Isotope lagen zwischen 0,0054 µBq/m^3 und 0,0385 µBq/m^3. Diese Messwerte spiegeln die natürlich vorkommenden Aktivitätskonzentrationen wider.

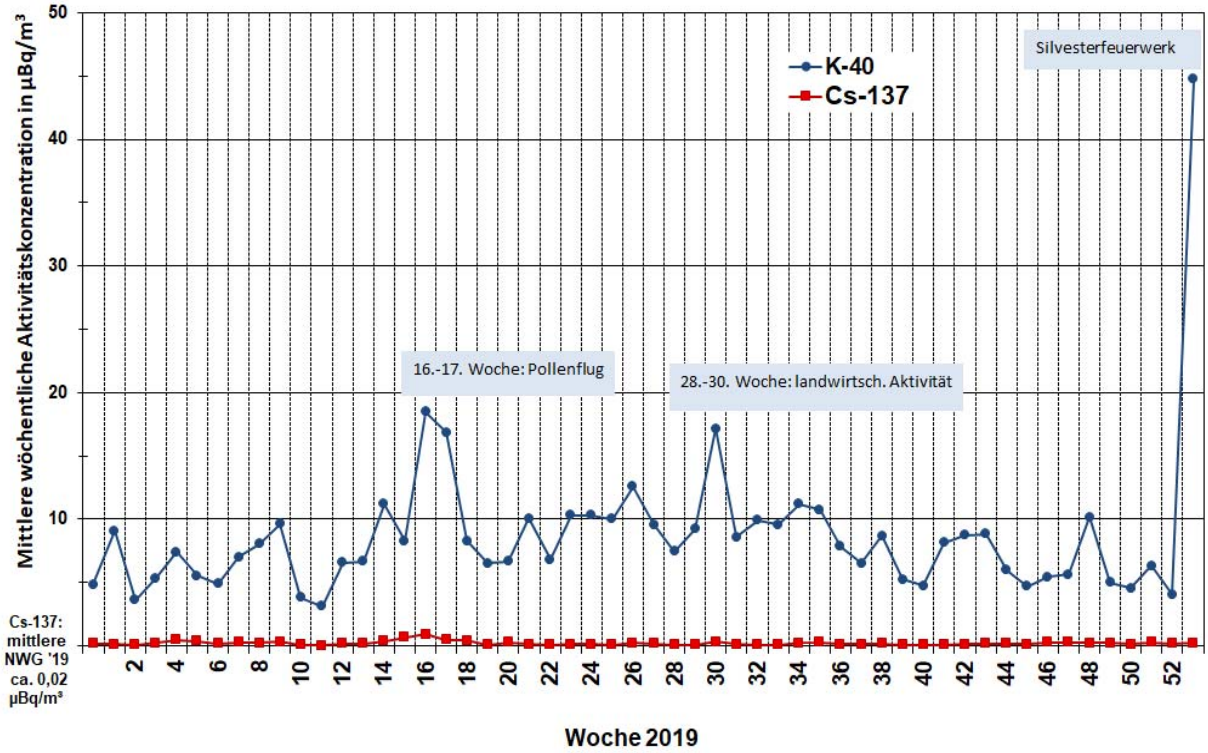


Abbildung B II 2.1-5 Aktivitätskonzentrationen von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft im Jahr 2019 am Probenentnahmeort Braunschweig

(Activity concentrations of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2019)

Für Pu-238, Pu-(239+240) und Am-241 ergaben die Analysen im Berichtsjahr keine Aktivitätskonzentrationen oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenze. An der Station Schleswig wurden für Pu-(239+240) ein Wert und für Am-241 zwei Werte oberhalb der jeweiligen Erkennungsgrenze ermittelt. Die Nachweisgrenzen lagen für Pu-238 zwischen 0,0012 µBq/m^3 und 0,00751 µBq/m^3 und für Pu-(239+240) zwischen 0,0005 µBq/m^3 und 0,0466 µBq/m^3. Für Am-241 wurden Nachweisgrenzen zwischen 0,0009 µBq/m³ und 0,0821 µBq/m^3 erreicht.

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 µBq/m^3. In drei 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.

Bei der PTB in Braunschweig liegen für das Berichtsjahr keine Messergebnisse für Alpha- und Betateilchen emittierende Radionuklide vor, da das Radiochemielabor wegen umfangreicher Umbau- und Sanierungsmaßnahmen nicht zur Verfügung stand.

Beim BfS in Freiburg wurden im Berichtsjahr die im Jahr 2018 wieder aufgenommenen radiochemischen Analysen für Sr-90 fortgeführt sowie mit den Analysen für Uran und Plutonium des Jahres 2018 begonnen. Abbildung B II 2.1-7 zeigt die zum Berichtszeitpunkt verfügbaren Ergebnisse für Sr-90. Im Mai 2018 wurde eine Sr-90-Aktivitätskonzentration von 0,47 µBq/m^3 ermittelt. In diesem Zeitraum wurden an der Messstation Schauinsland ebenfalls erhöhte Cs-137-Messwerte beobachtet. Dies lässt sich durch die wetterbedingte erhöhte Resuspension zum Monatsbeginn mit verstärktem Eintrag von Bodenstaub in die Atmosphäre erklären.

Die Aktivitätskonzentrationen für die Uranisotope U-234 und U-238 lagen in den aus dem Jahr 2018 analysierten Proben zwischen 0,02 µBq/m^3 und 0,26 µBq/m^3. Deren Nachweisgrenzen bewegten sich zwischen 0,0003 µBq/m^3 und 0,009 µBq/m^3. Das Radionuklid U-235 war mit Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,008 µBq/m³ und 0,02 µBq/m^3 nachweisbar, die Nachweisgrenzen lagen im Bereich von 0,0003 µBq/m^3 bis 0,01 µBq/m^3.

Die Nachweisgrenzen für Pu-238 sowie für Pu-(239+240) lagen zwischen 0,0002 µBq/m^3 und 0,01 µBq/m^3.

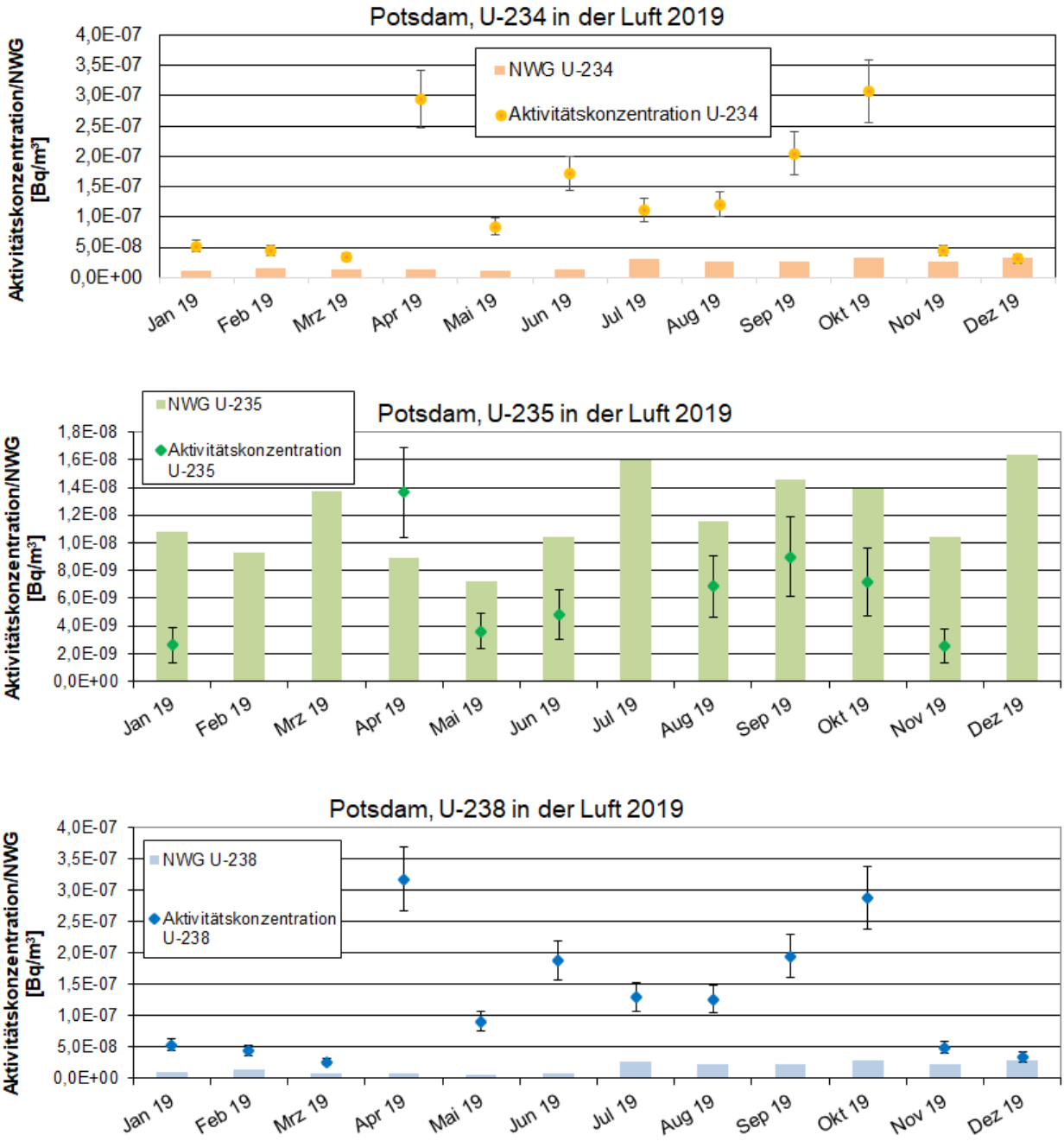


Abbildung B II 2.1-6 Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft von Uranisotopen für das Jahr 2019 am Probenentnahmeort Potsdam

(Activity concentrations of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Potsdam in 2019)

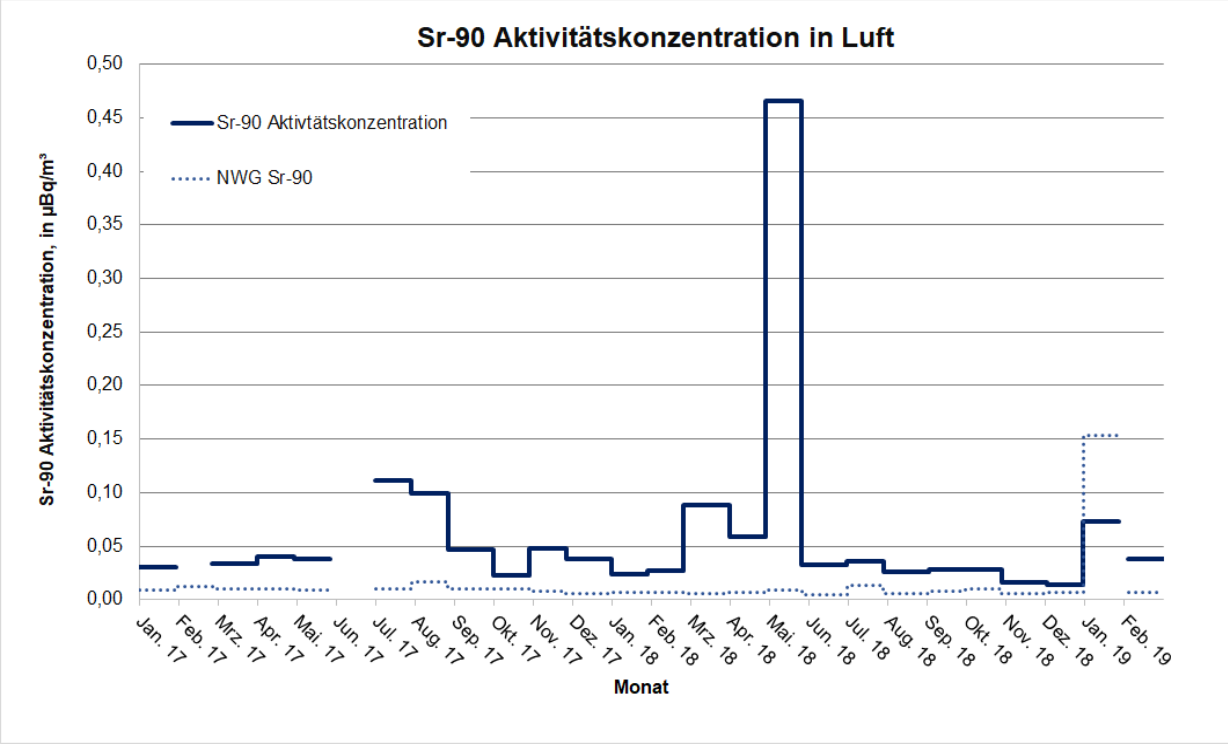


Abbildung B II 2.1-7 Aktivitätskonzentrationen von Sr-90 in der bodennahen Luft von Januar 2017 bis Februar 2019 am Probenentnahmeort Schauinsland

(Activity concentrations of Plutonium and Sr-90 in ground-level air at the site Schauinsland in the period January 2017 to February 2019)

2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition)

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 Monatswerte, die sich aus den Werten der Tagesproben errechnen. Für das Jahr 2019 resultiert daraus ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 32 Bq/m^2 (2018: 38 Bq/m^2).

Für 2019 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 2.1-8 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Deposition zugeführten Gesamt-β-Aktivität von 1957 bis 2019 in Becquerel pro Quadratmeter. Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Becquerel pro Quadratmeter sind in Abbildung B II 2.1-9 dargestellt. Hier heben sich besonders die niederschlagsreichen Bergstationen hervor.

Im Rahmen einer Automatisierung werden an den DWD-Stationen sukzessiv 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 γ-spektrometrisch analysiert, hierfür wird ebenfalls das - bisher personalintensive - Verfahren zur Probenaufbereitung schrittweise umgestellt.

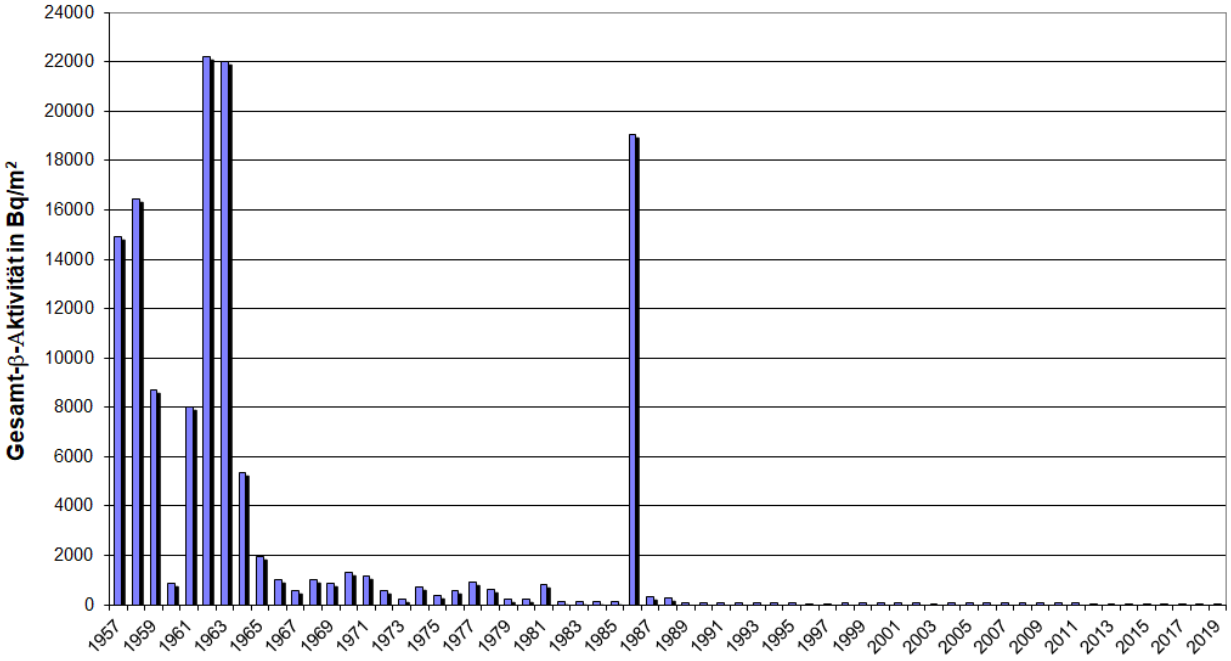


Abbildung B II 2.1-8 Langlebige Gesamt-ß-Aktivität im Niederschlag - Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messstationen von 1957 bis 2019

(Long-lived total ß-activity in precipitation - Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2019)

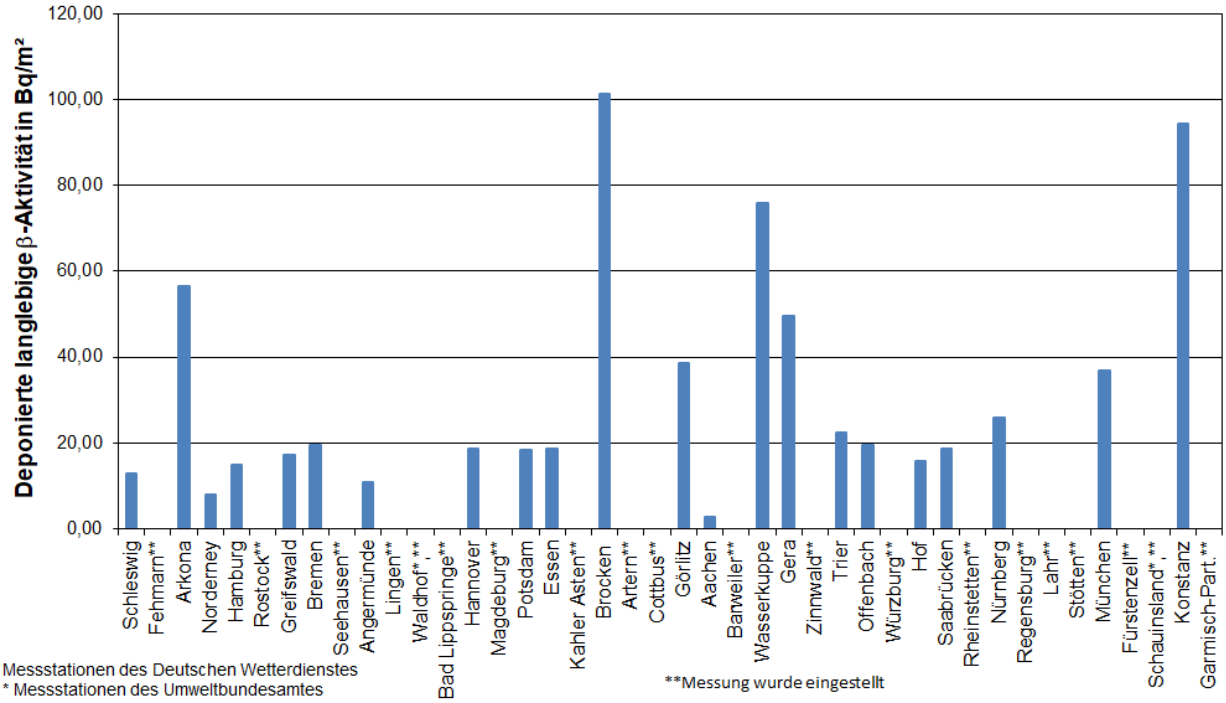


Abbildung B II 2.1-9 Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2019 zugeführte langlebige Gesamt-ß-Aktivität - stationsspezifische Jahressummen

(Deposition of additional long-lived total ß-activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2019)

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/m^2 und 0,5 Bq/m^2 resultieren können. Die ermittelten Nachweisgrenzen für die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen zwischen 0,043 Bq/m und 0,19 Bq/m^2 in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Potsdam, Offenbach 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 2019 ähnlich denen der Jahre vor dem Reaktorunfall von Fukushima. Die Abbildung B II 2.1-10 zeigt für die Messstationen Offenbach und Potsdam die aus den Aktivitätskonzentrationen und der Niederschlagsmenge errechneten Werte für die monatliche Deposition von Be-7 und Cs-137. Für kosmogenes Be-7 wurden anhand von Monatsproben Messwerte zwischen 13,0 Bq/m^2 und 77,3 Bq/m^2 (Offenbach) und zwischen 8,5 Bq/m^2 und 124,0 Bq/m^2 (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 8 l und 110 l. Es wurden Sr-90, H-3 sowie die Isotope von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betrugen je nach Niederschlagsmenge für Sr-90 ca. 0,53 mBq/l bis 15,15 mBq/l, für Pu-238 0,0028 mBq/l bis 0,0742 mBq/l, für Pu-(239+240) 0,0012 mBq/l bis 0,0508 mBq/l und für Am-241 0,0051 mBq/l bis 0,3825 mBq/l. In acht Fällen lag die gemessene Aktivitätskonzentration von Pu-(239+240) zwischen Erkennungs- und Nachweisgrenze, alle anderen Werte lagen unterhalb der jeweiligen Erkennungsgrenzen. Natürlich vorkommendes aerosolgebundenes Uran wurde mit den Niederschlägen ausgewaschen, die Aktivitätskonzentrationen für U-234 und U-238 lagen zwischen 0,0080 ± 0,0019 mBq/l und 0,8421 ± 0,1431 mBq/l, für U-235 zwischen 0,0052 ± 0,0014 mBq/l und 0,03278 ± 0,0090 mBq/l. In allen Proben wurden Aktivitätskonzentrationen von U-234 und U-238 oberhalb der Nachweisgrenze beobachtet. Für U-235 wurde bei sechs 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 0,0021 mBq/l und 0,0647 mBq/l. Für H-3 wurden Messergebnisse zwischen 0,46 und 1,78 Bq/l nach der elektrolytischen Anreicherung ermittelt.

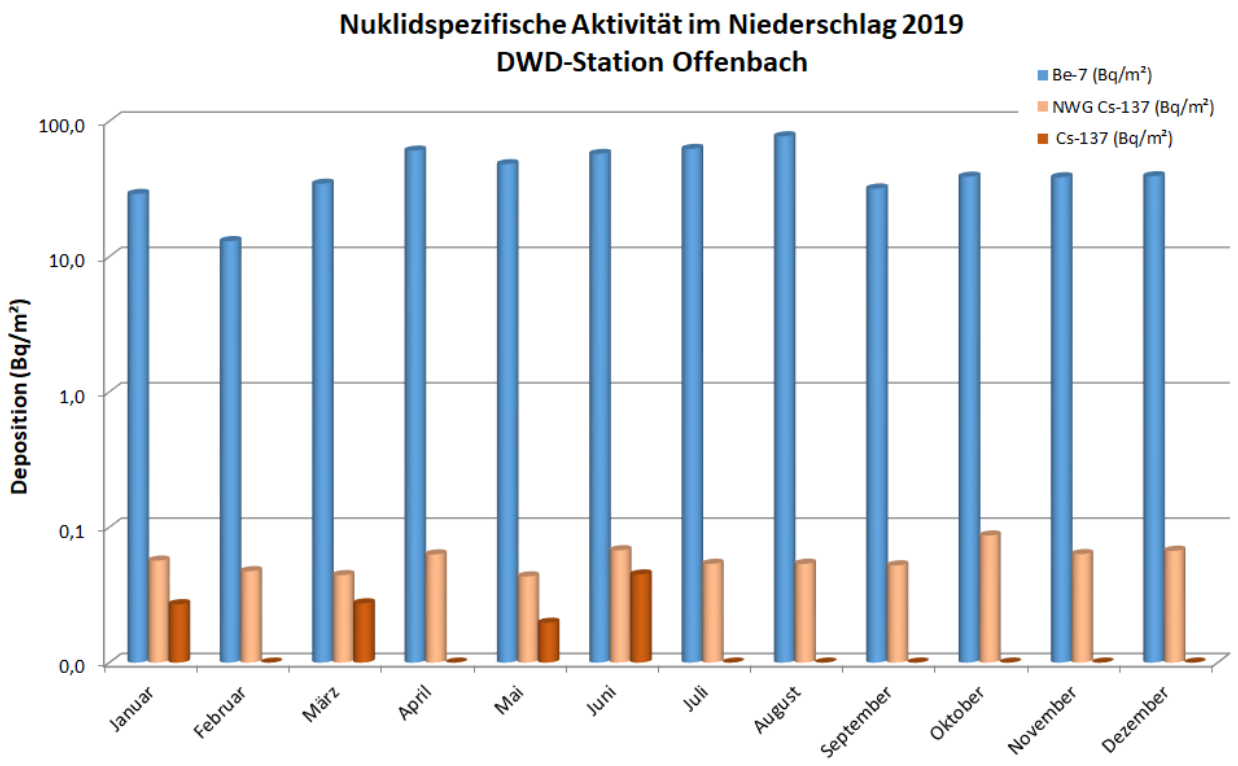
2.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung

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 2.1-11 gibt einen Überblick über die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition bei einem angenommenen Aufenthalt von täglich 5 Stunden im Freien.

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 2019 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.



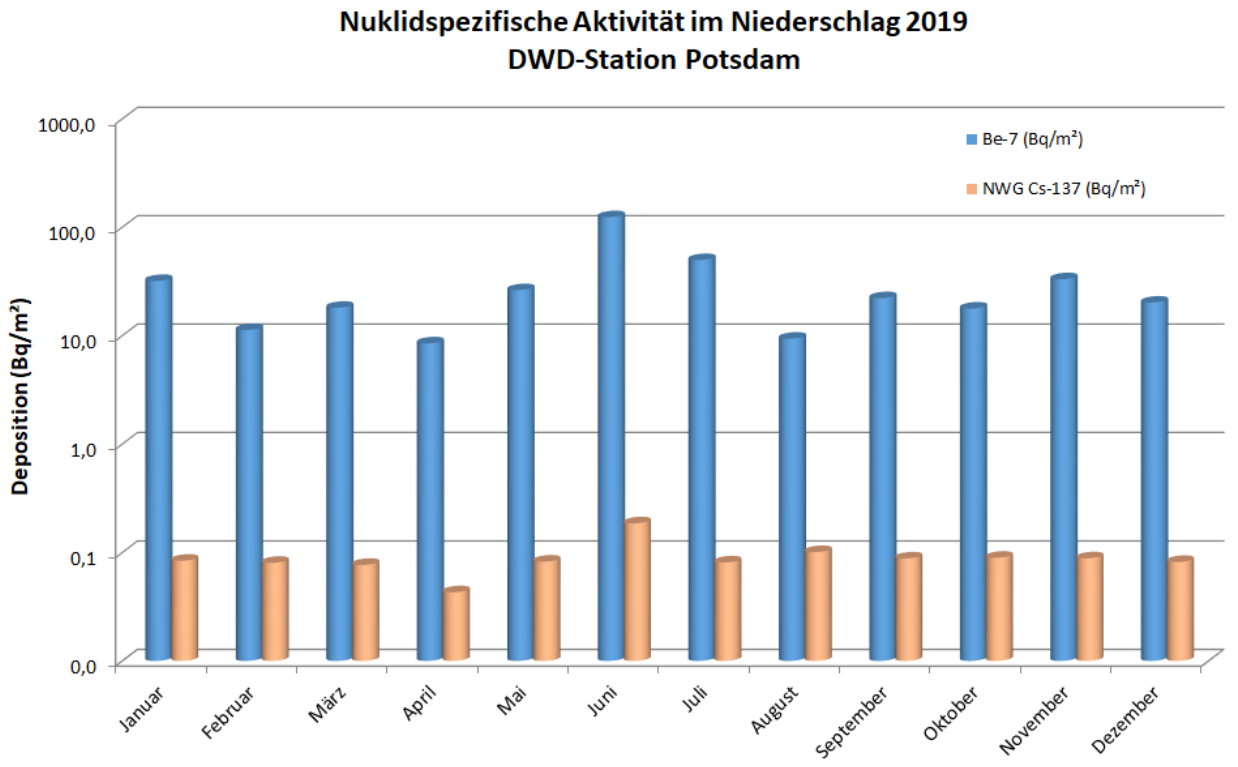


Abbildung B II 2.1-10 Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2019 - DWD-Stationen Offenbach und Potsdam

(Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2019 - DWD stations in Offenbach and Potsdam)

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 im 10 Minuten-Takt betrieben.

Im Rahmen von groß angelegten jährlichen internationalen oder nationalen Messübungen konnte der operationelle Einsatz und Betrieb von zusätzlich ausgebrachten, quasistationären autarken Sonden, spektrometrierenden 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. Die Datenbank wurde um mobile und spektrometrische Messungen grundlegend erweitert.

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.

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 aerosolpartikelgebundenen Radionukliden, bezogen auf Co-60, bei 0,4 mBq/m^3.

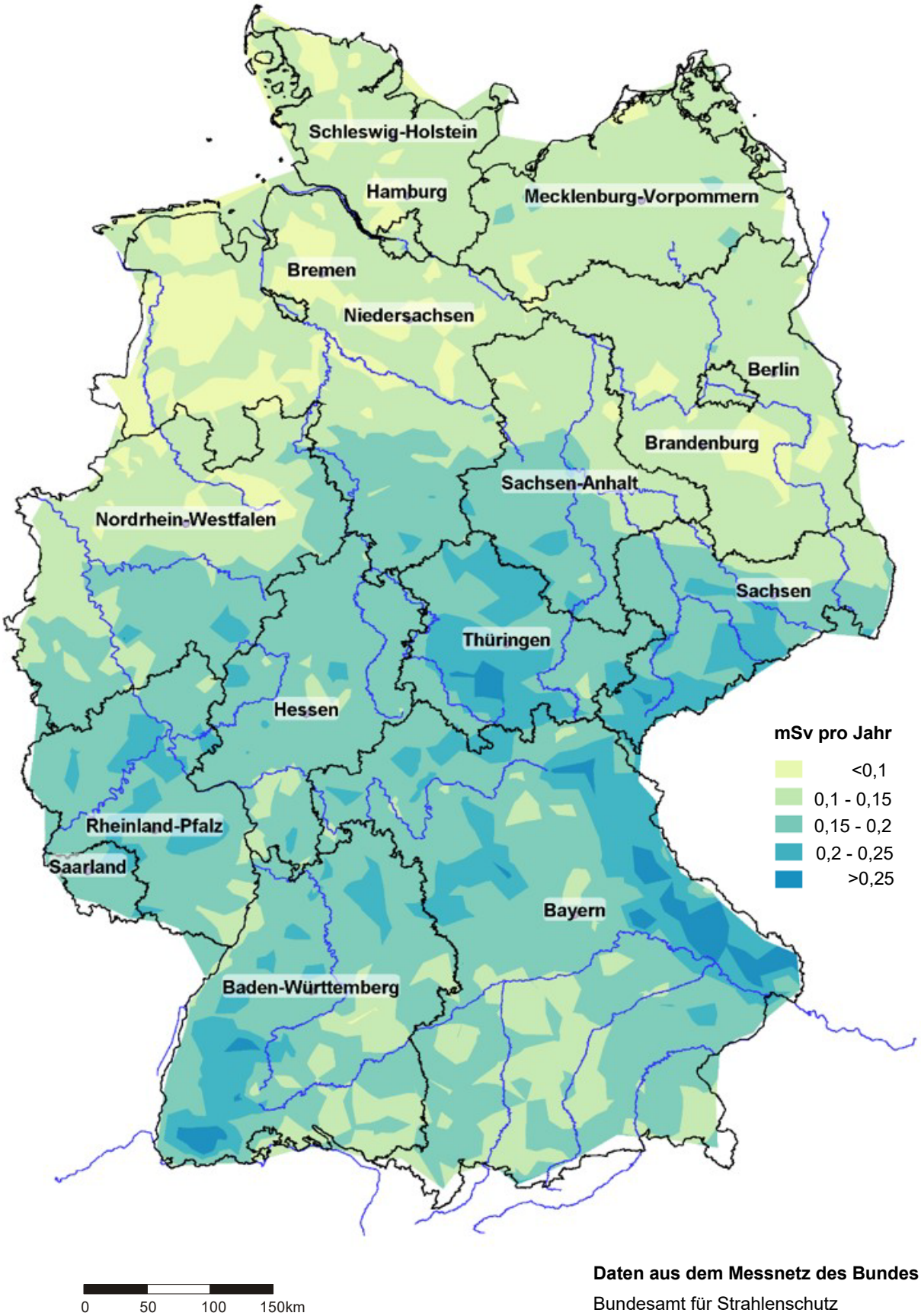
Für das gasförmige I-131 wurden im Allgemeinen nur Nachweisgrenzen gemessen - mit Ausnahme der zeitweise durch Fukushima beeinflussten Einzelmesswerte 2011 (siehe Tabelle B-II-2.1.4-1a im Jahresbericht 2011 des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“). Im Berichtsjahr hat sich die Konzentration des emittierten I-131 gegenüber den Vorjahren nicht verändert (Tabelle T II.27). Dasselbe gilt für die Aktivitätskonzentrationen der schwebstoffpartikelgebundenen Radionuklide, die 2019 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 $dH^*(10)/dt$ (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 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 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.



Daten aus dem Messnetz des Bundes
Bundesamt für Strahlenschutz

Abbildung B II 2.1-11 Externe Strahlenexposition im Jahr 2019 in Deutschland bei täglich 5 Stunden Aufenthalt im Freien
(External radiation exposure in Germany in 2019, spending 5 hours per day outdoors)

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.

Auf Grund personeller Engpässe sind die Auswertungen für das Berichtsjahr 2019 noch nicht verfügbar. Diese werden im nächsten Bericht nachgeliefert.

2.2.1 Radionuklide im Nordseewasser

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 Bq/m^3).

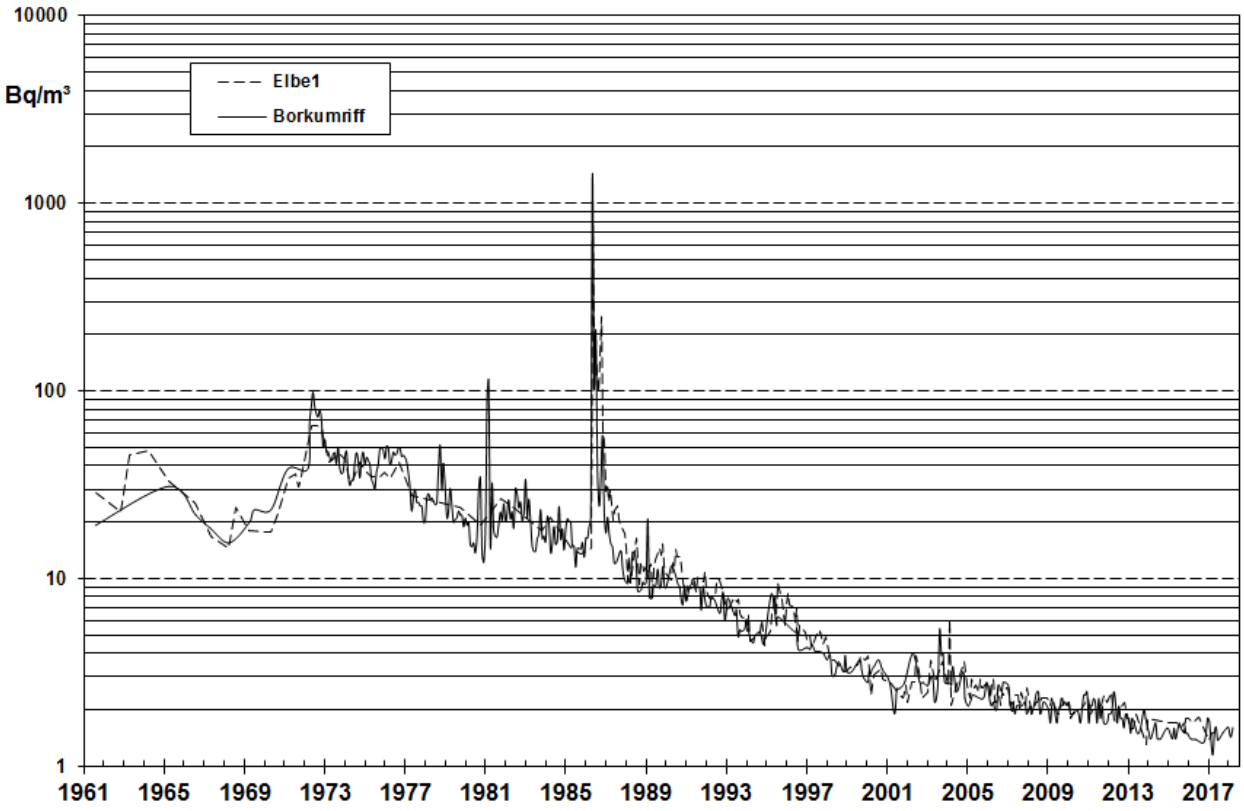


Abbildung B II 2.2-1 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961

(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1961)

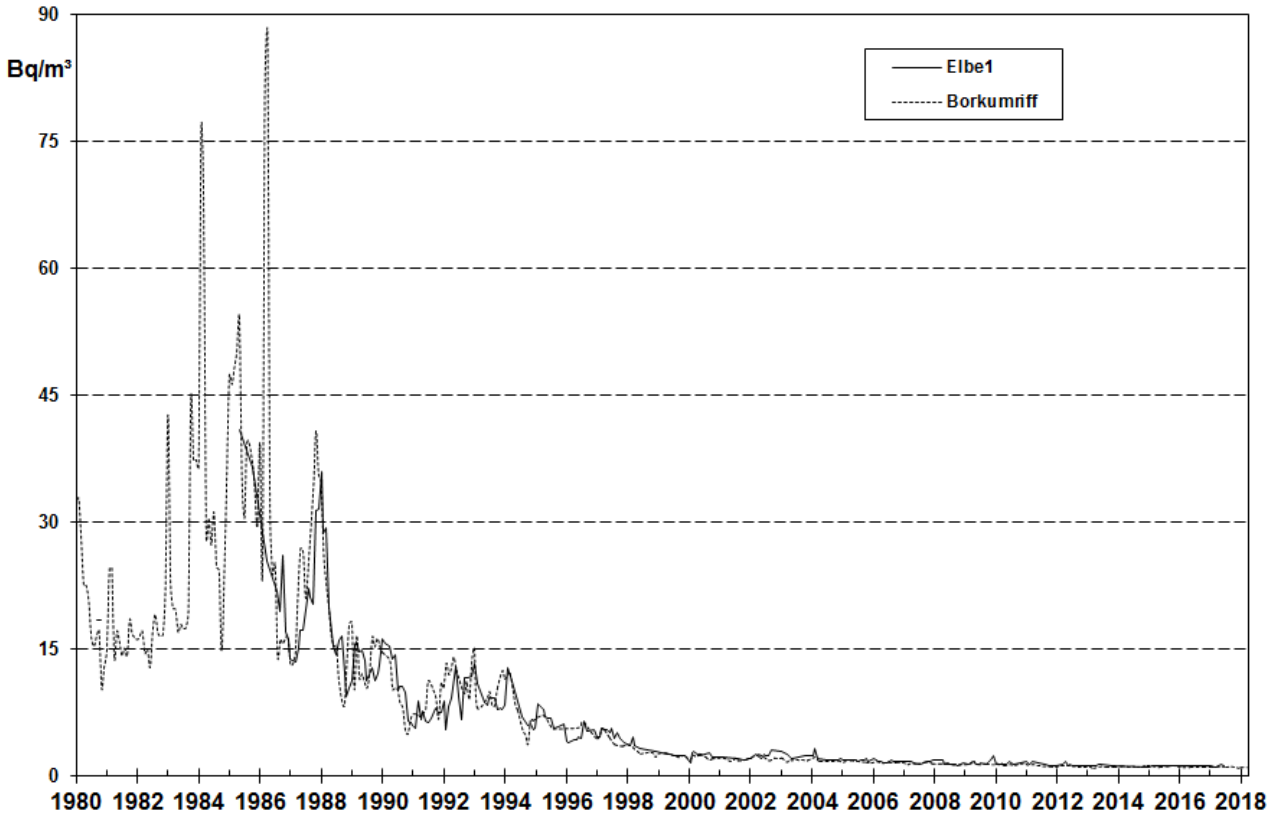


Abbildung B II 2.2-2 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der deutschen Bucht seit 1980

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

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

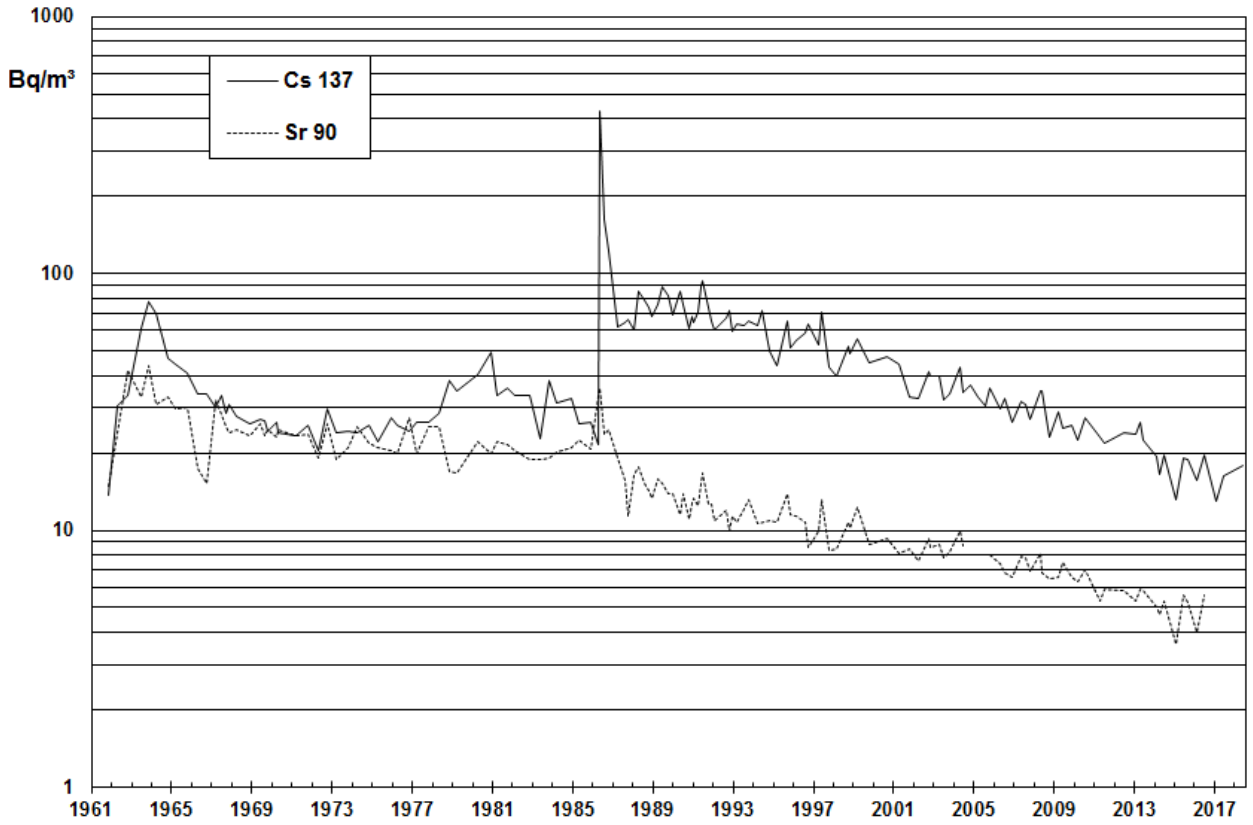


Abbildung B II 2.2-3 **Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentration (Bq/m³) an der Position „Schleimündung“ (50°40‘ N, 010°05‘ O) seit 1961.**

(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)

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 2019 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. Eine Übersicht über die insgesamt erhaltenen Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrlSchG bzw. REI ist in der Tabelle T II.31 zusammengestellt.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrlSchG wurden im Berichtsjahr Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 156 Gewässern mit insgesamt ca. 21 100 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 unter Berücksichtigung von Messwerten und NWG berechnet worden, sodass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit „<“ gekennzeichnet, so lagen weniger als die Hälfte der Messwerte über der NWG. Damit stellen diese Mittelwerte obere Grenzen dar, die die tatsächlichen mittleren Aktivitätsgehalte eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Auflistung „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 der letzten 20 Jahre für ausgewählte Entnahmestellen beispielhaft in den Abbildungen B II 2.3-1 bis B II 2.3-8 aufgetragen, wobei die geforderte NWG des RMP (Messstellen der Länder) jeweils zum Vergleich als Orientierungshilfe angegeben ist.

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-Aktivitätskonzentrationen 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, betrugen die Jahresmittelwerte höchstens 39 Bq/l (Mosel). Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit ebenfalls unter den Vorgaben zu Nachweisgrenzen des RMP. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren, abgesehen von H-3, im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen in Wasserproben nicht mehr nachweisbar. I-131 trat nur gelegentlich mit Einzelwerten bis 0,02 Bq/l auf, vereinzelt wurde zudem Lu-177 bis 0,09 Bq/l nachgewiesen. Diese beiden kurzlebigen Nuklide werden in der Nuklearmedizin eingesetzt. 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 traten beispielsweise regional Werte bis 0,04 Bq/l auf.

In **Schwebstoffproben** lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 vorwiegend unter 50 Bq/kg Trockenmasse (TM). In Flüssen betrug der maximale Jahresmittelwert 59 Bq/kg TM (Donau). Höhere Werte für Cs-137 wurden wiederum von einzelnen Seen berichtet: Der maximale Jahresmittelwert lag bei 177 Bq/kg TM (Steinhuder Meer, Niedersachsen). Co-58 und Co-60 wurden regelmäßig, Ag-110m nur vereinzelt in der Mosel nachgewiesen, wobei die Werte überwiegend unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM lagen. Im Rhein wurde in einzelnen Proben Co-60 nachgewiesen. Für das kurzlebige I-131 wurden Einzelwerte bis 70 Bq/kg TM (Mosel) gemessen.

In **Sedimentproben** betrugen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 ebenfalls meist weniger als 50 Bq/kg TM. In Flüssen lag der maximale Jahresmittelwert bei 59 Bq/kg TM (Elde, Mecklenburg-Vorpommern). In einzelnen Seen traten jedoch weiterhin höhere mittlere Gehalte an Cs-137 auf: Der maximale Jahresmittelwert lag bei 192 Bq/kg TM (Schollener See, Sachsen-Anhalt). Für Co-60 wurde in der Mosel über die letzten Jahre ein leicht ansteigender Jahresmittelwert beobachtet, wobei die Werte weiterhin überwiegend unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM lagen. Zudem wurden in der Mosel vereinzelt Co-58 und Ag-110m nachgewiesen.

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

Strahlenexposition[1]

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 nicht aufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (<=1 a; 215 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,68 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 2019 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 2019 gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). In die Auswertung wurden insgesamt ca. 6 630 Einzelwerte von Messungen an Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben einbezogen; diese erfolgte wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben. Die Umgebungsüberwachung an den stillgelegten Standorten Siemens GmbH Karlstein und KWW Würgassen wurde 2019 reduziert, und es wurden daher keine Daten mehr aus dem aquatischen Nahbereich dieser Standorte berichtet.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in **Oberflächenwasserproben** aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte in Einzelfällen nachweisbar (Tabelle T II.34). Erhöhte H-3-Aktivitätskonzentrationen wurden in Proben gemessen, die direkt an Auslaufbauwerken genommen wurden: die Mittelwerte betrugen hier maximal 1 592 Bq/l in der Ems (KKE Emsland). In Folge der Durchmischung gingen die H-3-Gehalte aber entlang der Fließstrecke auf niedrigere Aktivitätskonzentrationen 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 Cs-137 beispielsweise war der Einfluss kerntechnischer Anlagen wegen der Vorbelastung aus anderen Quellen (Kernwaffen-Fallout und Reaktorunfall in Tschernobyl) nicht eindeutig zuordenbar. Dies gilt auch für I-131, das auf nuklearmedizinische Anwendungen zurückgeführt werden kann. Transurane wurden in Wasserproben 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. Co-60 wurde gelegentlich, Co-58 und Mn-54 vereinzelt nachgewiesen. Sr-90 wurde mit maximalen Einzelwerten bis 8,15 Bq/kg TM gemessen (Mosel, KKW Cattenom). Für Alpha-Strahler wurden etwas erhöhte mittlere Werte für die Gesamt-Alpha-Aktivität (G-α) mit 594 Bq/kg TM und für Am-241 mit 4,2 Bq/kg TM im Hirschkanal (KIT Karlsruhe) gemessen. In einer Sedimentprobe der Isar flussabwärts der Forschungsneutronenquelle HML München wurde 0,27 Bq/kg TM Pu-(239+240) gemessen. Darüber hinaus wurden keine Transurane nachgewiesen.

Strahlenexposition[1, 2]

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-Aktivitätskonzentrationen traten als Folge von Ableitungen aus Kernkraftwerken auf. Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser mit 25 Bq/l H-3 nicht aufbereitet 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 mit 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-Verzehrsmengen und Aufenthaltsdauern sind der Strahlenschutzverordnung (Stand 2018) entnommen: Anlage 11 Teil B Tabelle 1 und Tabelle 3.

2 Nach § 101 StrlSchV sind für den Betrieb kerntechnischer Anlagen für Kleinkinder, die nicht gestillt werden, 55 + 160 Liter Trinkwasser mit einem Faktor 2 anzusetzen. Dies ergibt eine Trinkwassermenge von 430 Liter.

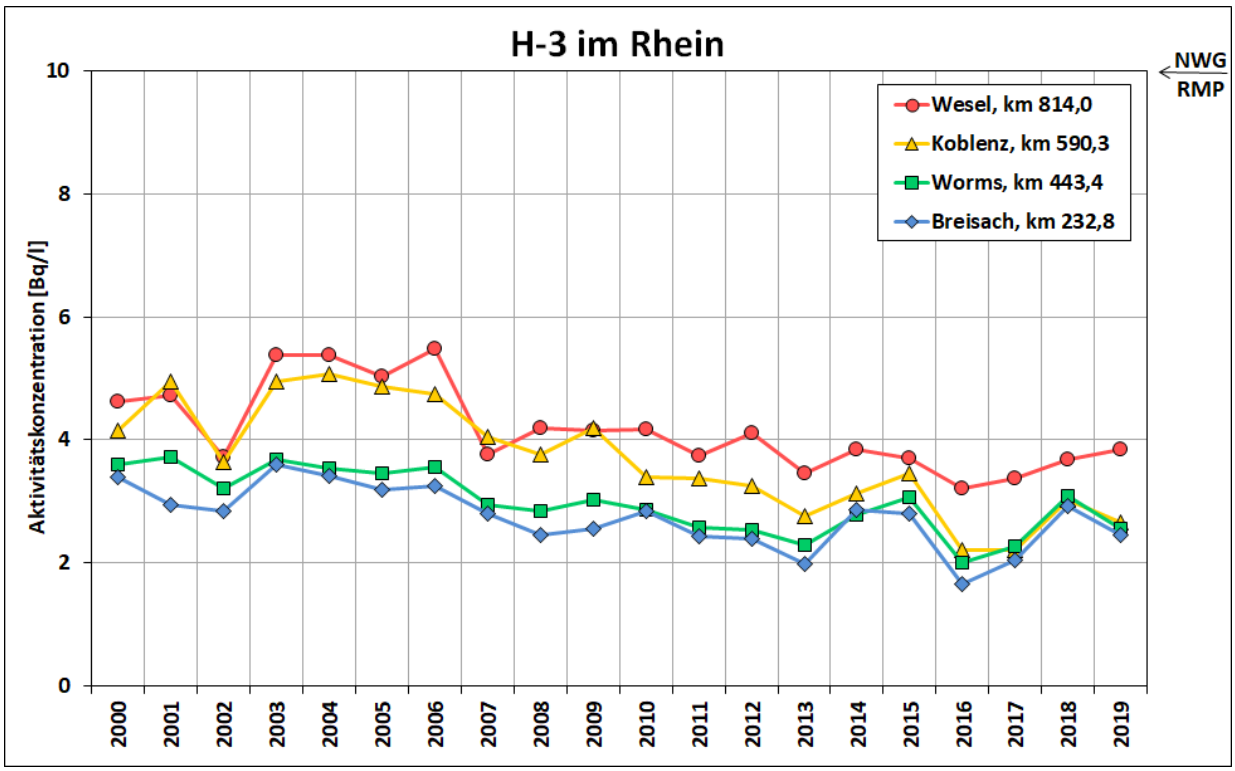


Abbildung B II 2.3-1 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)

(Contents of tritium (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

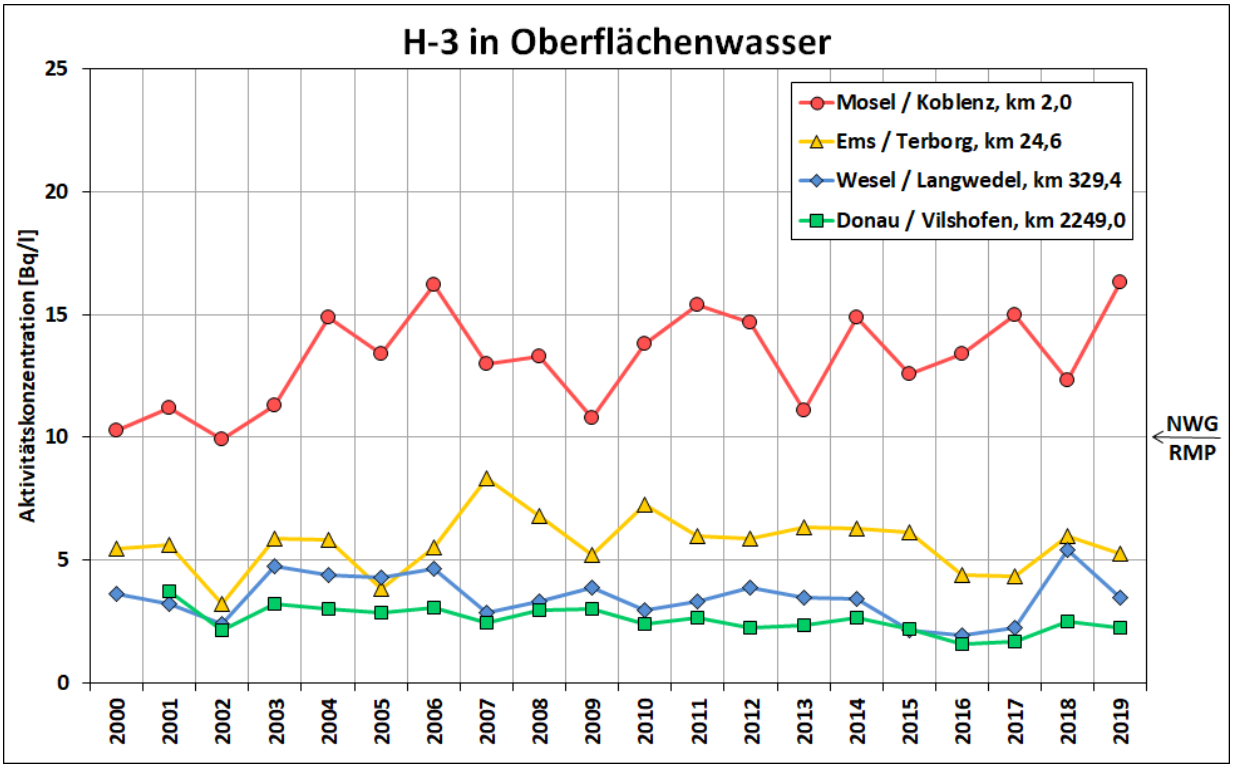


Abbildung B II 2.3-2 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Contents of H-3 (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

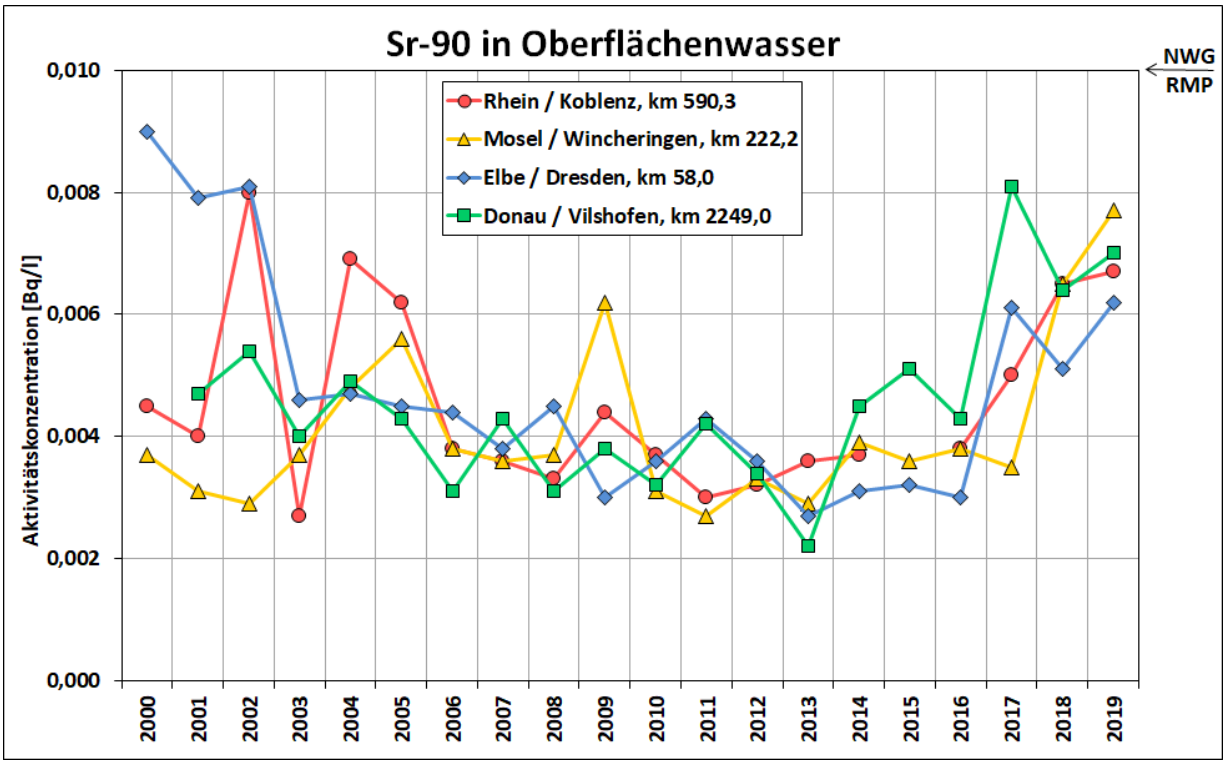


Abbildung B II 2.3-3 **Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Sr-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)**

(Sr-90 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

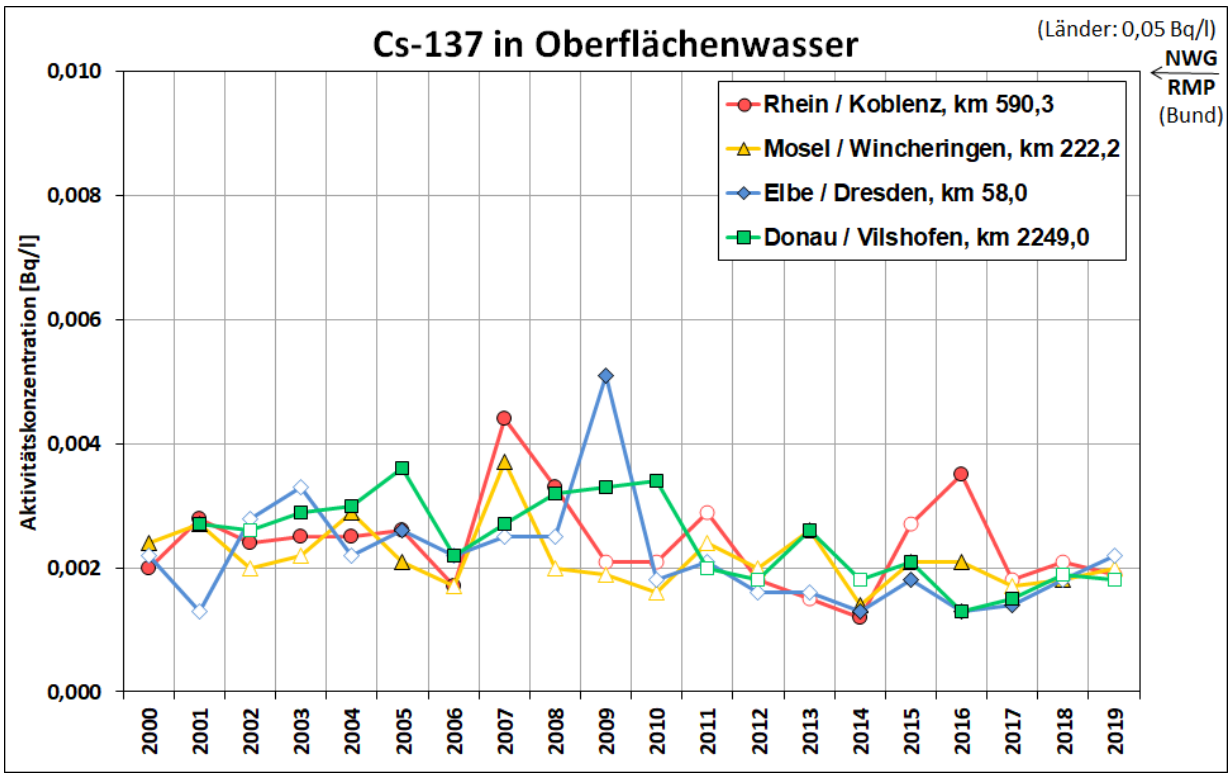


Abbildung B II 2.3-4 **Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cs-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte). Weißer Symbolinhalt kennzeichnet Datensätze mit allen Werten <NWG**

(Cs-137 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values. White symbol filling indicates data sets with all values below detection limit)

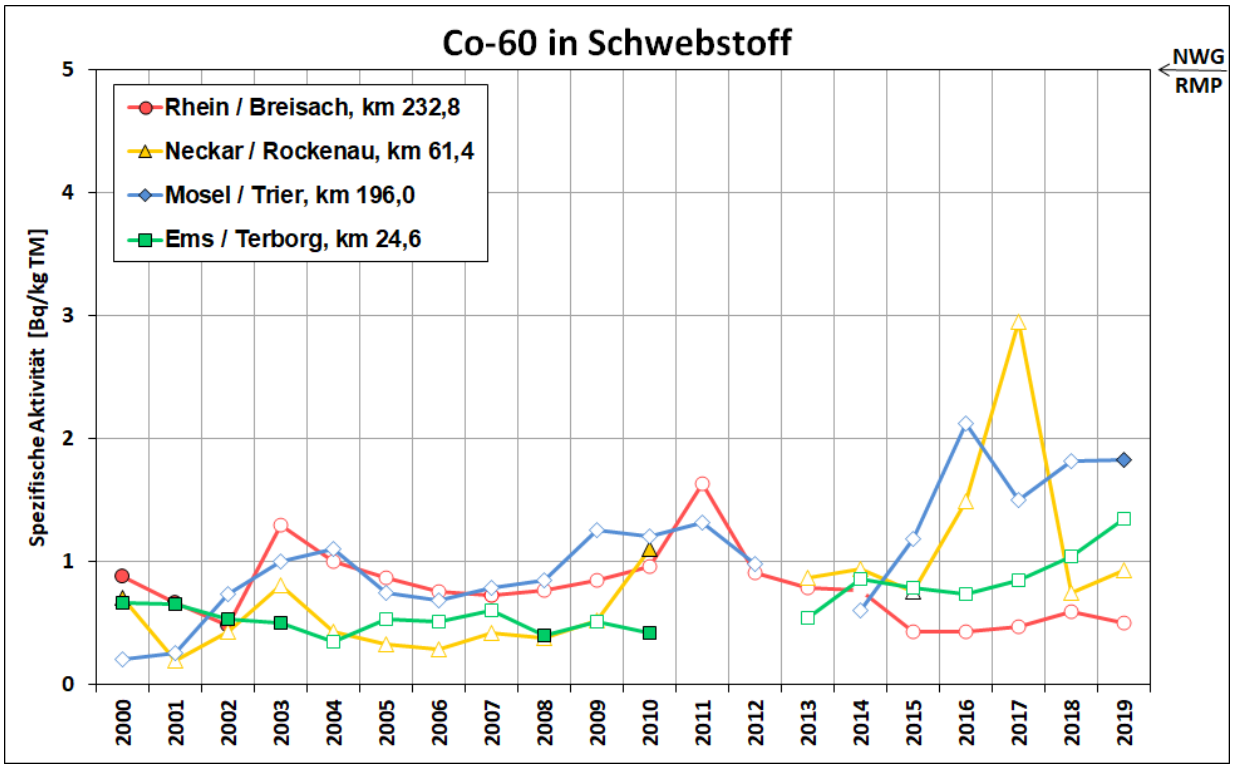


Abbildung B II 2.3-5 **Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte). Weißer Symbolinhalt kennzeichnet Datensätze mit allen Werten <NWG**

(Co-60 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values). White symbol filling indicates data sets with all values below detection limit

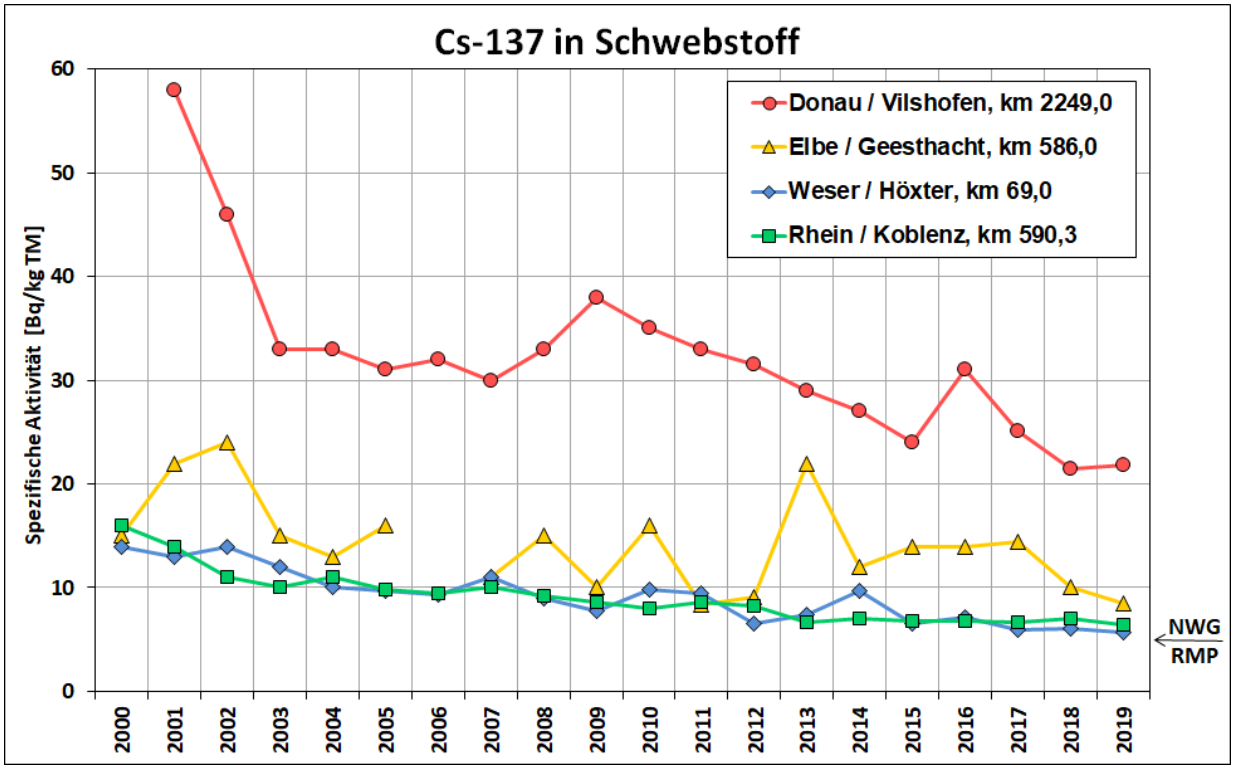


Abbildung B II 2.3-6 **Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)**

(Cs-137 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

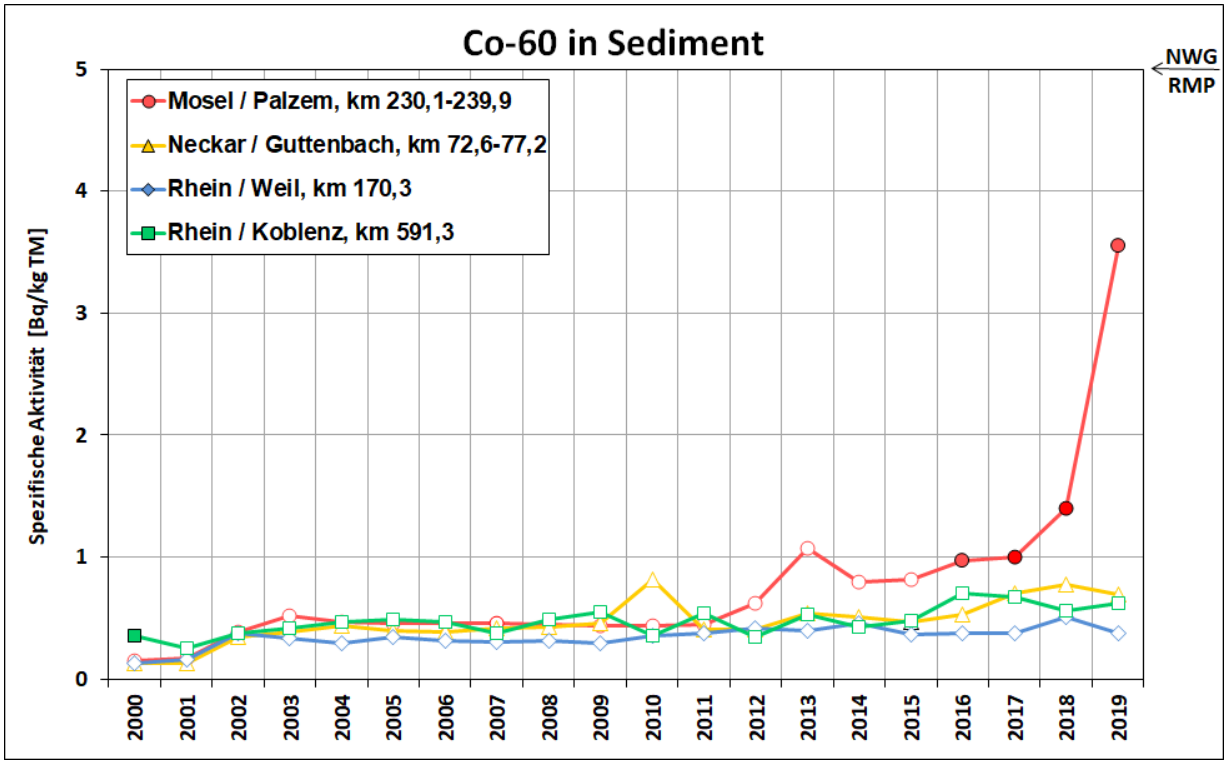


Abbildung B II 2.3-7 **Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte). Weißer Symbolinhalt kennzeichnet Datensätze mit allen Werten <NWG**

(Co-60 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values). White symbol filling indicates data sets with all values below detection limit

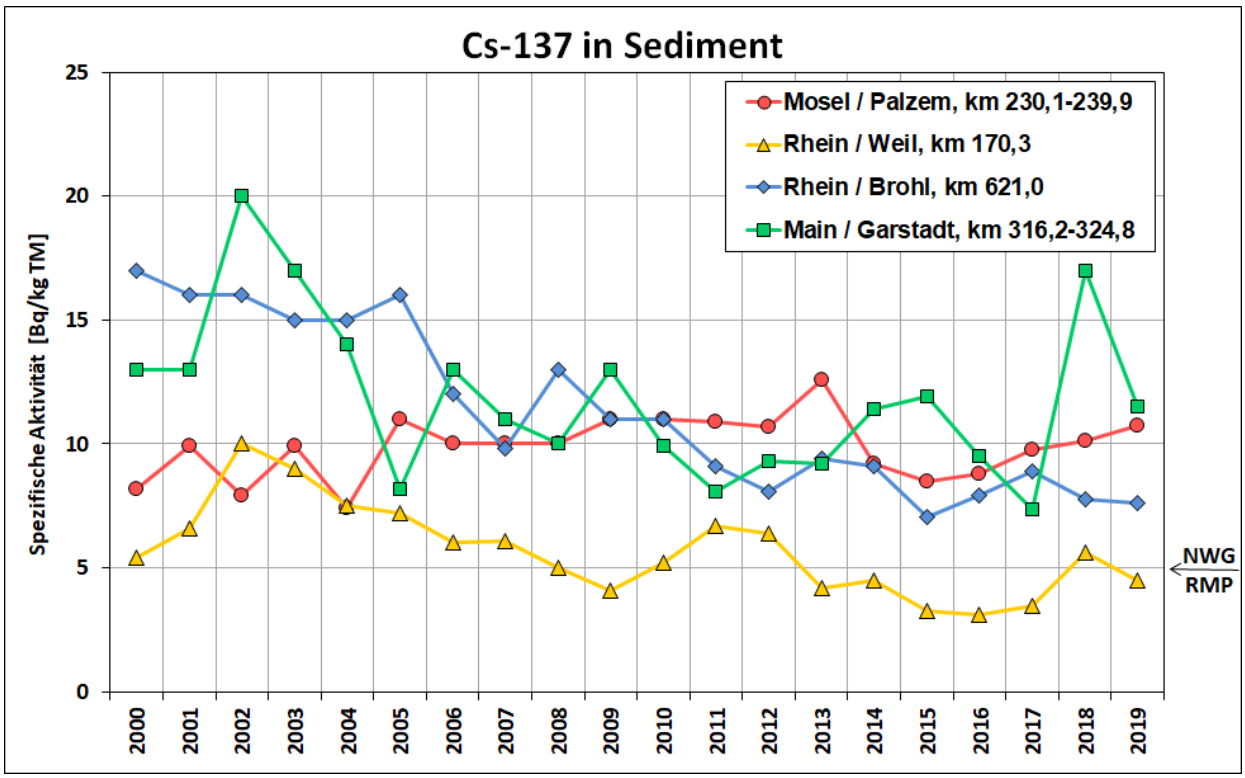


Abbildung B II 2.3-8 **Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)**

(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 2019 durch die Deposition nach dem Tschernobyl-Unfall 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 2019 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.41sind die Ergebnisse aus Platzgründen nur summarisch für das Bundesgebiet und nicht für einzelne Länder aufgeführt.

2.4.2 Boden und Bewuchs in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

In der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobyl-Unfall im Jahr 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 Tabelle II.42 und Tabelle 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 erfolgen Wanderungen der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 in den Boden hinein nur langsam. In der Vegetationsperiode werden verschiedene Pflanzenproben ɣ-spektrometrisch aus der näheren Umgebung von Kernkraftwerken 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.

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 2019 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. 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. Zudem werden die nach AVV-IMIS bei der gammaspektrometrischen Untersuchung mit im Mindesten zu dokumentierenden Radionuklide Co-60, Ru-103, I-131, Cs-134 und Ce-144 überprüft. Sofern tatsächliche Messwerte für diese genannten Radionuklide erhoben wurden, werden die Messergebnisse für die jeweiligen Umweltbereiche berichtet. Eine ergänzende Ausweisung in Tabelle T II.44 wird nicht vorgenommen.

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 2019 wurde Grundwasser von 52 Probenentnahmestellen untersucht.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 liegen ausschließlich unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen von 0,7 mBq/l bis 100 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Nachweisgrenzen beträgt <7,2 mBq/l (2018: <8,0 mBq/l).

In 47 % der gemessenen Proben konnte Sr-90 mit Aktivitätskonzentrationen von 0,32 mBq/l bis 14 mBq/l (2018: 0,23 mBq/l bis 14 mBq/l) nachgewiesen werden. Ein Median von 3,1 mBq/l (2018: <3,8 mBq/l) wurde berechnet.

In 50 von 56 auf H-3 untersuchten Grundwasserproben wurde als Ergebnis kleiner Nachweisgrenze erhalten, wobei die Nachweisgrenzen zwischen 1,3 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 <3,8 Bq/l (2018: <4,5 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 2019 sind mit einer Aktivitätskonzentration von bis zu 120 mBq/l und einem Median von 2,1 und 2,9 mBq/l (2018: <1,9 mBq/l und 2,3 mBq/l) mit den Daten aus der vom BfS durchgeführten Trinkwasserstudie in Deutschland [1] 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 vier Grundwasserproben tatsächliche Messwerte zwischen 0,001 mBq/l und 0,018 mBq/l erhoben. Diese Werte liegen zwischen der ermittelten Erkennungs- und Nachweisgrenze und sind um ein Vielfaches niedriger als der aus allen 44 Ergebnissen berechnete Median mit <0,49 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 Erkennungs- und Nachweisgrenze.

Der Medianwert für das natürliche Radionuklid K-40 im Grundwasser beträgt 200 mBq/l und entspricht der mittleren erreichten Nachweisgrenze. Die höchste K-40-Aktivitätskonzentration im Jahr 2019 wurde in einer Probe mit 2 500 mBq/l ermittelt (2018: 580 mBq/l).

Trinkwasser

Die 2019 untersuchten Roh- und Reinwässer stammten aus 80 bzw. 88 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.

Für Cs-137 im Rohwasser sind alle Ergebnisse als kleiner Nachweisgrenze bewertet worden, wobei die bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen zwischen 0,32 mBq/l und 50 mBq/l liegen. Als Median aller mitgeteilten Ergebnisse für das Jahr 2019 wurde <8,4 mBq/l (2018: <7,8 mBq/l) berechnet.

In zwei Reinwasserproben konnte Cs-137 mit Aktivitätskonzentrationen von 1,3 mBq/l und 4,9 mBq/l (NWG 1,6 mBq/l und 5,7 mBq/l) belegt werden. Die Ergebnisse der restlichen 265 untersuchten Proben liegen unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen von 0,18 mBq/l bis 52 mBq/l. Der Median aller Ergebnisse beträgt <8,0 mBq/l (2018: <8,5 mBq/l)

In 47 % der untersuchten Proben im Rohwasser und in 51 % der untersuchten Proben im Reinwasser konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen sind mit 1,1 mBq/l bis 16 mBq/l im Rohwasser und 0,34 mBq/l bis 15 mBq/l im Reinwasser (2018: 0,80 und 18 mBq/l im Rohwasser und 0,90 und 10 mBq/l im Reinwasser) angegeben worden, der Median sämtlicher Ergebnisse beträgt <4,1 mBq/l für das Rohwasser und 3,1 mBq/l für das Reinwasser (2018: <3,5 mBq/l im Rohwasser und 3,2 mBq/l im Reinwasser). Diese Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche herrührenden Einfluss auf Oberflächenwässer, oberflächennahe Grundwässer und damit auch auf Trinkwässer.

Die für 2019 angegebenen Mediane für die Uranisotope U-238 und U-234 von <1,5 mBq/l bis 3,4 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. Jeweils für eines von 33 Rohwässern und vier von 66 Reinwässern wurden tatsächliche Messwerte für die Plutoniumisotope Pu-(239+240) angegeben. Mit Werten zwischen 0,00044 mBq/l und 0,0014 mBq/l liegen diese ein Vielfaches unter den bestimmten Medianen von <2,4 mBq/l für das Rohwasser und <1,4 mBq/l für das Reinwasser. Für Pu-238 wurden mit 0,59 mBq/l und 0,78 mBq/l zwei tatsächliche Messwerte für das Reinwasser angegeben. Ähnlich wie für das Grundwasser sind Messwerte für die Plutoniumisotope vornehmlich mit der Verwendung eines großen Probenvolumens zu begründen.

Die Medianwerte für das natürliche Radionuklid K-40 im Roh- und Reinwasser betragen <190 mBq/l bzw. 160 mBq/l. Die höchste K-40-Aktivitätskonzentration im Jahr 2019 wurde mit 4 400 mBq/l im Rohwasser und mit 1 200 mBq/l im Reinwasser ermittelt (2018: 870 mBq/l sowohl im Rohwasser und im Reinwasser).

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe im Trinkwasser ist gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr klein. Legt man die vorliegenden Maximalwerte aus den Messungen für Cs-137 und Sr-90 von 4,9 mBq/l und 15 mBq/l im Reinwasser zu Grunde, ergeben sich, mit einer angenommenen jährlichen Verzehrsrate von 700 Liter für eine erwachsene Referenzperson gemäß StrlSchV Anlage VII Teil B, Ingestionsdosen von 0,05 µSv/a bzw. 0,29 µSv/a. Für den Säugling (0 bis 1 Jahr) errechnen sich entsprechend einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 366 Liter Ingestionsdosen von 0,04 µSv/a bzw. 1,3 µSv/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 2019 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 123 Grundwassermessstellen mitgeteilt. Die Anzahl an dokumentierten Messwerten für die einzelnen Nuklide und Parameter ist wie im Vorjahr geringer, da bis zum Redaktionsschluss nicht alle Betreiberdaten vorlagen.

Für Cs-137 liegen von 232 untersuchten Grundwasserproben alle Messwerte unter den angegebenen Nachweisgrenzen von 2,6 mBq/l bis 81 mBq/l, der Median aller Cs-137-Ergebnisse beträgt <30 mBq/l (2018: <29 mBq/l).

In 20 % der untersuchten Proben wurde Sr-90 nachgewiesen. Es wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 2,7 mBq/l und 6,0 mBq/l gemessen. Ein Median von <6,0 mBq/l (2018: 5,6 mBq/l) wurde ermittelt.

Die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 18 mBq/l und 110 mBq/l (2018: 18 mBq/l bis 120 mBq/l), mit einem Median sämtlicher Ergebnisse von <50 mBq/l (2018: <50 mBq/l).

In 9 % der untersuchten Wasserproben wurde H-3 im Konzentrationsbereich von 0,58 Bq/l bis 14 Bq/l nachgewiesen (2018: 1,1 Bq/l bis 32 Bq/l), der Median aller Ergebnisse beträgt <5,7 Bq/l (2018: 5,5 Bq/l). Einige Werte liegen damit

deutlich über den derzeitigen Messergebnissen für H-3 im Niederschlag im Bereich von 1 Bq/l bis 2 Bq/l (siehe 2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition)).

Die höchsten H-3-Aktivitätskonzentrationen von 11 Bq/l bis 14 Bq/l wurden in einem Brunnen des KKW Philippsburg gemessen. Für Co-60 wurden tatsächliche Messwerte mit 13 mBq/l bis 17 mBq/l für die vier Messpegel des THTR Hamm-Uentrop angegeben mit erreichten Nachweisgrenzen zwischen 22 mBq/l und 29 mBq/l.

Trinkwasser

Im Jahr 2019 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz 17 Rohwasser- und 36 Reinwasser-Entnahmestellen beprobt.

In Tabelle T II.45 sind die Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen getrennt nach Roh- und Reinwasser dokumentiert.

Für Cs-137 ist bei 133 untersuchten Reinwasserproben als Ergebnis kleiner Nachweisgrenze angegeben worden, wobei die Nachweisgrenzen zwischen 0,98 mBq/l und 260 mBq/l liegen. Der Median aller mitgeteilten Werte beträgt <9,6mBq/l (2018: <5,0 mBq/l).

In zwei der Reinwasserproben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen bei 3,1 mBq/l und 4,3 mBq/l (2018: zwischen 0,17 mBq/l und 2,1 mBq/l), der Median sämtlicher Ergebnisse liegt bei <10 mBq/l (2018: <10 mBq/l). Diese Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche herrührenden Einfluss auf Oberflächenwässer, oberflächennahe Grundwässer und damit auch auf Trinkwässer.

In zwei von 140 gemessenen Reinwasserproben wurde H-3 mit Aktivitätskonzentrationen von 12 Bq/l und 13 Bq/l (2018: 9,9 Bq/l und 16 Bq/l) nachgewiesen. Der Median aller Ergebnisse liegt seit 2014 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 Einzelwasserversorgungen gedeckt würde, ergäbe sich für die betroffenen Personen nur eine unwesentliche Erhöhung gegenüber 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] 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 Tschernobyl-Unfall deponierten 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 2018 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 Nachweisgrenzen 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 2019. 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 Schnellmethode für Sr-90 mittgeteilt. Da die Sr-90- Messwerte bzw. Nachweisgrenzen über alle Bundesländer gemittelt werden, ergibt 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.

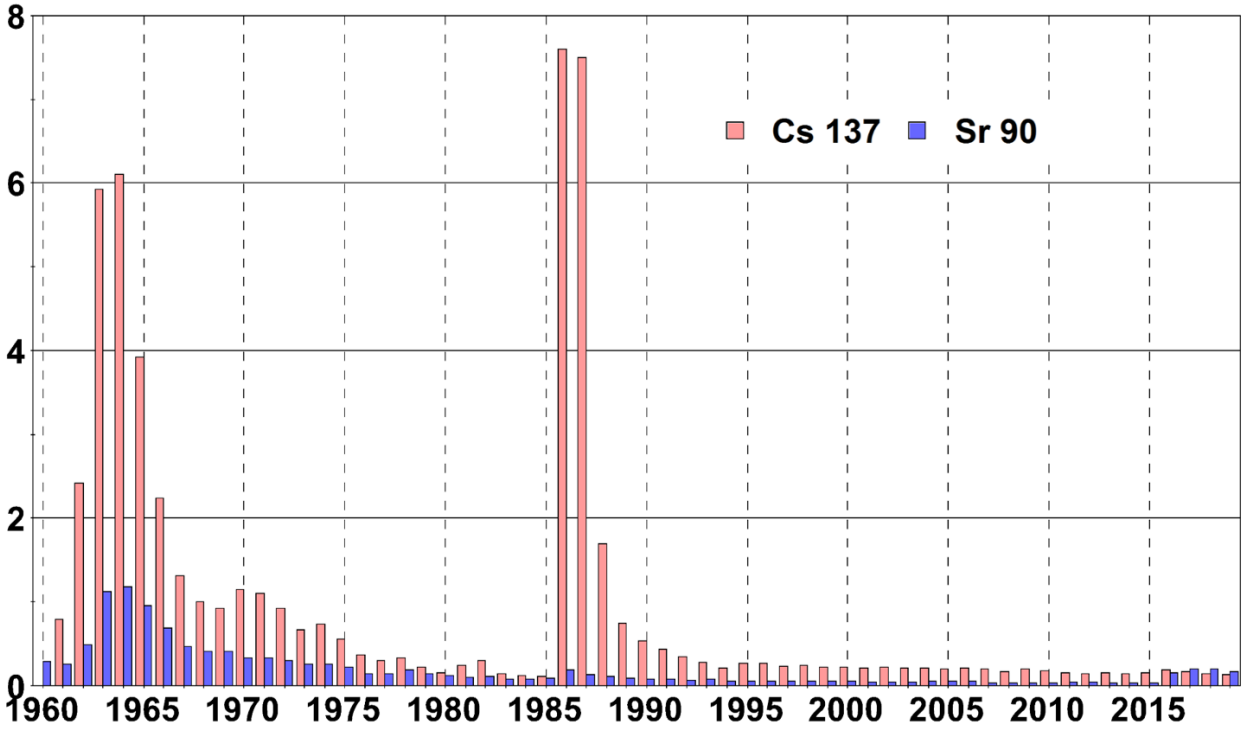


Abbildung B II 2.5-1 Jahresmittelwerte der Sr-90- und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland
(Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)

2.5.4 Milch in der Umgebung von Anlagen in der Nähe kerntechnischer Anlagen

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 Tschernobyl-Unfall 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 Sammeltanks/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 2019 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 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 2019 deutlich 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 auch im Jahr 2019 in der Region Norddeutschland (23,8 Bq/kg in einem Flussbarsch, *Perca fluviatilis* im Stechlinsee) ermittelt (Tabelle T II.49). Der nächst-niedrigere Messwert stammte aus Mitteldeutschland. Dort wurden 17,9 Bq/kg FM (Tabelle T II.49) in einer Probe von Maränen (Coregonus sp.) aus dem Arendsee in Sachsen-Anhalt ermittelt. Damit ist ein deutlicher Rückgang der maximalen Messwerte von Fischen aus Seen Sachsen-Anhalts seit dem Jahr 2007 zu verzeichnen (bis zu 190 Bq/kg im Schollener See und 45 Bq/kg im Arendsee; siehe auch Jahresbericht 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 Verläufe der Cs-137-Werte von Proben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands über die Zeit unterscheiden sich allerdings nicht von denen derselben Gewässertypen Nord- und Süddeutschlands siehe (Abbildung B II 2.5-3 und Abbildung B II 2.5-4).

Für Forellen und Karpfen, den wirtschaftlich bedeutendsten Zuchtfischarten 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).

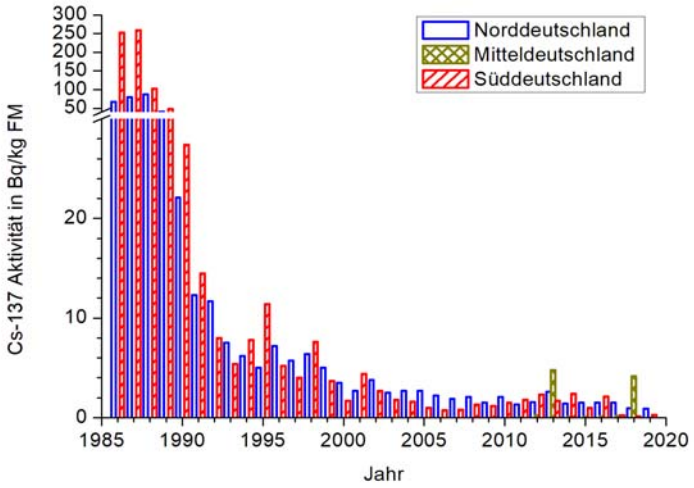


Abbildung B II 2.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from lakes in Bq/kg WW)

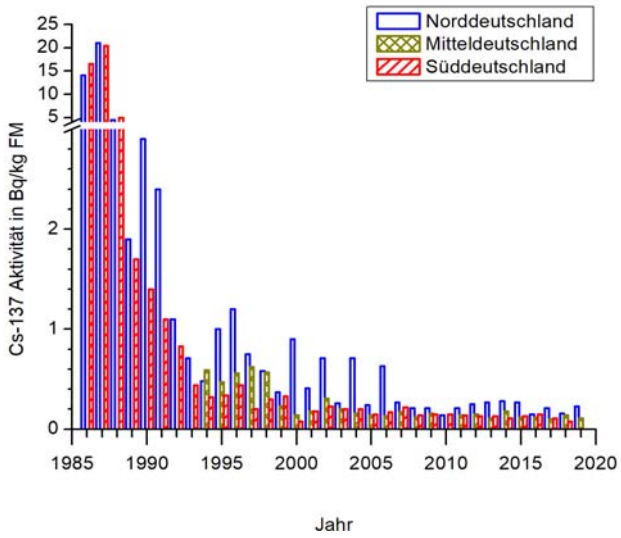


Abbildung B II 2.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms in Bq/kg WW)

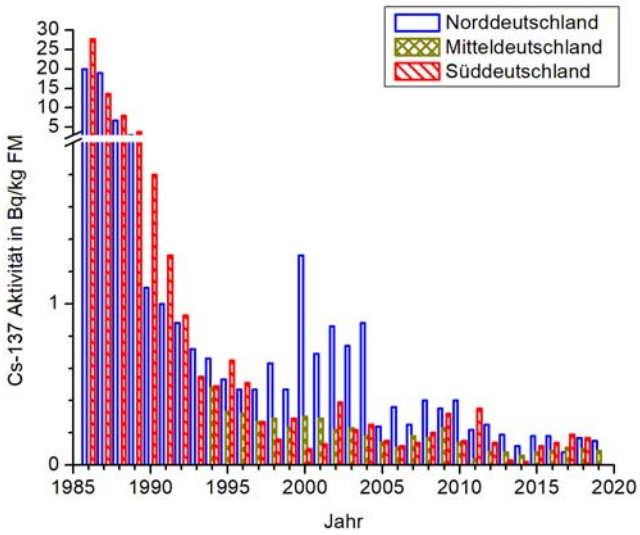


Abbildung B II 2.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers in Bq/kg WW)

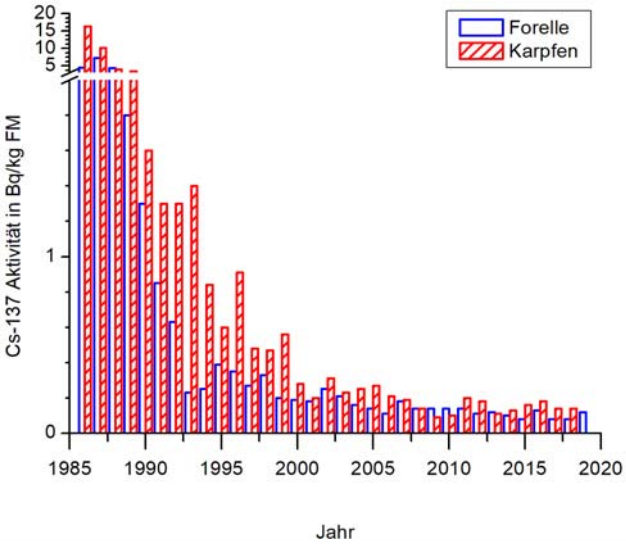


Abbildung B II 2.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in carp and trout in Bq/kg WW)

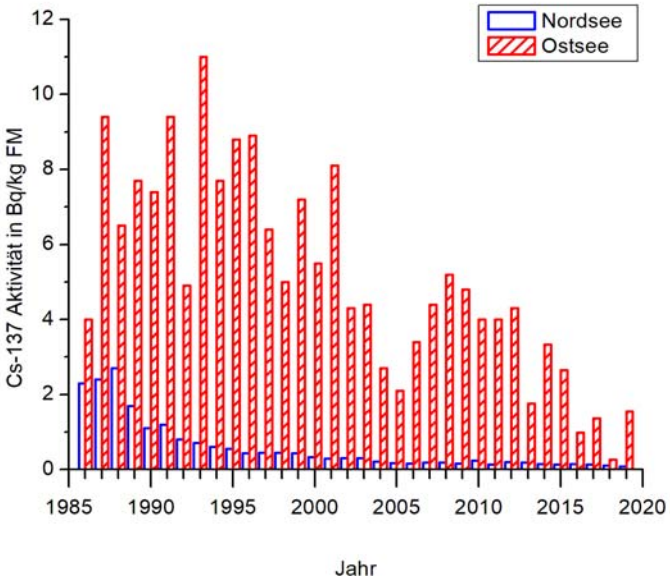


Abbildung B II 2.5-6
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM

(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 2019 unterhalb von 0,52 Bq/kg. Die mittlere Cs-137-Aktivität in Fischen der Nordsee beträgt 0,08 Bq/kg. Auch im Jahr 2019 waren die spezifischen Aktivitäten von Cs-137 in Fischen der Ostsee im Mittel höher als jene der Nordsee (Tabelle T II.51). Dies ist unter anderem auf Grund des höheren Wasseraustausches der Nordsee im Vergleich zur Ostsee erklärbar, 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 Einstrom von Wasser aus der Nordsee in die Ostsee 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 Nordseegarnelen (*Crangon crangon*) und Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) der Nordseeküste wurde auch im Jahr 2019 keine Cs-137-Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt (vgl. Tabelle T II.51). Für Garnelen ist dies 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) im Jahr 2019 nur für Seefisch oberhalb der Nachweisgrenze.

Wegen der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 werden Importe aus dem Pazifik zusätzlich separat betrachtet. Die Ergebnisse der Untersuchungen der deutschen Landesmessstellen auf Cs-137 sind in Tabelle T II.53 zusammengestellt. Die im Jahr 2019 in Seefischen aus dem Pazifik nachgewiesenen Aktivitäten von Cs-137 lagen mit einem Median von 0,11 Bq/kg und einem Maximalwert von 0,31 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.

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 2019 noch keine Ergebnisse von Sr-90-Bestimmungen vor.

Messergebnisse der Leitstelle im Routinemessprogramm

Während mehrerer Reisen mit dem Fischereiforschungsschiff (FFS) „Walther-Herwig III“ wurden Fischproben aus der Ostsee, der Nordsee, der Irischen See und der Grönlandsee genommen. Die bereits vorliegenden 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]). Im Vergleich mit der Nord- und der Ostsee ordnen sich die Messwerte der Irischen See etwa zwischen jenen dieser beiden Meere ein. Die höheren Messwerte sind auf die Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield (UK, Irische See) zurückzuführen. Allerdings sind deren Einleitungen, wie die aus der Wie-

deraufbereitungsanlage La Hague (F, Englischer Kanal), verglichen mit den 1980er und 1990er Jahren deutlich zurückgegangen, was sich im Verlauf der spezifischen Aktivitäten in Biota der Nordsee Abbildung B II 2.5-6 widerspiegelt.

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/strlsch_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 2019 wurden für 18 kerntechnische Anlagen Werte gamma-spektrometrischer Messungen (vor allem Cs-137) an 69 Fischfiletproben und 12 Proben von Wasserpflanzen gemeldet. Sr-90-Messungen wurden an 15 Fischfiletproben berichtet. Die Proben stammen von 19 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 Lebensmitteln führte auch 2019 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 eingegangen 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 verzehrsfertige 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 2019 mit 0,22 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.

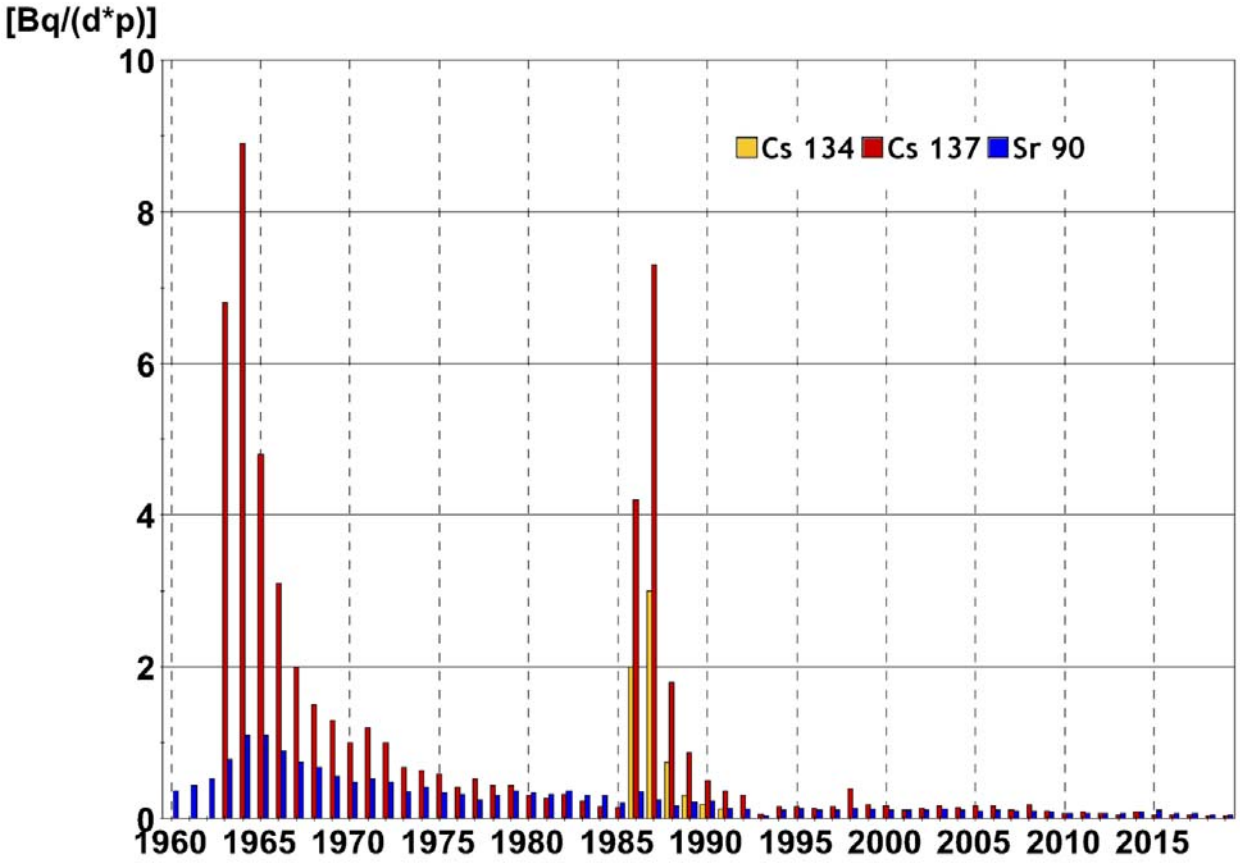


Abbildung B II 2.5-7 Jahresmittelwerte der Sr-90- , Cs-134- und Cs-137-Aktivitäten in der Gesamtnahrung (Annual mean values of Sr-90, Cs-137 and Cs-137 activities of whole diet)

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

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

2.5.8 Pflanzliche Lebensmittel in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

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 Lebensmittel liegen die nach dem Tschernobyl-Unfall deponierten Cäsium-137-Kontaminationen auf einem sehr niedrigen Niveau. Über die Jahre betrachtet verändern sich die Aktivitätskonzentration nur noch äußerst ge-

ringfügig. Wegen der kürzeren Halbwertszeit ist Cäsium-134 nicht mehr in pflanzlichen Lebensmitteln 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 Cäsium-137 (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 Anbaugebieten, erheblich variieren.

Im Jahr 2019 wurden drei Proben untersucht. Die mit Cs-137 am höchsten belastete Arzneimittelprobe war das Islandmoos (Tabelle T II.77). Die Messdaten von Islandmoos der Jahre 2000 bis 2019 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 bis 2018 und Gänsefingerkraut von 2000 bis 2019 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 2019 mit maximal 620 Bq/kg (TM) bei grünem Tee und minimal 71 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 2019 liegen die von den amtlichen Messstellen der Länder erhobenen Messergebnisse aus 96 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, Cs-137, I-131, 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 2019 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 gammaspektrometrische 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. Zudem werden die nach AVV-IMIS bei der gammaspektrometrischen Untersuchung im Mindesten mit zu dokumentierenden Radionuklide Ru-103, Cs-134 und Ce-144 überprüft. Sofern tatsächliche Messwerte für diese genannten Radionuklide erhoben wurden, werden die Messergebnisse für die jeweiligen Umweltberichte berichtet. Eine ergänzende Ausweisung in Tabelle T II.82 wird nicht vorgenommen.

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 2019 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 1 400 Bq/kg TM (Vorjahr bis 1 200 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 250 Bq/kg TM bzw. 230 Bq/kg TM (Vorjahr 280 Bq/kg TM bzw.250 Bq/kg TM). Aus Kapazitätsgründen konnten die Messstellen in Baden-Württemberg und Bremen für das Berichtsjahr 2019 keine bzw. nur eine deutlich verminderte Anzahl an 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 1 600 Bq/kg TM (Vorjahr 1 400 Bq/kg TM) bestimmt.

In einem Teil der Abwasser- und Klärschlammproben wurde das hauptsächlich aus nuklearmedizinischen Anwendungen stammende Radionuklid I-131 (Halbwertszeit: 8 Tage) nachgewiesen (Medianwert für Klärschlamm: 24 Bq/kg TM; Maximalwert: 1 000 Bq/kg TM; Vorjahr 24 Bq/kg TM bzw. 3 400 Bq/kg TM); in einzelnen Proben das kurzlebige Technetium-99m (Tc-99m; Maximalwert Klärschlamm: 380 Bq/kg TM), Indium-111 (In-111; Maximalwert 9,8 Bq/kg TM) und Lutethium-177 (Lu-177, Maximalwert: 1 990 Bq/kg TM). In vier Klärschlammproben der Kläranlage Hamburg-Köhlbrandhöft und einer Klärschlammprobe der Anlage Arnsberg wurden Messwerte für Plutonium-(239+240) oberhalb der Nachweisgrenze übermittelt (Maximalwert Pu-(239+240): 0,59 mBq/kg TM). Zusätzlich wurden für die Anlage München I für Pu-(239+240) und Pu-238 Messwerte zwischen der Erkennungs- und Nachweisgrenze in Klärschlammproben (Maximalwert Pu-(239+240): 1,2 Bq/kg TM; NWG: 2,3 Bq/kg TM und Pu-238-Einzelwert: 0,0008 Bq/l, NWG 0,0018 Bq/l) und Abwasserproben (Maximalwert Pu-(239+240): 0,0005 Bq/l, NWG: 0,0013 Bq/l) erhoben.

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). Mit einer Ausnahme im Berichtsjahr 2018, wurde in allen Jahren seit 2012 kein Cs-134 mehr in Klärschlammproben bestimmt.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 in Abwässern lag nahezu 100 % unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenze. Lediglich zwei tatsächliche Messwerte für die Cs 137-Aktivitätskonzentration wurden für die Kläranlage Herford mit 0,065 Bq/l (NWG 0,061 Bq/l) und die Kläranlage Berlin-Ruhleben mit 0,0015 Bq/l (NWG 0,0015 Bq/l) angegeben. Der Median sämtlicher Werte lag bei <0,03 Bq/l (2018: <0,032 Bq/l). In 46 % der Proben konnte Sr-90 mit Werten zwischen 0,0008 und 0,092 Bq/l nachgewiesen werden. Der Median aller Ergebnisse beträgt 0,0079 Bq/l (2018: <0,0098 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 Reaktorka-

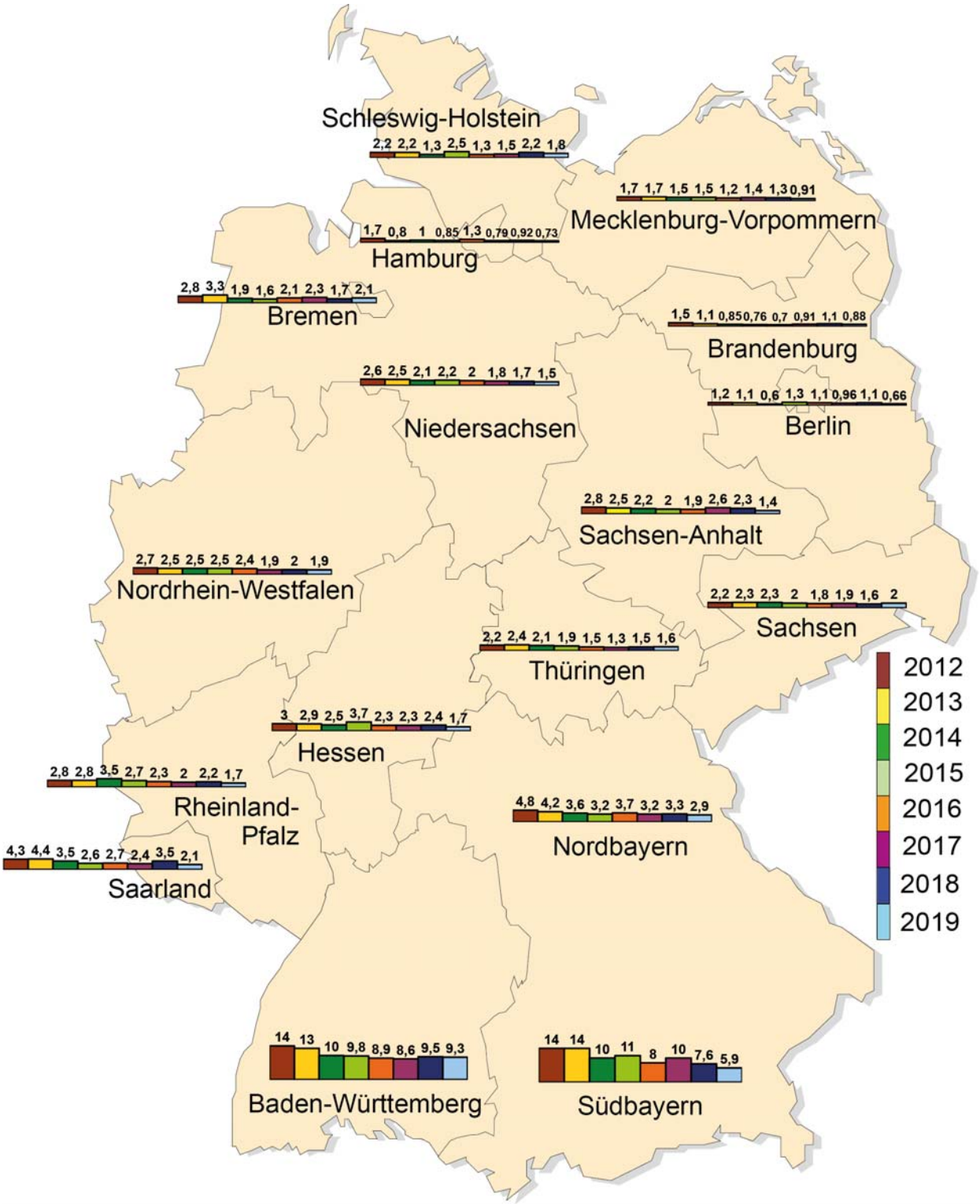


Abbildung B II 2.6-1 Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)

(Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal states)

tastrophe 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 im Jahresmittel höchsten Kontaminationen in Süddeutschland zeigten im Jahr 2019 - wie in allen vorherigen Berichtsjahren seit dem Tschernobyl-Ereignis - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg).

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, 31 und 21 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 Klärschlamms 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 6 Bq/kg TM und 20 Bq/kg TM. Auf 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 21 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 4 Bq/m^2 Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flächenbelastung von zurzeit ca. 15 000 Bq/m^2 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 2019 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 gammaspektrometrische 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. Zudem wurden die nach AVV-IMIS bei der gammaspektrometrischen Untersuchung mit im Mindesten zu dokumentierenden Radionuklid Ru-103, Cs-134 und Ce-144 überprüft. Sofern tatsächliche Messwerte für diese genannten Radionuklide erhoben wurden, werden sie für die jeweiligen Umweltbereiche berichtet. Eine ergänzende Ausweisung in Tabelle T II.83 wird nicht vorgenommen.

Für Cs-137 erfolgt in Tabelle T II.83 eine zusätzliche Differenzierung zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel, da diese etwa die Grenze zwischen den durch die Reaktorkatastrophe 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 36 % der untersuchten Proben Cs-137 nachgewiesen. Die Werte der Cs-137-Aktivitätskonzentration liegen zwischen 0,0028 Bq/l und 0,13 Bq/l (2018: 0,0047 Bq/l und 0,20 Bq/l). Der Median aller Ergebnisse beträgt <0,036 Bq/l (2018: 0,043 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,13 Bq/l und 56 Bq/l gemessen und aus sämtlichen Ergebnissen ein Median von 11 Bq/l (2018: 0,29 Bq/l bis 39 Bq/l, Median: 12 Bq/l) berechnet.

H-3 wurde in 85 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 1,1 Bq/l und 190 Bq/l (2018: 0,88 Bq/l bis 430 Bq/l) nachgewiesen. Der Median liegt wie im Vorjahr bei 20 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 190 Bq/kg TM (2018: 310 Bq/kg TM ebenfalls in Landshut) gemessen. Der Median sämtlicher Ergebnisse wurde für Cs-137 mit 14 Bq/kg TM (2018: 17 Bq/kg TM) bestimmt.

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 300 Bq/kg TM bis 3 500 Bq/kg TM, der Median aller mitgeteilten Ergebnisse bei 1 300 Bq/kg TM (2018: 290 Bq/kg TM bis 6 200 Bq/kg TM, Median: 1 400 Bq/kg TM).

Die Aktivitätskonzentrationen für Co-60 sind ausschließlich unterhalb der geforderten Nachweisgrenze, der Median beträgt <0,47 Bq/kg TM (2018: <0,48 Bq/kg TM).

In 16 von insgesamt 47 Proben wurde das aus nuklearmedizinischen Anwendungen stammende Radionuklid I-131 mit Werten von 0,37 Bq/kg TM bis 20 Bq/kg TM bestimmt. Der Median aller I-131 Ergebnisse beträgt <1,1 Bq/kg TM (2018: <1,2 Bq/kg TM).

Für eine Probe aus der Müllverbrennungsanlage Herten wurde ein Messwert für Cs-134 mit 1,21 Bq/kg TM und einer Nachweisgrenze von 0,63 Bq/kg übermittelt.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt die maximale bestimmte spezifische Aktivität von Cs-137 22 Bq/kg TM (2018: 47 Bq/kg TM). Der Median aller Ergebnisse liegt bei 1,3 Bq/kg TM (2018: 1,4 Bq/kg TM).

In allen Proben konnte K-40 mit spezifischen Aktivitäten zwischen 130 Bq/kg TM und 1 500 Bq/kg TM (2018: 120 Bq/kg TM bis 2 100 Bq/kg TM) nachgewiesen werden. Für I-131 wurden für 4 von 69 Proben tatsächliche Messergebnisse im Bereich von 1,3 Bq/kg TM bis 17 Bq/kg TM (2018: 0,41 Bq/kg TM bis 34 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 (2018: <0,22 Bq/kg TM) wurde für das Jahr 2019 berechnet.

In einzelnen Proben der Klärschlammverbrennungsanlage Berlin-Ruhleben wurden die kurzlebigen Radionuklide Technetium-99m (Tc-99m; Maximalwert: 117 Bq/kg TM) und Indium-111 (In-111; Maximalwert: 13 Bq/kg TM) nachgewiesen.

Bei den **festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** (Gips und Sorptionsprodukte) konnte in 70 % der untersuchten Proben Cs-137 nachgewiesen werden. Der größte tatsächlich bestimmte Messwert lag bei 56 Bq/kg TM (2018: 55 Bq/kg TM). Der Median sämtlicher Ergebnisse des Bundesgebietes beträgt 2,6 Bq/kg TM (2018: 1,6 Bq/kg TM).

Die spezifischen K-40-Aktivitäten liegen im Bereich von 1,8 Bq/kg TM bis 1 800 Bq/kg TM (2018: ebenfalls 1,8 Bq/kg TM bis 1 800 Bq/kg TM) mit einem Median sämtlicher Ergebnisse von 300 Bq/kg TM (2018: 190 Bq/kg TM).

Für I-131 wurden in 73 % der Proben spezifische Aktivitäten von 0,16 Bq/kg TM bis 130 Bq/kg TM (2018: 0,50 Bq/kg TM bis 160 Bq/kg TM) bestimmt.

Bei den **flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** wurden Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 zwischen 0,028 Bq/l und 2,3 Bq/l (2018: 0,046 Bq/l bis 1,7 Bq/l) angegeben. Der Median aller Ergebnisse liegt bei <0,093 Bq/l (2018: <0,091 Bq/l).

I-131 wurde in 28 von 34 untersuchten Proben mit Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,12 Bq/l und 880 Bq/l (2018: 0,18 Bq/l und 500 Bq/l) bestimmt; ein Median von 2,1 Bq/l (2018: 4,0 Bq/l) wurde über sämtliche Werte berechnet.

In der Müllverbrennungsanlage Herten wurde in einer Probe Ce-144 mit 0,18 Bq/l (NWG 0,37 Bq/l) nachgewiesen. Eine Probe in einer Anlage in Essen enthielt 0,074 Bq/l Ru-103 (NWG 0,142 Bq/l).

Die Untersuchung des **Kompostes** ergab für Cs-137 spezifische Aktivitäten zwischen 1,6 Bq/kg TM und 27 Bq/kg TM (2018: 1,7 Bq/kg TM bis 34 Bq/kg TM). Der Median aller Ergebnisse beträgt 4,3 Bq/kg TM (2018: 4,4 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 29 Bq/kg TM bis 780 Bq/kg TM, der Median aller erhobenen Daten bei 490 Bq/kg TM (2018: 240 Bq/kg TM bis 780 Bq/kg TM, Median: 490 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 123) 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 27 Bq/kg TM angepflanzt werden, so würde das nach § 47 StrlSchV zu einer Aktivitätskonzentration in der Pflanze von bis zu 1,4 Bq/kg FM 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 125]) 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 1,4 Bq/kg FM in der Pflanze (Annahme: Wurzelgemüse, Kartoffel, Säfte) für die Altersgruppe <1 a und den Erwachsenen (>17 a), würde man Werte von 2,6 und 2,9 µSv/a erhalten (siehe Seite 123), 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] Ehlken 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). Beim KIT wurden die Messungen mit Ablauf des Jahres 2018 eingestellt; die übrigen Messstellen haben die Messungen an Referenzgruppen größtenteils schon vorher 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 Nachweisgrenze 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 0,24 mSv.

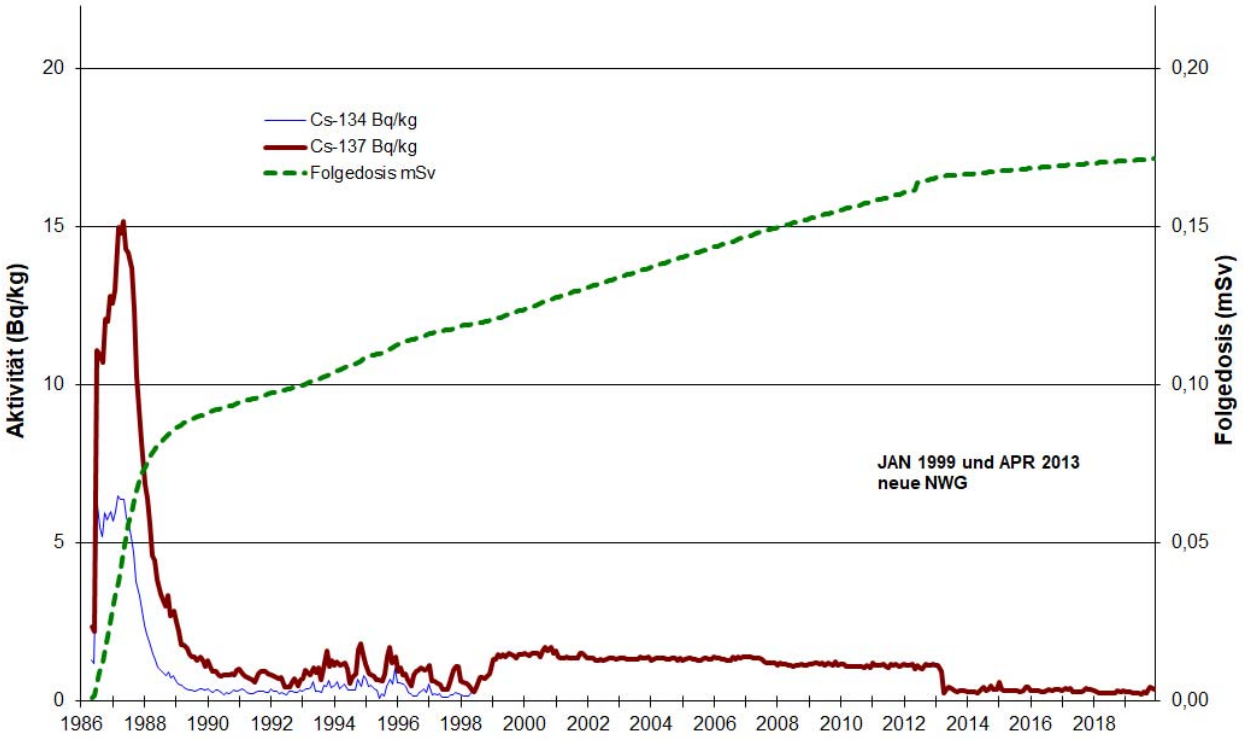


Abbildung B II 2.8-1 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: BfS-München, Frauen

(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure Reference group: BfS Munich, women)

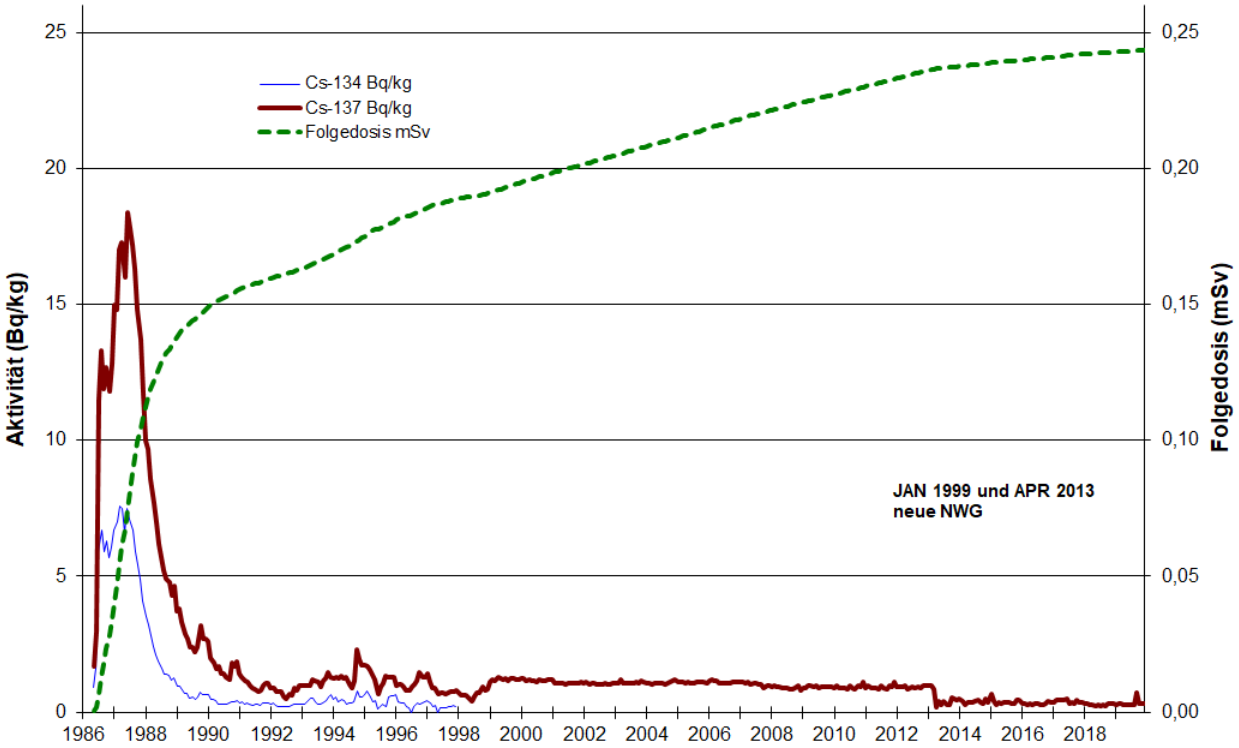


Abbildung B II 2.8-2 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: BfS-München, Männer

(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure Reference group: BfS Munich, men)

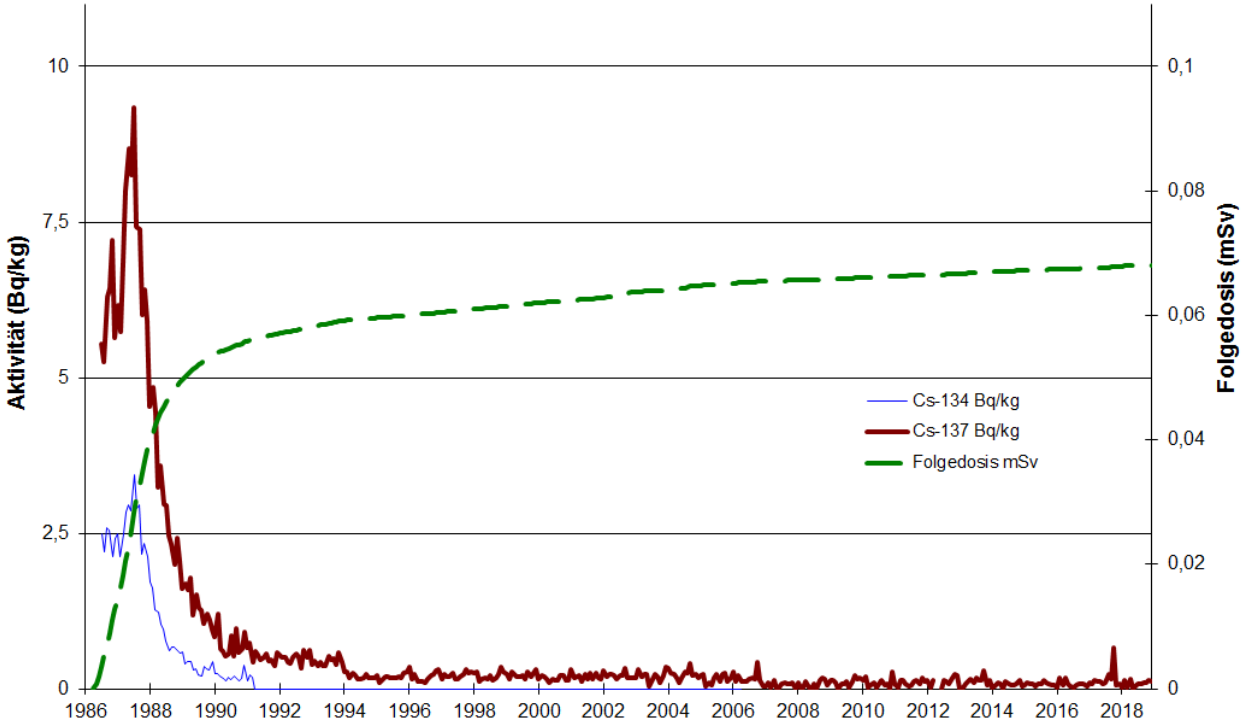


Abbildung B II 2.8-3 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen

(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure Reference group: Karlsruhe, women)

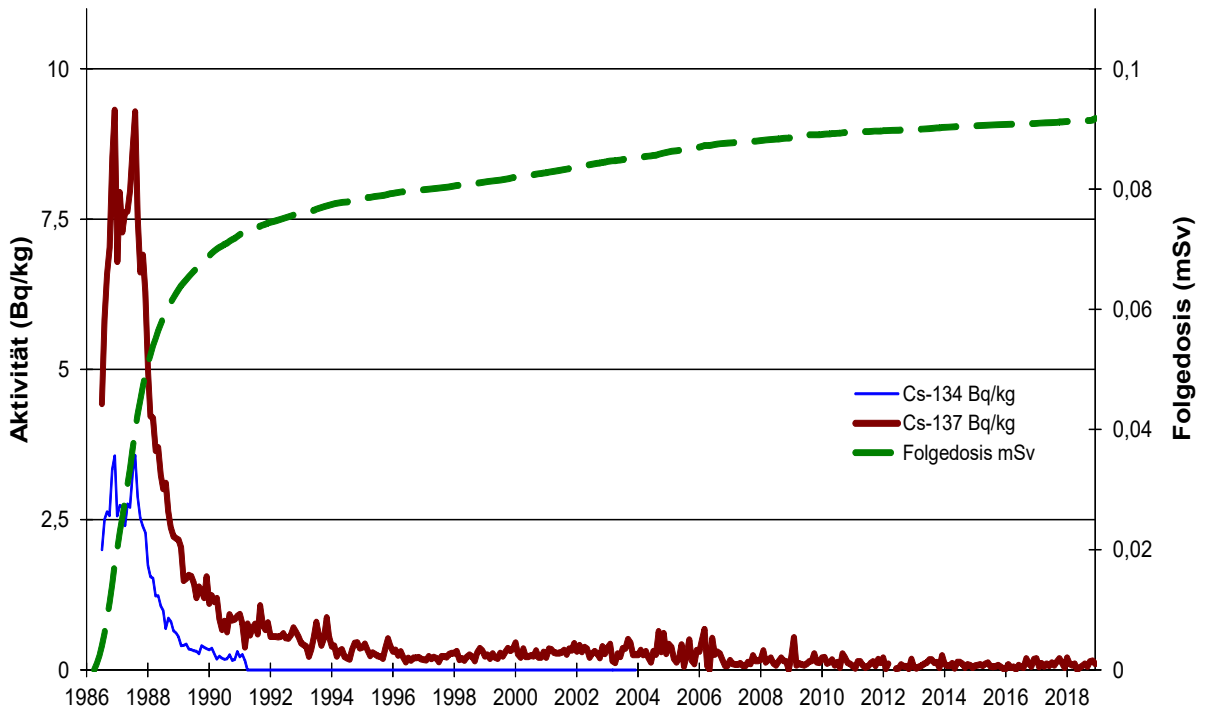


Abbildung B II 2.8-4 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer

(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure Reference group: Karlsruhe, men)

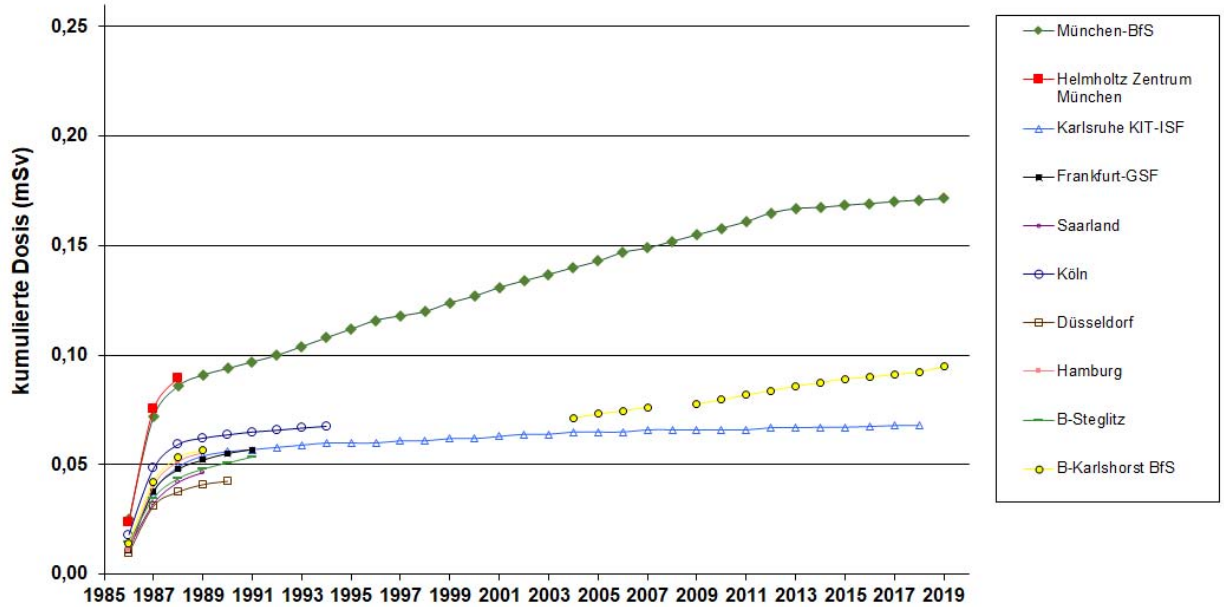


Abbildung B II 2.8-5 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium Vergleich der Referenzgruppen: Frauen

(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium Comparison of reference groups: women)

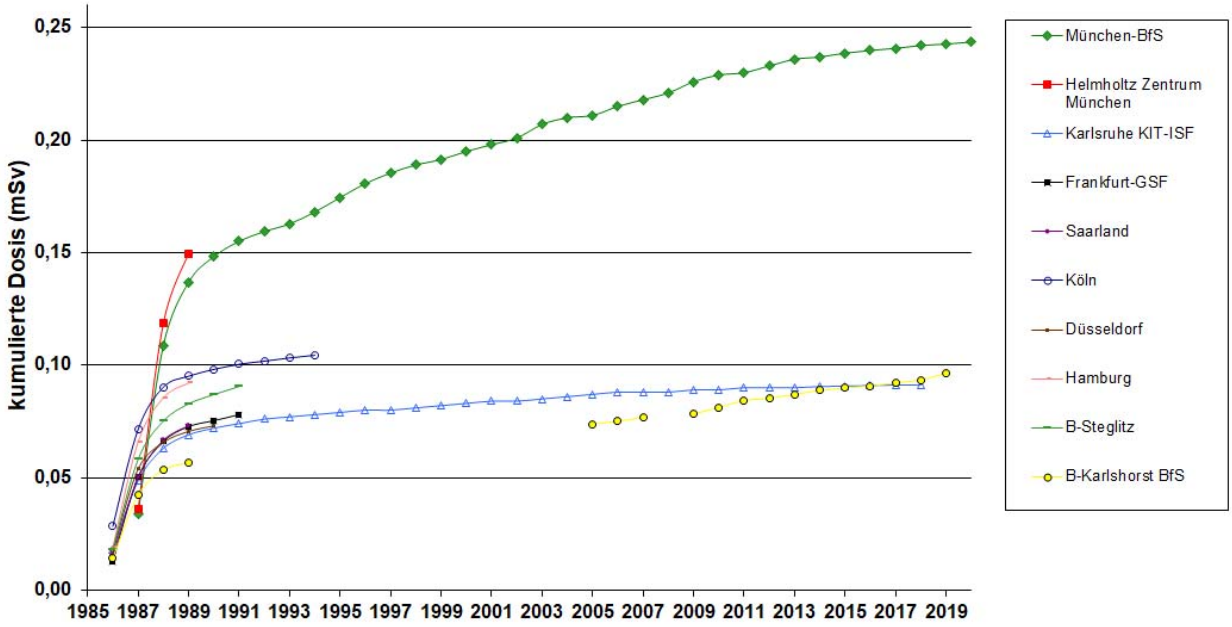


Abbildung B II 2.8-6 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium Vergleich der Referenzgruppen: Männer

(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium Comparison of reference groups: men)

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

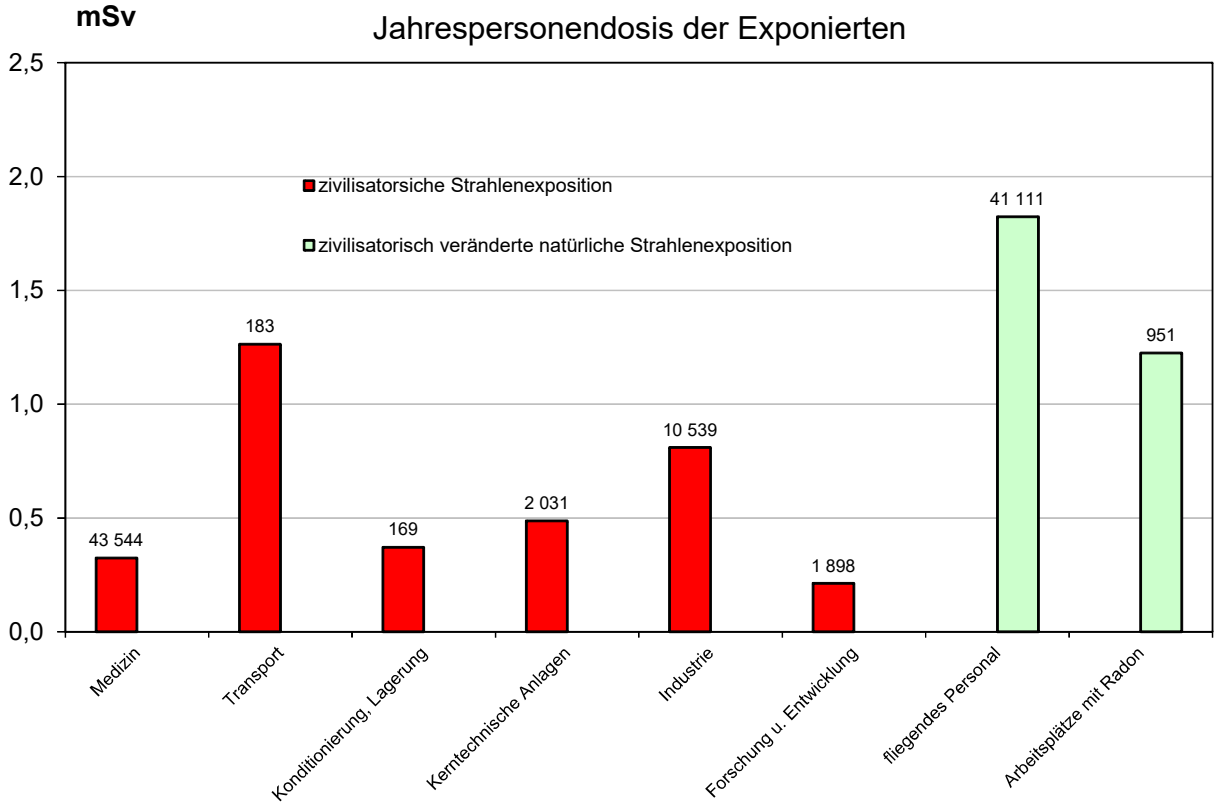


Abbildung B III-1 **Mittlere Jahrespersonendosis und Anzahl der beruflich strahlenexponierten Personen mit Jahresdosen > 0 mSv in Deutschland im Jahr 2019 in ausgewählten Tätigkeitsbereichen (Zahlen über den Balken: Anzahl der exponierten Personen)**

(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 2019 - 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.: Arbeitskittel 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.

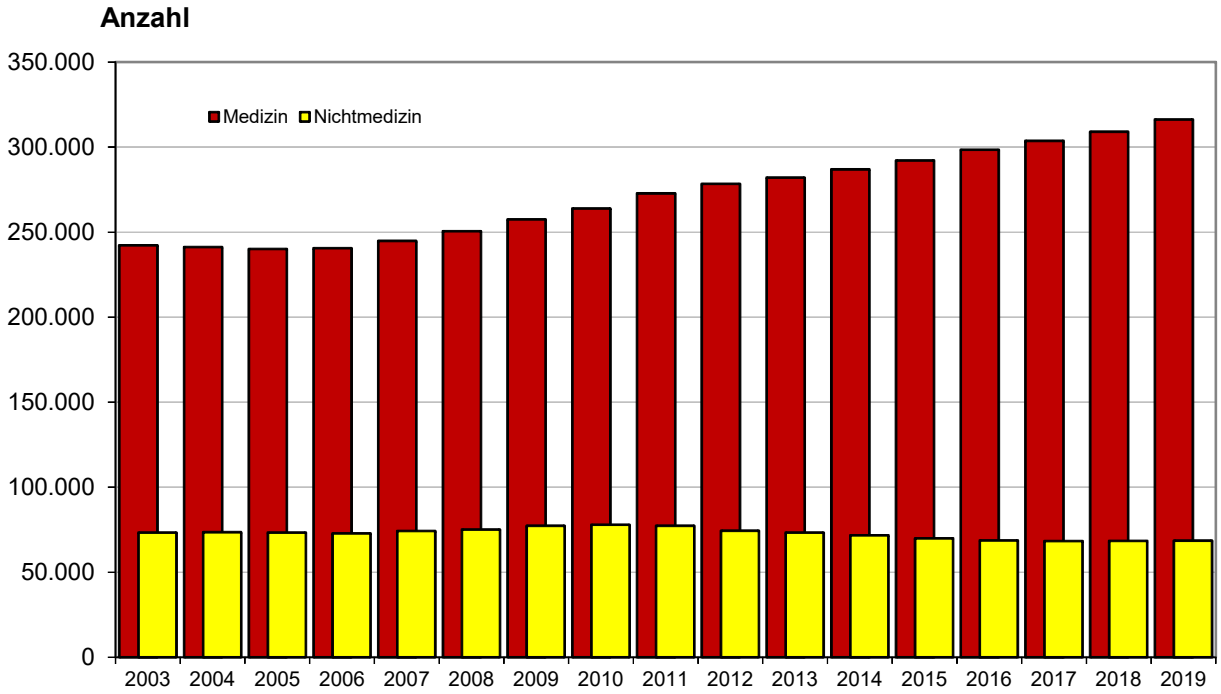


Abbildung B III 1.1-1 Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen
(Number of persons monitored with dosimeters)

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 2019 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-

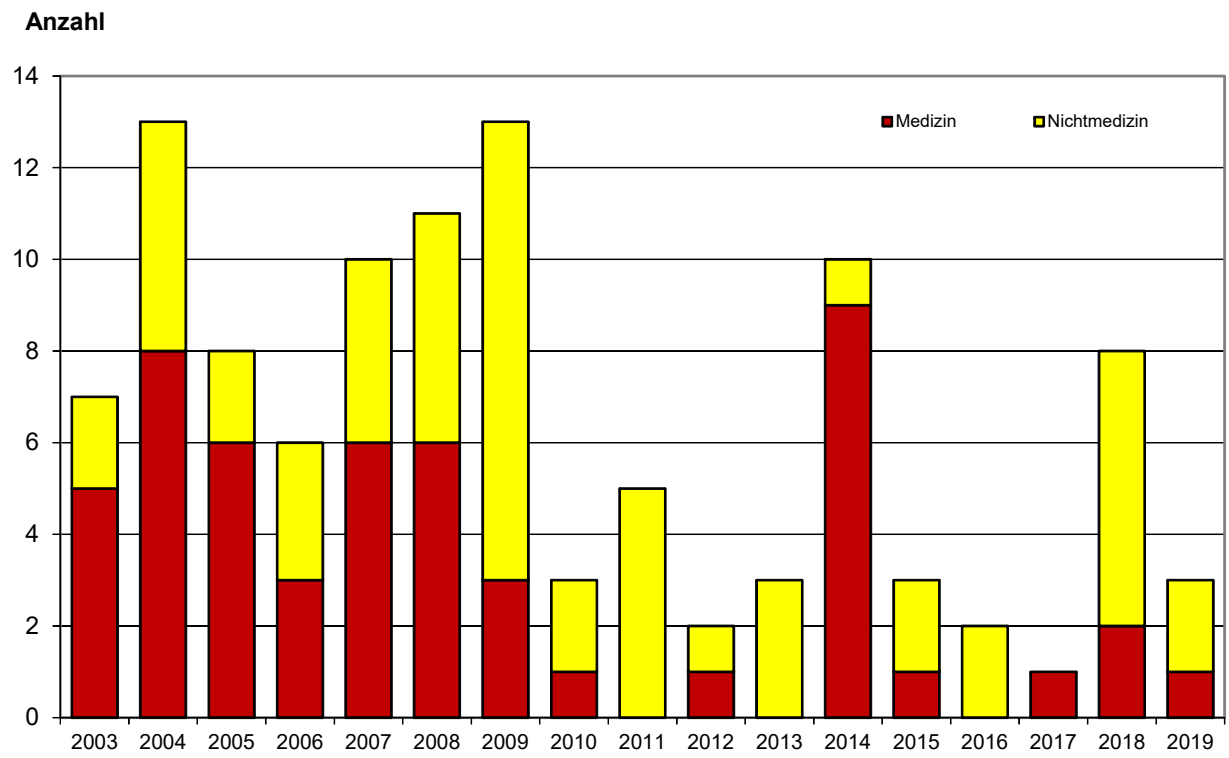


Abbildung B III 1.1-2 Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv
(Number of persons monitored using dosimeters exhibiting annual personal doses above 20 mSv)

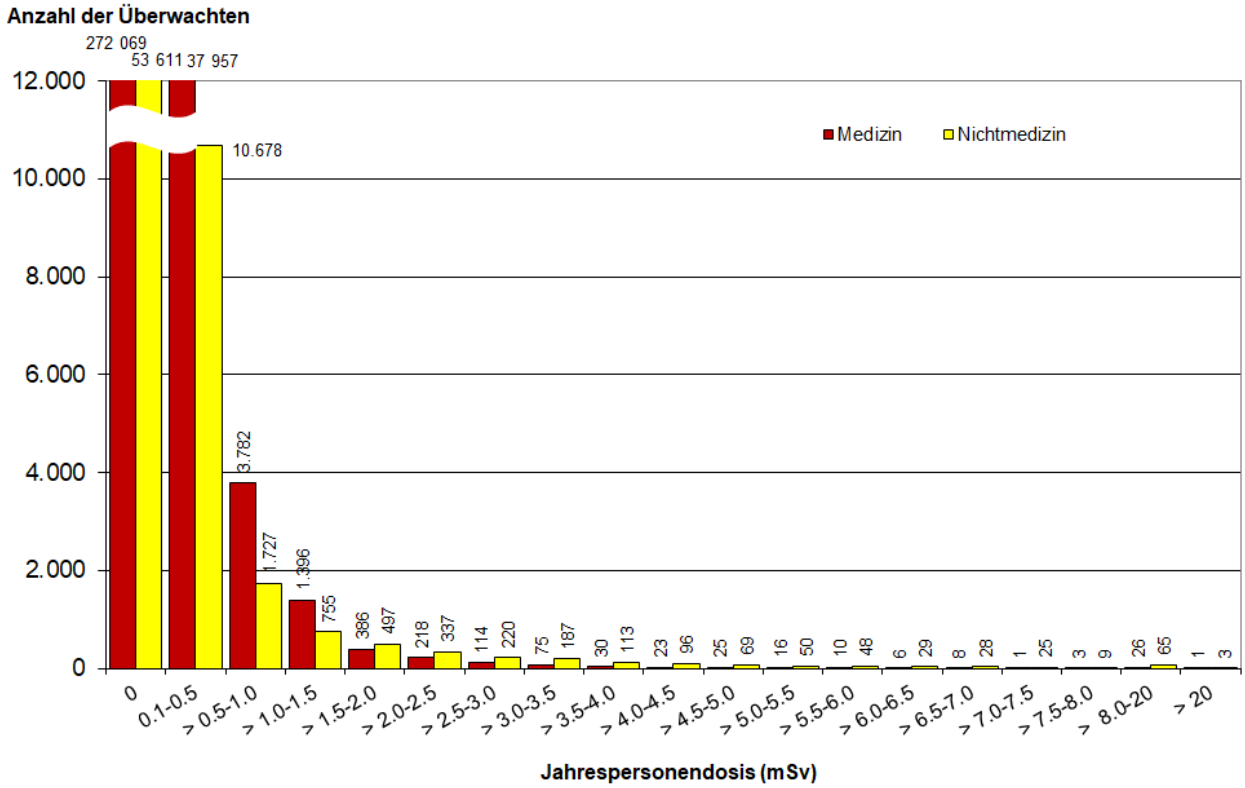


Abbildung B III 1.1-3 Verteilung der Jahrespersonendosen der mit Dosimetern überwachten Personen im Jahr 2019
(Distribution of annual personal doses of employees - monitored using dosimeters in 2019)

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 2019 betrug 0,06 mSv. Bildet man den Mittelwert über jene Personen, die einer messbaren Strahlenexposition ausgesetzt waren (ca. 59 000 Personen), so ergibt sich für diese Gruppe der Exponierten eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,46 mSv (Vorjahr: 0,46 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 2019 für die Hände bei ca. 25 000 Personen durchgeführt. Von diesen 25 000 Überwachten wiesen ca. 8 000 Personen Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv auf (untere Erkennungsgrenze für Teilkörperdosimeter). Im Jahr 2019 kam es zu drei Überschreitungen des Grenzwertes für Hände von 500 mSv.

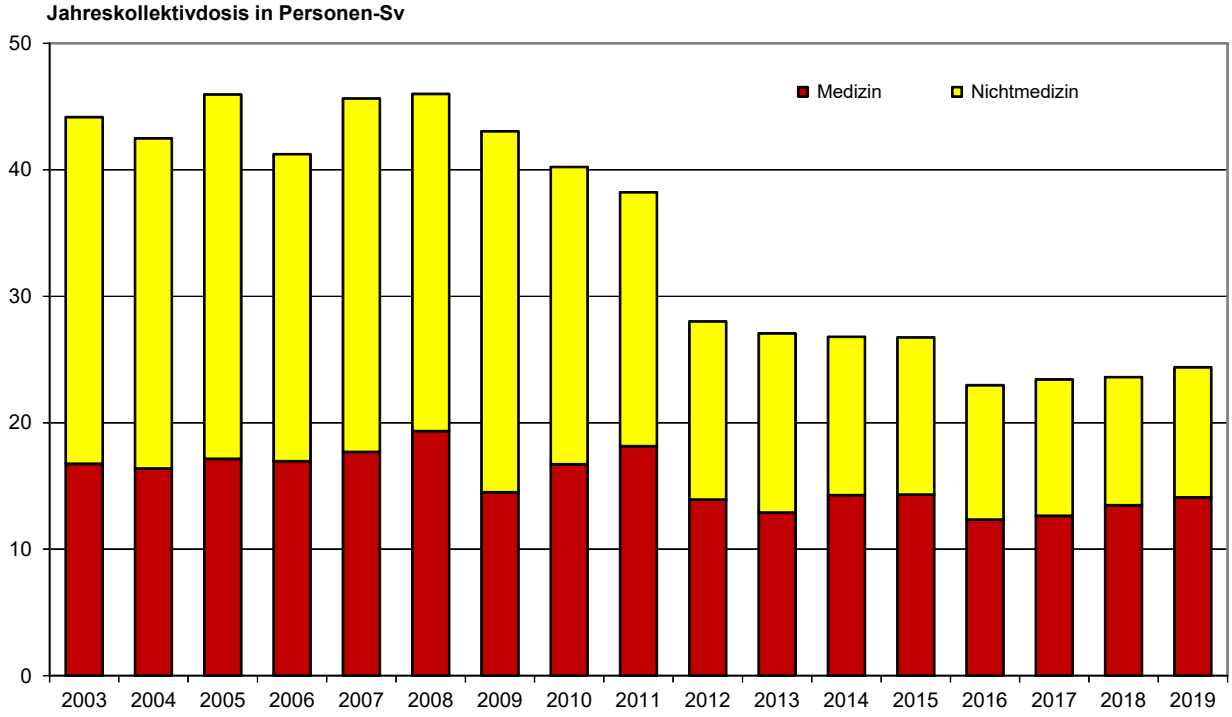


Abbildung B III 1.1-4 Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(Annual collective dose of the persons monitored with personal dosemeters)

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 2019 bei Beschäftigten in den verbliebenen sieben Kernkraftwerken sowie 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

Bereits mit der Strahlenschutzverordnung von 2001 (StrlSchV 2001) wurden die Anforderungen der EU-Richtlinie 96/29 Euratom in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist damit auch fliegendes Personal, welches in Luftfahrzeugen eingesetzt wird, die in der Deutschen Luftfahrzeugrolle eingetragen sind und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann. Gleiches gilt unabhängig vom Eintragungsstaat, wenn das eingesetzte, fliegende Personal in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht. Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit Computerprogrammen die Dosiswerte der kosmischen

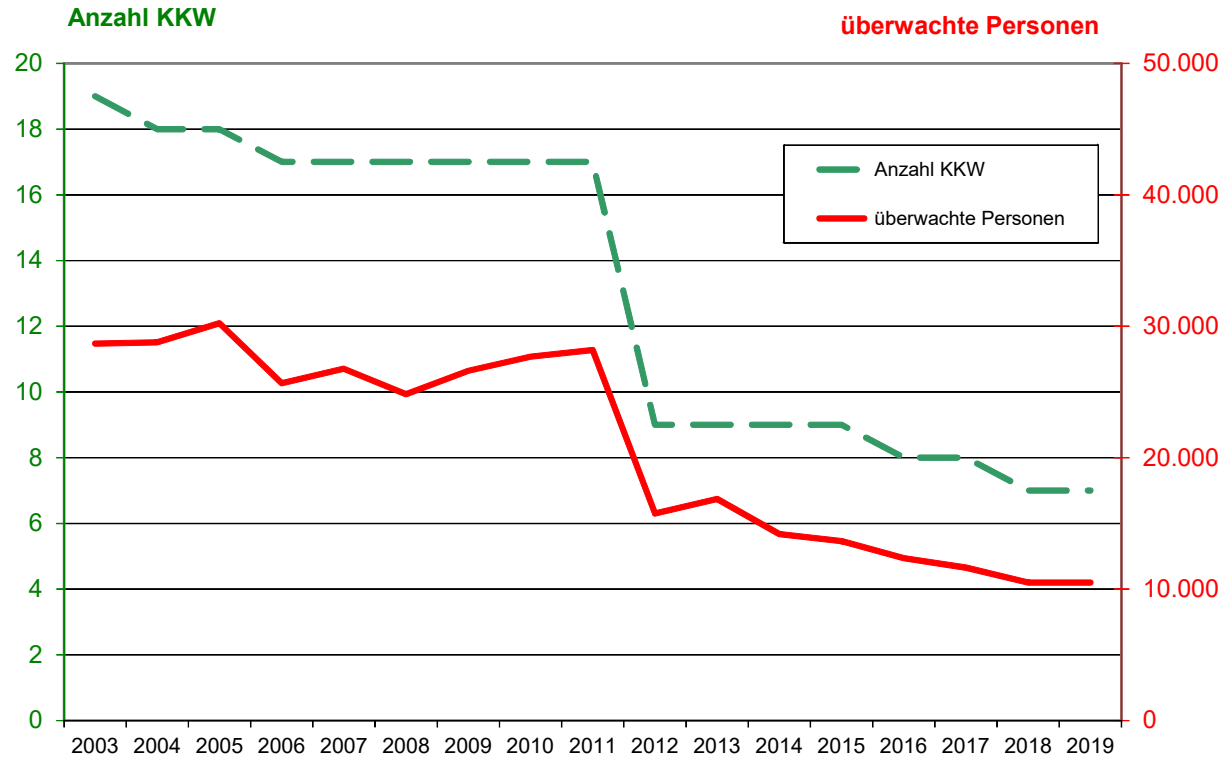


Abbildung B III 1.2-1 Anzahl Kernkraftwerke zur Stromerzeugung und überwachtes Personal
(Number of NPPs for power generation and occupationally exposed persons)

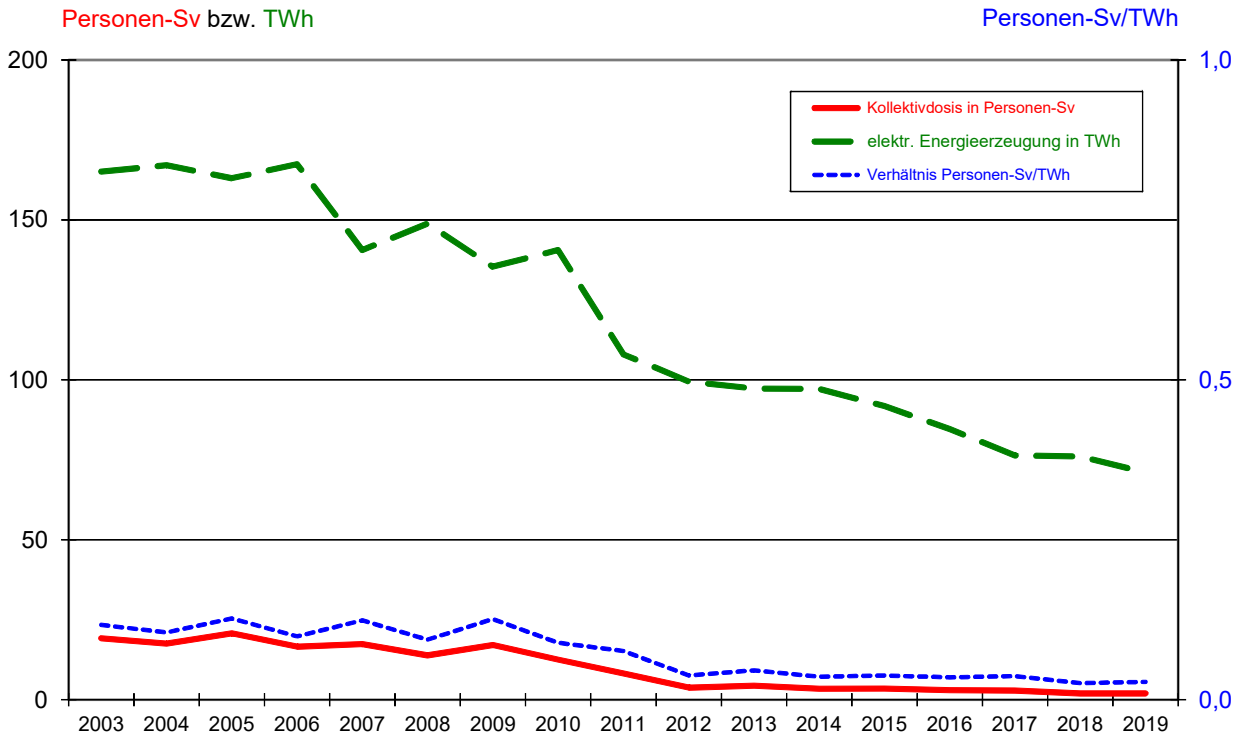


Abbildung B III 1.2-2 Erzeugte Energie, Kollektivdosis und Dosis pro Energie
(Produced energy, collective dose and dose/energy)

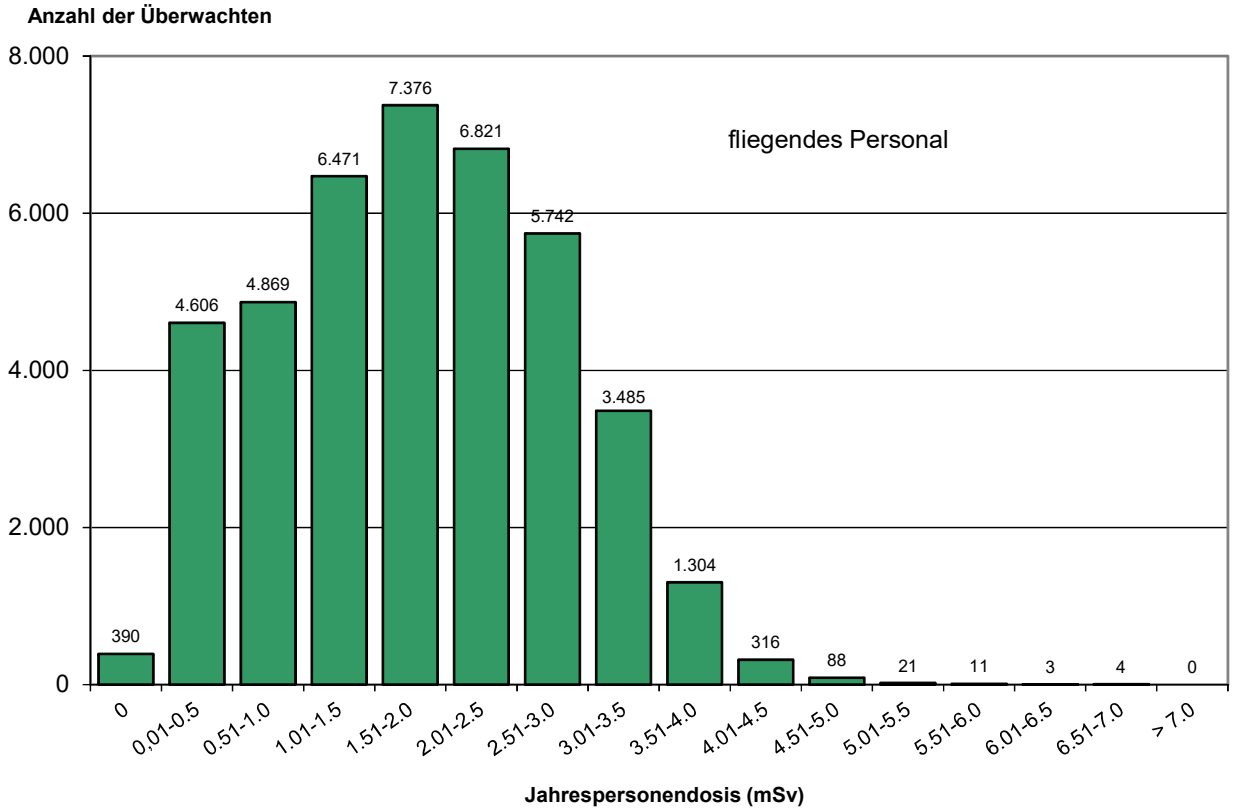


Abbildung B III 2-1 Verteilung der Jahresdosis für fliegendes Personal 2019
(Distribution of the annual personal doses of aircraft crew personnel 2019)

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 2019 insgesamt ca. 41 500 „fliegende“ Personen (Vorjahr: 44 000) überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis betrug 1,8 mSv (Vorjahr: 2,0 mSv). Der höchste Jahrespersonendosiswert liegt bei 6,7 mSv. Die Verteilung ist in Abbildung B III 2-1 wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2019 beträgt ca. 75 Personen-Sv. Damit zählt das fliegende Personal bezüglich der Kollektivdosis und der mittleren Jahresdosis zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen Deutschlands. Sowohl die Form der Dosisverteilung als auch ihre zeitliche Schwankung (Abbildung B III 2-2) ist nicht mit anderen Berufsgruppen vergleichbar. Wichtige Einflussgrößen auf die Jahresdosis sind die Flugaktivität und 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 2019 dem Strahlenschutzregister im BfS für 951 Personen (Vorjahr: 382 Personen) Dosiswerte übermittelt. Von diesen 951 Personen führten 538 Personen (Vorjahr: 43 Personen) Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH aus, dort nahm die Anzahl der Beschäftigten gegenüber den Vorjahren stark zu. Die Kollektivdosis der 951 Beschäftigten betrug 1,2 Personen-Sv, die mittlere Jahrespersonendosis 1,2 mSv (Vorjahr: 2,4 mSv). Im Jahr 2019 gab es wie im Vorjahr keine Überschreitung des Jahresgrenzwertes von 20 mSv. Der höchste Wert der effektiven Jahresdosis betrug 14 mSv (Vorjahr: 14 mSv). Die Dosisverteilung zeigt Abbildung B III 3-1.

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 571 Personen im Jahr 2019 (Vorjahr: 1 355) überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,04 Personen-Sv. Die höchste Jahrespersonendosis infolge von Inkorporation lag bei 14,5 mSv. Von den 571 Überwachten hatten lediglich 37 Personen Dosiswerte oberhalb der Nachweisgrenze.

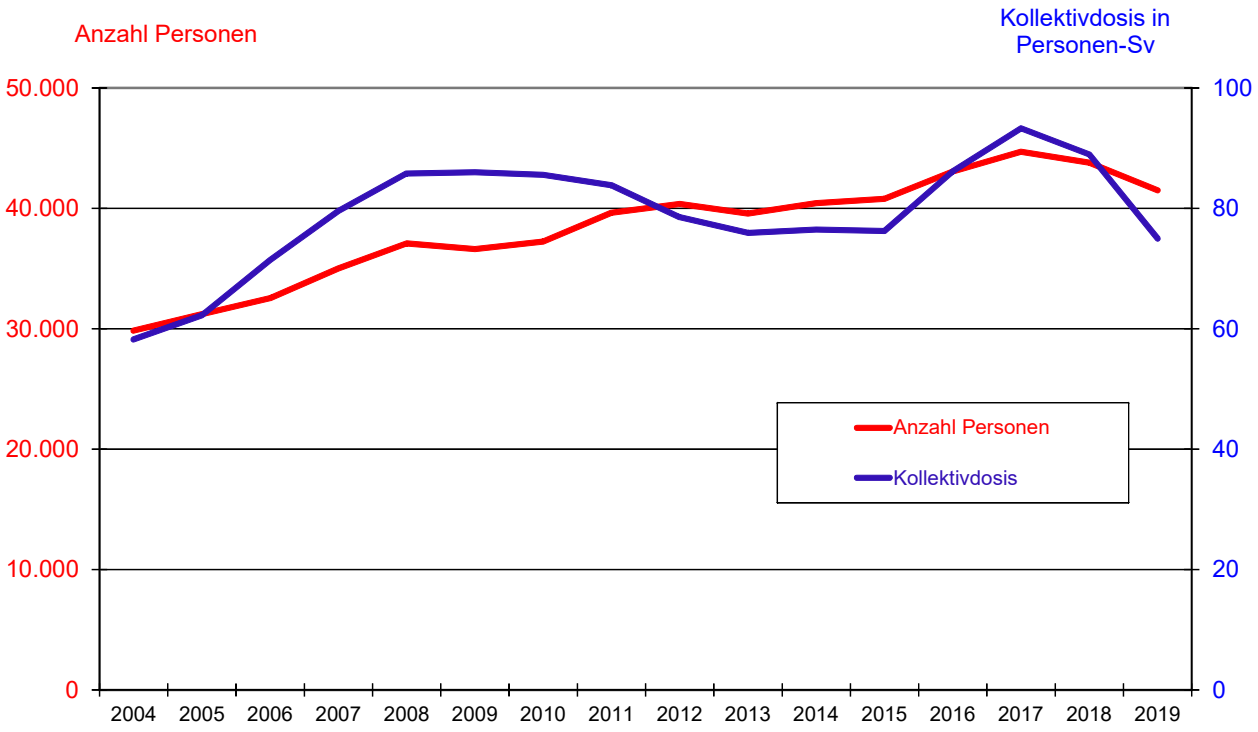


Abbildung B III 2-2 Anzahl Personen des fliegenden Personals und Jahreskollektivdosis
(Number of aircraft crew personnel and annual collective dose)

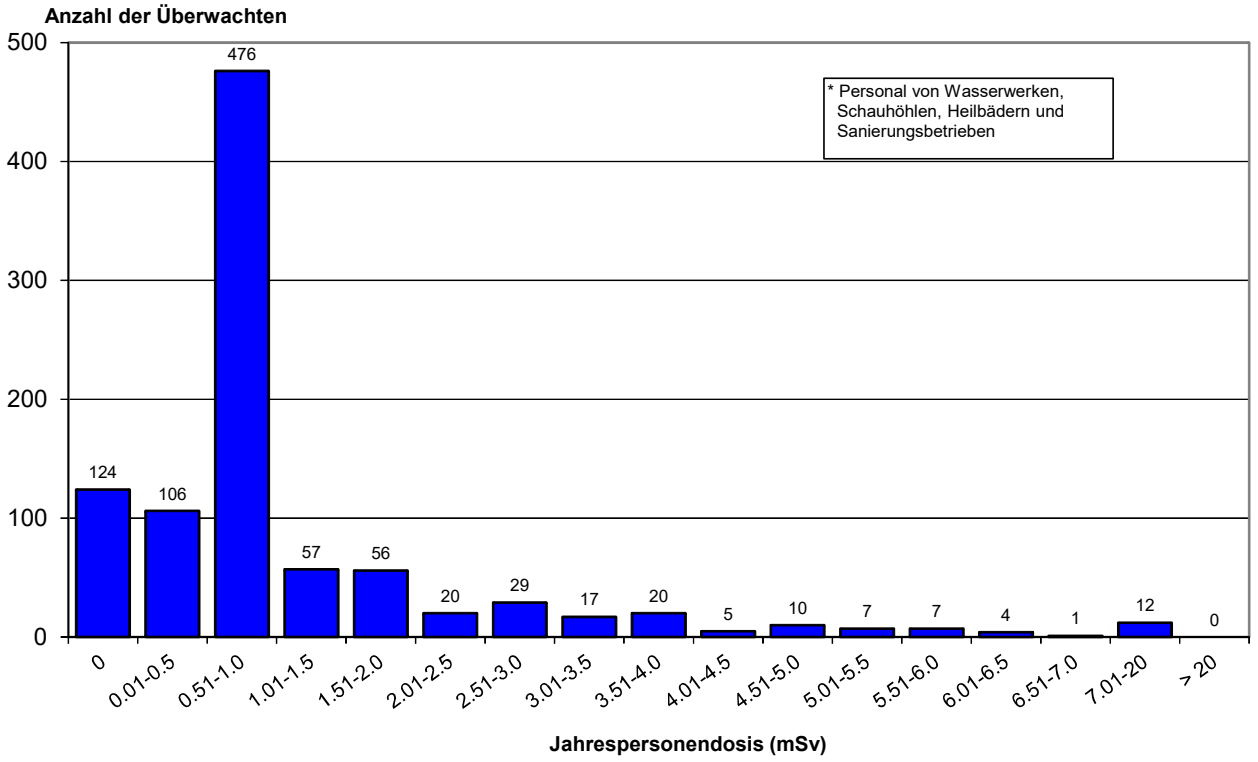


Abbildung B III 3-1 Verteilung der Jahrespersonendosen durch natürlich erhöhte Radonexposition 2019
(Distribution of annual personal doses from naturally enhanced radon exposure 2019)

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.

Nach § 125 Abs. 3 StrlSchV ermittelt das Bundesamt für Strahlenschutz mindestens alle zwei Jahre die medizinische Exposition der Bevölkerung und ausgewählter Bevölkerungsgruppen. Gegenüber dem Vorbericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2018“ (http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021011124821) hat sich im Bezug auf die Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen keine neue Datenanlage ergeben. Es wird daher auf diesen Bericht verwiesen. Um den Zusammenhang zu wahren, wird die auf den Daten für die Jahre 2007 bis 2016 beruhende Auswertung hier nochmals wiedergegeben. Der Status des Mammographie-Screening-Programms sowie die Angaben zur medizinischen Forschung wurden aktualisiert. Ein Absatz über die bedeutsamen Vorkommnisse in der Medizin nach der neuen StrlSchV wurde ergänzt.

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] .

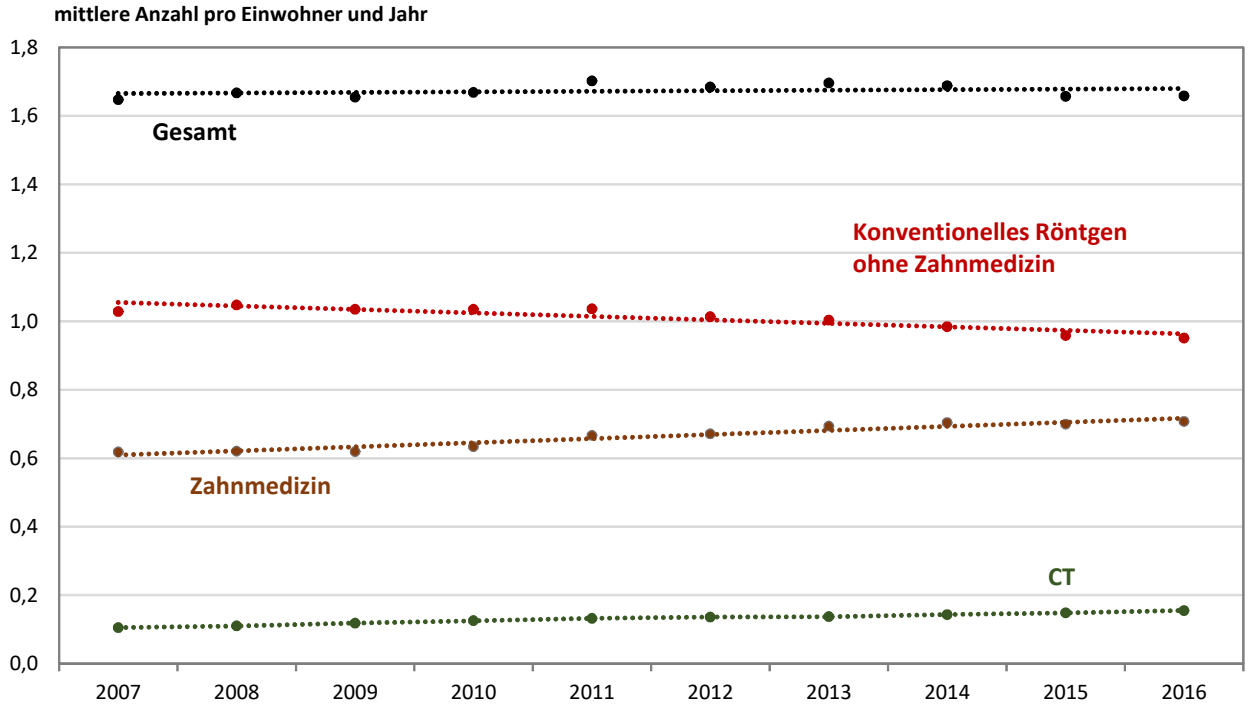


Abbildung B IV 1.1-1 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland
(Frequency of x-ray examinations in Germany)

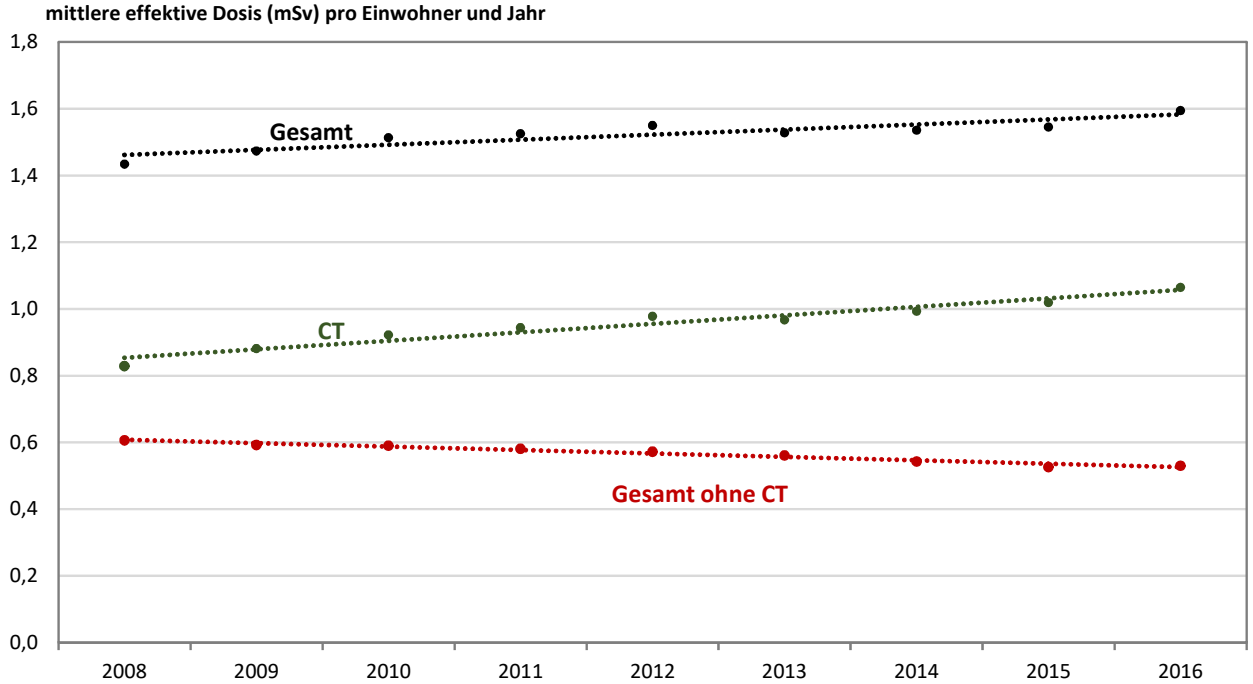


Abbildung B IV 1.1-2 Mittlere effektive Dosis (in mSv) pro Einwohner und Jahr durch Röntgen- und CT-Untersuchungen in Deutschland
(Mean effective dose (mSv) per capita and year due to x-ray and CT diagnostics in Germany)

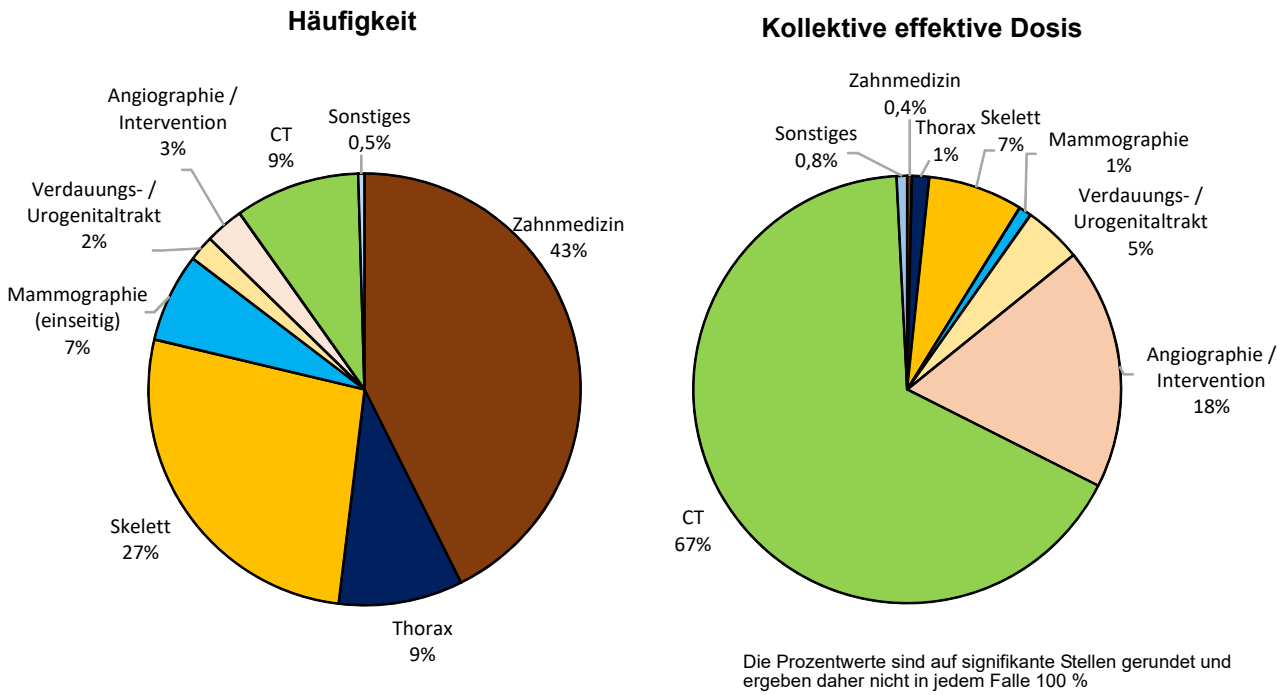


Abbildung B IV 1.1-3 Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der Röntgendiagnostik 2016 in Deutschland
(Contribution to the overall freqency and to the collective effective dose from different examinations in x-ray diagnostics 2016 in Germany)

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 26. Januar 2021) 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 Überlebenswahrscheinlichkeit 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 damaligen 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 95 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 Teilnahmerate lag laut „Jahresbericht Evaluation 2018“, S. 13 bei 50 % [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 Mortalitätsevaluation 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 Mortalitätsevaluation 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 2018. Deutsches Mammographie-Screening-Programm. Kooperationsgemeinschaft Mammographie, Berlin, November 2020 (fhttps://www.mammo-programm.de/download/downloads/berichte/Jahresbericht-Evaluation-2018.pdf)

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 2012 - 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).

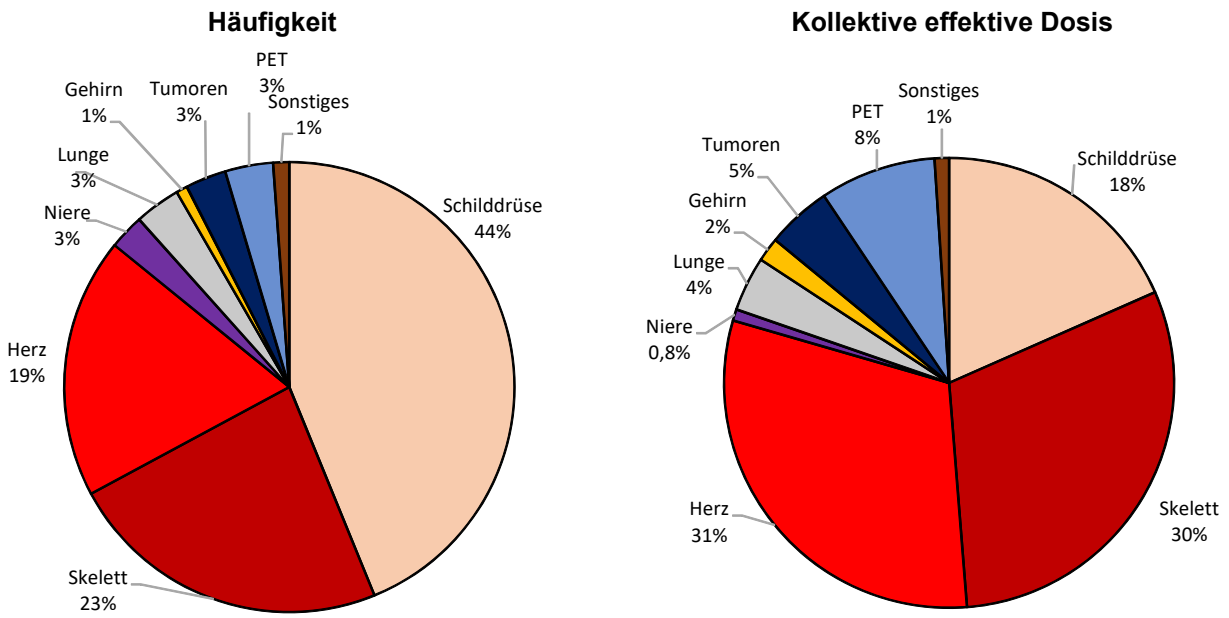
Die Anzahl von Positronenemissionstomographen (PET) nimmt kontinuierlich zu. Auf Grund der relativ hohen Dosis pro Untersuchung spielt die PET daher bei der durch alle nuklearmedizinischen Untersuchen verursachten kollektiven effektiven Dosis zunehmend eine Rolle. Für den kassenärztlichen ambulanten Bereich wurde erst im Jahr 2016 eine Gebührenziffer 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 vonDaten 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 Herzszintigraphien (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 Schilddrüsenszintigraphie 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



Die Prozentwerte sind auf signifikante Stellen gerundet und ergeben daher nicht in jedem Falle 100 %

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 Altersverteilungen 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 Klinken 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 (Direc-torate 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, Schegerer 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.

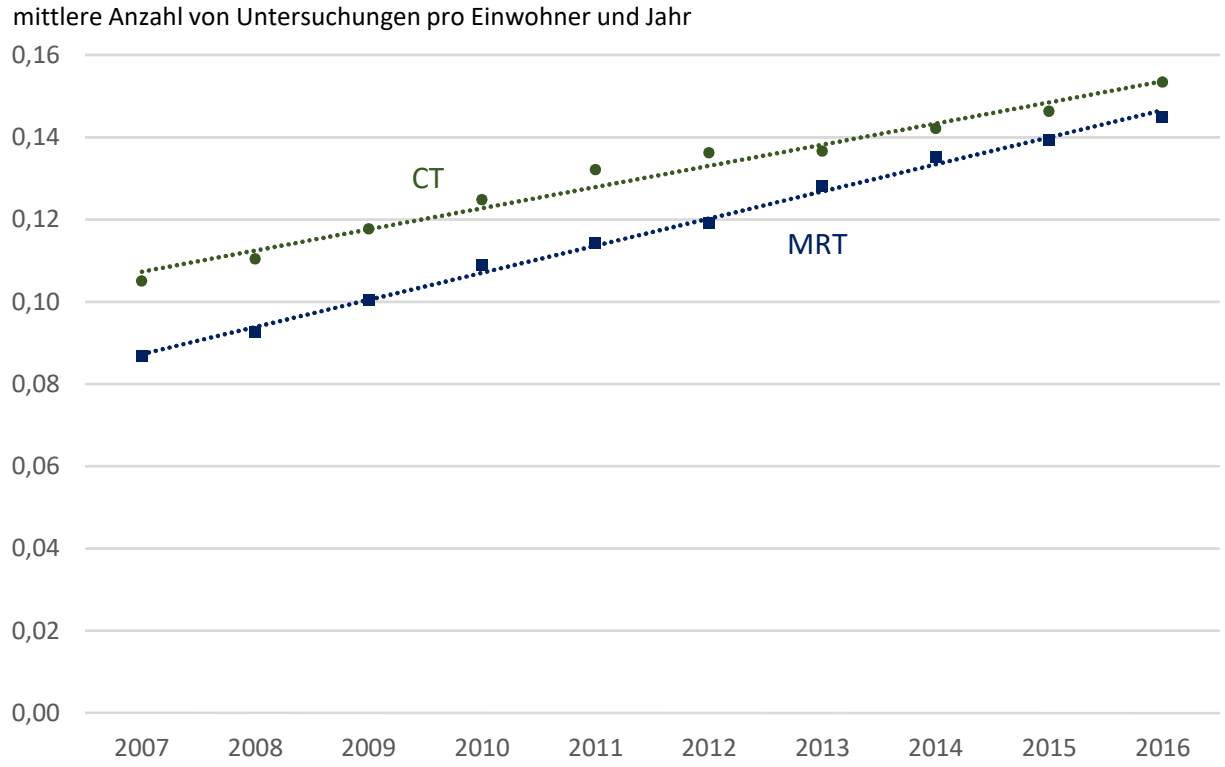


Abbildung B IV 1.4-1 Vergleich der Häufigkeit von CT- und MRT-Untersuchungen in Deutschland
(Comparison of frequencies of CT/MRT examinations in Germany)

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 als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie, Chemotherapie und Immuntherapie, 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/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebs_in_Deutschland/kid_2019/krebs_in_deutschland_2019.pdf?__blob=publicationFile

[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

Im Jahr 2019 wurden vom BfS 69 Genehmigungsverfahren nach § 31 StrlSchG und 357 Anzeigeverfahren nach § 32 StrlSchG zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen zum Zweck der medizinischen Forschung positiv abgeschlossen (Vorjahr: 372 Genehmigungen nach § 23 StrlSchV2001 und § 28 a RöV).

4. Bedeutsame Vorkommnisse in der Medizin nach Anlage 14 StrlSchV

Gemäß § 108 Abs. 1 StrlSchV hat der Strahlenschutzverantwortliche dafür zu sorgen, dass der Eintritt eines bedeutsamen Vorkommnisses der zuständigen Behörde gemeldet wird. Ein Vorkommnis bei Strahlenanwendungen am Menschen ist insbesondere dann bedeutsam, wenn eines der in Anlage 14 StrlSchV genannten Kriterien erfüllt ist. In diesem

Fall übermittelt die zuständige Behörde - gemäß § 110 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV - die Informationen über das bedeutsame Vorkommnis in pseudonymisierter Form an die zentrale Stelle im BfS nach § 111 StrlSchV.

Nach § 111 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchV bewertet das BfS die gemeldeten Vorkommnisse insbesondere im Hinblick auf die Übertragbarkeit und Bedeutsamkeit der Erkenntnisse auf andere Anwendungen und andere Anwender. Gemäß § 111 Abs. 1 Nr. 6 StrlSchV führt das BfS eine regelmäßige systematische wissenschaftliche Aufarbeitung der durchgeführten Auswertungen durch und veröffentlicht die Ergebnisse einschließlich der daraus abgeleiteten Empfehlungen für den Strahlenschutz. Diese Veröffentlichung erfolgt in Form eines Jahresberichts. Darüber hinaus sollen die aus der Aufarbeitung von Vorkommnissen gewonnenen Erkenntnisse, die auch für andere Anwendungen und andere Anwender relevant sind, kurzfristig auf der Homepage des BfS in anonymisierter Form in einem passwortgeschützten Bereich veröffentlicht werden.

Zur Erfüllung dieser Aufgaben wurde ein webbasiertes IT-System BeVoMed (Bedeutsame Vorkommnisse in der Medizin) implementiert. Es ermöglicht die bundesweite Erfassung, Verarbeitung und Auswertung der von den zuständigen Behörden übermittelten Informationen über bedeutsame Vorkommnisse.

Für das Jahr 2019 lagen zum Redaktiosschluss der zentralen Stelle Informationen zu 82 Erstmeldungen über bedeutsame Vorkommnisse vor. Zu 80 Erstmeldungen liegen Abschlussmeldungen vor, die ausgewertet wurden. Zu Expositionen von untersuchten Personen bei nichtmedizinischen Anwendungen erfolgten keine Meldungen. Tabelle T IV.2 zeigt die Verteilung der bedeutsamen Vorkommnisse, zu denen eine Abschlussmeldung vorliegt, auf die medizinischen Fachgebiete.

Die meisten Meldungen gab es mit 49 Fällen (61 %) zur Strahlentherapie. Die häufigsten Meldungen betrafen dabei Bestrahlungsplanverwechslungen. Hier kann nur eine kritische Analyse der Prozessabläufe entlang der gesamten Behandlungskette zu einer Senkung der Fehlerrate führen (siehe dazu auch die Empfehlungen von BfS, DEGRO, DGMP und DGN zur Risikoanalyse bei therapeutischen Strahlenanwendungen[1]). Die zweithäufigsten Meldungen in der Strahlentherapie betrafen Personenverwechslungen. Obwohl von strahlentherapeutisch behandelten Patienten vor Therapiebeginn in der Regel Portraitfotos erstellt werden, kamen derartige Verwechslungen trotzdem vor. Zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. Patientenarmbänder oder Handscanner, können hier die Fehlerquote reduzieren.

Weiterhin fällt die geringe Meldefrequenz zur Röntgendiagnostik auf. So erfolgten in 2019 nur neun Meldungen aus dem Bereich Computertomographie. In Anbetracht der ca. 13 Millionen CT-Untersuchungen, die pro Jahr in Deutschland durchgeführt werden, erscheint die Anzahl der Meldungen als gering.

[1] Bundesamt für Strahlenschutz, https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion/empfehlungen-risikoanalyse.html (abgerufen am 22.04.2020)

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 Quellen bezeichnet, deren Aktivität den durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten, nuklidspezifischen Grenzwert überschreitet (siehe Grundlagenteil:1.Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe).

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).

Der Wert für die Gesamteinfuhr enthält ab dem Berichtsjahr auch die sonstigen radioaktiven Gemische, wie z. B. Nuklidgemische (225 GBq) bzw. kontaminierte Werkzeuge und Gegenstände (1,75 GBq) sowie Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) in Höhe von 0,019 GBq.

Die Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist etwas zurückgegangen, jedoch im Rahmen üblicher Schwankungen.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq (Tabelle T V.2) zeigt im Jahr 2019 einen sehr deutlichen Rückgang, was in der rückläufigen Ausfuhr von Tritium begründet ist.

Der Wert für die Gesamtausfuhr in enthält ab dem Berichtsjahr auch die sonstigen radioaktiven Gemische, wie z. B. Nuklidgemische (14,6 GBq), kontaminierte Werkzeuge und Gegenstände (1,39 GBq) sowie Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) in Höhe von 0,069 GBq).

Die Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe nahm fast um den Faktor 10 zu, was an der Ausfuhr von abgereichertem Uran lag.

1.2 Einfuhrstatistik

Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne Strahlenquellen HRQ)

Tabelle T V.3 (a-b) gibt die Aktivitäten der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen HRQ gem. Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 4, Aktivierungsprodukte, kontaminierte Werkzeuge sowie sonstige radioaktive Gemische.

Es ist in der Gesamtsumme ein Abfall um ca. 85 % gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen (Tabelle T V.1). Diese Abnahme wird in der Hauptsache durch Tritium bestritten.

In Form von Tritiumgaslichtquellen sind im Berichtszeitraum 3 826 GBq im Wesentlichen aus der Schweiz, davon lediglich 13 GBq auch aus den USA eingeführt worden (in den Werten für die Gesamteinfuhr von Tritium enthalten); Leuchtstoffe (LU) wurden abermals nicht bezogen.

Einfuhr umschlossener hochradioaktiver Strahlenquellen HRQ

Tabelle T V.4 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-57, Co-60, Se-75, Cs-137 und Ir-192; jeweils ab deren Werten für den HRQ-Wert gemäß Anlage 4 Tabell 1 Spalte 4 StrlSchV.

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

Einfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle T V.5 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2019 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Die Schwerpunkte liegen bei Natururan als größtem Posten, gefolgt von angereichertem Uran mit 10 % U-235. Hochangereichertes Uran wurde zur Brennstoffversorgung eines Forschungsreaktors eingeführt, Thorium für die Herstellung von Wendeln für Lichtanwendungen.

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 Strahlenquellen HRQ)

Die Gesamtausfuhr gemäß Tabelle T V.6 und Tabelle T V.2 ist gegenüber dem Vorjahr abgesunken. Diese Abnahme wird in der Hauptsache durch gesunkene Lieferungen von Tritium bestritten. Das Nuklidspektrum ist gegenüber dem Vorjahr unverändert geblieben.

In Form von Tritiumgaslichtquellen sind im Berichtszeitraum 372,7 GBq im Wesentlichen in die Schweiz, davon lediglich 6 GBq auch in die USA und 93 GBq nach Norwegen ausgeführt worden (in den Werten für die Gesamtausfuhr von Tritium enthalten); Leuchtstoffe (LU) wurde abermals nicht ausgeführt.

Ausfuhr umschlossener hochradioaktiver Strahlenquellen ab A1/100

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen (Tabelle T V.7 und Tabelle T V.2) ist auf dem Niveau des Vorjahres geblieben. Die Radionuklide Co-60, Se-75, Cs-137, Ir-192 und Am-241 wurden ausgeführt.

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle T V.8 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm.

Die Ausfuhrmenge ist 2019 mit 6 949 267 kg gegenüber 835 530 kg (2018) auf mehr als das achtfache des Vorjahreswertes gestiegen. Die größten Posten finden sich bei abgereichertem Uran in die Russische Föderation. Uran mit höheren Anreicherungsgraden als 10 % ist im Berichtszeitraum nicht ausgeführt worden, ebenso 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 Anmeldungen

Tabelle T V.9 zeigt die Anmeldungen und Genehmigungen im Jahr 2019. In der Rubrik „Einfuhr § 12 StrlSchV“ bzw. „Ausfuhr § 12 StrlSchV Abs. 1 StrlSchV“ sind die Genehmigungen zur Ein- und Ausfuhr für jene hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ) aufgeführt, deren grenzüberschreitende Verbringung nicht im Anmeldeverfahren zulässig und daher genehmigungspflichtig ist.

Genehmigungen zur Ausfuhr für diejenigen sonstigen radioaktiven Stoffe, deren Aktivität das 10^8- fache der Freigrenzen gemäß Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 2 StrlSchV pro Versandstück überschreitet, wurden nicht erteilt.

Ferner wurden im Jahr 2019 9 Genehmigungen für Konsumgüter gemäß § 42 StrlSchG für die Ein- und Ausfuhr erteilt. Da nach § 42 StrlSchG genehmigte grenzüberschreitende Verbringungen derartiger Konsumgüter jedoch nicht von einem Meldeverfahren begleitet werden, wird 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 38 Einfuhr- und 86 Ausfuhrgenehmigungen für unbestrahlte Kernbrennstoffe nach § 3 Abs. 1 AtG sowie 27 Einfuhr- und 62 Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe nach § 12 StrlSchV erteilt.

Im Jahr 2019 gingen 2 596 (2018: 2277) Einfuhranmeldungen sowie 7697 (2018: 6051) Ausfuhranmeldungen nach § 13 StrlSchV ein. Die Zahl der bearbeiteten Belege ist damit im Vergleich zum Vorjahr um ca. 20 % gestiegen.

2. Beförderung radioaktiver Stoffe

Auf dem Gebiet des Transports radioaktiver Stoffe ist das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung BASE (bis zum 31.12.2019 abgekürzt als BfE) die zuständige Behörde zur Erteilung von atomrechtlichen Beförderungsgenehmigungen für alle Verkehrsträger gemäß § 4 Atomgesetz für Kernbrennstoffe und § 27 Strahlenschutzgesetz für Großquellen.

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

Im Januar 2019 wurde die Zulassung für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR® MTR3 erteilt, der für die Entsorgung von bestrahlten Brennelementen der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) der Technischen Universität München vorgesehen ist. Für die Entsorgung von beschädigten, undichten Brennstäben sowie Brennstababschnitten aus Druckwasserreaktoren wurde im August 2019 eine Revision (Erweiterung der Beladevariante für Sonderbrennstäbe in Köchern – KSBS – durch Einsatz eines alternativen Innenkorbs des KSBS) der Zulassung für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR® V/19 erteilt. Außerdem wurde im September 2019 eine Revision der Zulassung des für die Entsorgung von Siedewasser-Brennelementen verwendeten Transport- und Lagerbehälters

CASTOR® V/52 erteilt, die die Erweiterung des Inventars (neue BE-Typen, Nicht-Standard-BE, neue Beladevariante für MOX-BE) umfasst.

Auf internationalem Gebiet wurde die Mitarbeit des BASE 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 (Rev.1) im Jahr 2019, wurde der bereits laufende Überarbeitungsprozess für das erläuternde Material zur SSR-6 (SSG-26) fortgesetzt.

2.1 Übersicht über Zulassungen, Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2019 vom BASE insgesamt 12 Zulassungen für Transportbehälter und 2 deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen erteilt. Außerdem erteilte das BASE erstmals eine Zulassung für die Anwendung alternativer Aktivitätsgrenzwerte für eine freigestellte Sendung von Instrumenten oder Fabrikaten, konkret für Radionuklide enthaltende Lampen.

Im Jahr 2019 wurden vom BASE insgesamt 51 Beförderungsgenehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt. Weitere Informationen über die vom BASE erteilten Beförderungsgenehmigungen nach § 4 AtG für Kernbrennstoffe sowie nach §§ 27 und 29 StrlSchG für Großquellen und über die durchgeführten Kernbrennstofftransporte können den Internetseiten des BASE (www.base.bund.de) entnommen werden.

2019 wurden insgesamt 452 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle T V.10) durchgeführt, davon entfallen 26 auf Transporte innerhalb Deutschlands, 203 auf den Export, 66 auf den Import und 157 Transporte entfallen auf den Transitverkehr. Mit Großquellen wurden 10 Transporte durchgeführt.

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 (§ 27 StrlSchG) im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen. Im Jahr 2019 wurden insgesamt 255 Wagenladungen mit sonstigen radioaktiven Stoffen, verteilt auf 56 Züge, befördert. Zwei der Beförderungen waren nach § 28 StrlSchG genehmigungsfrei, alle anderen fanden auf Grundlage der vom Eisenbahn-Bundesamt erteilten § 27 StrlSchG Genehmigungen statt. Insgesamt wurden pro Beförderung mehr Wagenladungen befördert als im Jahr 2018.

Ein Vergleich zu den Vorjahren ist in Tabelle T V.11 aufgeführt. Gegenüber dem Vorjahr wurden 38 Wagenladungen mehr befördert. Deutlich zugenommen haben die Beförderungen von Uranhexafluorid. Demgegenüber steht eine Abnahme der Transporte von Uranerz. Von den durchgeführten Beförderungen setzte sich keine hinsichtlich Transportgut oder Aktivität von den übrigen nennenswert ab. Die Aktivität der Beförderungen ist erheblich geringer als im Vorjahr. 2018 waren 97 % der Aktivitäten auf 10,5 % der beförderten Wagenladungen entfallen, was im Wesentlichen auf Transporte von Kerneinbauten zur Zwischenlagerung zurückzuführen war. 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 überwachten Transporte sowie die bei den Überprüfungen festgestellte Mängelquote auf. Von den 56 Beförderungen über Eisenbahnen des Bundes wurden 16 Beförderungen im Jahr 2019 überwacht, wobei 57 Wagen kontrolliert wurden. In zwei Fällen wurden Mängel festgestellt.

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

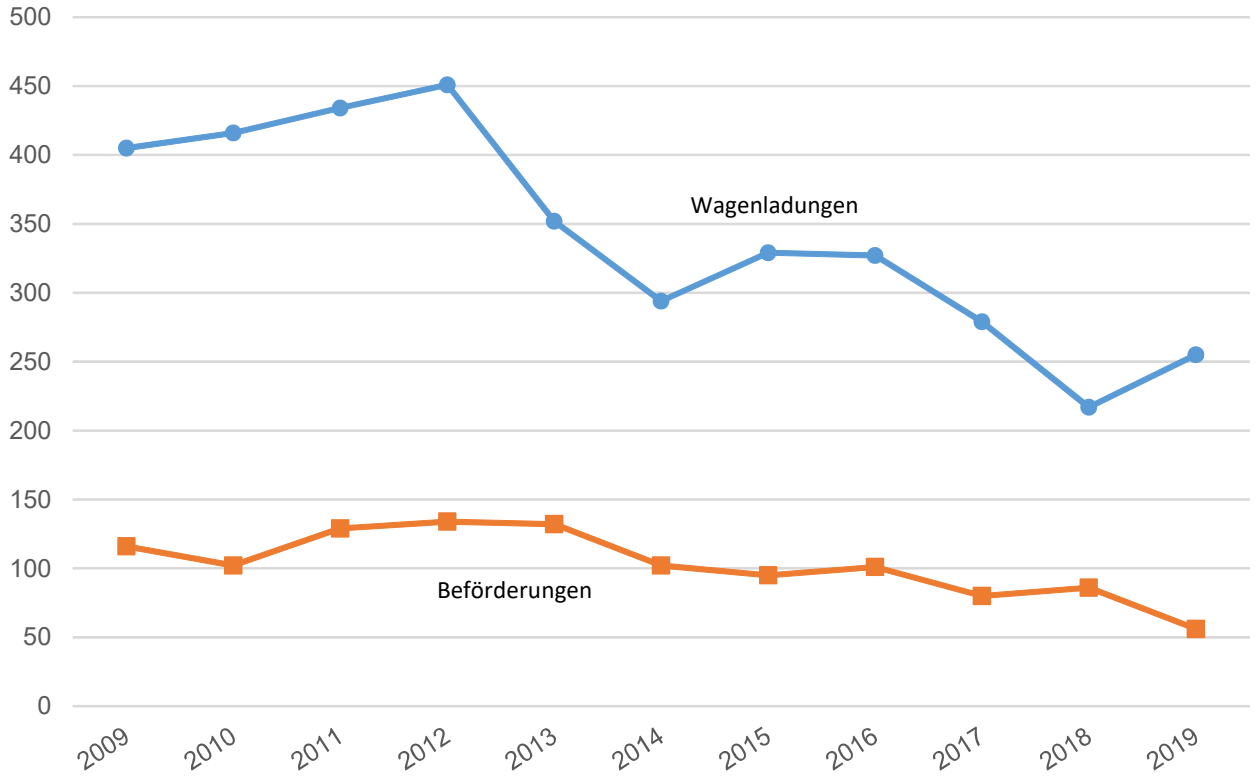


Abbildung B V 2.2-1 Entwicklung der transportierten Wagenladungen seit 2009

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

Nach § 5 Abs. 39 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) versteht man unter Umgang mit radioaktiven Stoffen deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung. Der Begriff „Umgang“ wird auch in § 2 AtG, Absatz 3a, Satz 3 definiert.

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe

Im Jahr 2019 waren in Deutschland 9 808 Genehmigungen zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen gemäß § 12 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchG gültig. Die Zahl dieser Genehmigungen ist in Tabelle T V.17 und Tabelle T V.18 angegeben, davon waren

- 25 % im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 19 % im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 49 % im Bereich Industrie, gewerblicher Wirtschaft und
- 7 % in sonstigen Bereichen (z. B. Behörden) registriert.

In Tabelle T V.19 ist die Zahl der Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen mit Genehmigungen nach § 12 Abs. 1 Nr. 1 StrlSchG im Jahr 2019 in einer Übersicht, aufgeschlüsselt auf die Bundesländer, wiedergegeben. Von diesen im Rahmen einer Betriebsgenehmigung laufenden Anlagen haben 7 % einer Genehmigung zur Errichtung bedurft. Insgesamt sind die o. g. Anlagen zu 78 % auf Anwendung am Menschen, zu 12 % auf Anlagen in Forschung und Lehre, zu 10 % auf Anlagen in Industrie bzw. gewerblicher Wirtschaft und zu 1 % auf Anlagen in sonstigen Bereichen verteilt.

Tabelle T V.20 ist eine Übersicht der gültigen Genehmigungen im Jahr 2019 für die Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen nach § 25 StrlSchG, für die Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe nach § 27 StrlSchG, für den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern nach § 40 StrlSchG und für den Umgang mit Kernbrennstoffen nach § 9 AtG.

In Tabelle T V.21 ist in einer Übersicht die Zahl der im Jahr 2019 erstatteten Anzeigen aufgeführt. Dies betrifft Anzeigen über Anlagen nach § 17 StrlSchG, und Anzeigen über Bauartzulassungen nach § 208 Abs. 3 StrlSchG.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfungen umschlossener radioaktiver Stoffe nach § 89 StrlSchV im Jahr 2019 kann der Übersicht in Tabelle T V.22 entnommen werden. Bei den insgesamt 11 680 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 21 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. zwei Nickel-63-Quellen, eine Americium-241-Quelle, eine Radium-226-Quelle, drei Caesium-137-Quellen, eine Curium-244-Quelle, zwölf Cobalt-60-Quellen und eine Plutonium-239-Quelle. 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 2019, unterteilt auf die Bereiche „Humanmedizin“, „Zahnmedizin und Tiermedizin" sowie „Technik / Nichtmedizin", für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1 564 und ist für die Bundesländer in Tabelle T V.25 gesondert aufgeführt. 19 % der nach § 12 Abs. 1 Nr. 4 StrlSchG genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2019 wurden im technischen Bereich 11 699 Röntgeneinrichtungen gemäß § 19 Abs. 1 Nr. 1 und 2 StrlSchG angezeigt.

3.2 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Radioaktive Stoffe unterschiedlicher Art und Aktivität können in Industrieerzeugnissen, 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 Genehmig ungssystem 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 Industrieerzeugnissen kleiner als 0,01 mSv pro Jahr ist [1].

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z. B. für Füllstands-, Dicke- 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.

Das StrlSchG in Verbindung mit der StrlSchV regelt den Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen sowie den Einsatz von Röntgengeräten, um sowohl die Arbeitnehmer als auch die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen.

3.3 Hochradioaktive Quellen (HRQ)

Bis zum Ende des Jahres 2019 wurden insgesamt 727 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten in das Register für hochradioaktive Strahlenquellen aufgenommen. 80 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt.

In der Datenbank der hochradioaktiven Strahlenquellen wurden bis Ende 2019 225 000 Meldungen zu 53 200 registrierten Strahlenquellen über deren Erhalt und Abgabe aufgenommen. Von diesen 53 200 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, sofern sie nicht nach § 8 StrlSchV genehmigungsfrei betrrieben werden dürfen. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten wie z. B. in Fernsehgeräten älterer Bauart. Die Höchstwerte der Ortsdosisleistung von bauartzugelassenen Störstrahlern sind in § 23 der StrSchV auf 1 µSv/h in 0,1 m Abstand festgelegt.

3.5 Konsumgüter und sonstige Anwendungen

Das StrSchG verbietet zum Schutz des Verbrauchers den Zusatz von radioaktiven Stoffen zu bzw. die Aktivierung von bestimmten Produkten wie z. B. Spielwaren, Schmuck, Lebensmittel und Tabakerzeugnisse.

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 2019 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 Abfallgebinde (G1) von der BGE als endlagerfähig bestätigt, liegt ein „produktkontrolliertes Abfallgebinde“ (G2) vor, welches vom Endlager zur Einlagerung abgerufen werden kann. Eine Übersicht über die Mengen vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Stoffe für das Jahr 2019 liefert Tabelle T V.27.

Insgesamt existierte bei allen Abfallverursachern am 31. Dezember 2019 ein Bestand an Rohabfällen und vorbehandelten Abfällen - mit dem Endlagerziel Konrad oder einem anderen - von 20 156 t. Der Bestand an Abfallprodukten in Innenbehältern belief sich auf 16 802 m^3, von denen 3 709 m^3 schon produktkontrolliert sind. Dies beinhaltet zum derzeitigen Zeitpunkt mindestens den radiologischen Teil der Produktkontrolle. Der größte Bestand entfällt auf die Abfallprodukte in Konradbehältern mit 107 934 m^3, von denen 2 936 m^3 vollumfänglich produktkontrolliert sind und vom zukünftigen Endlager Konrad abgerufen werden könnten. Lediglich 146 m^3 und 230 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 2019 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 Frankreich (544 m^3), die im Zwischenlager in Gorleben, und zirka 25 m^3 aus der Wiederaufarbeitung in Karlsruhe (WAK), die im Zwischenlager Nord gelagert werden. Eine Übersicht nach Verursachergruppen gibt Tabelle T V.29.

Bis zum 31.12.2019 sind in Deutschland 15 777 Tonnen Schwermetall (tSM) in Form von bestrahlten Brennelementen aus Leistungsreaktoren angefallen (Vorjahr: 15 643 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. 6 670 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. Bedeutsame Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige bedeutsame Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierender Strahlung und radioaktiven Stoffen selten. Derartige Vorkommnisse werden dem Bundesamt für Strahlenschutz gemeldet und jährlich in diesem Bericht zusammengefasst (Tabelle T V.30).

Ein Großteil der für das Jahr 2019 nach § 170 StrlSchV 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.

Vorkommnisse, die im medizinischen Anwendungsbereich aufgetreten sind, werden seit dem Jahr 2019 im Melde- und Informationssystem für bedeutsame Vorkommnisse bei Strahlenanwendungen in der Medizin (https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/bevomed/bevomed_node.html) erfasst. Die Meldung eines bedeutsamen Vorkommnisses erfolgt dabei elektronisch durch die zuständige Behörde an die zentrale Stelle im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) mit Hilfe des webbasierten Systems BeVoMed (https://bevomed.bfs.de). Die zentrale Stelle im BfS wertet die gemeldeten bedeutsamen Vorkommnisse in der Medizin regelmäßig systematisch wissenschaftlich aus. Eine Darstellung dieser Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Empfehlungen für den Strahlenschutz findet sich in Kapitel IV 4.

Literatur

[1] ausführlich erläutert (mit Tabelle) im Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1977“, Bundestagsdrucksache 8/3119, 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 Korona-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 sowie den aktuellen Stand der Forschungsvorhaben können 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. Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020011721003
- 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)
- Evaluierung der Botschaften und Texte des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus (siehe Programmreport, S. 217 ff (http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808)
- Umfragen zur Ermittlung in der Bevölkerung 1. Welchen Stellenwert haben Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus? Eine deutschlandweite Befragung (siehe Programmreport 2018, S. 220 ff (http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808)
- Fachgespräch zur Risikobewertung und Risikowahrnehmung beim Stromnetzausbau (siehe Programmreport 2018, S. 238 ff (http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808). Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019081318803
- Überprüfung von Darstellungsformaten für Messergebnisse niederfrequenter Felder und deren Bedeutung für die Risikokommunikation (siehe Programmreport 2018, S. 239 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 intensive Handynutzung von mehr als 15 Jahren durch Kinder und Erwachsene. Diese Unsicherheiten in der Risikobewertung 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 Leistungsfähigkeit älterer Männer
  (siehe Programmreport 2018, S.204 ff (http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808) Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019101519604. Insgesamt hat sich gezeigt, dass elektromagnetische Felder einen schwachen Einfluss auf Hirnströme haben, der von EEG-Experten als nicht gesundheitsrelevant bewertet wird. Es gibt keine Unterschiede der untersuchten Endpunkte zwischen alten und jungen Männern, aber einen Geschlechtsunterschied - ältere Frauen reagieren stärker als ältere Männer.

Das Folgevorhaben

- Detaillierte vergleichende Analyse der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit hat im Juni 2018 begonnen und soll die Alters- und Geschlechtsunterschiede quantitativ beschreiben.

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:0221-2019102319808))

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

Überprüfung der freiwilligen Selbstverpflichtung mittels Gutachten

Durch unabhängige Gutachten wird seit 2002 in regelmäßigen Abständen überprüft, ob die Zusagen der Selbstverpflichtung eingehalten werden. Die Gutachten prüfen verschiedene Möglichkeiten, die Kommunen und die Öffentlichkeit besser mit Informationen zum Netzausbau und zu Mobiltelefonen zu versorgen. Die Ergebnisse des Gutachtens 2017, das im Juli 2018 veröffentlicht wurde, sind unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/mobilfunk_jahresgutachten_2017_bf.pdf einsehbar.

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 Technologien, werden jedoch weiterhin untersucht. Vor allem die Versteigerung der 5G-Frequenzbereiche im Frühjahr 2019 hat den Informationsbedarf in der Bevölkerung neuerlich gesteigert. Auf den Internetseiten des BMU und des BfS wurden viele der Fragen aus der Bevölkerung aufgegriffen und u. a. in FAQs umfassend beantwortet.

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 Protokolle der Sitzungen und die aktuelle Mitgliederliste sind 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 3 429 klassische Mobiltelefone und Smartphones, wobei für 3 111 Geräte ein SAR-Wert vorliegt. In Tabelle T VI.1 erfolgt eine statistische Auswertung der Daten dieser 3 111 Geräte aus der SAR-Liste (www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/schutz/vorsorge/blauer-engel.html).

Das Angebot strahlungsarmer Geräte blieb bis September 2017 auf gleich hohem Niveau wie in den Vorjahren. In der Dezember-Erhebung 2017 weisen 40 %, im Juni 2018 41 % und im Februar 2019 wieder 40 % 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 3 429 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 angegeben, 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.

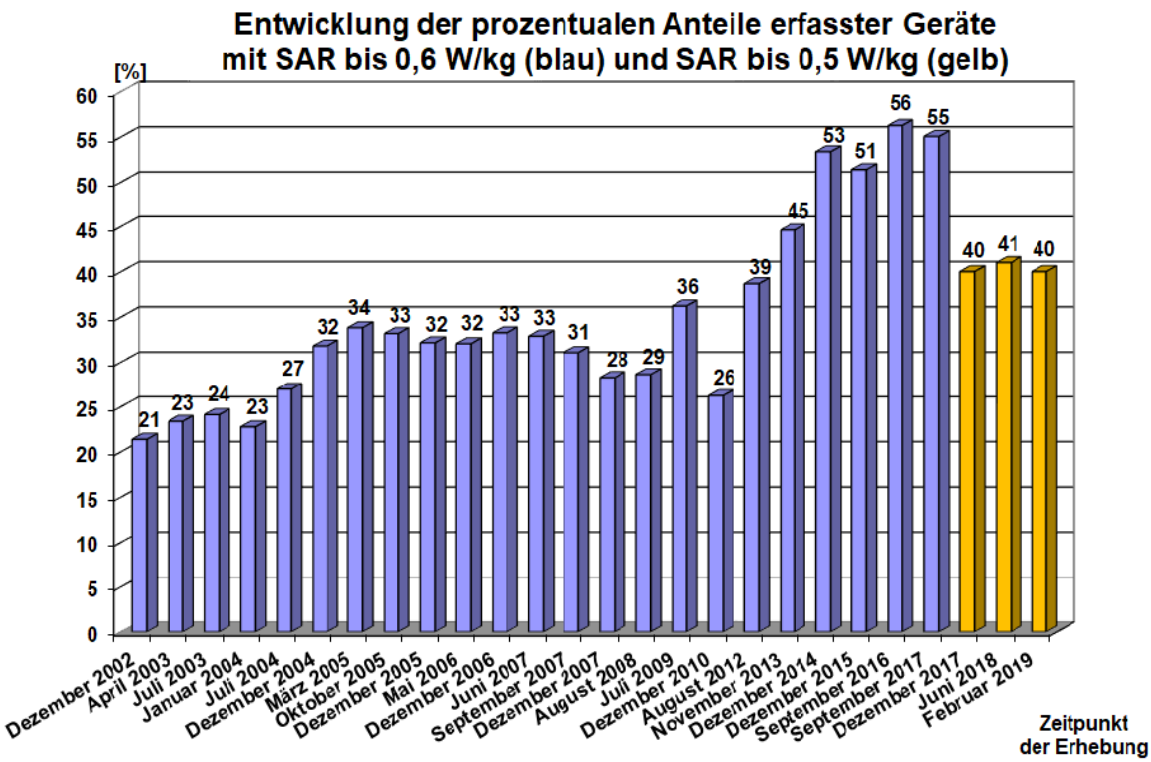


Abbildung B VI 1.4-1 Entwicklung des Anteils „strahlungsarmer“ Mobiltelefone (gemäß Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens „Blauer Engel“)
(Enhancement of the number of low-radiation mobile phones according to the radiation protection criterion of the ecolabel "Blue Angel")

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 und 2019 waren wie in den Vorjahren mehrere Modelle eines Herstellers mit dem „Blauen Engel“ ausgezeichnet.

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

- Babyüberwachungsgeräte
- Haushaltslampen
- Router.

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 im Jahr 2019 an elf repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich die bodennahe, solare UV-Strahlung spektral aufgelöst gemessen.

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). Sechs Messstationen befinden sich noch im Aufbau. Für den Ausbau nutzt das BfS die Infrastruktur seines Ortsdosisleistungs (ODL) -Messnetzes (https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/luft-boden/odl/odl.html) und ergänzt passende ODL-Sonden mit kompakten Breitbandradiometern. Im Jahr 2019 nahmen zwölf weitere Breitbandradiometer-Stationen den aktiven Messbetrieb im solaren UV-Messnetz auf: Todendorf, Zirchow, Belm-Osnabrück, Genthin, Kassel, Görlitz, Andernach, Gießen-Wettenberg, Fichtelberg, Waldhof-Falkenstein, Tholey und Friedrichshafen.

Die Messdaten aller Stationen werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim gesammelt, dokumentiert, gesundheitlich bewertet und regelmäßig als UV-Index (UVI) auf den Internetseiten des BfS

(www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-index_node.html) und über das BfS Geoportal (https://www.imis.bfs.de/-geoportal) veröffentlicht.

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. Zusätzlich werden über Twitter (https://twitter.com/strahlenschutz) Warnmeldungen bei ungewöhnlich hohen UVI-Werten herausgegeben.

Die Messungen ergaben, dass im Jahr 2019 die höchsten ermittelten Tagesspitzenwerte des UV-Index in Nord- und Mitteldeutschland im Juni und Juli bei UV-Index-Werten von 7 bis 9 lagen. Im gleichen Zeitraum wurden in Süddeutschland UV-Index-Werte von 8 bis 9 und im alpinen Hochgebirgsraum UV-Index-Werte von 9 bis 11 gemessen (siehe Abbildung B VI 2.1-1). Dabei lag an vierzehn Tagen im Juni und Juli der UV-Index-Tagesspitzenwert im alpinen Hochgebirgsraum bei 11. Die außergewöhnlich hohe Anzahl an Tagen mit diesem extremen UV-Index-Tagesspitzenwert korreliert mit einer außergewöhnlich großen Schneemenge im alpinen Raum im ersten Halbjahr 2019. Der sogenannte Albedo-Effekt führt bei großflächiger Schneebedeckung zu einem Anstieg der gemessenen UV-Bestrahlungsstärke auf Grund von höherer Rückstreuung der UV-Strahlung an Schnee im Vergleich zu beispielsweise Stein, Wiese oder Wald. Im Jahr 2019 hielt die großflächige Schneebedeckung des Hochgebirgsraumes bis weit über den Zeitraum des Jahres-Sonnenhöchststandes an, in dem die höchsten UV-Index-Werte im Jahresverlauf auftreten.

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

Abbildung B VI 2.1-1

Stationen des solaren UV-Messnetzes mit Angabe des jeweils höchsten, im Jahr 2019 erreichten UV-Index-Wertes (bei Stationen mit ausreichender Datenlage).
(Stations of the solar UV monitoring network with indication of the respective highest UV index value reached in 2019 (for stations with sufficient data available)).

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/ll/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

Mikroskalige Modellierung von UV-Belastung

Um verhältnispräventive Maßnahmen wie Schaffung von Schattenoasen sinnvoll zu planen, sind Werkzeuge zu schaffen, mit denen sich übermäßige UV-Belastungen an einem bestimmten kleinräumigen (mikroskaligen) Ort wie Außenbereiche von Kindergärten, Schulhöfe oder Stadtparks abschätzen lassen. Für großräumige Anlagen existieren bereits Computerprogramme, die eine derartige Abschätzung grob zulassen. Im mikroskaligen Raum herrschen Bedingungen, die im Vergleich zu makroskaligen Modellierungen dazu zwingen, zahlreiche weitere bzw. vermehrt detailliert zu berücksichtigende Parameter zur Darstellung der UV-Expositionen einzuschließen. Dies stellt erhebliche Ansprüche an die Datenverarbeitung. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat darum 2019 eine Machbarkeitsstudie in Auftrag gegeben, die aufzeigen soll, ob und wenn ja wie die Modellierung von UV-Exposition im mikroskaligen Raum derart vereinfacht werden kann, dass ohne Abstriche an der Qualität der Aussage die mikroskalige Modellierung der UV-Belastung in bestehende GIS-basierte Modellierungsprogramme zur Visualisierung der Hitzebelastung in städtischen Umgebungen integriert werden kann. Ergebnisse werden corona-bedingt verzögert Ende 2020 erwartet:

- Machbarkeitsstudie zur mikroskaligen Modellierung von UV-Belastungen in urbanen Umgebungen für verschiedene Bevölkerungsgruppen zur Hautkrebsprävention - 3619S72490

Umfrage: Verhältnispräventive Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen

Die Rate der UV-bedingten Hautkrebsneuerkrankungen steigt weiterhin. Die mit dem Klimawandel einhergehenden Wetterveränderungen und Extremwetterereignisse haben nach derzeitigen Prognosen das Potenzial, auch dieses Problem noch zu verschärfen. Ärzteschaft und Institutionen des Strahlenschutzes drängen darum auf eine wirkungsvolle Prävention UV-bedingter Erkrankungen (s. Grundsatzpapier des UV-Schutz-Bündnisses, www.bfs.de/uv-grundsatzpapier) durch deutschlandweite Etablierung weiterer verhältnispräventiver Maßnahmen. Im Rahmen der „Nationalen Versorgungskonferenz Hautkrebs“ (NVKH, https://nvkh.de) wurde unter anderem das Versorgungsziel „Schattenspendende Maßnahmen zum Schutz vor hohen UV-Belastungen im Freien sind deutschlandweit in den Lebenswelten der Menschen vorhanden“ formuliert. Um dieses Versorgungsziel zu erreichen, ist zunächst der Ist-Zustand zu erfassen. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat darum 2019 ein Forschungsvorhaben initiiert, mit dessen Hilfe bereits vorhandene UV-reduzierende Maßnahmen wie schattenspendende Strukturen bundesweit erfasst und katalogisiert werden sollen. Ergebnisse werden corona-bedingt verzögert Ende 2021 erwartet.

- Repräsentative Umfrage zur deutschlandweiten Erfassung verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen - 3619S72401

Missbrauch starker optischer Strahlungsquellen - Blendattacken und Augenschäden

Die missbräuchliche Verwendung starker optischer Strahlungsquellen wie Laserpointer oder Lasertaschenlampen stellt ein Risiko für die Allgemeinbevölkerung dar. Bei Blendattacken auf Flugzeug- oder Fahrzeugführer*innen sind nicht nur die direkt angegriffenen Personen betroffen, sondern durch die erhöhte Unfallgefahr bei Beeinträchtigung des Sehvermögens auch andere Verkehrsteilnehmer, Passagiere von Flugzeugen, Bussen oder Zügen sowie Anwohner*innen und Passant*innen. Dieses Thema soll verstärkt bearbeitet werden. 2019 erfolgte die Planung für das im Ressortforschungsplan 2020 verankerte Projekt „Blendattacken und Augenschäden durch Laser und andere starke optische Strahlungsquellen“ (3620S72410). Im Rahmen dieses Projekts sollen Attacken mit starken optischen Strahlungsquellen in Deutschland quantifiziert, die mit diesen Attacken verbundenen Risiken eingeschätzt und die rechtliche Situation analysiert werden. Zudem sollen mögliche Ansätze zur Minimierung der Risiken aufgezeigt werden.

Weiterhin erfolgte 2019 die Planung und Vorbereitung für das Fachgespräch „Gefährdungen durch Laserpointer und ähnliche optische Strahlungsquellen“. Das Fachgespräch wird 2020 stattfinden und dient dem Austausch mit Expertinnen und Experten vor allem zu den Themen:

- Augenschäden und Blendung durch Lasergeräte oder ähnliche optische Strahlungsquellen
- Relevante Strahlungsquellen
- Sicherheit von Laserprodukten in Verbraucherhand
- Erfahrungen aus der Praxis
- Rechtliche Regelungen und Strategien zur Risikominimierung
- Forschungsbedarf

2.3 Hautkrebspräventionsmaßnahmen

Die auf der Basis des Grundsatzpapiers „Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne - Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land“ (siehe www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/buendnis/buendnis_node.html) nach Vorgaben des Kooperationsverbundes „gesundheitsziele.de“ (gesundheitsziele.de) erarbeitete Kriterienanalyse (www.gesundheitsziele.de//cms/medium/798/Kriterienkatalog_final_121024.pdf) wurde 2019 dem Evaluationsbeirat, dem Steuerungskreis und dem Ausschuss des Kooperationsverbundes „gesundheitsziele.de“ präsentiert. Von allen drei Gremien wurde UV-Schutz als ein wichtiges Teilziel der Gesundheitsziele „gesund aufwachsen“, „gesund älter werden“ und „Rund um die Geburt“ gesehen. Bei einer erneuten Überarbeitung dieser Gesundheitsziele soll darum eine

entsprechende Ergänzung in Betracht gezogen werden. Eine gemeinsame Veröffentlichung der Kriterienanalyse durch den Kooperationsverbund und das UV-Schutz-Bündnis im Bundesgesundheitsblatt wurde beschlossen. Das UV-Schutz-Bündnis ist eine Kooperation namhafter Gesellschaften, Organisationen und Behörden aus Strahlenschutz, Medizin, Wissenschaft und Arbeitsschutz, die sich seit Jahren für gelebten UV-Schutz einsetzen.

2019 wurde weiter daran gearbeitet, im Grundsatzpapier konkret genannte Maßnahmen umzusetzen. So wurde vom BfS die Erweiterung des UV-Messnetzes (s. Absatz 2.1 Solares UV-Monitoring) vorangetrieben. 2019 wurden vom BfS die UV-Unterrichtsmaterialien für Kindergärten und Grundschulen überarbeitet und im neuen Design mit Hinweisen bezüglich der Anwendbarkeit von UV-Schutz-Maßnahmen in Kindergärten und Schulen neu aufgelegt (https://www.bfs.de/DE/mediathek/unterrichtsmaterial/sonne/sonne_node.html). Des Weiteren wurde durch die Bündnispartner „Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention (ADP)“ und „Deutsche Krebshilfe (DKH)“ in Zusammenarbeit mit weiteren Akteuren daran gearbeitet, einen Grundkatalog 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.

Auf Grund der Tatsache, dass die mit dem Klimawandel einhergehenden Wetterveränderungen und Extremwetterereignisse nach derzeitigen Prognosen das Potenzial haben, auch das Problem des Anstiegs der UV-bedingten Hautkrebsneuerkrankungen noch zu verschärfen, wurde das Bundesamt für Strahlenschutz zum Behördennetzwerk „Klimawandel und Anpassung“ hinzugezogen. Das Behördennetzwerk „Klimawandel und Anpassung“ wurde 2017 durch die Interministerielle Arbeitsgruppe (IMA) Anpassungsstrategie mandatiert und unterstützt als Netzwerk von Bundesbehörden und -institutionen die IMA-Anpassung bei der Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Die Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschädigungen (insb. Hautkrebs)“ ist nun fester Bestandteil im Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“. Das Bundesamt für Strahlenschutz erarbeitete entsprechende Texte zur Beschreibung dieser Klimawirkung für die Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalsyse (KWVA), die 2021 veröffentlicht werden soll. Des Weiteren ist das Bundesamt für Strahlenschutz im Bund-Länder-Dialog „Gesundheit im Klimawandel“ vertreten, der vom Bundesministerium für Gesundheit (BMG) und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) organisiert ist. Das Thema „Klimawandel und UV-Strahlung“ wird auch in die aktualisierte S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ (https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebs-praevention/) aufgenommen und dort in einem eigenen Kapitel behandelt. Die aktualisierte Leitlinie wird voraussichtlich 2021 veröffentlicht.

2.4 Rechtliche Regelungen

Solarien

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

Laut der Berichte der Bundesländer zeigen auch die 2019 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.

Im Rahmen der Deutschen Großstudie „Nationales Krebshilfe-Monitoring zur Solariennutzung“ (National Cancer Aid Monitoring of Tanning Bed Use, NCAM)[1] wurde gezeigt, dass zwar die Nutzung von Solarien rückläufig ist, gleichzeitig die Nutzung von Solarien durch Minderjährige trotz gesetzlichem Verbot von 1,6 % auf 4,8 % alarmierend gestiegen ist. Bei allen Umfragen war die Attraktivität ein wichtiger Grund für die Nutzung von Solarien. Über den gesamten Befragungszeitraum hinweg gab es einen Anstieg der medizinischen Gründe für den Gebrauch. Darüber hinaus zeigte das Monitoring einen Rückgang des Risikobewusstseins in Bezug auf die Nutzung von Solarien und UV-Strahlung. Auf Grund des abnehmenden Risikobewusstseins ist es notwendig, Präventions- und Aufklärungskampagnen durchzuführen, die sich speziell an diese Gruppe richten.

Das BMU und das BfS haben sich auch 2019 im Rahmen Ihrer Aufgabenbereiche für die Umsetzung der rechtlichen Regelungen zur Reduzierung der UV-Belastung für Nutzerinnen und Nutzer von Solarien eingesetzt. Darüber hinaus unterstützen BMU und BfS das von der Deutschen Krebshilfe und der Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention e. V. (ADP) organisierte und durchgeführte „Interventionsprogramm Solarien“.

[1] Diehl K, Görig T, Greinert R, Breitbart EW, Schneider S (2019) Trends in tanning bed use, motivation, and risk awareness in Germany: findings from four waves of the national cancer aid monitoring (NCAM). Int J Environ Res Public Health 16(20):3913 - 3923, doi.org/10.3390/ijerph16203913

Verordnung „Nichtionisierende Strahlung“ (NiSV)

Mit der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV) werden insbesondere Anforderungen an den Betrieb und an die Fachkunde professioneller Anwender*innen nichtionisierender Strahlung zu kosmetischen und sonstigen nichtmedizinischen Zwecken rechtlich verbindlich geregelt. Im Bereich der optischen Strahlung stehen Anwendungen wie die Tattooentfernung mit Lasergeräten und die dauerhafte Haarentfernung (Epilation) mit Lasern oder IPL-Geräten im Vordergrund. Die NiSV tritt am 31. Dezember 2020 in Kraft. Ab diesem Zeitpunkt gilt für bestimmte Anwendungen, beispielsweise die Tattooentfernung, der Arztvorbehalt. Die Anforderung zum Nachweis der Fachkunde für Anwendungen, die nicht unter Arztvorbehalt stehen, tritt am 31. Dezember 2021 in Kraft. 2019 lag der Arbeitsschwerpunkt in der Ausgestaltung und Konkretisierung der Anforderungen für den Erwerb der Fachkunde. So wurden Rahmenlehrpläne erstellt und fachliche Unterstützung bei der Definition der Anforderungen an Schulungen und Schulungsträger geleistet. Weitere Informationen hierzu sind veröffentlicht unter www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/warum-die-nisv/.

GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANGABEN

(Überarbeitungsstand 2020)

GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND ERLÄUTERUNGEN

(Überarbeitungsstand 2020)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

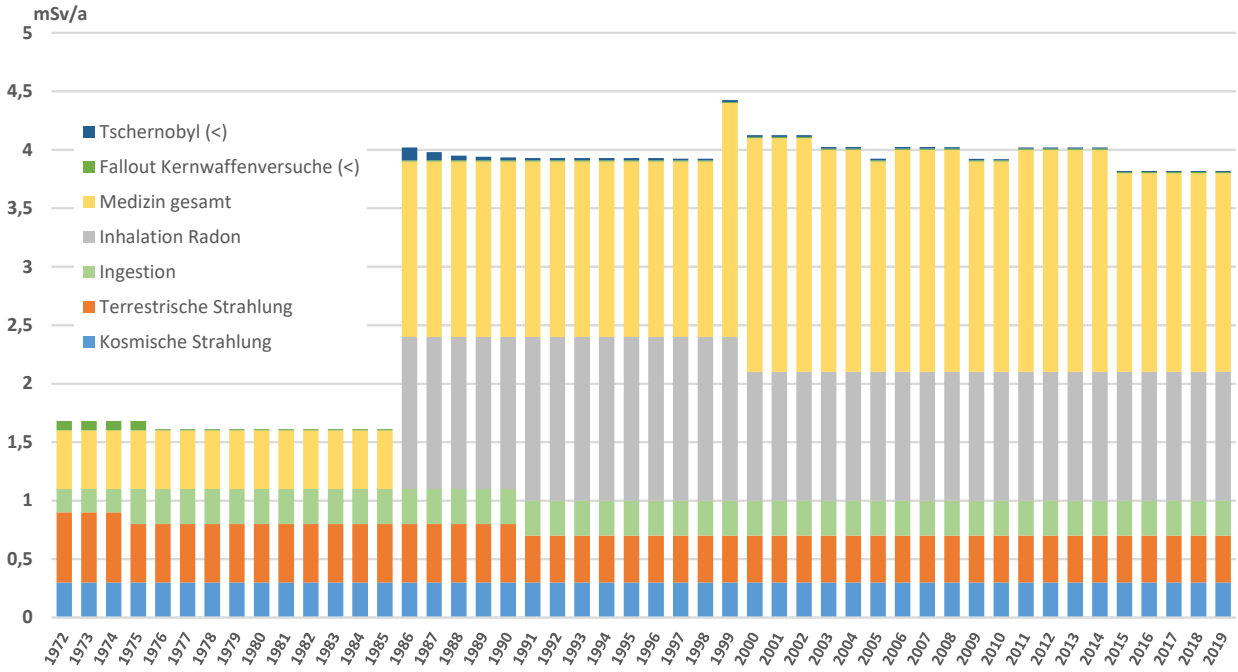


Abbildung G I **Berichtete Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands**
Reported mean dose to one person of the population in the Federal Republik of Germany)

1. Historische und gesetzliche Grundlagen der Überwachung

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

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

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

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

1.1 Überwachung der Umwelt

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

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

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

- Im Strahlenschutzgesetz wird die Überwachung der Umweltradioaktivität im ersten Kapitel von Teil 5 „Expositionssituationsübergreifende Vorschriften“, also in den §§ 161 bis 165 geregelt. Die §§ 161 und 162 grenzen dabei die

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

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

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

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

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

1.2 Überwachungsmaßnahmen auf europäischer Ebene - Höchstwerteverordnung

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

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

Die Höchstwerteverordnung (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 Höchstwerteverordnung vom Rat der Europäischen Union beschlossen (siehe Verordnung (Euratom) 2016/52, siehe Nr. 73, Seite 125). Diese trat am 09. Februar 2016 in Kraft und ersetzt die o. g. Euratom-Verordnung Nr. 3954/87. Mit der auf das allgemeine EU-Lebensmittelrecht gestützten Durchführungsverordnung (EU) Nr. 961/2011 vom 26. März 2011 traten die ersten Sondervorschriften für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln aus Japan in Kraft, die die Werte aus der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 als Grenzwerte für das Inverkehrbringen japanischer Lebensmittel in der EU festlegte. Mit der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 351/2011 wurden im April 2011 die Werte inzwischen festgelegter niedrigerer japanischer Grenzwerte übernommen. Die Importbestimmungen wurden seit dem Jahr 2011 auf Grundlage der Auswertung von Messergebnissen nach mehreren Vegetationsperioden sowie von Kontrollmessungen überarbeitet und der jeweils aktuellen Situation angepasst. Mit Datum vom 24. Oktober 2019 regelt die Durchführungsverordnung (EU) Nr. 2019/1787 die besonderen Bedingungen für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln aus Japan.

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

1.3 Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität erwuchs durch die Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1957 und 1958 und den späteren großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung zusätzlich die Aufgabe der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Emission und Immission). Die rechtlichen Verpflichtungen dazu leiten sich aus dem Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung ab und werden sowohl von den Betreibern der Anlage selbst als auch von unabhängigen Messstellen der Länder 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, GMBl 2006, S. 254.

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

In den neuen Bundesländern wurde gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radonzerfallsprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. Die Art der Überwachung änderte sich durch das Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (Seite 122) nur unwesentlich.

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

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

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

1.4 Strahlenschutzmaßnahmen - Die Euratom-Grundnormen

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

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

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

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

- bei der Entscheidung, ob und welche Sachverhalte dem neu eingeführten vereinfachten Genehmigungsverfahren (registration) unterworfen werden;

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

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

1.5 Strahlenschutzmaßnahmen - Umsetzung in deutsches Recht (Überarbeitungsstand 2020)

Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der Summe der effektiven Dosen laut § 80 StrSchG 1 Millisievert im Kalenderjahr durch Expositionen aus
- genehmigungs- oder anzeigebedürftigen Tätigkeiten nach diesem Gesetz oder dem Atomgesetz,
- der staatlichen Verwahrung von Kernbrennstoffen nach § 5 Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes,
- der planfeststellungsbedürftigen Errichtung, dem planfeststellungsbedürftigen Betrieb oder der planfeststellungsbedürftigen Stilllegung der in § 9a Absatz 3 des Atomgesetzes genannten Anlagen des Bundes und
- dem Aufsuchen, Gewinnen oder Aufbereiten von radioaktiven Bodenschätzen, wenn dies der Betriebsplanpflicht nach § 51 des Bundesberggesetzes unterliegt.

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

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

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

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

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

Zu geplanten Expositionssituationen enthält die StrlSchV Vorgaben zum beruflichen und medizinischen Strahlenschutz sowie zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt. Diese betreffen u. a.
- die betriebliche Organisation des Strahlenschutzes,
- Fachkunde und Kenntnisse,
- Vorschriften zum Schutz beruflich exponierter Personen,
- die physikalische Strahlenschutzkontrolle und Strahlenschutzbereiche,
- die ärztliche Überwachung beruflich exponierter Personen,
- Anforderungen an Röntgen- und Bestrahlungsräume,
- die Sicherheit von Strahlenquellen,
- Bauartzulassungen,
- Anforderungen bzgl. der Anwendung ionisierender Strahlen am Menschen,
- den Strahlenschutz in Schulen,
- die Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe,
- Anforderungen an die Freigabe radioaktiver Stoffe.

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

Zu *bestehenden Expositionssituationen* enthält die StrlSchV u. a.
- Regelungen zum Schutz vor Radon,
- konkretisierende Vorgaben zur Bewältigung radioaktiver Altlasten,
- Verfahrensregelungen.

Übergreifend enthält die StrlSchV Bestimmungen insbesondere zu
- Dosis- und Messgrößen,
- Messstellen für die Ermittlung der beruflichen Strahlenexposition,
- Anforderungen an ermächtigte Ärzte,
- Sachverständigen.

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

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

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

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. 239 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl I S. 1328)
2. Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – **StrlSchG**) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), zuletzt geändert durch Artikel 2b des Gesetzes vom 18. November 2020 (BGBl. I S. 2397)
3. Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln (Arzneimittelgesetz - **AMG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005 (BGBl. I S. 3394), 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 116 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328)
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes (**BAusfAmtG**) vom 28. Februar 1992, (BGBl. I S. 376), zuletzt geändert durch Artikel 250 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - **ENeuOG**) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, (1994, 2439)), zuletzt geändert durch Artikel 107 des Gesetzes vom 8. Juli 2016 (BGBl. I S. 1594)
7. 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)
8. Gefahrgutbeförderungsgesetz (**GGBefG**) vom 06. August 1975 (BGBl. I S. 2121), Neufassung vom 7. Juli 2009 (BGBl. I S. 1774, 3975), zuletzt geändert durch Artikel 13 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510)
9. Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (**NiSG**) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2433), zuletzt geändert durch Artikel 9a des Gesetzes vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 960)

Verordnungen

Anm.: Hier aus historischen Gründen angeführt:

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - **RöV***) 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)*

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)*

10. Strahlenschutzverordnung (**StrlSchV**) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. November 2020 (BGBl. I S. 2502)
11. 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)
12. Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (**GGVSEB**) vom 17. Juni 2009, Neufassung vom 11. März 2019 (BGBl. I S. 258), zuletzt geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510)

13. Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensordnung - **AtVfV**) vom 18. Februar 1977, Neufassung vom 3. Februar 1995 (BGBl. I S. 180), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 11. November 2020 (BGBl. I S. 2428)
14. Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - **AtDeckV**) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch Artikel 13 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034)
15. Kostenverordnung zum Atomgesetz (**AtKostV**) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), zuletzt geändert durch Artikel 24 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966)
16. 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 240 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328)
17. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittel-Bestrahlungsverordnung - **LMBestrV**) vom 14. Dezember 2000 in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Februar 2019 (BGBl. I S. 116)
18. 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 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034)
19. 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 18 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034)
20. 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)
21. 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)
22. Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverordnung (**AtAV**) vom 30. April 2009 (BGBl. I S. 1000), zuletzt geändert durch Artikel 241 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328)
23. Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (**BEMFV**) vom 20. August 2002 (BGBl 1, S. 3366), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl I, S. 1947)
24. UV-Schutz-Verordnung **(UVSV**) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412)
25. Trinkwasserverordnung (**TrinkwV**) vom 21. Mai 2001 in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), zuletzt geändert durch Artikel 99 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328)
26. Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (**NiSV**) vom 5. Dezember 2018 (BGBl. I, S. 2187)
27. Verordnung zur Festlegung von Dosiswerten für frühe Notfallschutzmaßnahmen (Notfall-Dosiswerte-Verordnung - NDWV) vom 29. November 2018 (BGBl. I. S. 2034, 2172)

Allgemeine Verwaltungsvorschriften

28. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (**AVV-IMIS**) vom 13. Dezember 2006
    http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_13122006_RSII5114349.htm
    - Anhang 1: Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm)
    - Anhang 2: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm)
    - Anhang 3: Bundeseinheitliche Deskriptorenliste (BEDL)
29. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - **AVV-StrahLe**) vom 28. Juni 2000 (GMBl. 2000, Nr. 25, S. 490)
30. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen) vom 28. August 2012 (BAnz AT 05.092012B1)

Richtlinien

31. 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 (GMBl. 1978, S. 418)

32. 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 (GMBl. 2005, Nr. 13, S. 258)
33. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom 15. Februar 1992 (GMBl. 1992, S. 150)
34. Richtlinie zu Dichtheitsprüfungen von umschlossenen Strahlenquellen vom 04. April 2004 (GMBl. 2004, S. 410)
35. Richtlinie nach StrlSchV: „Strahlenschutz in der Medizin“ vom 24. Juni 2002 (GMBl. 2003, S. 227)
36. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 07. Dezember 2005 (GMBl. 2006, S. 254)
37. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Strahlenschutzverordnung) vom 21. Juni 2004 (GMBl. 2004, Nr. 40/41, S. 799), Änderung vom 19. April 2006 (GMBl. 2006, Nr. 38, S. 735)
38. 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 (GMBl. 2003, Nr. 31, S. 638)
39. Richtlinie für die Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten in Kernkraftwerken und sonstigen Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen vom 10. Dezember 1990 (GMBl. 1991, Nr. 4, S. 56)
40. Richtlinie für die Fachkunde von verantwortlichen Personen in Anlagen zur Herstellung von Brennelementen für Kernkraftwerke vom 30. November 1995 (GMBl. 1996, Nr. 2, S. 29)
41. Durchführung der Röntgenverordnung; Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin vom 22. Dezember 2005 (GMBl. 2006, Nr. 22, S. 414)
42. 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 (GMBl. 2003, S. 731), zuletzt geändert am 15.06.2010 (GMBl. 2010, S. 1242)
43. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Strahlenschutz in der Tierheilkunde“ vom 2. Februar 2005 (GMBl. 2005, S. 666)
44. Richtlinie zur Durchführung der RöV für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern (**SV-RL**) vom 27. August 2003 (GMBl. S. 783), zuletzt geändert am 09.02.2010 (GMBl. 2010, S. 711)
45. Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV); Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 66 Abs. 2 StrlSchV vom 11. Juni 2002 (GMBl. 2002, Nr. 30, S. 620)
46. 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 (GMBl. 2002, S. 620) vom 13. Oktober 2004 (GMBl. 2004, Nr. 55-57, S. 1089)
47. 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 (GMBl. 2004, Nr. 22, S. 410)
48. 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 (GMBl. 2007, Nr. 31/32, S. 623), Anhänge 1 bis 6, Anhang 7.1, Anhang 7.2, Anhang 7.3, Anhang 7.4
49. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte“ vom 18. Dezember 2003 (GMBl. 2004, S. 350), zuletzt geändert mit Wirkung vom 1. März 2004 durch Beschluß der Bund-Länderausschlüsse
50. Richtlinie zur Begrenzung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen bei Arbeiten vom 15. Dezember 2003 (GMBl. 2004, Nr. 22, S. 418)
51. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Qualitätssicherung durch ärztliche und zahnärztliche Stellen“ (GMBl. 2015, Nr. 51, S. 1026) vom 23. Juni 2015
52. Richtlinie zur Durchführung der StrlSchV und der RöV über „Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung“ vom 10. Dezember 2001; (GMBl. 2002, S. 136)
53. Richtlinie zur Emissions- und Immisionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) vom 11. August 1997

Empfehlungen, Erläuterungen

54. Durchführung der StrlSchV: Merkposten zu Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 Abs. 1 und 2 StrlSchV (GMBl. 2004 S. 9)

55. 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

56. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken vom 10. Mai 1978 (GMBl. 1978, S. 313) und vom 5. Februar 1996 (GMBl. 1996, S. 247)

57. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBl. 1980, S. 577)

58. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBl. 1981, S. 163)

59. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBl. 1981, S. 511)

60. Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung: Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (GMBl. 1982, S. 61)

61. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 21. Januar 1983 (GMBl. 1983, S. 146)

62. Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes vom 21. März 1983 (GMBl. 1983, S. 176)

63. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 13. Januar 1989 (GMBl. 1989, S. 71), Neufassung v. 19./20.02.2015 nach Empfehlung der SSK v. 19.02.2015 (BAnz AT 04.01.2016 B4)

64. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 13. Januar 1989 (GMBl. 1989, S. 94), Neufassung v.13.02.2014 (BAnz AT 18.11.2014 B5)

65. 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)

66. 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)

67. KTA-Regel 1504: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (Fassung 2015-11)

68. KTA-Regel 1507: Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren (Fassung 2017-11)

69. KTA Regel 1508: Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre (Fassung 2017-11)

EURATOM- und EU-Verordnungen und Richtlinien

70. 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)

71. 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)

72. 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)

73. 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

74. 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)

75. Richtlinie 2008/68/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. September 2008 über die Beförderung gefährlicher Güter im Binnenland (ABl. L 260 vom 30.9.2008, S. 13), zuletzt geändert durch Durchführungsbeschluss (EU) 2020/1241 der Kommission vom 28. August 2020

76. 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)

77. 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

78. 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)

79. 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)

2. Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen

2.1 Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung

Die beiden wesentlichen Größen in diesem Bericht im Bereich der ionisierenden Strahlung sind Becquerel und Millisievert. In Becquerel (Bq) wird die „Menge“ an Radioaktivität in einem bestimmten Medium, z. B. Umweltmedium (Umweltradioaktivität) angegeben, in Millisievert (mSv) die sich daraus ergebende Dosis als Maß für die Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die Vermeidung bzw. größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes[1].

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.

2.2 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.

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

[1] ALARA-Prinzip: „**A**s **l**ow **a**s **r**easonably **a**chievable“

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

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

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

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

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

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

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

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in Anlage 18 zur Strahlenschutzverordnung entsprechendTabelle G 1.1-1 festgelegt.

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

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

E_n ist der Zahlenwert der Neutronenenergie in MeV.

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

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

$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in AbbildungG 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:

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

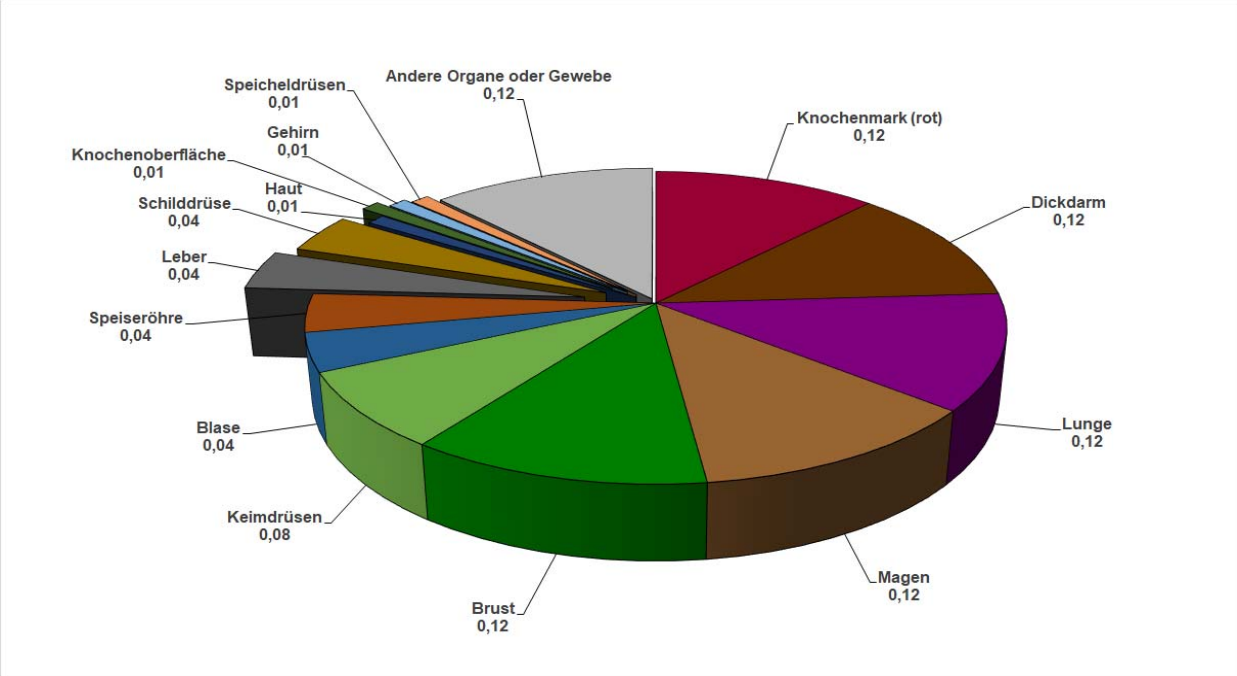


Abbildung G 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anlage 18)
(Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

2.3 Die Messung der Strahlendosen

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

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g/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 in Anlage 18 als Messgrößen die Personendosis als Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person und unterscheidet die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ in einer Messtiefe von 10 mm, die Augenlinsen-Personendosis $H_p(3)$ in 3 Millimeter Tiefe und die Oberflächen-Personendosis $H_p(0{,}07)$ in einer Messtiefe von 0,07 mm jeweils an der Tragestelle des für die Messung vorgesehenen Dosimeters. Die Tiefen-Personendosis wird z. B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis ist z. B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

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

Bei der Dosisbestimmung ohne Vorhandensein einer Person wird die so genannte Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es drei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10), die Richtungs-Äquivalentdosis in 3 Millimeter Tiefe H´(3,Ω) und die Richtungs-Äquivalentdosis in 0,07 mm Tiefe H´(0,07,Ω). Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt. Gemäß StrlSchV Anlage 18 bestimmen sich die Werte des Qualitätsfaktors der ICRU in Abhängigkeit von dem unbeschränkten linearen Energieübertragungsvermögen in Wasser nach den Empfehlungen der Internationalen Strahlen-

schutzkommission (ICRP) in ICRP-Veröffentlichung 103. Diese ist in deutscher Übersetzung durch das BfS als BfS-Schrift 47/09 unter urn:nbn:de:0221-2009082154 verfügbar .

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

2.4 Äußere und innere Bestrahlung[1]

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 Betateilchen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

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

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

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde (1 Bq = 1/s). Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3{,}7 \cdot 10^{10}$ 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 μm^2 den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen – für Alphateilchen bei etwa 500 mGy – kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30 % aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 µm) 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 vereinzelten Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s. o.). Bei inkorpo-

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

rierten Radionukliden, die an Partikel (Schwebstoffe) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

2.5 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung[1]

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

2.6 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

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

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.

2.7 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 überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko annähernd linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in Innenräumen ansteigt.

2.8 Risikoabschätzung

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

Nationale und internationale wissenschaftliche Gremien, wie die japanische Radiation Effects Research Foundation (RERF), das Wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen zu den Auswirkungen der atomaren Strahlung (United

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

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

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

Es gibt zwei Risikomodelle, die bei Risikoprojektionen und -transfer zu Grunde gelegt werden können: das absolute und das relative 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 Lebenszeitrisiko 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.

I GRUNDLAGEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt

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

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

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

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

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

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

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

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

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

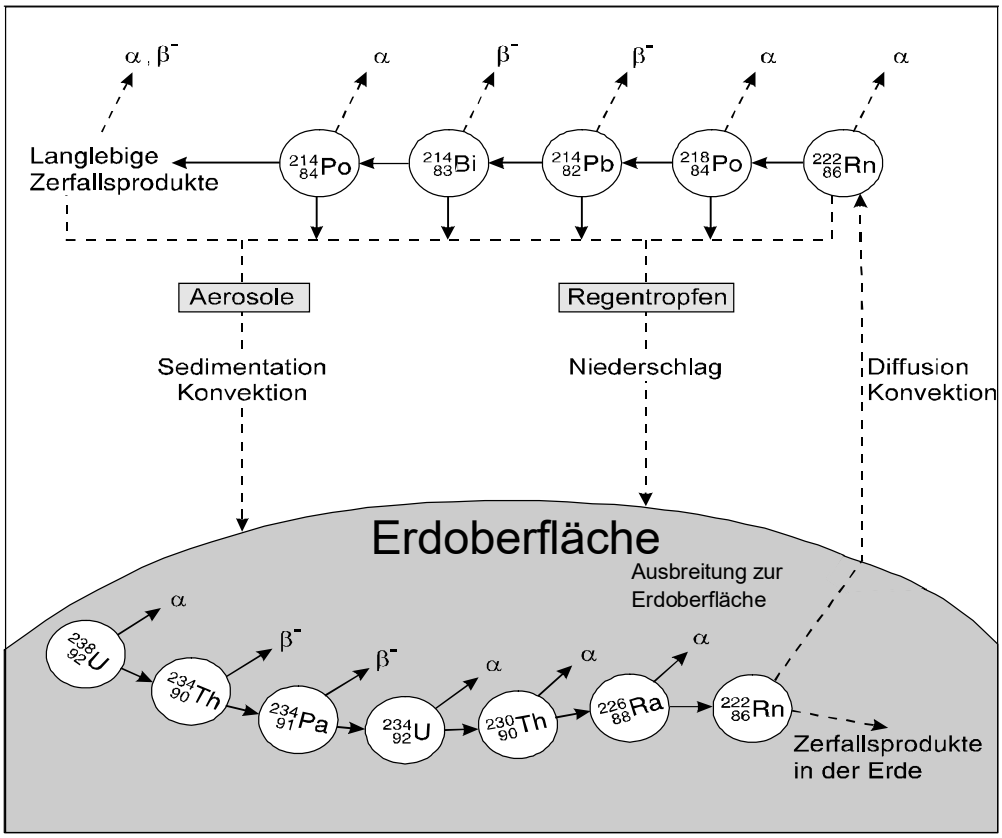


Abbildung G I 1-1 Entstehung des Rn-222 und seiner Zerfallsprodukte aus U-238
(Production of Rn-222 and its decay products from U-238)

1.1 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden

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

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

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

In Tabelle G I 1.1-2 sind Ergebnisse von Messungen der spezifischen Ra-226-Aktivität von Bodenproben aus den Regionen des Uran- und Kupferschieferbergbaus in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt Messergebnissen aus dem norddeutschen Raum und anderen Gebieten Deutschlands gegenübergestellt. Auf Grund des Urangehaltes in den Gesteinen sind in den Böden der genannten Bergbauregionen die mittleren Werte der spezifischen Aktivität höher als in anderen Regionen. So beträgt die mittlere spezifische Ra-226-Aktivität in den Böden im Bergbaugebiet 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 Bergbaugebiet	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 Radionulide in Oberflächenwässern (einschließlich Meereswässern), Grund-, Quell- und Stollenwässern und insbesondere in Trinkwässern wurden im Rahmen von verschiedenen Umweltüberwachungsprogrammen und Forschungsvorhaben ermittelt. Typische Werte sind in Tabelle G I 1.2-1 zusammengefasst.

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

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

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

* kosmogener Anteil

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Das ozeanische Meerwasser besitzt einen Salzgehalt von etwa 35 Promille. Im Salz des Meeres sind auch natürliche Radionuklide enthalten, deren Konzentrationen zum Teil proportional zum Salzgehalt in den Küstengewässern abnehmen oder auch durch geochemische Prozesse aus der Wassersäule 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, Buesseler KO, Sims KWW: Re-evaluating the ^{238}U-salinity relationship in seawater; Implications for the ^{238}U-^{234}Th disequilibrium method, Marine Chemistry 2011, 127:31-39

[4] Hsieh YT, Henderson GM, Thomas AL: Combining seawater ^{232}Th and ^{230}Th 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] Bünger 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] Bünger 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, Bünger 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/m^3. 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/m^3 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/m^3 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/m^3								
0,8 - 2,0	1,4 - 2,0	0,6 - 1,7	<1,3 - 6,3	200 - 670	26 - 48	0,4 - 1,2	0,6	1,0 - 1,2

1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung

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

In den Jahren 2000 bis 2003 sind umfangreiche Untersuchungen der natürlichen Radioaktivität in Lebensmitteln 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 Lebensmitteln (Median-Werte)
(Specific activity of natural radioactive substances in foodstuffs - median values)

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

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

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

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

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

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

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

1.5 Natürliche Strahlenexposition

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

Äußere Strahlenexposition

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

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

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

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

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

Innere Strahlenexposition

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

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

Die effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur 5 µSv/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 Lebensmitteln 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].

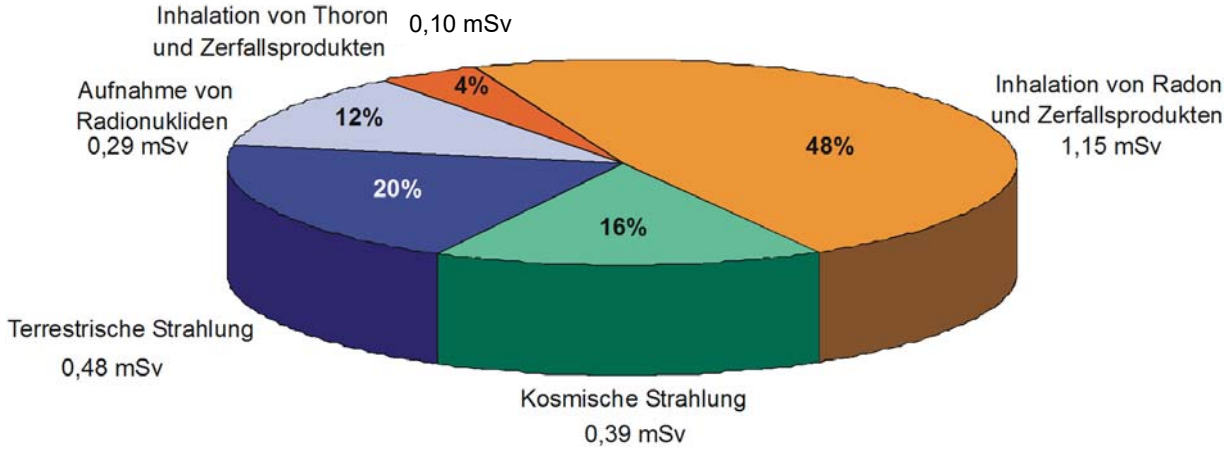


Abbildung G I 1.5-1 Mittlere jährliche effektive Dosis der Bevölkerung der nördlichen Hemisphäre durch natürliche Strahlenquellen (UNSCEAR 2008)
(Mean annual effective dose of the population from natural radiation sources in the northern hemisphere - UNSCEAR 2008)

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) 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. m^3 Haldenmaterial, etwa 20 Mio. m^3 Schlacken und etwa 30 Mio. m^3 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. m^3**	**2 – 3 Mio. m^3**	**12 500 – 37 000 m^3**	**2 – 20 Mio. m^3**	**4 – 25 Mio. m^3**
Gesamt	**ca. 25 – 100 Mio. m^3**				

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

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

2.2 Radon in Gebäuden

Radon und seine Zerfallsprodukte werden vom Menschen mit der Atemluft im Freien und in Gebäuden aufgenommen. Während das Edelgas Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet wird, werden seine Zerfallsprodukte (von Bedeutung sind hier die radioaktiven Schwermetalle Po-218, Bi-214, Pb-214 und Po-214) im Atemtrakt angelagert. Die dort beim radioaktiven Zerfall auftretende Strahlung führt zu einer Exposition, die in Deutschland - bei Anwendung der derzeitigen 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. Regionale Unterschiede der Radonkonzentration in Gebäuden werden vor allem durch das Radonangebot des Baugrundes bestimmt, das von der Geologie des Grundgebirges, der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und tektonischen Störungen abhängig ist. Ein Maß für das Radonangebot ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Radonfreisetzungen aus den Baustoffen spielen demgegenüber eine untergeordnete Rolle. Die letztendlich im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt von der Bauweise, vor allem von der Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Struktur des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsverhalten ab.

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

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

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben werden seit vielen Jahren Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden durchgeführt. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen liegt in Deutschland bei 50 Bq/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/m^3 festgestellt. Statistisch zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 16 % pro 100 Bq/m^3. Welche Radonkonzentrationen in einzelnen Gebäuden anzutreffen sind, hängt vom geologischen Untergrund am Gebäudestandort und der Radondichtheit der Gebäudehülle ab, da in den überwiegenden Fällen das in der Bodenluft vorkommende und durch erdberührende Wände und die Bodenplatte in das Haus eindringende geogene Radon die Ursache für eine erhöhte Radoninnenraumkonzentration ist. Sie kann durch Lüftung beeinflusst werden.

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

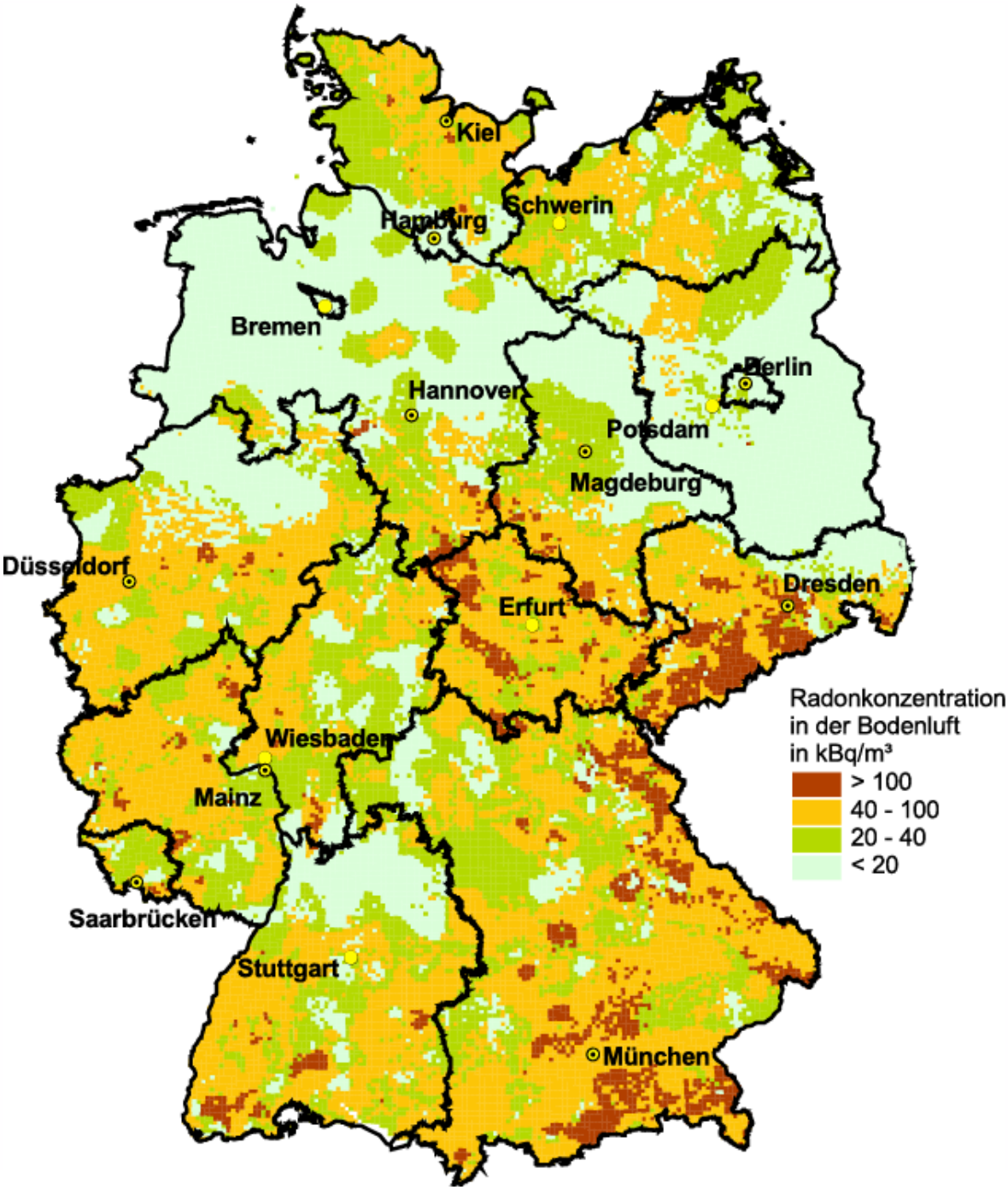


Abbildung G I 2.2-1 Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe (Daten von 2001)
(Overview of Radon concentration in soil air at 1 m depth - data from 2001)

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

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

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

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

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

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

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

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

Das aus den epidemiologischen Studien abgeleitete zusätzliche Lebenszeitrisiko in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, beträgt im Alter von 75 Jahren 0,6 $\times 10^{-5}$ pro Bq/m^3 Radonkonzentration, d. h. sechs Fälle pro einer Million Betroffener für lebenslange Nichtraucher bzw. 15 $\times 10^{-5}$ 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 Bq/m^3 und 1670 Bq/m^3 bzw. 167 Bq/m^3 für lebenslange Nichtraucher.

Aktuelle Daten zu Radon in Gebäuden sind in Teil B - I - 2.2 dargestellt.

Literatur

[1] Lungenkrebsrisiko durch Radonexposition in Wohnungen, verabschiedet auf der 199. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22. April 2005
In: Gumprecht D, Heller H (Hrsg): Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2005. Veröffentlichung der Strahlenschutzkommisstion, 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 Magmagesteine vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

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

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

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

Mit den Festlegungen der StrlSchV wird ein wichtiges Instrumentarium zum Vollzug des Strahlenschutzes im Rahmen der Baugesetzgebung zur Verfügung gestellt. Gemäß EU-Bauprodukteverordnung (siehe Seite 125) 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 Mittelwert (Bereich)		Th-232 Mittelwert (Bereich)		K-40 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)
Augitporphyrit	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)
Holzwolle-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 Mittelwert (Bereich)		Th-232 Mittelwert (Bereich)		K-40 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	
Schlämmkreide	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 Mittelwert (Bereich)		Th-232 Mittelwert (Bereich)		K-40 Mittelwert (Bereich)	
	spezifische Aktivität (Bq/kg TM)					
Apatit (GUS)	30		60		100	
Phosphorit (GUS)	390		25		230	
Phosphat (Marokko)	1800		26		-	
Phosphat (GUS - Kola)	59		64		-	
Magnetit (Erzgebirge)	44		3		52	
Mikrolithkonzentrat (Mosambique)	120 000		11 000		-	
Tantalitkonzentrat (Mosambique)	14 000		3900		-	
Monazitsand (Indien, Sri Lanka)	600	(30 - 1000)	2000	(50 - 300)	40	(< 40 - 70)
Monazitkonzentrat (Mosambique)	36 000		84 000		-	
Silberkonzentrat (Erzgebirge)	140		150		5200	
Blähton und Blähschiefer	40	(< 20 - 70)	70	(30 - 90)	600	(70 - 800)
Hüttenbims	170	(110 - 230)	43	(24 - 62)	190	(180 - 190)
Porensinter	37		51		690	
Düngemittel (nicht spezifiziert)	400	(< 20 - 1000)	20	(< 20 - 30)	4000	(< 40 - 8000)
Superphosphate						
(Deutschland)	375	(230 - 520)	30	(15 - 44)	96	(52 - 140)
(USA)	785	(780 - 790)	34	(20 - 48)	-	
(GUS)	110		44		120	
(Belgien)	910		< 25		< 180	
PK-Dünger (Deutschland)	370		15		5900	
PN-Dünger						
(Deutschland)	310		30		41	
(GUS)	460	(100 - 820)	29	(10 - 48)	-	
(USA)	115	(20 - 210)	39	(15 - 63)	-	
NPK-Dünger						
(Deutschland)	270		15		5200	
(GUS)	9		54		1200	
(Belgien)	210		< 15		5900	
Koks	30	(20 - 30)	< 20		70	(40 - 80)
Steinkohle	32	(5 - 150)	21	(5 - 63)	225	(7 - 700)
Braunkohle	10	(< 1 - 51)	8	(< 1 - 58)	22	(< 4 - 220)
Bitumen, Teer	< 20		< 20		110	(37 - 260)

Literatur

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

II GRUNDLAGEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

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

1. Quellen künstlicher Radioaktivität

1.1 Kernwaffenversuche

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

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

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

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

Zivile und wissenschaftliche Nutzung des internationalen Messnetzes

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

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

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

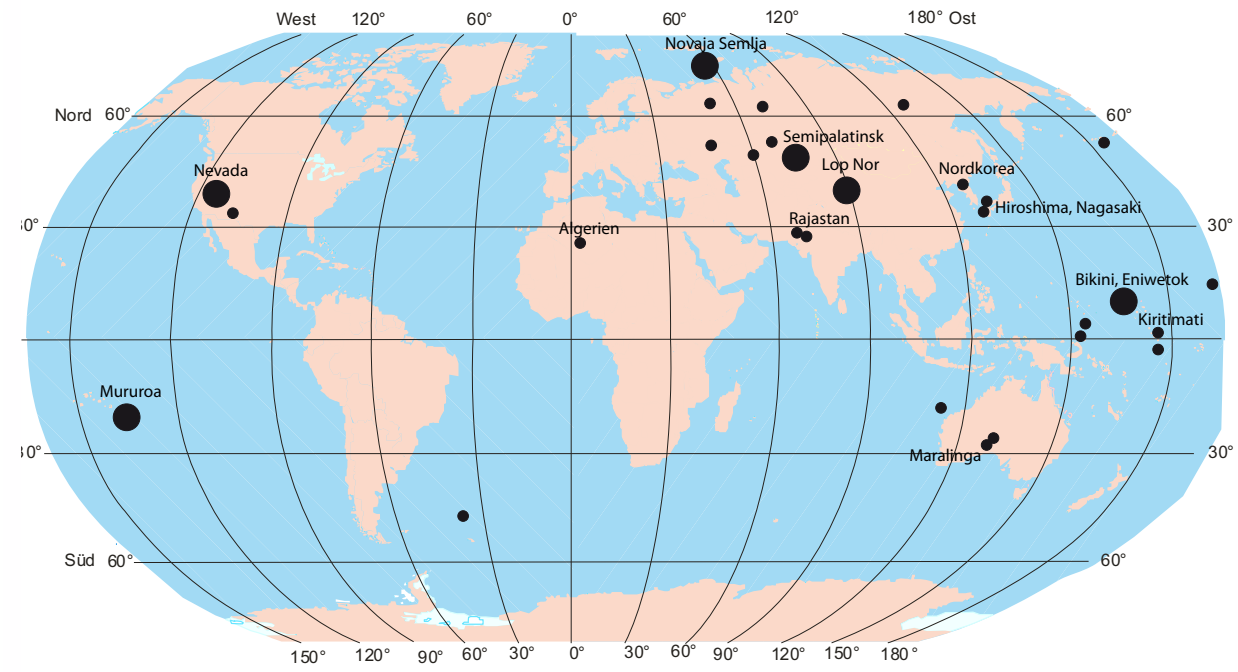


Abbildung G II 1.1-1 Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (verändert nach UNSCEAR)

(Locations of nuclear explosions to date - modified according to data of UNSCEAR)

1.2 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall

Tschernobyl

Seit der Jahrtausendwende trägt nur noch Cs-137 mit 30 Jahren Halbwertszeit nennenswert zur Strahlenexposition durch den Reaktorunfall in Tschernobyl bei. Dieser Beitrag von gut 10 Mikrosievert pro Jahr (µSv/a) ist hauptsächlich auf die Bodenstrahlung zurück zu führen. Der Beitrag zur inneren Strahlenbelastung ist dagegen mit weniger als 1 µSv/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 µSv, in Gebäuden etwa 2 µSv 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 µSv/a (zum Vergleich: 1986 ca. 70 µSv, 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 Bq/m^2 [1] nach wie vor 90 µSv pro Jahr erreichen. Die durch externe Strahlung natürlicher Radionuklide verursachte effektive Dosis (siehe Grundlagenteil I 1.1, "Natürlich radioaktive Stoffe im Boden") beträgt im Vergleich dazu im Mittel 400 µSv 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 µSv 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 µSv 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.

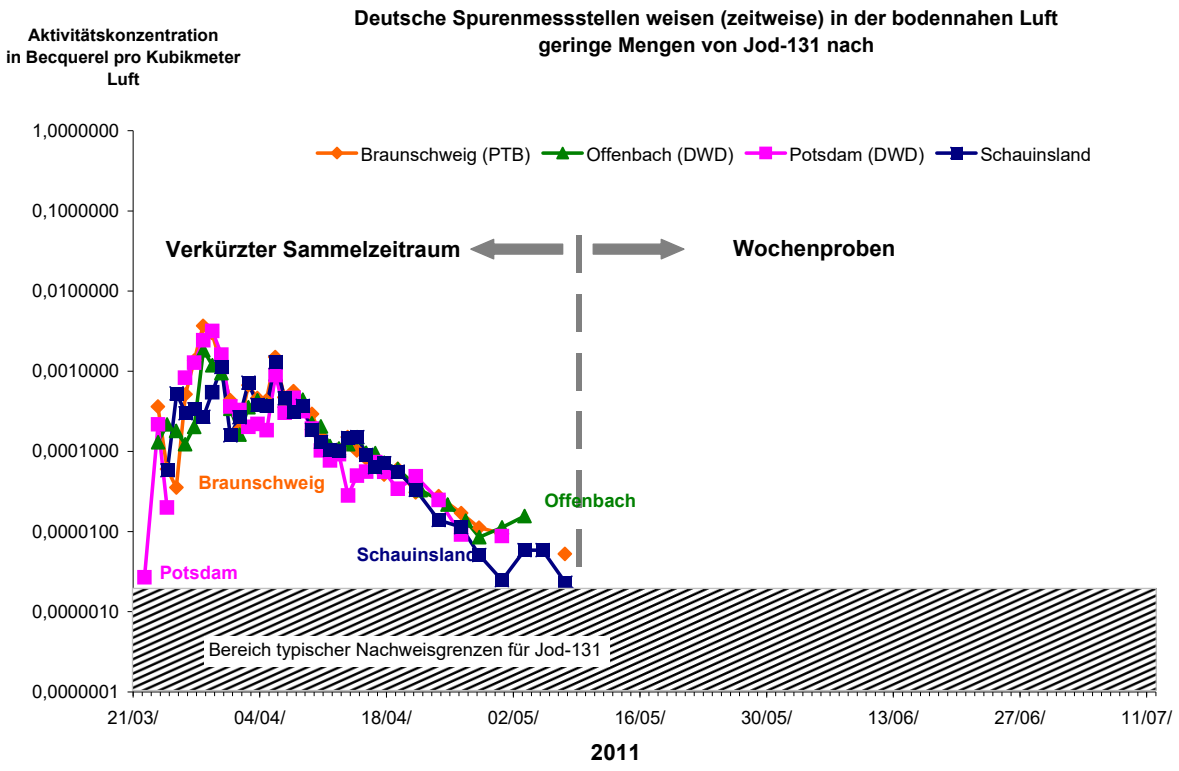
Am 11. März 2011 um 14:46 Ortszeit wurde Japan von einem Erdbeben der Stufe 9,0 mit Epizentrum vor der Küste der Präfektur Miyagi erschüttert. Als Folge des dadurch ausgelösten Tsunamis wurde die Küstenregion verwüstet. Hierbei wurde auch die Strom- und Notstromzufuhr für die Blöcke 1 - 3 des Kernkraftwerks 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 Lebensmitteln 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/ion/notfallschutz/notfall/fukushima/fukushima_node.html).

Radionuklide in der Luft

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

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



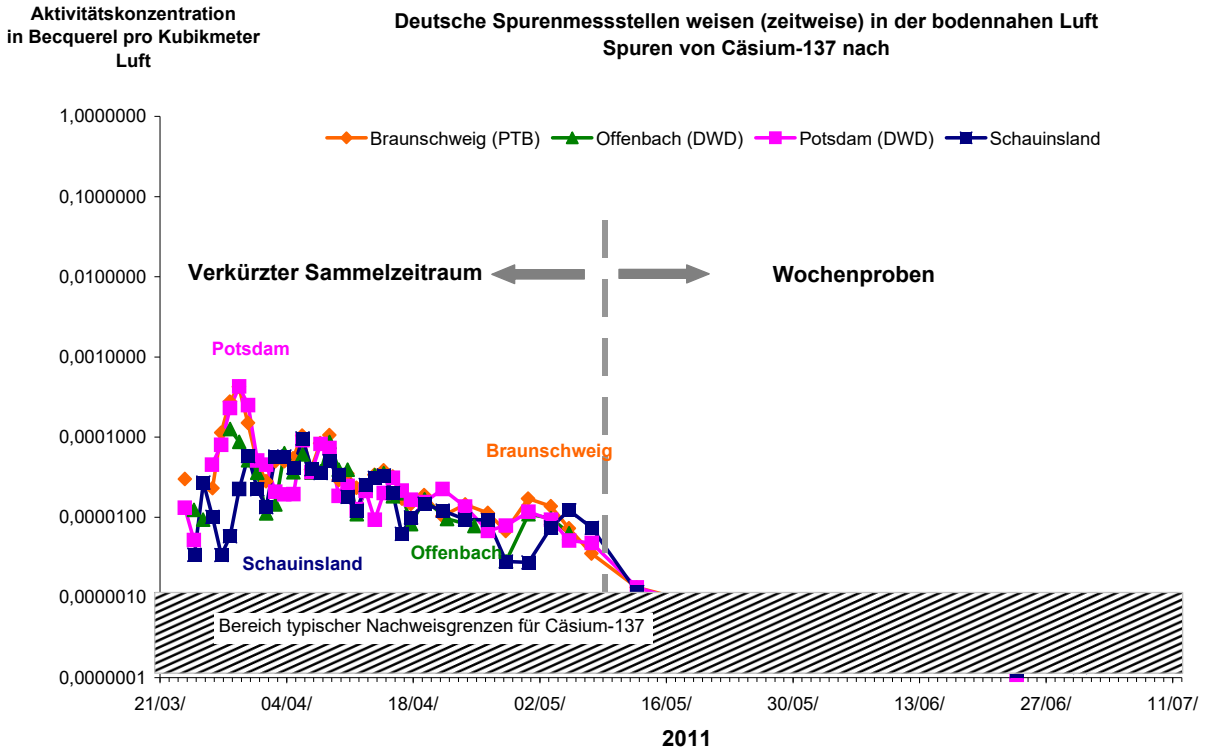


Abbildung G II 1.3-1 Aktivitätskonzentrationen von I-131 und Cs-137 an den deutschen Spurenmessstellen, die Bestandteil des EU-Sparse Network sind

(Activity concentrations of I-131 and Cs-137 in ground-level air at those German sampling sites, which are part of the EU-Sparse Network)

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

Neben den Messungen der bodennahen Luft wurden auf der Basis der meteorologischen Prognosen am 23. und am 30.03.11 im deutschen Luftraum Messflüge durch den DWD durchgeführt. Der erste Messflug ergab keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen. Während des zweiten Messfluges am 30.03.11 wurden für I-131 Aktivitätskonzentrationen von 1,7 mBq/m^3 in einer Flughöhe von 10 000 m und 2,6 mBq/m^3 in einer Flughöhe von 6000 m festgestellt, also ähnliche Werte wie in der bodennahen Luft (s. o.).

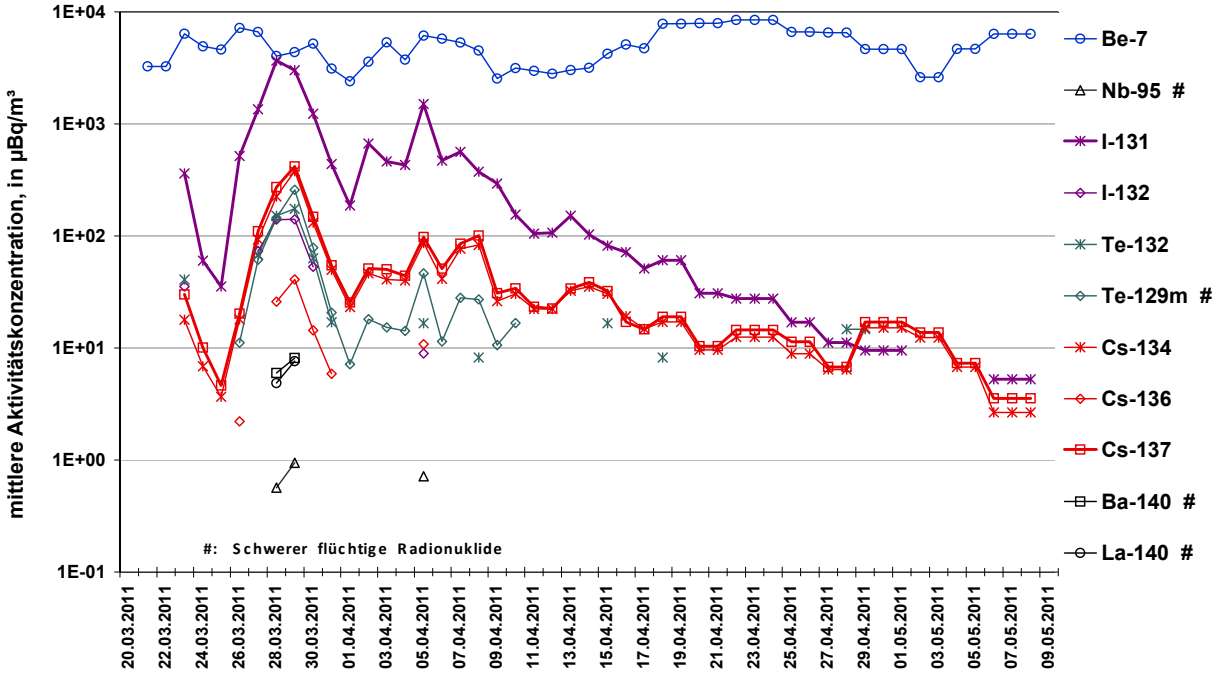


Abbildung G II 1.3-2 Aktivitätskonzentrationen verschiedener Radionuklide aus Fukushima in der bodennahen Luft im Zeitraum März 2011 bis Mai 2011 am Probenentnahmeort Braunschweig

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

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

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

Radionuklide in importierten Fischereierzeugnissen

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

Bewertung des in Deutschland beobachteten Einflusses der Freisetzungen in Fukushima

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

Konsequenzen aus dem Reaktorunglück in Fukushima

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

[1] Bejdakic E et al: Die Katastrophe im Kernkraftwerk Fukushima nach dem Seebeben vom 11. März 2011, BfS-SK-Bericht BfS-SK-18/12, urn:nbn:de:0221-20120302761, Salzgitter, März 2012

[2] Masson O, Baeza A, Bieringer J, Brudecki K, Bucci S, Cappai M, Carvalho FP, Connan O, Cosma C, Dalheimer A, Depuydt G, De Geer L.E, De Vismes A, Gini L., Groppi F, Guðnason K., Gurriaran R, Hainz D, Halldórsson O, Hammond D, Holý K, Homoki ZS, Ioannidou A, Isajenko K, Katzlberger C, Kettunen M, Kierepko R, Kontro R, Kwakman PJM, Lecomte M, Leppäne, AP. Lind B, Lujaniene G, Mc Ginnity P, Mc Mahon C, Malá H, Manenti S, Manolopoulou M, Mattila A, Mauring 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 § 99 StrlSchV geregelt. Für die Planung, die Errichtung, den Betrieb, die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau von kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen sind hier jeweils Grenzwerte für die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen bedingte Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr festgelegt. Für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert jeweils 300 µSv über Luft bzw. Wasser pro Jahr.

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

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

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

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

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

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

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen, dem Endlager Morsleben und der Schachtanlage Asse II sind in Teil B - II - 1.5 zusammengefasst.

Die Messwerte aus der Schachtanlage Asse II (Daten der Betreiber) werden hier seit dem Berichtsjahr 2007 auch dargestellt. In der Schachtanlage 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 m^3 radioaktive Abfälle in der Schachtanlage Asse II eingelagert.

Im September 2008 hat das Bundeskabinett entschieden, die Schachtanlage 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 Richtli-

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

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

Die Länder ermitteln in ihren ca. 50 Messlabors die Radioaktivität
- in Lebensmitteln,
- in Futtermitteln,
- in Trinkwasser, Grundwasser und in oberirdischen Gewässern,
- in Abwässern, im Klärschlamm, in Abfällen,
- in und auf dem Boden sowie
- in Pflanzen.

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

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

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

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

ist Grundlage für die Beurteilung der Einhaltung der maximal zulässigen Aktivitätsabgaben. Die Emissionsüberwachung muss sowohl für den bestimmungsgemäßen Betrieb als auch für den Störfall/Unfall eine Beurteilung erlauben, ob die Dosiswerte des radiologischen Notfallschutzes überschritten werden. Für eine schnelle Verfügbarkeit von Messwerten zur Abschätzung radiologischer Auswirkungen werden auch hier automatisch arbeitende Messeinrichtungen eingesetzt.

Ergänzend zu den Messungen zur Überwachung der Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen werden Messungen in der Umgebung durchgeführt (Immissionsüberwachung). Sie dienen als zusätzliche Kontrolle der Einhaltung von Dosisgrenzwerten und damit indirekt auch der Ableitungen. Die hierzu erforderlichen Nachweisgrenzen für Dosisleistungsmessungen und Radionuklidbestimmungen sind abhängig von den Dosisbeiträgen durch äußere und innere Bestrahlung zur Gesamtdosis festzulegen. Bei der Immissionsüberwachung werden die Umweltmedien Luft, Niederschlag, Boden, Bewuchs, Milch, Oberflächenwasser der Binnengewässer, Fische, Wasserpflanzen, Grund- und Trinkwasser und pflanzliche Lebensmittel 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 Lebensmittel pflanzlicher oder tierischer Herkunft sollen für die Umgebung des Standortes typisch sein und einen wesentlichen Beitrag zu der gesamten Ingestionsdosis erwarten lassen.

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

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

Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren

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

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

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

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

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

Literatur

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

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

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung

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

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

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

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

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

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

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

Die bilanzierten Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft werden in verschiedene Nuklidgruppen zusammengefasst. Dies sind die Gruppen radioaktive Edelgase, an Schwebstoffe gebundene Radionuklide (mit einer Halbwertszeit > 8 Tage), I-131, C-14 (C-14-Dioxid-Anteil) und H-3. Auf Grund der unterschiedlichen Beiträge der einzelnen Radionuklide zur Strahlendosis ist die Kenntnis der Nuklidzusammensetzung innerhalb der einzelnen Gruppen erforderlich. Hierzu werden Einzelnuklidbestimmungen für die Edelgase und die an Schwebstoff gebundenen Radionuklide durchgeführt. Letztere beinhalten neben den gammaspektrometrisch erfassbaren Radionukliden auch die Betastrahler Sr-89 und Sr-90 sowie die Alphastrahler Pu-238, Pu-(239+240), Am-241 sowie Cm-242 und Cm-244.

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

Die aktuellen Messdaten der γ-Ortsdosisleistung, die an ca. 1800 Messstellen kontinuierlich beobachtet werden, sind auf der Internetseite www.imis.bfs.de/geoportal/ abrufbar. Eine Übersicht über die Messergebnisse im Berichtszeitraum sowie die in diesem Zeitraum ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuclide 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-radioakiver Abfälle in mehr als 4000 m Tiefe im Nordostatlantik [1]. Auch die früheren Versenkungen radioaktiver Abfälle durch die ehemalige UdSSR in der Barents- und Karasee sowie das 1989 gesunkene russische Atom-U-Boot „*Komsomolets*“ in etwa 1700 m Tiefe in der Norwegensee führen zu keiner erhöhten Belastung dieser Meeresgebiete oder gar der Nordsee.

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

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

Literatur

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

2.3 Binnengewässer

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

Der radiologische Gütezustand der Gewässer wird von den Radionuklidgehalten in den Kompartimenten Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment geprägt, von denen auch die Wasserflora und -fauna beeinflusst werden. Mit der Überwachung der dynamischen Kompartimente Oberflächenwasser und Schwebstoff können Einträge und Veränderungen radioaktiver Kontaminationen in Gewässern relativ kurzzeitig und empfindlich erfasst und verfolgt werden. Bei Fließgewässern ist zu beachten, dass Radionuklide - in gelöster Form oder partikular gebunden - mit Wasser bzw. Schwebstoffen über weite Strecken verfrachtet werden können. Schwebstoffe sedimentieren bevorzugt in Stillwasserbereichen, wie sie z. B. Häfen, 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 - 2.3 dieses Berichts jeweils für Überwachung nach dem StrlSchG bzw. der REI zusammengefasst und erläutert.

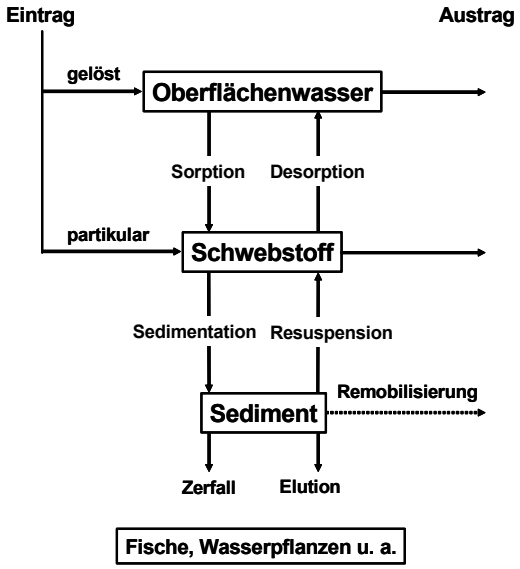


Abbildung G II 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten radioaktiver (und anderer) Stoffe in Fließgewässern
(Simplified model to evaluate the exchange and transport behavior of radioactive and other substances in rivers)

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 Talsperren. Geschützte Rohwässer umfassen Karst- und Kluftgrundwässer einschließlich Stollenwässer, Porengrundwässer und mit aufbereitetem oder nicht aufbereitetem Oberflächenwasser künstlich angereicherte Grundwässer. Das RMP sieht die Überwachung von etwa 80 Reinwässern vor, die aus der Aufbereitung von jeweils ca. 40 ungeschützten und geschützten Rohwässern stammen. Zusätzlich werden bei der Umgebungsüberwachung von ca. 50 Probenentnahmeorten Rein- bzw. Rohwasserproben analysiert.

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

Fische und Fischereiprodukte aus Meeren und Binnengewässern

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

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

Radioaktive Stoffe in der aquatischen Umwelt werden, vergleichbar mit terrestrischen Ökosystemen, entlang von Nahrungsketten, also z. B. aus dem Wasser über Algen und wirbellose Tiere bis zu Fisch und Top-Prädatoren wie Meeressäugern angereichert. Die Quellen künstlicher Radionuklide in Fisch sind dabei dieselben wie für Meerwasser und Binnengewässer (Teil - B - II - 2.2). 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 Lebensmittel 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 Lebensmitteln 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 Trinkwässer 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 Klär-

schlämme, 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 Strahlenschutzkomission - Band 7, Gustav Fischer Verlag Stuttgart New York, 1998

[4] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Radionuklide in Wasser-Schwebstoff-Sediment-Systemen und Abschätzung der Strahlenexposition, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkomission - 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 separat veröffentlicht werden.

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

3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition

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

Die aktuellen Daten zur Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition sind in Teil B - III - 3 dargestellt.

4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen

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

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

IV GRUNDLAGEN ZUR STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Diagnostische Strahlenanwendungen

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

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

Die aktuellen Daten zu Häufigkeit und Dosis von Röntgen- und nuklearmedizinischen Untersuchungen sind in Teil B - IV - 1.1 bzw. 1.2 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. Die erzeugten Messdaten werden mit Hilfe eines Computerprogramms zu sehr aussagekräftigen überlagerungsfreien Schichtbildern zusammengesetzt. Die CT hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit keinem anderen Röntgenverfahren erreicht wird. Auf Grund der vergleichsweise hohen Strahlenexposition ist jedoch eine besonders strenge Stellung der rechtfertigenden Indikation durch den anwendenden Arzt erforderlich. Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die komplexeren Verfahren sind in Tabelle T IV.1 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 Gebührenziffern 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 Gebührenziffern abgeschätzt werden. Diese werden dem BfS von der Kassenärztlichen und Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KBV, KZBV) und durch den Verband der privaten Krankenversicherung (PKV) zur Verfügung gestellt (KBV bzw. KZBV: Ziffern nach dem Einheitlichen Bewertungsmaßstab EBM, ab 2. Quartal 2005 EBM 2000plus, bzw. BEMA; PKV: Ziffern nach der Gebührenordnung für Ärzte GOÄ). Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer eingespielt. In Deutschland finden die weitaus meisten radiologischen Untersuchungen im am-

bulanten 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 Gewebeinformationen zu erhalten, wie z. B. über Angiogenese (Ausbildung neuer Gefäßstrukturen) und Mikrozirkulation. Gegenüber der Positronenemissionstomographie (PET), einem nuklearmedizinischen Schnittbildverfahren, s. o., das vergleichbare funktionelle Informationen liefert, ist die hohe räumliche Auflösung der MRT und die Tatsache, dass bei der MRT keine radioaktiven Stoffe oder ionisierenden Strahlen verwendet werden, ein großer Vorteil. Letzteres gilt auch im Vergleich zu einer funktionellen Untersuchung mit der CT. Aus Sicht des Strahlenschutzes sollte

nach Möglichkeit die MRT-Untersuchung einer CT-Untersuchung vorgezogen werden, wenn sich dadurch ähnlich zuverlässige Diagnosen stellen lassen.

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

Eine Abschätzung der MRT-Häufigkeit ist in Teil B - IV - 1.4 gegeben.

1.5 Qualitätssicherung

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

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

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

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

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

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

2. Therapeutische Strahlenanwendungen

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

2.1 Strahlentherapie

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

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

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

re 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 Deutsche 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 Gelenkergüssen) 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- (Methyliodbenzylguanidin) und Radiopeptid-Therapie bei neuroendokrinen Tumoren sowie die minimal-invasive selektive interne Radiotherapie (SIRT) bei inoperablen bösartigen primären Lebertumoren und Lebermetastasen.

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

3. Medizinische Forschung

Sowohl für die Grundlagenforschung als auch die Erprobung neuer diagnostischer und therapeutischer Methoden bzw. Mittel sind Studien am Menschen unerlässlich. Studienteilnehmer, bei denen zum Zweck der medizinischen Forschung ionisierende Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) und radioaktive Stoffe angewendet werden sollen, werden in Deutschland in besonderer Weise geschützt. Für die Genehmigungen ist seit 2001 das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zuständig. Seit dem 31.12.2018 gibt es für bestimmte Anwendungen ein Anzeigeverfahren. Für die Verfahren der sogenannten Begleitdiagnostik sieht das StrlSchG eine Anzeigepflicht vor. Aktuelle Daten sind in Teil B - IV - 3 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. Abschnitt 2 der StrlSchV (§§ 12-15) regelt die Genehmigungspflicht der Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe einschließlich hochradioaktiver Strahlenquellen. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung der Ein- und Ausfuhr von Kernbrennstoffen bzw. sonstiger radioaktiver Stoffe sind in § 3 Abs. 2 und 3 AtG bzw. § 15 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegt. § 13 StrlSchV normiert die unter bestimmten Voraussetzungen mögliche genehmigungsfreie, jedoch anmeldungspflichtige grenzüberschreitende Verbringung von sonstigen radioaktiven Stoffen oder kleinen Massen an Kernbrennstoffen. Ausnahmen von der Genehmigungs- bzw. Anmeldungspflicht werden in § 14 Abs. 1 StrlSchV geregelt. Zuständige Behörde für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhrgenehmigungen und die Bearbeitung der Anmeldungen nach deren zollamtlicher Abfertigung (Nicht-EU-Staaten) ist nach § 22 Abs. 1 AtG das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Für die Genehmigung der Beförderung von Kernbrennstoffen und Großquellen ist nach § 23 Abs. 1 Nr. 3 AtG das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) zuständig. Großquellen im Sinne des Gesetzes sind gemäß § 23 Abs. 2 AtG radioaktive Stoffe, deren Aktivität je Beförderungs- oder Versandstück den Aktivitätswert von 1000 Terabequerel (10^{15} Bq) übersteigt.

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

Verfahren

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

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

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

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

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

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

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

Hochradioaktive Strahlenquellen

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

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

Anmeldeverfahren

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

Genehmigungsverfahren

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

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

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

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

Zusätzlich unterrichtet das BAFA das BMU, 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 Mitgliedstaaten 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 angemessen Kenntnis zu erhalten.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Jahresstatistik der Ein- und Ausfuhr radioaktiver Stoffe

Die vom BAFA erstellten Ein- und Ausfuhrstatistiken radioaktiver Stoffe sind in Teil B - V - 1 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 § 5 Abs. 39 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung bezeichnet. In Abschnitt 2 (§§ 12 bis 24) trifft das StrlSchG Regelungen zum „Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung“ und den „Umgang mit radioaktiven Stoffen“ sowie den „Betrieb von Röntgeneinrichtungen oder Störstrahlern““

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe

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

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

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

3.2 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern und Industrieerzeugnissen

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

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

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

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtemessungen

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

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

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

Strahlenexposition durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen

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

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

3.3 Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ)

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

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird vom BfS betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland im Verkehr sind und deren Aktivität die jeweils durch die Strahlenschutzverordnung vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet zentral erfasst (Anlage 4 zur StrlSchV). Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind durch die o. g. Richtlinie der Euratom innerhalb der EU einheitlich festgelegt. Der aktuelle Erfassungsstand ist aus Teil B - V - 3.3 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 Fernseheinrichtungen, sofern diese Geräte mit einer Spannung zur Beschleunigung der Elektronen über 30 kV arbeiten und keine Bauartzulassung besitzen. Auch Radargeräte gehören zu den Störstrahlern im Sinne der Strahlenschutzverordnung.

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

3.5 Bestand radioaktiver Abfälle

In der Bundesrepublik Deutschland fallen radioaktive Abfälle an:

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

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 Endlagerung anfallen werden. Ebenso ist der bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente angefallene radioaktive Abfall, der zum Teil noch nach Deutschland zurückgeführt werden muss, zu berücksichtigen.

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen 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 µSv 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 Freigaberegelungen 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 Freigaberegelung passen das bestehende Konzept den neuen Erfordernissen an und verbessern das Schutzniveau.

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

Literatur

[1] SSK, Freigabe von Materialien, Gebäuden und Bodenflächen mit geringfügiger Radioaktivität aus anzeige- oder genehmigungspflichtigem Umgang. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Heft 16, Bonn 1998

[2] SSK, Freigabe von Stoffen zur Beseitigung, Empfehlung der Strahlenschutzkommission 2006, Heft 54, Bonn 2007

[3] Safety Reports Series No.44: “Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance”, IAEA, Wien, 2005

4. Meldepflichtige bedeutsame Vorkommnisse

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

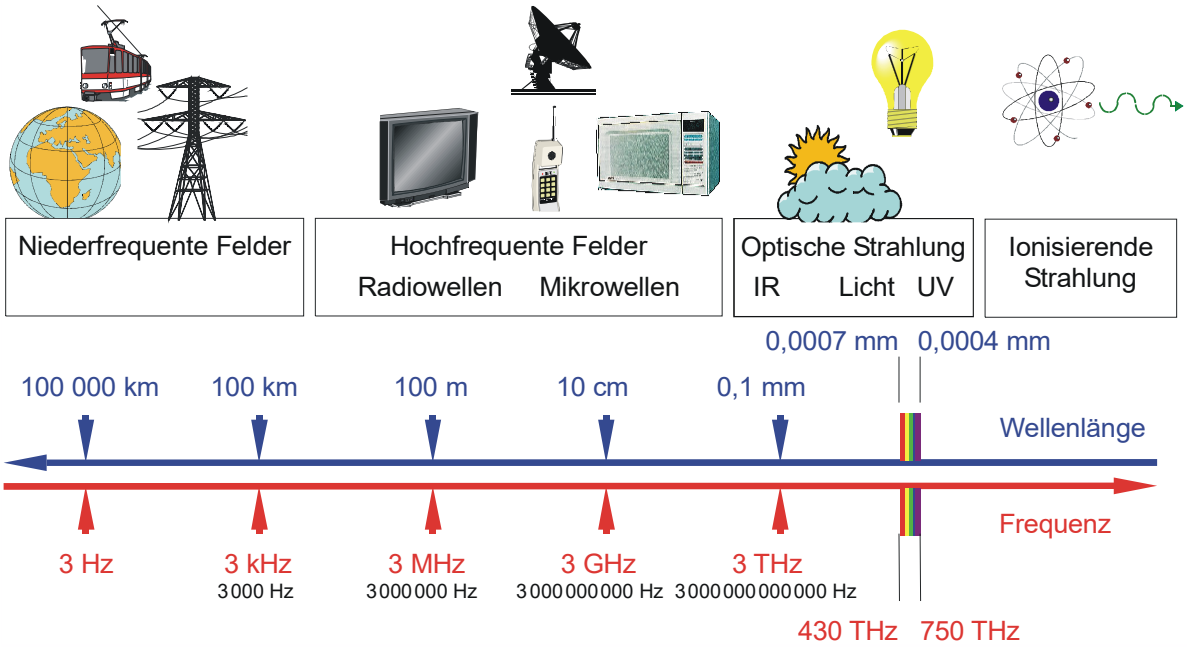


Abbildung G VI 1-1 Das elektromagnetische Spektrum
(The electromagnetic spectrum)

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 Ladungsumverteilung 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 Schadwirkungen 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 Magnetflussdichten 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), Magnetschwebebahnen, 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 Mikrotesla (µT)) auf. Für den Menschen konnte eine derartige Wahrnehmung bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie - MRT, englisch: nuclear magnetic resonance – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Bis heute sind keine Schwellen für eine gesundheitliche Schädigung durch statische Magnetfelder bekannt. Bei Flussdichten 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 Köperoberfläche 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 AbbildungG 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/f²
8 - 25	5**	5.000/f
25 - 50	5	200***
50 - 400	250/f	200
400 - 3.000	250/f	80.000/f
3.000 - 10.000.000	0,083	27

* Seit der Novelierung der 26. BImSchV sind auch Immissionen von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsanlagen (HGÜ) gesetzlich geregelt. Die Begrenzung ist so gewählt, dass Störbeinflussungen von implantierten Köperhilfen 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 Inkraftreten der Änderungsverordnung noch der alte Grenzwert

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

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

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

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

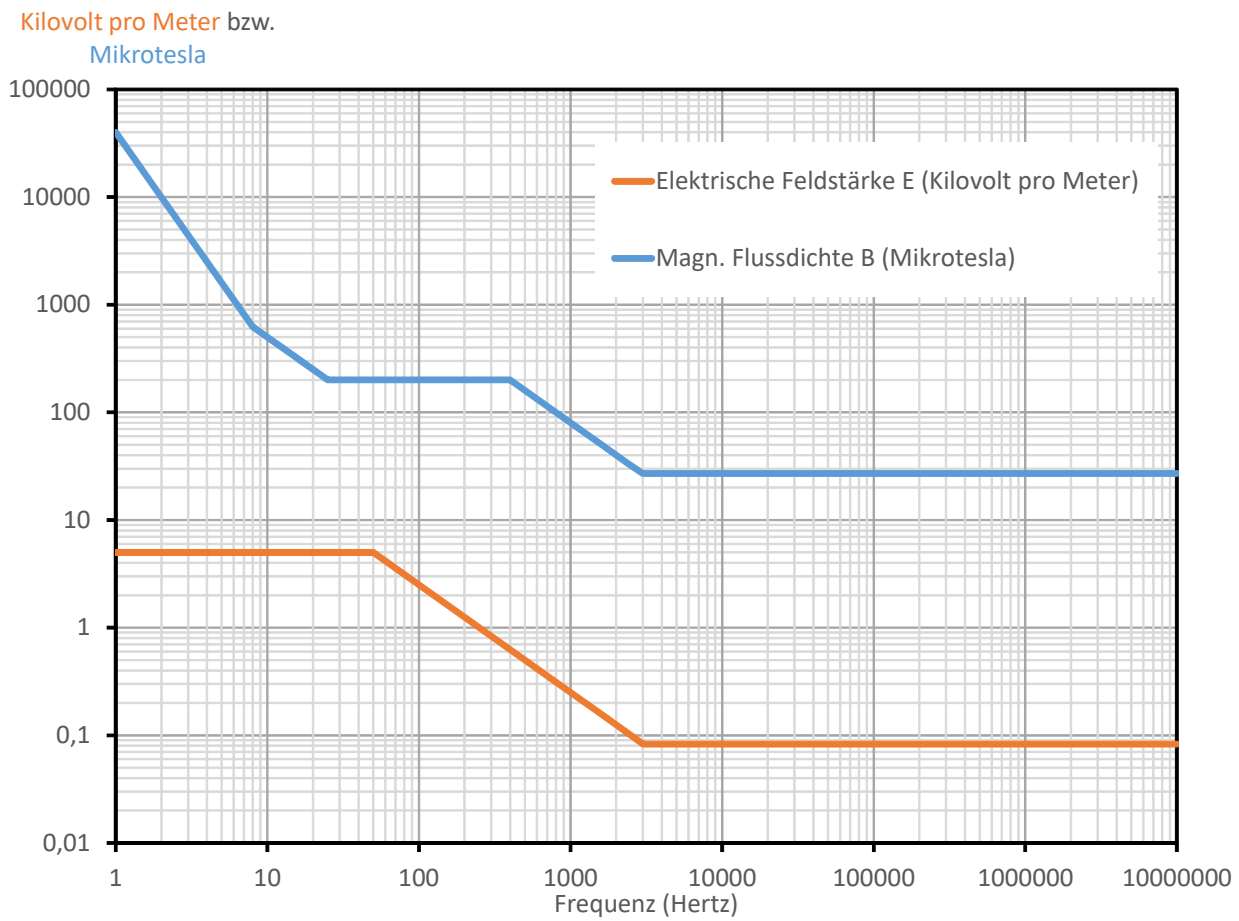


Abbildung G VI 3.1 Grenzwerte für feststehende Niederfrequenz-und Gleichstromanlagen (26. BImSchV)
(Limit values for fixed low-frequency and DC installations - 26th BImSchV)

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 Temperaturausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Höchstwert für den Kopf und den Körperrumpf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 Minuten). Für die Extremitäten wird eine Begrenzung auf 4 W/kg empfohlen. Wenn die empfohlenen Höchstwerte eingehalten werden, sind die nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand nachgewiesenen gesundheitlichen Gefahren ausgeschlossen.

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

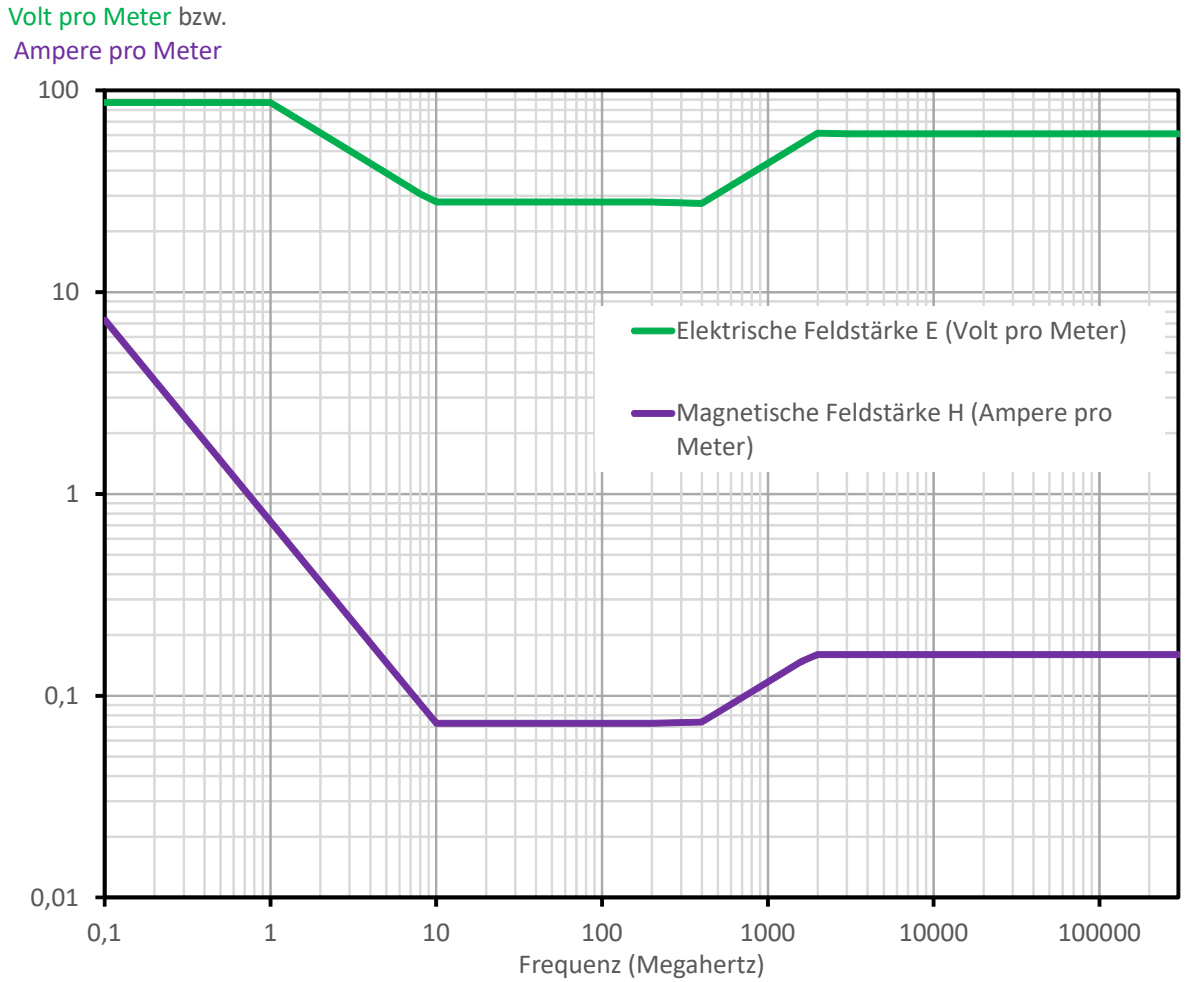


Abbildung G VI 4.1 Grenzwerte der 26. BImSchV für hochfrequente Felder von ortsfesten Anlagen)
((Limit values of the 26th BImSchV for high-frequency fields of fixed installations)

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/√f	0,73/f
10 - 400	28	0,073
400 - 2000	1,375 √f	0,0037 √f
2000 - 300.000	61	0,16

* Effektivwerte, gemittelt über 6-Minuten-Intervalle

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

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

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

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

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

Literatur

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

5. Optische Strahlung

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

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

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

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

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

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

5.1 UV-Strahlung

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

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

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

UV- Quellen

Die wichtigste natürliche UV-Strahlenquelle ist die Sonne. Der UV-Anteil am Erdboden variiert in hohem Maße und ist vornehmlich vom Sonnenstand (geographische Breite, Tages- und Jahreszeit), vom atmosphärischen Gesamtozongehalt 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 Wellenläge ermöglichen.

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

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

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

Anwendungen

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

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

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

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

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

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

Wirkungen

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

Wie UV-Strahlung auf Auge und Haut wirkt, hängt unter anderem davon ab, wie tief UV-Strahlung in das Gewebe eindringt. Dies ist zum einen von der Wellenlänge und zum anderen von den Gewebeeigenschaften abhängig.
UV-B-Strahlung mit Wellenlängen von 280 nm bis 315 nm dringt bis in die Oberschicht der Haut ein, UV-A mit Wellenlängen von 315 nm bis 400 nm dringt tiefer bis in die Lederhaut ein. Im Auge dringt UV-Strahlung hauptsächlich bis in die Linse vor. Nur 1 – 2 % der UV-A-Strahlung erreicht die Netzhaut (Retina). Die Durchlässigkeit des Auges für UV-Strahlung ist altersabhängig: von Geburt an bis zum 30. Lebensjahr kann zusätzlich zu den Verhältnissen im Erwachsenenauge auch UV-Strahlung mit Wellenlängen um 320 nm die Retina erreichen. (Abbildung G VI 5.1-1).

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

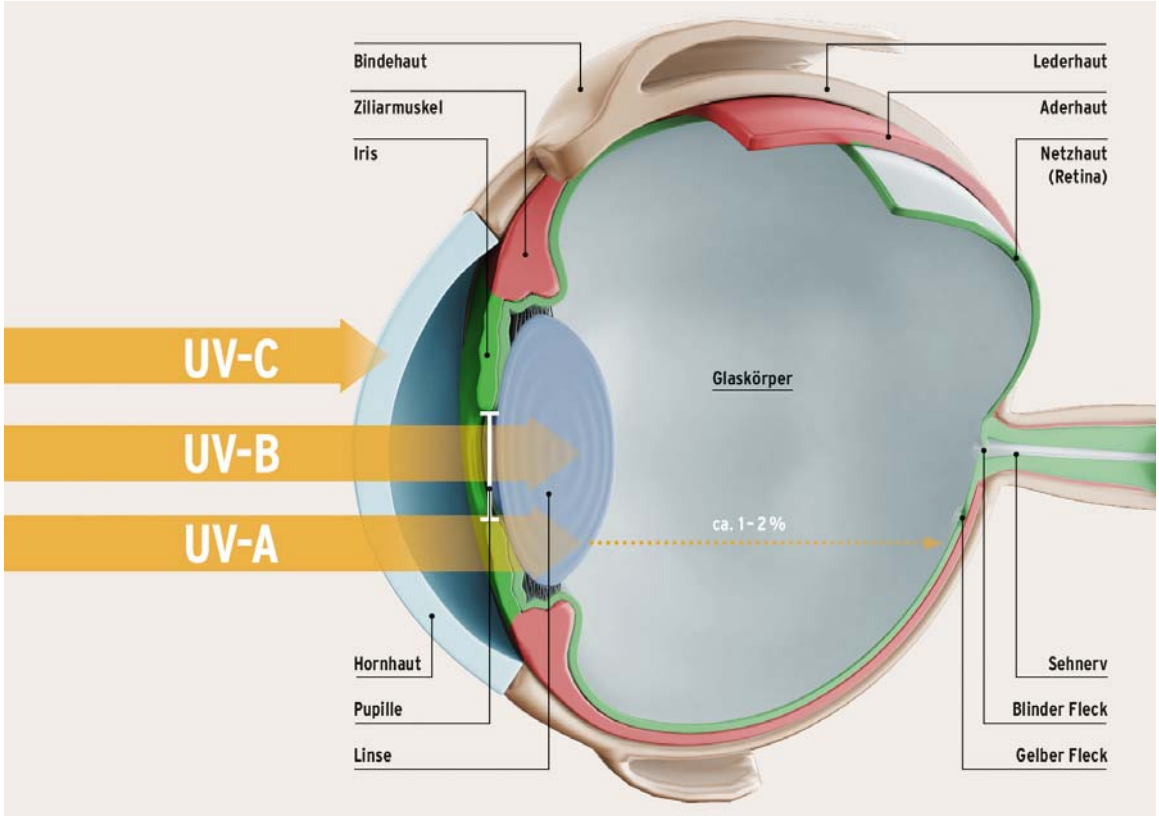


Abbildung G VI 5.1-1 Eindringtiefe von UV-Strahlung im menschlichen Auge
(Penetration depth of UV in the human eye)

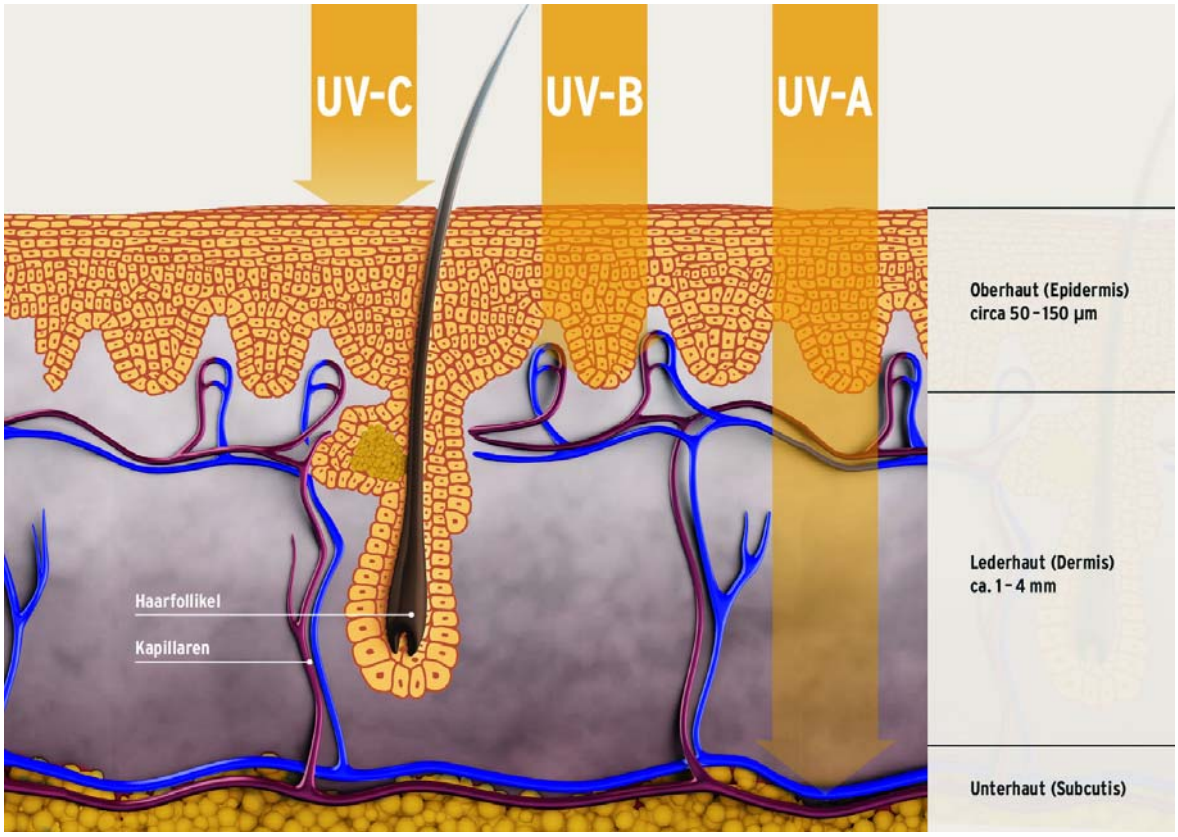


Abbildung G VI 5.1-2 Eindringtiefe von UV-Strahlung in der menschlichen Haut
(Penetration depth of UV radiation in the human skin)

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

Zu den akuten Effekten an den Augen gehören Hornhautentzündung (Photokeratitis), Bindehautentzündung (Photokonjunktivitis) 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, auszusetzen, 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 (AbbildungG 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.

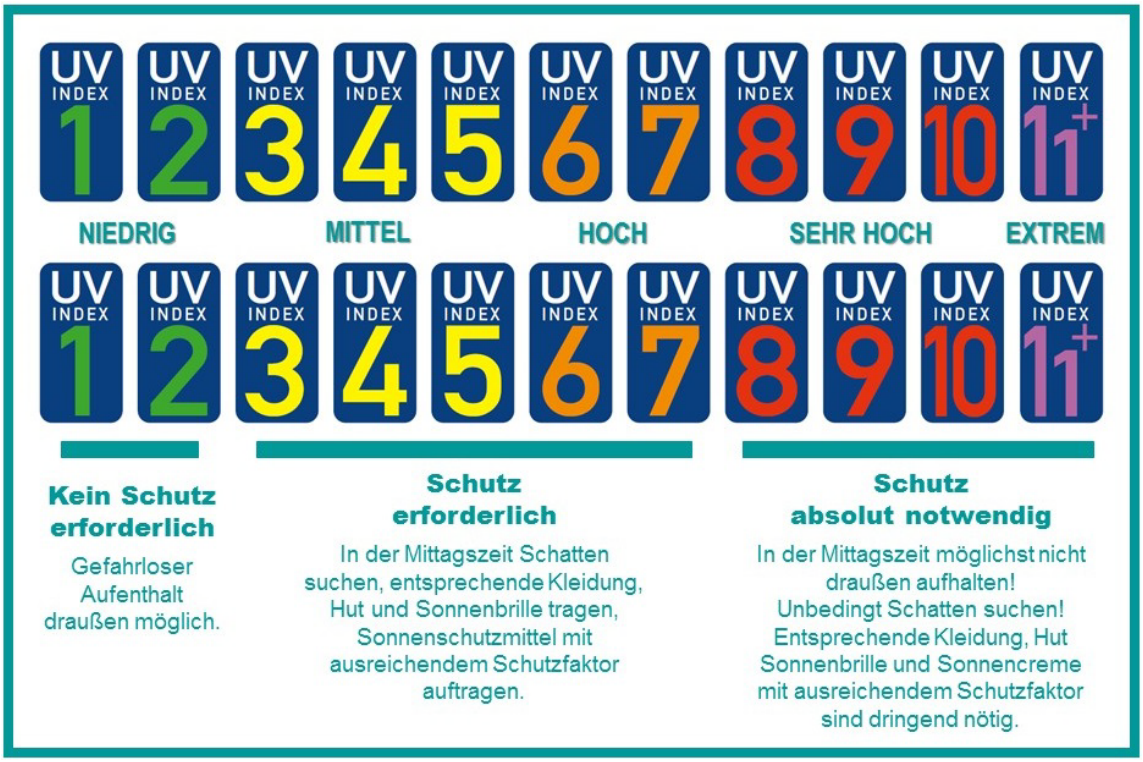


Abbildung G VI 5.1-3 Der UV-Index
(The UV index)

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 hell-braun	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 dun-kelbraun	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/m^2. 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
Triacetyldiphenylisatin	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 okulare 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 hineinwuchernder („invasiver"), lokal zerstörender Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch Metastasen bilden und zum Tode führen kann. Er tritt ebenfalls an Hautpartien wie Gesicht, Handrücken und Unterarmen auf, die der direkten UV-Strahlung ausgesetzt sind. Der schwarze Hautkrebs (malignes Melanom) betrifft alle Altersstufen und ist für die meisten Todesfälle unter allen Hautkrebsarten verantwortlich. Das Melanom ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braun gefärbter Tumor, der häufig und in einem ziemlich frühen Stadium Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich.

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

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

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

Die statistischen Hochrechnungen zeigen, dass in Deutschland die altersstandardisierte Mortalitätsrate 2015 für den schwarzen Hautkrebs (malignes Melanom; C43) bei 2,8 für Männer und bei 1,6 für Frauen pro 100 000 Einwohner und für helle Hautkrebserkrankungen 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 Hautkrebserkrankungen (GEKID, Datenstand Juli 2017 [1]). Die altersstandardisierte Sterblichkeit hat in Deutschland nur bei den Männern zugenommen (RKI 2016 [3]).

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

Bei den Risikofaktoren wird für alle Hautkrebsarten zwischen konstitutionellen (angeborenen), erworbenen und Expositions-Risikofaktoren unterschieden. Der angeborene Risikofaktor für die hellen Hautkrebsarten ist der Hauttyp. Zu den erworbenen Risikofaktoren zählen die chronisch UV-geschädigte Haut, das Vorhandensein aktinischer Keratosen (rötliche, auch hautfarbene, fest haftende Rauhigkeiten der Hautoberfläche; Vorstufen des Plattenepithelkarzinoms), die Erkrankung an einem hellen Hautkrebs in der eigenen Krankheitsvorgeschichte, Unterdrückung des Immunssystems 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 vorange-

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

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

5.2 Sichtbares Licht

Als „Licht“ wird der vom Menschen visuell wahrnehmbare Teil des elektromagnetischen Spektrums bezeichnet. Er liegt zwischen UV-Strahlung und Infrarot und macht etwa 45-50 % der eingestrahlten 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 Phosporschicht zum Leuchten an. Dabei wird ein Teil des blauen Lichts in energieärmeres Licht, z. B. Gelb, umgewandelt. Das entstehende Gemisch verschiedener Wellenlängen wird als weißes Licht wahrgenommen. Ein anderer Weg, weißes Licht zu erzeugen, ist die additive Farbmischung. Dabei entsteht weißes Licht durch die Kombination von roten, grünen und blauen LEDs. LED-Lampen zeichnen sich durch große Vielfalt aus. Der Blaulichtanteil im Spektrum von LED-Lampen kann sehr unterschiedlich sein. Zur Orientierung kann die Farbtemperatur in Kelvin herangezogen werden. Grundsätzlich gilt: Je höher die Kelvinzahl, desto höher der Blaulichtanteil und desto „kälter“ die Lichtfarbe.

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

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

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

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

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

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

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

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

Anwendung

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

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

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

Anwendung der Infrarotstrahlung

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

Wirkungen

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

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

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

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

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

Literatur:

[1] Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutshland e.V. Atlas der Krebsinzidenz und -mortalität in Deutschland (GEKID-Atlas). Datenstand Juli 2017, Lübeck, Verfügbar über: http://www.gekid.de

[2] Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF); S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.0, 2014 AWMF Registernummer: 032/052OL, http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Hautkrebs-Praevention.56.0.html

[3] Robert-Koch-Institut, Malignes Melanon der Haut - Ergebnisse zur Prävalenz, 2010 [cited 2012 11.10.]; Available from: https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Praevalenzbroschuere/Lokalisationen/C43.html

[4] Bericht zum Krebsgeschehen in Deutschland 2016, Zentrum für Krebsregisterdaten im Robert-Koch-Institut (Hrsg). Berlin, 2016

[5] Boniol M, Autier P, Boyle P, Gandini S. Cutaneous melanoma attributable to sunbed use: systematic review and meta-analysis. BMJ. 2012 Jul 24; 345:e4757.doi: 10.1136/bmj.e4757; Boniol M, Autier P, Boyle P, Gandini S. Correction - Cutaneous melanoma atrributable to sunbed use: sysematic review

6. Grenzwerte

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

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

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

Für den Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch natürliche optische Strahlung gibt es keine Grenzwerte. Für die Exposition mit UV-Strahlung existieren Schwellenwerte für die UV-Dosis (Bestrahlung pro Zeiteinheit), bei deren Überschreitung mit einem Sonnenbrand zu rechnen ist (Tabelle G VI 6.1). Diese liegt beispielsweise bei Hauttyp II bei einem Wert von 250 J/m^2 (schädigende UV-Strahlendosis pro m^2 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 Erythemdosisim J/m^2
I	200
II	250
III	350
IV	450
V	800
VI	>1000

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

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

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 2019 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2019 – Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Fortluftmengen in 10^9 m^3/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)
2019	1,3	109,0	(120,0)	2,7	(3,5)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle T I.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre 2018 und 2019 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2018 and 2019 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebsteile der Sanierungs-betriebe	Anzahl der Abwet-terschächte und Wetterbohrlöcher		Abwetter- bzw. Abluftmengen in 10^9 m^3/a		Ableitung radioaktiver Stoffe			
					Rn-222 in TBq/a *		langlebige α-Strahler in MBq/a *	
	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018
Schlema/Alberoda	1	1	1,32	1,28	109 (120)	111 (120)	2,7 (3,5)	2,4 (3,5)
Dresden-Gittersee	0	1	0**	0,06	0**	0,05 (1,6)	0**	0*** (1,6)

* Genehmigungswerte in Klammern

** Emission aus aktiver Bewetterung eingestellt

*** Emission wegen Konzentrationswerten unterhalb der Nachweisgrenze nicht bilanziert

Tabelle T I.3 **Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2019 (Messwerte der Wismut GmbH)**

(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2019 – 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)
2019	13,8	1,7	(11,0)	0,3	(9,2)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle T I.4 **Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2018 und 2019 (Messwerte der Wismut GmbH)**
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2018 and 2019 - Values measured by the Wismut GmbH)

VORFLUTER Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Abwassermenge in 10^6 m^3/a *		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran in t/a *		Ra-226 in GBq/a *	
	2019	2018	2019	2018	2019	2018
ZWICKAUER MULDE (SACHSEN)	**5,745 (-)**	**5,825 (-)**	**1,100 (6,836)**	**1,106 (6,836)**	**0,202 (4,321)**	**0,177 (4,321)**
Schlema/Alberoda	5,329 (-)	5,436 (-)	1,044 (6,810)	1,055 (6,810)	0,194 (4,282)	0,169 (4,282)
Crossen	0,303 (-)	0,285 (-)	0,056 (-)	0,051 (-)	0,0013 (-)	0,0012 (-)
Pöhla	0,113 (-)	0,104 (-)	0,0002 (0,026)	0,0002 (0,026)	0,0063 (0,039)	0,007 (0,039)
ELBE (SACHSEN)	**2,535 (5,869)**	**2,781 (5,869)**	**0,297 (1,708)**	**0,270 (1,708)**	**0,030 (2,278)**	**0,102 (2,278)**
Königstein	2,535 (5,869)	2,781 (5,869)	0,297 (1,708)	0,270 (1,708)	0,030 (2,278)	0,102 (2,278)
PLEISSE (THÜRINGEN)**	**- (-)**	**- (-)**	**- (-)**	**- (-)**	**- (-)**	**- (-)**
Ronneburg	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
WEISSE ELSTER (THÜRINGEN)	**5,498 (12,965)**	**3,416 (12,965)**	**0,285 (2,444)**	**0,223 (2,444)**	**0,065 (2,593)**	**0,017 (2,593)**
Ronneburg (WBA)	3,815 (9,636)	1,897 (9,636)	0,130 (1,445)	0,052 (1,445)	0,063 (1,927)	0,015 (1,927)
Seelingstädt	1,683 (3,329)	1,519 (3,329)	0,155 (0,999)	0,171 (0,999)	0,002 (0,666)	0,002 (0,666)

* Genehmigungswerte in Klammern

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

Tabelle T I.5 **Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen**
(Calculation of authorised limits for liquid discharges)

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	genehmigte Wassermenge in m^3/h		genehmigte max. Konzentration	genehmigter Jahresmittelwert der Konzentration
Pöhla	15	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 2018/2019 und Sommer 2019; Messwerte der Wismut GmbH)**
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - winter 2018/2019 and summer 2019 - Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messstellen	Anzahl der Messstellen mit Rn-222-Konzentrationen			Maximum Bq/m³
		≤ 30 Bq/m³	31 - 80 Bq/m³	> 80 Bq/m³	
Winter 2018/2019					
Schlema/Alberoda	70	24	38	8	176
Pöhla	5	4	0	1	86
Seelingstädt	23	20	3	0	67
Crossen	27	26	1	0	35
Königstein	8	8	0	0	18
Gittersee	6	5	1	0	32
Ronneburg	27	24	3	0	63
Sommer 2019					
Schlema/Alberoda	72	18	36	18	426
Pöhla	5	4	0	1	86
Seelingstädt	23	14	8	1	90
Crossen	26	22	4	0	51
Königstein	8	7	1	0	31
Gittersee	6	4	2	0	43
Ronneburg	27	21	6	0	45

Tabelle T I.7 **Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2019 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 - 2019 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/m³)			Sommer (Rn-222-Konzentrationen in Bq/m³)		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2019	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2019
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	21	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 Bergbaugebiete 2018 und 2019 (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 2018 and 2019 -Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenentnahmestelle	Messpunkt	Uran in mg/l		Ra-226 in mBq/l	
			2019	2018	2019	2018
Sächsische Bergbaugebiete						
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,017	0,013	<10	<10
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	0,035	-*	<10	-*
	Elbe Rathen	k-0028	0,001	0,001	<10	<10
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,017	0,018	11	14
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,020	0,020	18	21
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,002	0,002	14	13
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,005	0,006	10	10
Pöhla	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	<0,0001	<0,001	<10	<10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165A	0,010	0,018	18	22
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,0041	0,006	<10	12
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,008	0,007	11	11
	Oberrothenbacher Bach	M-204	0,410	0,440	15	12
	Zinnborn	M-232	0,240	0,280	59	62
Thüringische Bergbaugebiete						
Seelingstädt	Weiße Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,001	0,001	<10	<10
	Weiße Elster nach Einmündung Pöltschbach	E-314	0,003	0,003	<10	<10
	Lerchenbach (Culmitzsch)	E-369	0,066	0,077	<10	<10
	Fuchsbach vor Mündung	E-383	0,029	0,024	<10	<10
	Weiße Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,004	0,003	<10	<10
Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,013	0,018	<12	<12
	Vereinigte Sprotte	s-609	0,004	0,003	<10	<10
	Wipse	e-437	0,019	0,012	<11	<11
	Weiße Elster	e-419	0,003	0,003	<10	<10

* Messpunkt 2 mal trocken

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 2019* (MWa)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Karlsruhe	MZFR	D_2O-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	1 222	1984	Weser
Gundremmingen C	KRB-C	SWR	1 344	1 185	1984	Donau
Philippsburg 2	KKP 2	DWR	1 468	1 211	1984/2019	Rhein
Mülheim-Kärlich	KMK	DWR	1 302	0	1986/1988	Rhein
Brokdorf	KBR	DWR	1 480	1 159	1986	Elbe
Isar 2	KKI 2	DWR	1 485	1 374	1988	Isar
Emsland	KKE	DWR	1 406	1 231	1988	Ems
Neckarwestheim 2	GKN II	DWR	1 400	1 189	1988	Neckar

a SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D_2O-DWR = Schwerwasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart

* Daten aus https://www.vgb/en/betriebsergebnisse.html

** 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 FRM II	4 20	1957/2000 2004
Rossendorf	HZDR - Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf, VKTA-Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V.	RFR	10	1957/1991
Geesthacht	Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum)	FRG 1 FRG 2	5 15	1958/2010 1963/1995
Karlsruhe	Forschungszentrum Karlsruhe (KIT)	FR 2	44	1961/1981
Jülich	Forschungszentrum Jülich	FRJ 1 FRJ 2	10 23	1962/1985 1962/2006
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	1973/2019
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 2019 belegt)	Stellplätze gesamt (Ende 2018 belegt)
SZL Biblis	22.09.2003	18.05.2006	135 (102)	135 (101)
SZL Brokdorf	28.11.2003	05.03.2007	100 (33)	100 (33)
SZL Brunsbüttel	28.11.2003[a]	05.02.2006	80 (20)	80 (20)
SZL Grafenrheinfeld	12.02.2003	27.02.2006	88 (43)	88 (30)
SZL Grohnde	20.12.2002	27.04.2006	100 (34)	100 (34)
SZL Gundremmingen	19.12.2003	25.08.2006	192 (69)	192 (60)
SZL Isar	22.09.2003	12.03.2007	152 (73)	152 (59)
SZL Krümmel	19.12.2003	14.11.2006	80 (42)	80 (41)
SZL Lingen	06.11.2002	10.12.2002	125 (47)	125 (47)
SZL Neckarwestheim	22.09.2003	06.12.2006	151 (86)	151 (81)
SZL Philippsburg	19.12.2003	19.03.2007	152 (62)	152 (62)
SZL Unterweser	22.09.2003	18.06.2007	80 (40)	80 (39)
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)

a Genehmigung aufgehoben, Aufbewahrungsanordnug der Aufsichtsbehörde gilt bis zur Erteilung einer vollzieh- und ausnutzbaren Aufbewahrungsgenehmigung oder Erlass einer abweichenden Anordnung fort

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

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.)

SZL Standort-Zwischenlager
TBL Transportbehälterlager
ZLN Zwischenlager Nord
AVR Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich
ZL Zwischenlager

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 31.12.2019)	Inventar (Stand 31.12.2018)
Morsleben	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) (bis 25.04.2017 Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1971	37 252 m^3 / 8,2 E13 Bq	37 241 m^3 / 8,4 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 2019
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2019)

Kernkraftwerk	Aktivitätsableitung in Bq				
	radioaktive Edelgase	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide[a)]	I-131	C-14 (als Kohlen-stoffdioxid)	H-3
KKR Rheinsberg [b)]	-	3,4 E05	-	-	-
KGG Gundremmingen A [c) l)]	-	nn	-	2,5 E07	1,2 E10
KWL Lingen [c)]	-	nn	-	nn	nn
KWO Obrigheim [d)]	-	1,3 E04	-	4,8 E07	2,3 E09
KKS Stade [e)]	-	nn	-	nn	3,0 E08
KWW Würgassen [f)]	-	nn	-	5,0 E07	9,4 E08
KGR Greifswald [b)]	-	nn	-	-	-
KWB Biblis A [g)]	nn	nn	nn	1,8 E10	7,2 E10
KWB Biblis B [g)]	2,7 E11	nn	nn	5,1 E09	2,7 E11
GKN Neckarwestheim 1 [g)]	-	1,1 E05	-	4,0 E07	5,0 E09
KKB Brunsbüttel [g)]	nn	2,9 E06	nn	1,4 E09	6,5 E09
KKI Isar 1 [g)]	nn	nn	nn	6,5 E08	9,2 E09
KKU Unterweser [g)]	1,7 E09	2,4 E04	nn	4,4 E08	2,7 E10
KKP Philippsburg 1 [g)]	-	2,8 E05	-	3,3 E10	3,8 E10
KKG Grafenrheinfeld [i)]	nn	4,4 E04	nn	3,3 E09	1,4 E11
KKK Krümmel [g)]	5,8 E10	nn	nn	2,1 E09	1,1 E10
KGG Gundremmingen B [j)], C	8,9 E12	5,5 E05	8,8 E07	1,7 E11	8,4 E10
KWG Grohnde	1,7 E11	nn	nn	4,7 E10	1,1 E11
THTR Hamm-Uentrop [h)]	-	3,5 E02	-	nn	5,3 E07
KKP Philippsburg 2 [k)]	3,2 E11	8,7 E04	1,9 E04	2,0 E10	5,7 E11
KMK Mülheim-Kärlich [h)]	-	nn	-	2,1 E05	4,5 E08
KBR Brokdorf	3,1 E11	nn	5,2 E06	1,5 E11	1,3 E11
KKI Isar 2	1,4 E12	nn	nn	8,8 E11	1,5 E11
KKE Emsland	1,6 E11	nn	nn	1,8 E11	6,7 E11
GKN Neckarwestheim 2	9,8 E10	1,0 E04	nn	2,0 E11	2,2 E11

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Sr-89, Sr-90 und Alphastrahler
b) Betrieb beendet 1990
c) Betrieb beendet 1977
d) Betrieb beendet 2005
e) Betrieb beendet 2003
f) Betrieb beendet 1994
g) Betrieb beendet 2011
h) Betrieb beendet 1988
i) Betrieb beendet 2015
j)Betrieb beendet 2017
k) Betrieb beendet 2019
l) einschließlich Ableitungswerte aus dem Technologiezentrum (TZG)
\- Messung/Angabe nicht erforderlich
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle T II.7 Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2019
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2019)

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	2,7 E11
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	1,8 E11
Kr-85m	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	2,7 E10
Kr-85	nn	nn	nn	nn	-	nn	5,8 E10	1,5 E11
Kr-87	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	6,9 E10
Kr-88	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	3,3 E11
Kr-89	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	6,4 E11
Xe-131m	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	1,4 E10
Xe-133m	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	7,9 E09
Xe-133	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	7,8 E11
Xe-135m	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	2,2 E12
Xe-135	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	1,3 E12
Xe-137	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	2,0 E12
Xe-138	nn	nn	nn	nn	-	nn	nn	1,2 E12

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philipps-burg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Ar-41	1,8 E10	-	2,1 E11	-	1,5 E11	6,6 E11	1,6 E11	7,5 E10
Kr-85m	5,4 E09	-	5,0 E07	-	5,1 E08	1,7 E08	nn	nn
Kr-85	nn	-	1,5 E10	-	nn	6,9 E11	nn	1,5 E10
Kr-87	6,1 E09	-	6,1 E08	-	nn	2,8 E08	nn	2,6 E08
Kr-88	nn	-	1,2 E08	-	nn	3,5 E08	nn	5,9 E08
Kr-89	nn	-	6,8 E08	-	nn	4,7 E08	nn	nn
Xe-131m	nn	-	9,3 E10	-	nn	1,4 E10	nn	4,4 E09
Xe-133m	nn	-	1,1 E09	-	nn	1,7 E09	nn	1,5 E09
Xe-133	1,2 E10	-	5,6 E08	-	2,3 E10	5,6 E08	nn	3,2 E08
Xe-135m	2,7 E10	-	4,6 E07	-	nn	2,5 E07	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philipps-burg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Xe-135	1,0 E11	-	9,6 E07	-	1,3 E11	2,8 E08	nn	1,5 E08
Xe-137	nn	-	nn	-	nn	5,2 E08	nn	7,2 E08
Xe-138	nn	-	6,6 E07	-	nn	8,0 E08	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 2019 (I-131: Tabelle T II.6)

(Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2019 - 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	1,1 E04	nn	nn	8,9 E03	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	7,8 E04	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	7,2 E04	nn	nn	3,8 E03	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	7,1 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	4,1 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								
	Biblis B	Neckar-westheim 1	Bruns-büttel	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	1,1 E05	7,3 E05	nn	2,4 E04	7,4 E04	4,4 E04	nn	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	5,1 E05
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	3,4 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	2,2 E06	nn	nn	2,0 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	1,3 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	3,2 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	4,2 E04	nn	nn	nn	nn	1,0 E04
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	3,5 E02	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	nn	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 2009 bis 2019**
(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 2009 to 2019)

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostrom-erzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radio-nuklide	
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*
2019	1,2 E13	9,3 E07	4,4 E06	8 570*

* 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 2019**
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2019)

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)	2,1 E10	7,9 E05 [b)]	7,4 E03	7,9 E03	3,2 E10	8,1 E11
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	4,0 E09	7,3 E05	3,1 E05	nn	5,3 E09	4,4 E11
HZDR - Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf	3,9 E11	3,8 E05	nn	nn	8,7 E07	7,0 E09
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)	nn	5,0 E03	nn	-	4,6 E07	4,5 E09
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI, einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	4,7 E11	9,5 E02	3,5 E05	-	2,6 E09	6,7 E10
Garching, FRM I	-	nn	nn	-	-	1,3 E08
Garching, FRM II	8,8 E10	nn	nn	-	1,0 E09	1,5 E11
Forschungsreaktor Mainz	7,9 E10	nn	nn	-	-	4,9 E06

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler
b) davon Alphastrahler: 1,4 E04 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	
	2019	2018
ANF GmbH (Lingen)	<1,5 E04	<1,5 E04
URENCO D (Gronau)	3,0 E04	3,3 E04

< Messwert kleiner Erkennungsgrenze; der angegebene Wert entspricht der Erkennungsgrenze

Tabelle T II.12 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage 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	
	2019	2018
Morsleben		
H-3	1,7 E10	1,7 E10
C-14	9,6 E08	1,0 E09
Rn-222[a)]	3,0 E10	3,2 E10
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	2,2 E06	2,3 E06
Schachtanlage Asse II		
H-3	1,2 E10	1,3 E10
C-14	8,2 E08	8,0 E08
Rn-222 (Gas)	6,7 E10	7,5 E10
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	1,0 E06	1,0 E06

a) gleichgewichtsäquivalente Radon-222-Aktivitätskonzentration

Tabelle T II.13 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in Deutschland im Jahr 2019 (Summenwerte, H-3 und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2019 - summation values, H-3 and alpha sources)

Kernkraftwerk	Aktivität in Bq		
	Spalt- und Aktivierungs-produkte (außer H-3)	H-3	α-Strahler
Siedewasserreaktoren			
KWL Lingen a)	9,0E+04	6,9E+06	3,9E+02
KKB Brunsbüttel a)	8,9E+06	6,7E+09	nn
KKI Isar 1 a)	5,5E+07	6,3E+10	nn
KKP Philippsburg 1 a)	3,9E+06	2,4E+11	nn
KKK Krümmel a)	1,1E+06	2,0E+09	nn
KGG Gundremmingen B a), C	4,4E+08	1,4E+12	3,0E+01
Summe SWR	5,1E+08	1,7E+12	4,2E+02
Druckwasserreaktoren			
KWO Obrigheim a)	2,3E+06	4,6E+07	1,1E+04
KKS Stade	5,0E+04	1,3E+06	3,3E+03
KWB Biblis Block A a)	4,7E+07	5,6E+11	2,4E+05
KWB Biblis Block B a)	2,8E+07	1,0E+12	9,6E+04
GKN Neckar 1 a)	nn	2,4E+10	nn
KKU Unterweser a)	2,7E+06	3,6E+10	3,6E+04
KKG Grafenrheinfeld a)	8,1E+06	1,7E+11	1,2E+05
KWG Grohnde	nn	1,5E+13	nn
KKP Philippsburg 2 b)	3,4E+07	1,6E+13	nn
KMK Mülheim-Kärlich a)	2,4E+05	4,4E+06	nn
KBR Brokdorf	3,1E+05	2,4E+13	nn
KKI Isar 2	nn	2,1E+13	nn
KKE Emsland	nn	9,9E+12	nn
GKN Neckar 2	nn	1,4E+13	nn
KGR Greifswald Block 1 bis 5 a)	1,4E+04	3,1E+07	1,4E+04
KKR Rheinsberg a)	1,4E+06	nn	9,7E+04
Summe DWR	1,2E+08	1,0E+14	5,8E+05

a) Betrieb beendet b) Betrieb beendet 2019
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Ableitungswerte unter der Erkennungsgrenze)

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	
	2019	2018	2019	2018	2019	2018
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	1,17E+06	2,00 E06	4,57E+11	1,20 E11	7,26E+05	1,78 E06
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	5,30E+07	1,41 E08	6,62E+11	3,62 E11	4,21E+07	1,59 E07
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS Forschungszentrum Geesthacht)	6,76E+04	2,01 E06	7,45E+05	2,12 E07	3,85E+01	1,23 E03
Helmholtz-Zentrum Berlin (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	4,43E+03	1,51 E04	4,26E+07	5,65 E08	nn	nn
Garching FRM II	3,88E+07	5,24 E07	4,60E+10	1,00 E10	nn	nn
HZDR - Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf	3,75E+06	1,16 E07	2,00E+10	1,70 E10	5,80E+04	3,40 E04
TRIGA Mainz	0,00E+00	3,36 E05	0,00E+00	5,06 E06	0,00E+00	9,10 E03

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Ableitungswerte unter der Erkennungsgrenze)
\- keine Abgabe

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	
	2019	2018	2019	2018
ANF GmbH (Lingen)	nn	nn	nb	nb
URENCO (Gronau)	7,82 E03	1,29 E04	3,96 E03	3,47 E03

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Ableitungswerte unter der Erkennungsgrenze)
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	
	2019	2018
H-3	8,9 E05	2,7 E04
Nuklidgemisch (außer H-3)	3,24 E03	3,3 E03

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	
	2019	2018	2019	2018	2019	2018
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	0,1	<0,1	0,1
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	0,2	1	0,4	2	0,4	2
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	3	0,3	5	0,6	5	0,6
KKU Unterweser	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKP Philippsburg 1, 2	0,4	0,4	0,7	0,6	0,6	0,6
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
KGG Gundremmingen A, B, C	0,6	0,7	1	1	1	2
KWG Grohnde	0,4	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6
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	0,7	0,8	1	1	1	1
KKE Emsland	0,4	0,4	0,8	0,7	0,7	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	
	2019	2018	2019	2018
KGG Gundremmingen A, B und C	0,1	0,1	0,1	0,1
KWO Obrigheim	0,3	<0,1	0,5	<0,1
KKS Stade	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWB Biblis A und B	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
GKN Neckarwestheim 1 und 2	0,2	1,3	0,4	2,3
KKB Brunsbüttel	0,5	0,4	0,2	0,1
KKI Isar 1 und 2	0,2	0,3	0,4	0,5
KKU Unterweser	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKP Philippsburg 1 und 2	0,2	0,2	0,5	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	0,3	0,5	0,5
KMK Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KBR Brokdorf	0,1	<0,1	0,2	0,2
KKE Emsland	0,6	0,8	1,1	1,3
KKR Rheinsberg*	1,1	0,2	0,9	0,2
KGR Greifswald *	<0,1	0,3	<0,1	0,2
KWL Lingen	<0,1	<0,1	0,1	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

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	
	2019	2018	2019	2018	2019	2018
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) früher Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) *	2	4	4	6	7	11
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	0,1	11	0,1	20	0,2	19
HZDR - Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf Gesamtstandort *	0,4	0,4	0,8	1	0,4	0,4
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	0,4	0,4	0,4
Garching, FRM I und FRM II	0,1	0,3	0,2	0,5	0,2	0,8

* entnommen aus den Jahresberichten 2019 der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin

Tabelle T II.20 Strahlenexposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser*
(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Forschungseinrichtung	oberer Wert der effektiven Dosis in µSv			
	für Erwachsene		für Kleinkinder	
	2019	2018	2019	2018
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	<6,8	<5,5	6,8	5,5
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

* nach Angaben der Forschungszentren

Tabelle T II.21 Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

Betrieb	Ableitung mit der Fortluft oberer Wert						Ableitung mit dem Abwasser	
	der effektiven Dosis in µSv				der Knochenoberflächendosis in µSv		oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder in µSv	
	für Erwachsene		für Kleinkinder		für Kleinkinder			
	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO (Gronau)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tabelle T II.22 Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Direktstrahlung*
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to direct radiation)

Betrieb	Direktstrahlung			
	Gamma-Ortsdosis in mSv/a		Neutronen-Ortsdosis in mSv/a	
	2019	2018	2019	2018
ANF GmbH (Lingen)	0,26 (MP4, I. HJ) k.A. (II. HJ)	0,61 (MP4)	<0,05 (alle MP, I.HJ) k.A. (II.HJ)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)
URENCO (Gronau)	1,02 (MP5)	1,02 (MP5)	0,06 (MP2,7,8, I.HJ) 0,06 (MP3,4, II.HJ)	0,06 (MP3,9, I.HJ) 0,06 (MP4,5,6,8,9, II.HJ)

* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrunds
MP = Messpunkt HJ = Halbjahr <= kleiner Nachweisgrenze k.A.= keine Angabe

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*			
	2019	2018	2019	2018	2019	2018
Endlager Morsleben						
Erwachsene	0,7	0,3	9	8	<0,1	<0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	1	0,8	9	8	<0,1	<0,1
mit Muttermilch ernährte Säuglinge	2	1	17 6 #	15	<0,1	<0,1
Schachtanlage Asse II**						
Erwachsene	0,8	0,2	7	4	-	-
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	1	0,4	7	4	-	-
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	2	0,8	14 5 #	8	-	-

* Knochenoberfläche # rotes Knochenmark
** keine Ableitungen mit dem Abwasser

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	
	2019	2018	2019	2018
Transportbehälterlager Ahaus	0,43 (MP3,7)	0,44 (MP3)	<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)	0,42 (MP15, I. HJ) k.A. (II. HJ)	0,92 (MP15)	0,05 (MP19, I.HJ) k.A. (II.HJ)	0,09 (MP15,21)
Transportbehälterlager Gorleben	k.A. (MP8)	0,72 (MP8)	k.A. (MP14) **	0,34 (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 k.A. = keine Angabe

Tabelle T II.25 Einzelnuklid-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 µBq/m³							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin/Potsdam **		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
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
2019 *	2 380	<2,80	3 730	0,21	3 540	0,27	3 290	<1,26
Januar	2 010	<2,15	2 240	0,34	1 930	0,27	2 380	<0,73
Februar	3 410	<2,80	4 130	0,41	4 640	0,28	4 170	<0,52
März	2 300	<2,08	3 030	0,14	2 610	<0,08	2 850	<0,85
April	4 480	<3,45	5 290	0,31	5 050	0,64	4 340	<0,52
Mai	2 720	<2,75	4 230	0,15	3 860	0,23	3 460	<0,62
Juni	2 770	<3,11	5 560	<0,09	5 810	0,25	4 100	<0,57
Juli	2 050	<3,03	4 250	<0,06	3 390	0,25	3 460	<1,36
August	2 730	<2,75	4 930	<0,09	4 860	0,33	4 370	<2,26
September	1 960	<3,24	3 800	<0,07	3 620	0,31	3 560	<2,37
Oktober	1 180	<2,94	2 700	0,14	2 580	<0,16	2 230	<1,87
November	957	<3,11	1 910	0,34	1 620	0,24	1 980	<1,87
Dezember	2 000	<1,84	2 360	0,32	2 530	0,22	2 620	<1,63

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

** Im Mai 2010 wurde die DWD-Station Berlin nach Potsdam verlegt < Messwert kleiner Nachweisgrenze

b) Messungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Probenentnahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m³				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
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
2019 *	3 489	0,4	8,1	0,22	285
Januar	2 177	0,2	6,2	0,26	158
Februar	4 608	0,5	7,4	0,27	375
März	2 826	0,3	5,1	0,12	132
April	5 230	0,6	13,7	0,61	396
Mai	3 650	0,5	7,7	0,21	276
Juni	5 375	0,7	10,8	0,14	346
Juli	3 252	0,4	10,9	0,17	204
August	4 309	0,4	10,0	0,16	397
September	3 652	0,3	7,1	0,13	222
Oktober	2 645	0,2	7,3	0,13	326
November	1 797	0,1	6,5	0,23	355
Dezember	2 346	0,2	5,0	0,20	232

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

c) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, Probenentnahmestelle: Messstation Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m³			
	Be-7	Na-22	Cs-137	Pb-210
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	640
2019 *	4 860	0,44	0,16	460
Januar	2 320	0,21	<0,16	229
Februar	6 160	0,18	0,15	423
März	4 790	0,49	0,18	325
April	5 490	0,62	0,38	574
Mai	4 960	0,53	0,15	383
Juni	6 260	0,71	0,21	676
Juli	6 150	0,67	0,14	621
August	6 610	0,50	<0,14	883
September	4 810	0,34	<0,21	481
Oktober	3 640	0,23	<0,19	421
November	2 430	0,16	0,12	273
Dezember	4 690	0,24	<0,20	217

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

** durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst <Messwert kleiner Nachweisgrenze

d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, Probenentnahmestellen: Freiburg, Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m³			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
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
2019 *	1 680	2,6	1 680	< 2,3
Januar	1 510	3,1	1 530	4,9
Februar	1 530	1,9	1 520	1,5
März	1 630	1,9	1 570	<1,5
April	1 540	2,2	1 550	1,8
Mai	1 660	3,3	1 700	2,6
Juni	1 790	1,9	1 710	<1,6
Juli	1 670	3,3	1 800	<2,5
August	2 150	3,2	1 790	<2,9
September	2 150	4,4	2 310	3,4
Oktober	1 490	2,0	1 530	2,1
November	1 610	2,2	1 630	<1,9
Dezember	1 490	<1,5	1 490	<1,5

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

** durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst < Messwert kleiner Nachweisgrenze

Tabelle T II.26 Deposition von Einzelnukliden mit dem Niederschlag
(Deposition of individual nuclides with precipitation)

Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Offenbach am Main			Potsdam		
	l/m²	Deposition in Bq/m²		l/m²	Deposition in Bq/m²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
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
2019	626,9	530,6	<0,70	542,3	372,9	<1,10
Januar	34,6	29,0	< 0,06	50,9	32,0	<0,08
Februar	16,7	13,0	< 0,05	23,3	11,3	<0,08
März	48,2	34,5	< 0,04	59,6	18,1	<0,08
April	34,6	60,6	< 0,06	8,5	8,5	<0,04
Mai	75,1	48,1	< 0,04	30,9	26,3	<0,08
Juni	65,6	57,3	<0,07	99,9	124,0	<0,19
Juli	48,4	62,4	< 0,05	67,6	49,9	<0,08
August	71,6	77,3	< 0,05	11,9	9,4	<0,10
September	39,0	31,8	< 0,05	67,3	22,2	<0,09
Oktober	75,6	38,9	< 0,09	47,9	17,8	<0,09

Zeitraum	Offenbach am Main			Potsdam		
	l/m²	Deposition in Bq/m²		l/m²	Deposition in Bq/m²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
November	56,0	38,5	< 0,06	47,3	33,2	<0,09
Dezember	61,5	39,2	<0,07	27,2	20,2	<0,08

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m²	Deposition in Bq/m²		l/m²	Deposition in Bq/m²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2010	780,0	313	<0,74	822,9	331	<0,9
2011	715,9	<375,6	<0,84	930,1	412,3	<0,97
2012	840,0	1 032,2	<0,9	1 071,8	<192,0	<0,8
2013	695,1	721,3	<0,83	935,6	484,6	<0,88
2014	818,4	686,3	<0,85	811,3	378,4	<0,96
2015	759,1	510,8	<0,86	962,2	377,6	<0,91
2016	827,8	598	<0,76	566,1	254,7	<1,01
2017	765,0	512,7	<0,91	821,3	289,2	<0,85
2018	688,6	474,1	<0,89	1 184,8	474,5	<0,90
2019	890,2	709,5	<0,88	759,2	399,2	<0,98
Januar	97,0	56,0	<0,08	136,1	76,8	<0,09
Februar	39,4	28,4	<0,07	47,8	35,2	<0,08
März	118,8	36,9	<0,07	56,9	27,6	<0,09
April	30,4	25,0	<0,07	58,6	38,0	<0,09
Mai	87,0	57,5	<0,07	42,2	66,7	<0,09
Juni	80,2	50,0	<0,07	55,3	19,2	<0,08
Juli	56,0	58,8	<0,08	26,0	19,8	<0,08
August	51,9	49,9	<0,07	81,0	25,4	<0,08
September	33,9	17,7	<0,07	58,5	16,7	<0,08
Oktober	110,4	130,0	<0,07	70,2	18,0	<0,08
November	104,3	124,0	<0,05	29,4	17,8	<0,07
Dezember	80,6	75,3	<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/m^3, Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	I-131 (mBq/m^3)						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
BER Berlin	2	<0,44	<0,64	<0,62	<0,68	<0,57	<0,52	<0,51
KKB Brunsbüttel	2	<0,32	<0,31	<0,28	<0,28	<0,28	<0,27	<0,31
KBR Brokdorf	2	<0,37	<0,24	<0,18	<0,16	<0,17	<0,17	<0,16
KKK Krümmel	3	<0,28	<0,33	<0,35	<0,37	<0,34	<0,40	<0,40
GKSS Geesthacht	1	<0,19	<0,17	<0,16	*	*	*	*
KKS Stade	1	*	*	*	*	*	*	*
KKU Unterweser	2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	-	
KWG Grohnde	3	<1,1	<1,4	<1,6	<1,6	<1,7	-	-
KKE Emsland	2	<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	<0,43	<0,36	<0,34	<0,37	<0,36	<0,35	<0,40
KKP Philippsburg	4	<0,50	<0,61	<0,57	<0,61	<0,52	<0,47	<0,48
KWO Obrigheim	3	*	*	*	*	*	*	*
GKN Neckarwestheim	2	<0,59	<0,57	<0,57	<0,58	<0,66	<0,56	<0,57
FZ Karlsruhe	3	<0,18	<0,19	<0,23	<0,14	<0,12	<0,13	<0,13
KKI Isar	3	<0,25	<0,24	<0,26	<0,25	<0,25	<0,26	<0,26
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,50	<0,34	<0,31	<0,27	<0,27	<0,29	<0,27
KGG Gundremmingen B	3	<0,24	<0,21	<0,17	<0,16	<0,14	<0,14	<0,13
KGR Greifswald	2	*	*	*	*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	<0,034	<0,062	<0,072	<0,11	<0,11	<0,14	<0,11
KKR Rheinsberg	-	*	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	*	*	*	*	*	*	*

N Zahl der Messstationen - keine Messwerte

* Messungen eingestellt

Tabellen

Tabelle T II.28 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60)

(in mBq/m^3, Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	Co-60 (mBq/m^3)						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
BER Berlin	2	<0,25	<0,27	<0,24	<0,35	<0,31	<0,29	<0,29
KKB Brunsbüttel	2	<0,06	<0,059	<0,063	<0,062	<0,063	<0,062	<0,062
KBR Brokdorf	2	<0,15	<0,079	<0,054	<0,062	<0,066	<0,080	<0,080
KKK Krümmel	3	<0,03	<0,038	<0,037	<0,041	<0,05	<0,041	<0,041
GKSS Geesthacht	1	<0,04	<0,037	<0,035	<0,028	<0,029	<0,028	<0,028
KKS Stade	1	<0,24	-	-	-	-	-	-
KKU Unterweser	2	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	-	-
KWG Grohnde	3	<0,12	<0,14	<0,15	<0,15	<0,14	-	-
KKE Emsland	2	<0,23	<0,21	<0,24	<0,29	<0,31	-	-
KWW Würgassen	2	<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	<0,13	<0,11	<0,11	<0,12	<0,12	<0,13	<0,13
KKP Philippsburg	4	<0,03	<0,032	<0,028	<0,031	<0,027	<0,025	<0,025
KWO Obrigheim	3	<0,04	<0,04	<0,053	<0,052	<0,062	<0,051	<0,051
GKN Neckarwestheim	2	<0,14	<0,14	<0,14	<0,13	<0,12	<0,13	<0,13
FZ Karlsruhe	3	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,006	<0,006	<0,006
KKI Isar	3	<0,21	<0,2	<0,27	<0,28	<0,28	<0,29	<0,29
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,07	<0,068	<0,1	<0,062	<0,064	<0,070	<0,070
KGG Gundremmingen B	3	<0,13	<0,10	<0,21	<0,26	<0,23	<0,24	<0,24
KGR Greifswald	2	[<0,00095][9]	<0,00095	<0,12	<0,26	<0,22	<0,21	<0,21
VKTA Rossendorf	3	<0,006	<0,01	<0,011	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018
KKR Rheinsberg	2	*	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2		<0,17	<0,14	<0,13	<0,14	<0,19	<0,19

N Zahl der Messstationen
[ ] ^{i} unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate)
- keine Messwerte
* Messungen eingestellt

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						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
BER Berlin	2	69	69	68	[69]^{6}	69	70	[70]^{9}
KKB Brunsbüttel	2	86	94^{MT}	93	93	93	96	93
KBR Brokdorf	2	86	89	88	90	90	94	92
KKK Krümmel	3	74	74	77	77	76	79	78
GKSS Geesthacht	1	85	83	84	83	84	84	84
KKS Stade	1	[105]^{11}	a	*	*	*	*	*
KKU Unterweser	2	96	[99]^{9}	91	103	102	[102]^{6}	[109]^{9}
KWG Grohnde	3	97	93	93	97	97	[95]^{6}	a
KKE Emsland	2	73	72	71	71	71	[71]^{6}	a
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	12	109	107	106	105	102	106	106
THTR Hamm-Uentrop	2	97^{l}	90^{l}	80^{r}	81^{r}	80^{r}	86^{r}	81^{r}
KWB Biblis	3	103^{m}	106^{m}	106^{m}	104^{m}	106^{m}	107^{m}	107^{m}
KKP Philippsburg	4	100	106	105	104	107	107	106
KWO Obrigheim	2	120	119	118	120	117	111	116
GKN Neckarwestheim	2	130	131	125	127	129	137	130
FZ Karlsruhe	6	105	108	107	93^{MTv}	92	93	92
KKI Isar	3	92	93	92	93	92	95	96
KKG Grafenrheinfeld	3	102	102	101	101	102	103	103
KGG Gundremmingen B	3	92	92	89	91	83	86	90
KGR Greifswald	20	[82]^{6j}	83^{j}	83^{j}	[83]^{9j}	85^{j}	87^{j}	[86]^{9}j
VKTA Rossendorf	2	116	118	114	115	118	114	[110]^{3}
KKR Rheinsberg	4	*	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	114	115	116	117	114	113	112

N Zahl der Messstationen
[ ]i unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate)
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
* Messungen eingestellt
MT Austausch des Messsystems

Tabelle T II.30 Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60
(Deposition of radioactivity related to Co-60)

Probenentnahmestelle	N	Aktivität in Bq/m² oder in Bq/l							
		2015	2016	2016	2017	2017	2018	2018	2019
		(Bq/m²)	(Bq/l)	(Bq/m²)	(Bq/l)	(Bq/m²)	(Bq/l)	(Bq/m²)	(Bq/m²)
BER Berlin	1	<0,42		<0,56		<0,52		<0,52	<0,45
KKB Brunsbüttel	2	<0,80		<0,68		<0,92		<0,50	<0,43
KBR Brokdorf	2	<0,93		<0,76		<0,62		<0,44	<0,47
KKK Krümmel	4	<0,70		<0,56		<0,99		<0,45	<0,57
GKSS Geesthacht	2	<1,3		<1,3		<2,0		<0,84	<1,3
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	<0,95
KKP Philippsburg	4	<0,99		<1,6		<1,4		<0,94	<1,3
KWO Obrigheim	2	<2,6		<3,4		<5,0		<3,7	<3,1
GKN Neckarwestheim	2	<2,8		<2,1		<1,8		<1,2	<1,6
FZ Karlsruhe	3	<2,7		<2,5		<1,2		<1,3	<1,2
KKI Isar	3	<1,8		<2,5		<2,3		<2,1	<1,9
KKG Grafenrheinfeld	2	<0,82		<0,34		<0,5		<0,56	<0,58
KGG Gundremmingen B	2	<1,4		<1,8		<1,2		<1,4	<1,5
KGR Greifswald	2	<1,7		<1,5		<2,6		<1,4	
VKTA Rossendorf	2	<0,55		<1,2		<0,99		<0,70	<0,82
KKR Rheinsberg	2	<0,17		<0,16		<0,16			
KMK Mülheim-Kärlich	2	<0,44		<0,57		<0,77		<0,52	<0,60

* Messungen eingestellt - keine Messwerte N Zahl der Messstationen

Tabelle T II.31 Übersicht über die für 2019 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 2019, 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	Überwachungsprogramm
Oberflächenwasser (Bq/l)						
Gα	188	0,497	Hauptentwässerung	UAA Gronau	III.Quartal	REI
Gβ	112	5,5	Salzbach	ERAM Morsleben	Juni	REI
H-3	1 707	3 920	Ems	KKE Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
Co-60	1 717	0,008	Isar	Forschungsneutronenquelle FRM II	I. Quartal	REI
Sr-90	242	0,026	Weser	Rinteln, km 163,20	August	StrlSchG
I-131	473	0,063	Weschnitz	KWB Biblis	05.03.	REI
Cs-137	1 701	0,043	Arendsee	Arendsee	05.11.	StrlSchG
Pu-(239+240)	76	0,000838	Starnberger See	Starnberg	13.11.	StrlSchG
Schwebstoff (Bq/kg TM)						
Co-58	48	9,66	Mosel	Perl, km 241,96	Oktober	StrlSchG
Co-60	522	12,8	Mosel	Perl, km 241,96	Oktober	StrlSchG
I-131	308	70,2	Mosel	Trier, km 196,00	November	StrlSchG
Cs-137	542	223	Steinhuder Meer	Wunstorf	I. Quartal	StrlSchG
Sediment (Bq/kg TM)						
Gα	4	634	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	II. Quartal	REI
Gβ	4	1 760	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	II. Quartal	REI
Co-60	1049	5,59	Mosel	Palzem, km 230,10	20.12.	StrlSchG
Sr-90	15	8,15	Mosel	KKW Cattenom	01.08.	REI
I-131	524	37	Ahauser Aa	TBL Ahaus	08.03.	REI
Cs-137	1073	275	Schollener See	Schollene	19.11.	StrlSchG
Pu-(239+240)	2	0,273	Isar	Forschungsneutronenquelle FRM II	2019	REI
Am-241	14	8,54	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	05.02.	REI

Tabelle T II.32 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrlSchG

(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrlSchG)

GEWÄSSER Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
RHEIN								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	12	0	0,95	4,66	2,02	1,66
		Koblenz, km 590,3	12	0	1,60	4,46	2,66	3,03
		Wesel, km 814,0	12	0	1,68	6,05	3,85	3,69
	Sr-90	Weil, km 172,97	2	0	0,0052	0,0062	0,0057	0,0038
		Koblenz, km 590,3	4	0	0,0020	0,0130	0,0067	0,007
		Wesel, km 814,0	4	0	0,0010	0,0138	0,0084	0,009
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	12	<0,0016	<0,0035	nn	<0,0024
		Koblenz, km 590,3	12	12	<0,0016	<0,0024	nn	<0,0021
		Wesel, km 814,0	12	12	<0,0015	<0,0027	nn	<0,0018
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 172,97	12	12	<0,20	<1,50	nn	<0,79
		Koblenz, km 590,3	12	12	<0,54	<0,98	nn	nn
		Wesel, km 814,0	12	12	<0,49	<3,70	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	0	2,56	9,26	6,33	6,7
		Koblenz, km 590,3	12	0	5,46	7,99	6,47	7,08
		Wesel, km 814,0	12	0	6,10	10,6	7,79	11,1
	I-131	Weil, km 172,97	12	4	1,50	<33,9	13,1	8,5
		Koblenz, km 590,3	12	3	1,15	<8,96	4,22	7,6
		Wesel, km 814,0	10	8	9,87	<78,1	<31,3	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 170,3	2	2	<0,22	<0,53	nn	nn
		Worms, km 444,50-446,60	15	15	<0,24	<0,54	nn	nn
		Koblenz, km 591,3	3	3	<0,53	<0,67	nn	nn
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	20	20	<0,42	<2,02	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 170,3	2	0	4,32	4,66	4,49	5,62
		Worms, km 444,50-446,60	15	3	0,12	1,15	0,64	4,33
		Koblenz, km 591,3	3	0	6,68	7,90	7,47	7,41
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	20	0	1,57	12,0	6,88	7,2
NECKAR								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	0	2,11	13,1	5,5	8,4
		Rockenau, km 61,4	12	0	1,50	11,1	5,0	5,6
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	1	0	0,0071	0,0071	0,0071	0,0062
		Rockenau, km 61,4	3	0	0,0052	0,0091	0,0076	0,0069
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	11	10	<0,0016	<0,0026	<0,0019	<0,0020
		Rockenau, km 61,4	12	12	<0,0017	<0,0024	nn	<0,0016
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Rockenau, km 61,4	4	4	<0,53	<1,48	nn	nn
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	0	5,87	6,82	6,57	7,49
		Rockenau, km 61,4	4	0	3,77	6,45	4,92	4,78
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Guttenbach, km 72,0-77,2	5	5	<0,54	<0,74	nn	nn
	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	6	0	4,58	7,14	6,18	5,46
		Neckarzimmern, km 85,8-86,2	5	0	5,12	6,03	5,52	5,75
		Guttenbach, km 72,0-77,2	5	0	4,22	7,09	5,41	5,90
MAIN								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12	0	0,55	0,95	0,78	0,81
		Eddersheim, km 15,3	11	0	0,45	1,29	0,80	0,90
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	3	0	0,0020	0,0137	0,0071	0,0066
		Eddersheim, km 15,3	2	0	0,0061	0,0095	0,0078	0,0064
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	12	12	<0,0017	<0,0025	nn	<0,0016
		Eddersheim, km 15,3	11	9	<0,0016	<0,0022	<0,0019	<0,0025
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 323,7	4	4	<0,65	<1,23	nn	nn
	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	4	0	6,05	13,5	11,2	16,8
		Garstadt, km 323,7	4	0	8,82	12,5	11,2	10,8
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 316,2-324,8	5	5	<0,36	<1,22	nn	nn
	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	5,03	12,1	7,58	8,4
		Garstadt, km 316,2-324,8	5	0	2,58	24,0	11,5	17,0

GEWÄSSER Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
MOSEL								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	0	27,0	53,9	38,8	28,4
		Koblenz, km 2,0	12	0	8,0	23,4	16,3	12,3
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4	0	0,0048	0,0131	0,0077	0,0065
		Koblenz, km 2,0	2	1	0,0015	0,0074	0,0045	0,0047
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	12	<0,0016	<0,0031	nn	0,0017
		Koblenz, km 2,0	12	11	<0,0016	<0,0023	<0,0019	<0,0019
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	12	0	0,26	9,66	2,42	1,85
	Co-60	Perl, km 241,96	12	0	0,99	12,83	5,64	2,51
		Koblenz, km 2,0	12	11	<0,60	<1,89	<1,04	nn
	Ag-110m	Perl, km 241,96	12	7	<0,31	3,49	<1,42	-
		Palzem, km 229,87	12	10	<0,91	3,21	<1,64	-
	Cs-137	Perl, km 241,96	12	0	2,67	10,3	7,84	10,4
		Koblenz, km 2,0	12	0	4,81	11,3	7,52	9,2
	I-131	Perl, km 241,96	12	1	2,34	25,7	10,8	10,3
		Koblenz, km 2,0	12	9	1,93	<12,0	<6,03	<9,0
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 238,6-242,0	10	4	<0,29	3,98	1,17	0,82
		Trier, km 184,1-196,1	11	10	0,47	<1,07	<0,84	nn
		Koblenz/Güls km 4,05	3	3	<0,58	<0,80	nn	nn
	Ag-110m	Perl, km 238,6-242,0	10	9	<0,28	1,36	<0,71	-
		Palzem, km 230,10	5	4	<0,39	2,90	<1,48	-
	Cs-137	Perl, km 238,6-242,0	10	0	0,60	10,2	6,16	7,5
		Trier, km 184,1-196,1	11	0	7,41	13,7	11,3	13,8
		Koblenz/Güls, km 4,05	3	0	6,74	30,1	16,0	9,4
SAAR								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Schoden, km 7,7	12	0	0,50	0,99	0,72	0,86
	Sr-90		2	0	0,0059	0,0087	0,0073	0,0080
	Cs-137		12	12	0,0016	0,0025	nn	<0,0019
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schoden, km 7,7	12	0	8,89	67,5	15,7	11,8
	I-131		12	7	6,64	24,7	<17,4	9,9
DONAU								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	3	3	<5,3	<5,3	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	11	0	0,65	1,17	0,98	9,98
		Vilshofen, km 2249,0	10	0	1,54	4,41	2,25	2,47
	Sr-90	Regensburg, km 2381,3	2	0	0,0086	0,0143	0,0114	0,0039
		Vilshofen, km 2249,0	4	0	0,0053	0,0086	0,0070	0,0064
	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	3	3	<0,0025	<0,0063	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	12	10	<0,0016	0,0031	<0,0021	<0,0017
		Vilshofen, km 2249,0	10	8	0,0013	<0,0023	<0,0018	0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	2	0	53,4	63,9	58,7	61,3
		Regensburg, km 2381,3	4	0	28,5	35,1	32,3	32,8
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	17,9	27,7	21,8	21,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	3	0	47,8	56,4	52,2	51,6
		Regensburg, km 2373,1-2381,4	10	0	4,38	43,6	19,2	10,2
		Straubing, km 2326,7	4	0	34,2	40,2	37,1	41,4
		Grünau, km 2205,5	2	0	13,9	21,9	17,9	21,0
ISAR								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	2	2,68	<4,64	3,71	<5,13
		Plattling, km 9,1	4	1	5,12	7,37	5,82	6,6
	Cs-137	Pullach, km 162,0	5	4	0,0030	<0,0592	<0,0149	nn
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,0067	<0,0150	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	5	0	8,48	18,3	14,4	22,0
		Plattling, km 9,1	4	0	10,7	35,9	19,7	17,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	15,3	27,3	21,6	23,7
		Plattling, km 9,1	4	0	1,45	14,7	5,74	11,8

GEWÄSSER Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
EMS								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	0	0,86	59,9	12,35	21,9
		Terborg, km 24,64	12	0	1,05	12,4	5,25	6,0
	Co-60	Terborg, km 24,64	12	12	<0,0018	<0,0027	nn	nn
	Sr-90	Geeste, km 106,3	4	0	0,0039	0,0085	0,0062	0,008
		Terborg, km 24,64	2	0	0,0106	0,0109	0,0108	0,0071
	Cs-137	Geeste, km 106,3	12	12	<0,0015	<0,0024	nn	<0,0016
		Terborg, km 24,64	12	11	0,0030	<0,0234	<0,0101	0,0093
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Terborg, km 24,64	4	4	<0,90	<2,19	nn	nn
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	0	7,25	11,42	10,2	11,0
		Terborg, km 24,64	4	0	4,97	12,5	7,34	5,58
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herbrum, km 212,75	5	5	<0,91	<2,05	1,46	nn
	Cs-137	Herbrum, km 212,75	5	0	3,93	6,53	5,16	4,64
WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	0,84	11,4	5,90	10,1
		Langwedel, km 329,4	12	0	0,70	6,31	3,48	5,4
		Blexen, km 430,00	10	0	2,03	4,53	3,18	4,01
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	2	0	0,0068	0,0262	0,0165	0,0047
		Langwedel, km 329,4	2	0	0,0095	0,0112	0,0103	0,0062
		Blexen, km 430,0	2	0	0,0041	0,0088	0,0064	0,005
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	12	10	<0,0016	0,0030	<0,0021	<0,0019
		Langwedel, km 329,4	12	12	<0,0016	<0,0030	nn	<0,0017
		Blexen, km 430,0	10	5	<0,0020	0,0094	0,0038	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Wilhelmshaven/Jadebusen	4	4	<0,70	<1,10	nn	nn
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	5,88	10,7	7,60	6,07
		Langwedel, km 329,4	12	0	4,91	14,5	7,87	8,07
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	0	1,85	3,60	3,03	2,92
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Bremen (Insel), km 373,97	6	6	<0,79	<1,20	nn	nn
	Cs-137	Minden, km 204,40	6	0	1,16	119	25,9	20,7
		Bremen (Insel), km 373,97	6	0	6,19	13,2	9,20	8,17
ELBE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	12	0	3,87	12,3	6,41	6,09
		Tangermünde, km 389,10	11	0	2,81	6,15	4,04	3,82
		HH (Seemannshöft), km 628,8	6	0	3,75	6,01	4,44	3,22[a]
		Wedel, km 642,0	12	0	2,22	5,13	3,32	2,91
	Sr-90	Dresden, km 58,0	2	0	0,0033	0,0092	0,0062	0,0051
		Tangermünde, km 389,10	4	0	0,0050	0,0128	0,0081	0,0084
		HH (Seemannshöft), km 628,8	4	0	0,0034	0,0046	0,0041	0,0033[a]
		Wedel, km 642,0	3	0	0,0071	0,0099	0,0083	0,0086
	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	12	<0,0016	<0,0026	nn	<0,0018
		Tangermünde, km 389,10	11	11	<0,0016	<0,0080	nn	<0,0017
		HH (Seemannshöft), km 628,8	7	5	0,0009	<0,0033	<0,0018	0,0013[a]
		Wedel, km 642,0	12	10	0,0013	0,0043	<0,0022	0,0024
	Pu-(239 +240)	HH (Seemannshöft), km 628,8	3	2	0,000019	<0,00018	<0,00012	0,000003[a]
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	0	5,30	19,0	13,5	18,4
		Geesthacht, km 586,0	4	0	6,91	9,72	8,52	10,1
		HH (Seemannshöft), km 628,8	5	0	2,98	5,50	4,12	10,0[a]
		Wedel, km 642,0	4	0	2,48	4,41	3,41	2,82
	I-131	HH (Seemannshöft), km 628,8	5	4	0,54	<2,86	<1,21	<1,85[a]
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	1	0	19,3	19,3	19,3	-
		Arneburg, km 403,5	4	0	1,95	5,71	3,72	6,7
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	11,5	15,6	14,5	14,7
		Cuxhaven, km 726,3	3	0	1,27	3,87	2,72	4,15

GEWÄSSER Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
ODER								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	6	0	0,62	0,92	0,81	0,79
		Schwedt, km 690,55	12	0	0,60	0,83	0,75	0,65
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	2	0	0,0082	0,0084	0,0083	0,0054
		Schwedt, km 690,55	3	0	0,0059	0,0095	0,0072	0,0069
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	6	5	0,0014	<0,0023	<0,0019	0,0026
		Schwedt, km 690,55	12	10	<0,0020	0,0044	<0,0028	0,0036
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	2	0	2,02	7,78	4,90	8,5
		Schwedt, km 690,55	3	0	6,56	13,9	10,6	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	-	-	-	-	-	-
		Hohensaaten, km 667,5	5	0	9,43	13,5	11,2	14,8
SPREE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<1,22	<1,29	nn	<1,15
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	11	0	0,42	1,03	0,61	0,70
	Sr-90	Berlin-Schöneweide, km 27,2	2	0	0,0016	0,0062	0,0039	0,0088
	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	5	5	<0,0010	<0,0024	nn	0,0010
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	11	11	<0,0017	<0,0049	nn	<0,0025
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	8	0	15,5	21,3	19,0	15,4
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	1,50	6,29	4,30	3,11
	I-131	Berlin-Schöneweide, km 27,2	7	5	22,9	<65,2	<44,6	<52
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	3	2	1,05	<4,04	<2,60	<1,86
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	1	0	21,9	21,9	21,9	2,62[b]
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	15,0	18,1	16,0	15,7
HAVEL								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	0	0,54	1,16	0,79	0,81
	Sr-90		3	0	0,0062	0,0094	0,0082	0,0061
	Cs-137		12	11	<0,0016	<0,0028	<0,0020	<0,0020
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	26,8	35,0	30,6	33,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	7	0	14,7	47,0	25,2	22,1
SAALE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Halle/Planena, km 104,5	12	0	0,41	1,00	0,70	0,79
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,36	<3,74	nn	2,64
	Sr-90	Halle/Planena, km 104,5	2	0	0,0013	0,0090	0,0051	0,0052
		Camburg, km 187,0	4	3	0,0028	<0,0073	<0,0050	nn
	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	12	12	<0,0015	<0,0022	nn	<0,0017
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,0153	<0,0454	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	4	0	8,88	12,7	10,4	11,3
		Camburg, km 187,0	4	0	20,8	34,8	29,7	29,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	6	0	3,17	14,4	9,24	9,4
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	11,8	16,6	14,1	16,3
PEENE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	11	0	0,50	0,99	0,75	0,70
	Sr-90		2	0	0,0097	0,0099	0,0098	0,0077
	Cs-137		10	6	<0,0016	0,0033	<0,0023	<0,0020
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	30,7	35,2	32,8	26,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	8	0	28,8	38,2	33,5	33,5

GEWÄSSER Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
TRAVE / UNTERTRAVE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	12	0	0,59	0,95	0,83	0,79
	Sr-90		3	0	0,0057	0,0106	0,0086	0,007
	Cs-137		12	1	<0,0026	0,0129	0,0071	0,006
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	4	0	20,5	30,1	25,1	29,9
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	8	0	0,78	0,99	0,88	0,83
	Sr-90		3	0	0,0090	0,0179	0,0125	0,007
	Cs-137		8	1	<0,0026	0,0137	0,0068	0,007
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	10,2	19,1	16,0	26,8

[a] Werte für 2018 stammen von der Station Hamburg Bunthaus (Elbe, km 609,80), die 2019 teilweise außer Betrieb war. Für 2019 werden daher die Messwerte der Station Hamburg Seemannshöft (Elbe, km 628,80) berichtet.

[b] Wert für 2018 stammt von der Station Fürstenwalde (Spree, km 74,7), von der keine Sedimentprobe aus 2019 vorliegt. Für 2019 wird daher ein Messwert von der Station Berlin-Schöneweide (Spree, km 27,2) berichtet.

nn nicht nachgewiesen/nachweisbar

Tabelle T II.33 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrlSchG

(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrlSchG)

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
BADEN-WÜRTTEMBERG / BAYERN / Bodensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<5,3	<5,3	nn	nn
		Nonnenhorn	4	2	2,21	<4,63	3,55	nn
	Cs-137	Langenargen	8	8	<0,0021	<0,0066	nn	nn
		Nonnenhorn	4	3	0,0036	0,0395	<0,0138	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	3	0	3,84	7,99	5,71	7,16
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	7,40	17,8	10,8	9,9
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck[a]	-	-	-	-	-	nn
	Sr-90		-	-	-	-	-	0,007
	Cs-137		2	2	<0,0336	<0,0579	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck[a]	-	-	-	-	-	34,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	5	0	5,44	26,6	11,0	5,60
Starnberger See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	0	2,55	3,35	2,93	nn
	Sr-90		4	0	0,0074	0,0101	0,0083	0,010
	Cs-137		4	4	<0,0038	<0,0398	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	108	132	120	110

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle 41035	4	4	<1,22	<1,28	nn	0,92
	Sr-90		4	0	0,0021	0,0037	0,0029	0,0030
	Cs-137		4	4	<0,0025	<0,0045	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	2	1,74	8,32	3,97	2,70
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	0	24,8	10,9	30,1	26,7
Stößensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<1,22	<1,29	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0016	0,0063	0,0032	0,0030
	Cs-137		4	3	0,0018	<0,0100	<0,0044	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	3	1,61	<4,86	<3,30	2,17
	I-131		3	3	1,99	6,79	3,73	<2,96
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	19,6	27,9	23,7	34,1
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<5,44	<5,82	nn	nn
	Sr-90		3	0	0,0023	0,0081	0,006	0,009
	Cs-137		4	3	<0,0085	0,0108	<0,009	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	9,01	11,8	10,5	11,0
Neuendorfer See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	5	4	<2,21	<9,50	<5,73	nn
	Sr-90		4	1	0,0021	<0,0051	0,0031	0,0028
	Cs-137		5	5	<0,0074	<0,0352	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	13,1	18,3	15,8	12
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	5	0	0,59	0,70	0,65	0,66
HESSEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<4,99	<5,82	nn	nn
	Sr-90		2	0	0,0044	0,0046	0,0045	0,0027
	Cs-137		4	4	<0,0096	<0,0150	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	3	0	20,8	25,6	23,9	8,87
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	1,97	2,73	2,30	1,92
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	4	<5,06	<5,40	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0105	<0,0118	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	3	1	<2,68	6,80	4,1	8,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	1,32	7,64	4,48	7,1
Schweriner See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<5,06	<5,40	nn	nn
	Sr-90		4	1	<0,0024	<0,0045	0,0034	<0,0059
	Cs-137		4	4	<0,0090	<0,0123	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	5,92	59,6	43,4	36,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	27,1	77,6	41,7	110

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Osterode am Harz	4 4 4	4 3 4	<1,45 <0,0004 <0,0007	<1,78 0,0018 <0,0013	nn <0,0009 nn	1,76 0,0018 nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	20,1	32,3	24,2	24,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	23,6	46,8	32,2	38,5
Steinhuder Meer								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Wunstorf	4 4	3 0	<1,46 0,0028	<1,54 0,0087	<1,50 0,005	1,43 0,009
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	138	223	177	186
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	33,1	146	67,6	99
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Möhnesee	4 1 4	3 0 4	<4,84 0,0062 0,0079	<5,89 0,0062 <0,0209	<5,33 0,0062 nn	nn 0,0061 nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Roetgen	4 4	4 4	<4,93 <0,0005	<5,95 <0,0013	nn nn	nn <0,0009
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	0	3,58	6,53	5,57	5,59
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Maria Laach	4 4	4 0	<3,1 0,020	<3,43 0,022	nn 0,021	nn 0,021
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	18	49	32	47
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Thoßfell	4 4	4 4	<6,43 <0,0075	<6,8 <0,0086	nn nn	nn nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	12,6	19,0	15,7	14,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	25,5	30,7	28,0	33,8
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Arendsee	4 4	4 1	<3,73 <0,01	<6,5 0,043	nn 0,029	nn 0,035
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	27,3	52,3	35,9	46,6
Schollener See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Schollene	4 4	4 2	<3,71 <0,0099	<6,46 0,0173	nn 0,013	nn <0,010
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	143	275	192	186
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Seedorf	4 4 4	4 4 4	<10 <0,010 <0,014	<10 <0,010 <0,025	nn nn nn	nn nn nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	32,5	114	79,3	71,6

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
Wittensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Groß Wittensee	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,014	<0,018	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Groß Wittensee	4	0	32,3	96,9	64,9	104
THÜRINGEN / Talsperre Ohra								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Luisenthal	4	3	2,60	<3,68	<3,31	2,98
	Cs-137		4	4	<0,017	<0,042	nn	nn

[a] Für den Chiemsee (Seeon-Seebruck) lagen wegen eines Defektes der Messstation in 2019 weniger Daten vor.
nn nicht nachgewiesen/nachweisbar

Tabelle T II.34 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI
(Monitoring of water bodies in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI)

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
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	3	<5,3	5,9	<5,45	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0030	<0,0071	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,0044	<0,0081	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0043	<0,0076	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0023	<0,0079	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,0037	<0,0068	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0039	<0,0072	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,21	<0,22	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	2	2	<0,19	<0,24	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,22	<0,23	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	0	3,86	4,39	4,13	3,97
		vor KKW Leibstadt	2	0	3,33	3,74	3,53	2,71
		nach KKW Leibstadt	2	0	1,75	3,50	2,63	2,24
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Weil	13	12	<5,30	6,00	<5,35	<5,30
		Neuf Brisach	13	10	<5,30	6,80	<5,53	<5,38
	Co-60	Weil	13	13	<0,0063	<0,0182	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0067	<0,0134	nn	nn
	Cs-137	Weil	13	13	<0,0054	<0,0178	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0060	<0,0253	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Neuenburg/Grißheim km 206,5	2	2	<0,23	<0,44	nn	nn
		Breisach, km 232,0	2	2	<0,23	<0,27	nn	nn
	Cs-137	Neuenburg/Grißheim km 206,5	2	0	1,39	1,97	1,68	0,83
		Breisach, km 232,0	2	0	2,96	3,48	3,22	2,49
RHEIN / HIRSCHKANAL / KIT Karlsruhe								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	Gα	Hirschkanal	52	0	0,016	0,049	0,033	0,033
	Gβ		52	0	0,077	0,232	0,162	0,173
	H-3		64	63	1,57	<5,32	<3,10	<3,11
	Co-60		4	4	<0,0045	<0,0100	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0041	<0,0101	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Gα	Hirschkanal	4	0	514	634	594	525
	Gβ		4	0	1 418	1 757	1 584	1 423
	Co-60		8	8	<0,30	<3,9	nn	nn
	Cs-137		8	0	23,8	93,2	56	53
	Am-241		8	4	1,38	<18,2	4,2	4,9

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
RHEIN / KKP Philippsburg								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	10	<1,90	6,00	<4,39	3,99
		Auslaufbauwerke I u. II	32	0	7,15	345	43,2	91,5
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0036	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	16	16	<0,0032	<0,035	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0036	<0,034	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	16	16	<0,0030	<0,035	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,41	<0,57	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	0	0,81	4,67	1,83	1,3
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	6,70	10,78	8,36	8,3
		Auslaufbauwerk	4	0	6,15	7,93	7,10	7,6
RHEIN / KWB Biblis (stillgelegt) und BE-Zwischenlager								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	2	2,80	6,60	4,76	4,4
		Auslaufbauwerke A u. B	16	4	3,00	7,02	4,90	5,2
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,019	<0,038	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,020	<0,035	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,022	<0,034	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,020	<0,032	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,31	<0,41	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,43	<0,45	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	5,90	17,0	11,5	8,0
		nach Auslaufbauwerk	2	0	10,0	11,0	10,5	11,0
RHEIN / KMK Mühlheim-Kärlich (stillgelegt)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	3	3	<5,0	<6,0	nn	nn
		Auslaufbauwerk	3	0	2,3	3,5	3,0	5,1
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,014	<0,014	nn	nn
		Auslaufbauwerk	3	3	<0,010	<0,015	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,011	<0,011	nn	nn
		Auslaufbauwerk	3	3	<0,009	<0,016	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,28	<0,45	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,30	<0,34	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	8,9	9,7	9,3	2,9
		nach Auslaufbauwerk	2	0	2,5	7,1	4,8	2,7
NECKAR / GKN Neckarwestheim								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	9	5	2,8	<5,3	<4,3	2,2
		Auslaufbauwerk	24	7	1,4	46,1	8,3	11,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	9	9	<0,0055	<0,038	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0039	<0,040	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	9	9	<0,0051	<0,038	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0039	<0,039	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,22	<0,28	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,28	<0,28	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	1,21	3,27	2,24	1,28
		nach Auslaufbauwerk	2	0	4,84	5,57	5,20	5,54
NECKAR / KKO Obrigheim (stillgelegt)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Guttenbach	21	9	5,3	13,1	7,0	13,2
	Co-60		21	21	<0,0036	<0,038	nn	nn
	Cs-137		21	21	<0,0032	<0,039	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	-
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,43	<0,45	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	-
		nach Auslaufbauwerk	2	0	4,46	5,31	4,88	5,87

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
MAIN / KKG Grafenrheinfeld (stillgelegt)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<6,9	<10	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	5	<7,0	<10	<8,9	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,030	<0,048	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,039	<0,049	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,022	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,030	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,0	<1,2	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<1,1	<1,4	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	12,9	15,7	14,3	15
		nach Auslaufbauwerk	4	0	13,9	16,0	15,3	17
MOSEL / KKW Cattenom (Frankreich)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Palzem, km 230	12	0	27	57	41	31
	Co-60		12	12	<0,010	<0,020	nn	nn
	Cs-137		12	12	<0,010	<0,022	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Palzem, km 230	2	1	<0,59	1,40	1,0	1,2
	Sr-90		2	0	0,34	0,40	0,37	-
	Cs-137		2	0	4,50	10,0	7,3	8,4
DONAU / KRB Gundremmingen								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<4,15	<5,90	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	0	20,6	91,7	55	63
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0023	<0,030	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	8	<0,0023	<0,033	nn	<0,017
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0023	<0,032	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	5	<0,0030	<0,032	<0,017	<0,018
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,21	<0,32	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	0	0,29	1,15	0,73	0,51
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	32,2	52,5	42,0	20,1
		nach Auslaufbauwerk	4	0	13,9	22,2	18,3	23,9
ISAR / KKI Isar 1 und 2								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	7	<4,15	8,10	<5,51	nn
		Auslaufbauwerk	16	7	<4,15	400	122	161
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0023	<0,045	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,0021	<0,038	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0022	<0,0029	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0022	<0,0031	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,13	<0,21	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,12	<0,17	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	11,1	20,7	16,5	24,0
		nach Auslaufbauwerk	4	0	18,3	27,1	22,2	21,1
ISAR / FRM II Forschungsneutronenquelle HML München								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	nach FRM II, km 130,3	8	0	5,9	49,1	23,4	420
	C-14		8	8	<0,14	<2,85	nn	<1,98
	Co-60		8	7	<0,0041	<0,0429	<0,0225	0,544
	Cs-137		8	8	<0,0037	<0,057	nn	nn
	U-235		2	0	0,0008	0,0035	0,0021	0,0015
	Pu-238		2	2	<0,0005	<0,0020	nn	nn
	Am-241		2	2	<0,0005	<0,0054	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	nach FRM II, km 124,6	4	4	<0,06	<0,14	nn	nn
	Cs-137		4	0	7,11	11,6	8,73	9,41
	U-235		1	0	1,40	1,40	1,40	1,50
	Pu-(239+240)		1	0	0,27	0,27	0,27	0,15
	Am-241		1	1	<0,19	<0,19	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
EMS / KKE Emsland								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	4	1,22	6,3	4,1	<3,1
		Auslaufbauwerk	7	0	76,8	3 920	1 592	986
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,0082	<0,032	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,0068	<0,038	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,0076	<0,009	nn	nn
		Auslaufbauwerk	3	3	<0,0056	<0,011	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	3	3	<0,42	<0,65	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	3	3	<0,82	<1,00	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	0	8,27	17,3	13,6	15,3
		nach Auslaufbauwerk, km 106	4	0	22,7	24,2	23,7	23,4
WESER / KWG Grohnde								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	6	0,95	<5,53	<3,42	2,56
		Auslaufbauwerk	7	0	14,5	84,1	45,1	59,1
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0075	<0,048	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0087	<0,047	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0062	<0,045	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0079	<0,047	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	3	3	<0,52	<0,60	nn	nn
		Hess. Oldendorf, km 147	3	3	<0,22	<0,42	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	3	0	6,96	7,75	7,42	7,08
		Hess. Oldendorf, km 147	3	0	1,81	4,91	3,44	2,21
UNTERWESER / KKU Unterweser (außer Betrieb)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	4	2,36	<6,58	<4,99	4,32
		Auslaufbauwerk	7	4	2,54	6,58	<4,51	16,4
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0100	<0,013	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0084	<0,017	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,0074	<0,0098	nn	nn
		Auslaufbauwerk	3	3	<0,0080	<0,0131	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	3	3	<0,19	<0,39	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	3	3	<0,30	<0,37	nn	nn
		vor Auslaufbauwerk, km 44,1	3	0	2,98	5,12	4,07	4,35
	Cs-137	nach Auslaufbauwerk, km 60,0	3	0	1,93	2,54	2,28	4,93
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Selhausen	8	8	<5,4	<10	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<5,4	<10	nn	nn
	Co-60	Selhausen	8	8	<0,0032	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<0,0032	<0,05	nn	nn
	Gα	Selhausen	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Selhausen	2	2	<2,6	<2,9	nn	nn
		Jülich-Süd	2	2	<2,6	<3,1	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	0	9,1	12	10,6	7,6
		Jülich-Süd	2	0	6,5	12	9,3	7,6
	I-131	Selhausen	1	0	7,7	7,7	7,7	-
		Jülich-Süd	1	0	12	12	12	-
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	Gα	Hauptentwässerungs-leitungen	8	2	<0,074	0,497	0,28	<0,15
		Retentionsanlage	4	2	<0,066	0,425	0,19	<0,17
		Goorbach, unterhalb der Stra-ßenkreuzung	3	3	<0,2	<0,2	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Ra-226	Dinkel, nach Kläranlage	2	0	72	80	76	56
	Ra-228	Gronau	2	0	38	38	38	30

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
AHAUSER AA / BGZ Ahaus								
Oberflächen-wasser (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	<5,6	nn	nn
	Co-60		4	4	<0,0049	<0,0058	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Einleitung Moorbach	3	3	<2,9	<4,1	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<3,3	<3,9	nn	nn
	Cs-137	Einleitung Moorbach	3	0	3,9	7,5	6,0	14
		Ahauser Aa	4	0	12	18	15	21
		Retentionsbecken	4	0	4,7	5,2	4,9	3,78
	Ra-226	Retentionsbecken	4	0	17	29	22,5	13,6
	I-131	Ahauser Aa	1	0	37	37	37	-
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<6,21	<10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<6,21	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,013	<0,023	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,013	<0,032	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,013	<0,022	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,015	<0,035	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,68	<1,72	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,64	<1,70	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	4	0,38	<1,35	<0,86	<0,84
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	5	<0,65	<1,61	<0,91	nn
ELBE / KKK Krümmel (außer Betrieb)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	16	<6,2	<9,1	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<6,2	<9,1	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0068	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0061	<0,045	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0069	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0069	<0,040	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,091	<0,96	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,054	<0,88	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	1	0,29	0,89	0,63	0,56
		Auslaufbauwerk	8	4	0,28	<0,96	0,61	0,37
ELBE / KBR Brokdorf								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	6	<3,08	18,2	7,56	<5,56
		Auslaufbauwerk	16	0	14,1	86,7	34,5	32,6
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,0038	<0,039	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,0048	<0,029	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,0059	<0,044	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,0061	<0,034	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,78	<0,93	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<1,00	<1,53	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	3	0,62	<0,97	<0,83	1,50
		nach Auslaufbauwerk	4	2	<0,91	3,16	1,84	<1,23

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
ELBE / KKS Stade (stillgelegt)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,8	14	0	3,58	6,60	4,62	3,17
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	3	0	3,25	3,89	3,55	2,93
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 628,8	15	15	<0,0010	<0,0082	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	3	3	<0,0009	<0,0015	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 628,8	15	9	0,0009	<0,0067	<0,0024	<0,0043
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	3	1	0,0010	0,0017	0,0014	0,0008
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,17	<0,17	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,87	<0,97	nn	nn
		vor Auslaufbauwerk	1	0	3,59	3,59	3,59	3,33
	Cs-137	nach Auslaufbauwerk	4	0	0,88	4,13	1,86	3,16
ELBE / KKB Brunsbüttel (außer Betrieb)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	24	22	<3,98	<9,19	<5,95	nn
		Auslaufbauwerk	24	21	<4,00	9,92	<6,18	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0096	<0,021	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0109	<0,022	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0021	0,0048	0,0030	0,0026
		Auslaufbauwerk	12	0	0,0017	0,0036	0,0026	0,0032
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0103	<0,022	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0104	<0,024	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,70	<0,82	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,88	<1,22	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	0,49	3,07	2,0	3,0
		nach Auslaufbauwerk	4	0	0,57	2,25	1,5	2,1
ELBE / BGZ Gorleben								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Schnackenburg, km 474,5	a					3,96
		Dömitz, km 504,5						3,33
	Co-60	Schnackenburg, km 474,5	a					nn
		Dömitz, km 504,5						nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,5	a					0,0006
		Dömitz, km 504,5						0,0006
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,5	a					nn
		Dömitz, km 504,5						nn
	Pu-239	Schnackenburg, km 474,5	a					nn
		Dömitz, km 504,5						nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schnackenburg, km 474,5	a					nn
		Dömitz, km 504,5						nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,5	a					4,68
		Dömitz, km 504,5						12,0
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,5	a					nn
		Dömitz, km 504,5						nn
	Pu-239	Schnackenburg, km 474,5	a					nn
		Dömitz, km 504,5						nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungsstandort Rossendorf								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Kalter Bach	8	8	<6,4	<12	nn	nn
		Wesenitz	2	2	<6,4	<6,4	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	8	8	<0,0089	<0,0520	nn	nn
		Wesenitz	2	2	<0,0065	<0,0083	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	8	8	<0,0061	<0,0450	nn	nn
		Wesenitz	2	2	<0,0065	<0,0080	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	4	4	<0,26	<1,20	nn	nn
		Wesenitz	2	2	<0,48	<0,49	nn	nn
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	1	1	<0,36	<0,36	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	4	0	2,3	19,0	8,9	10,0
		Wesenitz	2	0	2,2	3,0	2,6	7,1
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	1	0	0,76	0,76	0,76	3,1
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Salzbach	4	4	<6,0	<6,0	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<6,0	<6,0	nn	nn
	Co-60	vor Salzbach	4	4	<0,007	<0,008	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,009	<0,010	nn	nn
	Cs-137	vor Salzbach	4	4	<0,006	<0,007	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,007	<0,007	nn	nn
	Gβ	vor Salzbach	12	0	0,34	0,68	0,44	0,35
		nach Salzbach	12	0	3,50	5,50	4,38	0,43
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Belsdorf	1	1	<0,59	<0,59	nn	nn
		Schwanefeld	1	1	<0,29	<0,29	nn	nn
	Cs-137	Belsdorf	1	0	9,7	9,7	9,7	2,3
		Schwanefeld	1	0	3,1	3,1	3,1	1,1
diverse Vorfluter / Schachtanlage Asse II								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	Co-60	Vorfluter b. Vahlberg	4	4	<0,040	<0,079	nn	nn
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,058	<0,063	nn	nn
	Cs-137	Vorfluter b. Vahlberg	4	4	<0,036	<0,072	nn	nn
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,049	<0,058	nn	nn
	Pb-210	Vorfluter b. Vahlberg	4	4	<0,66	<1,10	nn	nn
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,79	<1,00	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Altenau, Bansleben	1	1	<0,094	<0,094	nn	nn
		Altenau, Groß Denkte	1	1	<0,219	<0,219	nn	nn
	Cs-137	Altenau, Bansleben	1	0	1,84	1,84	1,84	2,86
		Altenau, Groß Denkte	1	0	0,97	0,97	0,97	2,76
	Pb-210	Altenau, Bansleben	1	0	19,9	19,9	19,9	26,5
		Altenau, Groß Denkte	1	0	15,4	15,4	15,4	22,8
HAVEL / KKR Rheinsberg (stillgelegt)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	50 m vor Auslauf	4	4	<5,42	<6,56	nn	<5,89
		50 m nach Auslauf	4	4	<5,42	<6,56	nn	nn
	Co-60	50 m vor Auslauf	4	4	<0,0011	<0,004	nn	nn
		50 m nach Auslauf	4	4	<0,0011	<0,003	nn	nn
	Cs-137	50 m vor Auslauf	4	3	0,0024	<0,005	<0,004	<0,003
		50 m nach Auslauf	4	1	0,0032	<0,0047	0,004	0,004
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	50 m vor Auslauf	2	2	<0,063	<0,126	nn	nn
		50 m nach Auslauf	2	2	<0,052	<0,138	nn	nn
	Cs-137	50 m vor Auslauf	2	0	1,96	3,72	2,84	2,13
		50 m nach Auslauf	2	0	1,80	2,41	2,11	3,20

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2019		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2019		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2019	2018
GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (stillgelegt)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslauf	15	15	<5,26	<10,0	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	15	15	<5,21	<10,0	nn	nn
	Co-60	vor Auslauf	15	15	<0,0076	<0,047	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	15	15	<0,0081	<0,040	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	15	12	0,0120	<0,048	<0,034	<0,036
		nach Auslauf (Hafenbecken)	15	9	0,0176	<0,046	<0,033	<0,040
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslauf	2	2	<0,28	<0,30	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	2	<0,76	<0,90	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	2	0	3,99	4,55	4,27	4,05
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	0	27,4	33,6	30,5	34,6

a Daten lagen nicht vor
nn nicht nachgewiesen/nachweisbar
- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht erfolgt

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	2017	0 - 10	12	18,8	44,1	8	<3,3	6,8
	2018	0 - 10	13	21,2	51,6	9	<4,4	11,0
	2019	0 - 10	13	25,0	84,8	9	<2,6	18,3
Bayern	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
	2019	0 - 10	20	66,7	296,4	17	2,5	4,8
Berlin	2017	0 - 10	3	7,5	9,0	1	0,5	
	2018	0 - 10	3	6,3	7,1	1	0,5	
	2019	0 - 10	4	8,7	11,9	1	1,6	
Brandenburg	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
	2019	0 -10	42	10,2	40,9	6	1,1	2,5
Bremen	2017	0 - 10	2	11,4	17,1	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2019	0 - 10	2	18,8	26,6	a)	a)	a)
Hamburg	2017	0 - 10	1	4,5		a)	a)	a)
	2018	0 - 10	1	3,6		a)	a)	a)
	2019	0 - 10	2	7,7	11,0	a)	a)	a)
Hessen	2017	0 - 10	2	17,1	23,8	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	2	15,3	19,0	a)	a)	a)
	2019	0 - 10	2	17,6	21,8	a)	a)	a)
Mecklenburg-Vorpommern	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
	2019	0 - 10	10	10,4	35,5	3	0,5	0,8
Niedersachsen	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
	2019	0 - 10	14	13,3	27,5	9	1,6	2,6
Nordrhein-Westfalen	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
	2019	0 - 10	14	8,8	24,8	5	0,4	0,9
Rheinland-Pfalz	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
	2019	0 - 10	8	6,4	12,5	3	0,7	0,8
Saarland	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
	2019	0 - 10	4	18,0	23,9	2	0,9	0,9
Sachsen	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
	2019	0 - 10	8	8,7	26,5	5	0,7	1,1

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Sachsen-Anhalt	2017	0 - 10	14	36,9	89,4	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	13	46,6	110,2	a)	a)	a)
	2019	0 - 10	14	31,0	79,2	a)	a)	a)
Schleswig-Holstein	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
	2019	0 - 10	7	6,5	10,4	6	<0,7	1,1
Thüringen	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
	2019	0 - 10	7	15,0	29,3	3	0,5	0,8

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.36 Radioaktive Kontamination von Ackerböden
(Radioactive contamination of arable 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	2017	0 - 30	10	16,3	66,1	1	0,8	
	2018	0 - 30	11	14,2	52,1	1	3,1	
	2019	0 - 30	12	12,7	34,7	1	<3,5	
Bayern	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
	2019	0 - 30	30	21,6	130,2	3	2,9	4,8
Berlin	2017	0 - 30	2	4,6	4,6	1	0,6	
	2018	0 - 30	2	6,0	6,9	1	0,6	
	2019	0 - 30	2	5,1	5,9	1	0,3	
Brandenburg	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
	2019	0 - 30	11	5,5	18,6	3	0,3	0,5
Bremen	2017	0 - 30	3	8,1	8,4	2	0,6	0,6
	2018	0 - 30	1	5,7		1	0,5	
	2019	0 - 30	3	6,0	6,4	2	0,5	0,6
Hamburg	2017	0 - 30	1	5,5		1	0,5	
	2018	0 - 30	1	4,4		1	0,6	
	2019	0 - 30	1	4,4		1	0,5	
Hessen	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
	2019	0 - 30	6	6,9	10,4	2	<0,7	1,1
Mecklenburg-Vorpommern	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
	2019	0 - 30	7	5,9	12,0	2	0,4	0,6

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Niedersachsen	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
	2019	0 - (25/30)	25	6,7	13,8	6	0,6	1,0
Nordrhein-Westfalen	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
	2019	0 - 30	10	5,5	9,1	5	<0,4	0,6
Rheinland-Pfalz	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
	2019	0 - (25/30)	8	6,7	19,9	2	0,5	0,6
Saarland	2017	0 - 30	1	11,0		a)	a)	a)
	2018	0 - 30	1	5,7		a)	a)	a)
	2019	0 - 30	1	12,3		a)	a)	a)
Sachsen	2017	0 - 30	7	5,8	12,6	a)	a)	a)
	2018	0 - 30	7	6,7	13,3	a)	a)	a)
	2019	0 - 30	7	6,2	14,3	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	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
	2019	0 - 30	15	7,8	37,8	5	1,0	2,4
Schleswig-Holstein	2017	0 - 30	5	5,5	7,4	a)	a)	a)
	2018	0 - 30	5	7,5	14,3	a)	a)	a)
	2019	0 - 30	5	5,3	8,0	a)	a)	a)
Thüringen	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
	2019	0 - 30	6	7,5	16,0	2	1,1	1,2

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.37 Radioaktive Kontamination von Waldböden
(Radioactive contamination of forest soil)

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	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
	2019	0 - 10	4	29,8	72,7	1	1,1	
Niedersachsen	2017	0 - 10	2	37,5	59,9	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	2	59,2	92,1	a)	a)	a)
	2019	0 - 10	2	71,1	132,0	a)	a)	a)
Nordrhein-Westfalen	2017	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2018	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2019	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	2017	0 - 10	3	36,2	49,4	-	-	-
	2018	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2019	0 - 10	4)	54,3	101,0	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	2017	31	<0,3	1,7	8	0,7	1,4
	2018	27	<0,2	0,4	9	<0,4	1,1
	2019	32	<0,2	0,4	16	<0,2	0,5
Bayern	2017	53	<0,5	3,4	27	0,3	0,9
	2018	52	<0,5	4,4	23	0,3	1,0
	2019	51	<0,4	3,4	24	0,3*	0,8*
Berlin	2017	2	0,4	0,4	1	0,5	
	2018	3	0,3	0,5	1	0,2	
	2019	4	<0,3	0,5	1	0,2	
Brandenburg	2017	17	<1,2	4,2	9	0,3*	<4,3*
	2018	16	<1,4	11,0	8	<0,6	2,0
	2019	34	<1,4	23,7	9	0,2*	0,5*
Bremen	2017	2	<1,0	1,7	1	0,3	
	2018	1	0,3		1	0,3	
	2019	2	0,5	1,0	1	0,5	
Hamburg	2017	3	0,2	0,3	a)	a)	a)
	2018	4	0,1	0,2	a)	a)	a)
	2019	3	<0,2	0,3	a)	a)	a)

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	2017	15	<0,2	<0,4	8	0,3*	<1,2*
	2018	15	<0,3	0,7	8	<1,0*	2,4*
	2019	15	<0,1	0,2	8	0,2*	0,4*
Mecklenburg-Vorpommern	2017	20	<0,1	0,4	9	<0,2	0,3
	2018	20	<0,2	0,9	8	0,2	0,6
	2019	19	<0,3	1,4	8	<0,2	0,8
Niedersachsen	2017	41	<0,6	5,7	18	0,2	0,5
	2018	42	<0,6	9,6	21	0,2	0,3
	2019	42	<0,3	5,1	20	0,2	0,6
Nordrhein-Westfalen	2017	23	<0,3	0,8	10	0,4	1,4
	2018	24	<0,3	<0,4	10	<0,3	<1,0
	2019	25	<0,3	<0,5	9	<0,4	<1,2
Rheinland-Pfalz	2017	14	<0,1	0,4	7	0,6	1,7
	2018	15	<0,1	<0,4	8	0,4	1,4
	2019	15	<0,1	0,9	7	0,2	0,5
Saarland	2017	4	<0,2	<0,2	2	0,5	0,6
	2018	4	<0,4	0,6	2	0,2	0,4
	2019	4	<0,2	<0,3	2	0,5*	0,5*
Sachsen-Anhalt	2017	24	<6,3	54,3	5	0,1	0,2
	2018	23	<8,9	76,5	5	<0,1	0,2
	2019	24	<10,2	77,7	5	0,2	0,2
Sachsen	2017	14	<0,3	1,4	6	0,3*	<3,3*
	2018	14	<0,3	1,8	6	<0,6	<1,8
	2019	14	<0,3	3,2	6	0,3*	0,5*
Schleswig-Holstein	2017	22	<0,1	0,5	12	0,2	0,6
	2018	22	<0,7	4,6	12	0,4	1,0
	2019	21	<0,2	0,9	12	0,2	0,5
Thüringen	2017	17	<0,1	0,2	5	0,2	0,5
	2018	17	<0,1	0,4	7	0,2*	0,5*
	2019	17	<0,1	0,1	7	0,1*	0,2*

a) Messwerte lagen nicht vor

* 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. Maissilagen	2017	246	<0,4	6,0	a)	a)	a)
	2018	251	<0,4	2,5	a)	a)	a)
	2019	243	<0,4	5,9	a)	a)	a)
Futterrüben	2017	11	<0,4	<0,8	a)	a)	a)
	2018	15	<0,5	<2,0	a)	a)	a)
	2019	13	<0,4	1,8	a)	a)	a)
Futtergetreide	2017	154	<0,2	0,6	a)	a)	a)
	2018	149	<0,2	<13,5*	a)	a)	a)
	2019	142	<0,2	1,6	1	0,1	
Grünfutterpflanzen (ohne Mais)	2017	6	<0,4	0,9	a)	a)	a)
	2018	6	<0,4	0,6	a)	a)	a)
	2019	10	<9,3	0,5	a)	a)	a)
Futterkartoffeln	2017	73	<0,4	1,2	a)	a)	a)
	2018	70	<0,4	2,1	a)	a)	a)
	2019	74	<0,4	1,7	a)	a)	a)
Erbsen	2017	8	<0,2	<0,4	a)	a)	a)
	2018	3	<0,2	<0,3	a)	a)	a)
	2019	4	<0,3	<0,5	a)	a)	a)
Raps	2017	51	<0,3	0,7	a)	a)	a)
	2018	59	<0,3	1,5	a)	a)	a)
	2019	30	<0,1	<0,4	a)	a)	a)
Ölkuchen/ Ölschrote	2017	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2018	2	<0,1	<0,2	a)	a)	a)
	2019	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sonnenblumen	2017	2	<0,4	0,7	a)	a)	a)
	2018	6	<0,2	<0,3	a)	a)	a)
	2019	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Kraftfutter-mischung	2017	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2018	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2019	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Silage	2017	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2018	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2019	13	<0,4	1,3	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	2017	11	<0,1	0,4
	2018	10	<0,2	0,5
	2019	13	<0,3	1,9
Mais, Maisprodukte	2017	10	<0,2	<0,5
	2018	13	<0,2	<0,4
	2019	15	<0,2	<0,4
Maniok, Tapioka	2017	a)	a)	
	2018	a)	a)	
	2019	1	0,3	
Ölkuchen, Ölschrote	2017	8	<0,2	0,4
	2018	2	<0,1	<0,2
	2019	8	<0,2	0,3
Sonnenblumen	2017	7	<0,3	0,8
	2018	5	<0,2	<0,3
	2019	2	<0,2	<0,3
Sojabohnen	2017	28	<0,2	0,4
	2018	27	<0,3	0,7
	2019	5	<0,2	<0,3
Kraftfuttermischung	2017	a)	a)	a)
	2018	a)	a)	a)
	2019	1	<0,2	
Mühlennachprodukte	2017	a)	a)	a)
	2018	a)	a)	a)
	2019	2	<0,3	<0,4

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	2017	105	<4,9	73,4
	2018	101	<3,2	29,1
	2019	97	<2,7	34,4
Nadeln	2017	47	<40,9	1 602,0*
	2018	52	<16,3	321,0
	2019	48	<24,9	823,2
Gras	2017	95	<11,1	352,0
	2018	93	<5,3	130,0
	2019	82	<4,1	90,5
Farne (Thüringen)	2017	2	20,3	39,9
	2018	2	26,1	51,0
	2019	2	16,3	29,4

* Der Wert ist nicht repräsentativ. Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Nadeln: <7,0 im Jahr 2017

Tabelle T II.42 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Specific activity of the soil in the vicinity of nuclear facilities)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	9	11,32	9	10,96	20	7,83 (1,73 - 27,80)
	Pu-238	7	<1,40	7	<0,80	6	<1,77 (0,02 - <3,86)
	Pu-(239+240)	7	<0,65	7	<0,54	6	<0,66 (0,29 - <0,68)
	Sr-90	3	0,98	3	0,97	2	1,62 (0,44 - 2,80)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	4,67	4	4,43	4	4,58 (2,20 - 6,10)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	6	4,39	4	3,98	4	2,25 (1,30 - 3,00)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	8,68	6	8,75	6	7,78 (4,10 - 15,00)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	10,90	6	18,04	6	17,67 (12,00 - 27,00)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	15,03	2	13,60	2	13,50 (13,00 - 14,00)
Bayern							
KGG Gundremmingen	Cs-137	10	29,37	10	29,09	10	33,00 (18,00 - 48,00)
KKI Isar	Cs-137	12	34,29	12	36,06	12	32,99 (7,90 - 54,00)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	4,04	10	14,20	10	4,48 (3,00 - 9,40)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	39,08	4	<18,71	4	<25,28 (<0,11 - 37,00)
AREVA GmbH	Cs-137	4	10,87	4	9,80	4	10,12 (3,72 - 17,20)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Standort Erlangen	Pu-238	4	<0,21	4	<0,19	4	<0,16 (<0,06 - <0,27)
	Pu-(239+240)	4	<0,30	4	<0,24	4	<0,19 (0,09 - <0,29)
	U-235	4	0,52	4	0,45	4	0,68 (0,41 - 0,89)
	U-238	4	10,55	4	7,60	4	12,68 (8,20 - 22,10)
	Am-241	4	<0,09	4	<0,28	4	<0,08 (<0,06 - <0,10)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	2	10,25	2	10,20	a)	
	Pu-238	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	
	Am-241	1	<0,20	1	<0,20	a)	
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	4	6,60	4	7,71	4	6,04 (5,90 - 6,21)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	8,25	5	7,00	4	7,02 (5,94 - 8,23)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	6	6,06	6	4,92	6	5,05 (2,92 - 6,53)
	Pu-(239+240) Asche	a)		a)		a)	
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	4	1,53	3	<3,42	8	4,34 (0,84 - 13,80)
	U-235	a)		a)		a)	
Zwischenlager Nord	Cs-137	6	7,27	6	5,36	12	5,05 (1,07 - 7,64)
	U-235	a)		a)		a)	
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	2	9,06	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	9	7,97	5	8,37	8	7,69 (2,20 - 11,90)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	5	10,90	5	11,56	5	12,13 (6,77 - 22,8)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKE Emsland	Cs-137	10	6,31	5	7,17	8	5,85 (2,76 - 14,69)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	24	19,79	13	21,03	14	13,14 (5,17 - 26,70)
	Sr-90	4	4,38	2	5,35	2	<3,16 (<1,22 - 5,09)
	Pu-238	2	<0,20	2	<0,20	1	<0,22 b)
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
Schacht Konrad II c)	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

Tabellen

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	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	7	5,72	3	5,57	8	5,54 (5,00 - 6,40)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	2	12,05	8	3,89	8	4,38 (3,30 - 7,27)
	Sr-90	a)		6	0,92	6	0,59 (0,37 - 0,80)
KWW Würgassen[d)]	Cs-137	14	11,30	14	12,01	a)	
THTR Uentrop[d)]	Cs-137	4	16,20	4	<4,76	4	<1,74 (<0,16 - 7,70)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	5	6,26	5	7,22	5	4,68 (0,80 - 9,40)
	Sr-90	5	0,59	5	0,41	5	<0,27 (0,14 - 0,46)
UAG Gronau	U-238	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	8,12	4	6,46	4	9,68 (2,10 - 17,00)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	11	7,08	11	7,01	11	<6,99 (<0,20 -11,41)
Sachsen							
VKTA Rossendorff	Cs-137	10	4,14	10	4,54	13	5,05 (1,60 - 8,60)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	9	4,84	6	5,42	10	4,45 (2,50 - 6,80)
	Sr-90	3	<0,31	2	0,23	2	0,21 (0,20 - 0,22)
	Gesamt-β	5	614	3	607	4	615 (550 - 680)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	6	6,30	6	4,80	6	3,42 (2,40 - 4,00)
	Sr-90	2	0,16	2	0,15	2	0,23 (0,21 - 0,24)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	5	17,84	6	18,10	8	13,70 (2,77 - 26,80)
	Sr-90	1	2,10	1	2,70	3	1,70 (1,20 - 2,20)
KKK Krümmel	Cs-137	6	4,50	8	5,18	11	4,45 (2,80 - 5,10)
	Sr-90	4	0,48	4	0,53	7	0,38 (0,26 - 0,52)
KBR Brokdorf	Cs-137	6	8,57	8	7,71	11	9,48 (1,09 - 14,70)
	Sr-90	1	0,90	4	0,98	5	1,32 (1,16 - 1,47)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Zwischenlager	Cs-137	4	10,43	4	11,12	a)	
Brokdorf	Sr-90	2	1,35	2	1,35	a)	

a) Messwerte lagen nicht vor b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll

c) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.

d) im Betrieb des sicheren Einschlusses

Tabelle T II.43 Spezifische Aktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Specific activity of vegetation in the vicinity of nuclear facilities)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	10	<0,11	7	<0,13	8	<0,11 (<0,03 - 0,12)
	Pu-238	4	<0,11	a)		4	<0,05 (<0,02 - <0,13)
	Pu-(239+240)	4	<0,04	4	<0,13	4	<0,02 (<0,01 - <0,05)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,23	4	<0,25	4	<0,24 (0,04 - <0,43)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	6	<0,21	4	<0,23	4	<0,18 (<0,04 - <0,33)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	<0,31	6	<0,53	6	<0,30 (<0,03 - 0,46)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	0,16	6	0,06	6	<0,11 (0,02 - 0,43)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	0,25	2	0,66	2	0,05 (0,09 - 0,14)
Bayern							
KGG Gundremmingen	Cs-137	10	<0,18	10	<0,12	10	<0,16 (<0,03 - 0,47)
KKI Isar	Cs-137	12	0,35	12	0,32	12	<0,35 (<0,03 - 1,20)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	<0,24	10	<0,17	10	<0,24 (<0,09 - <0,43)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	0,58	4	<0,28	4	<0,20 (0,14 - <0,30)
AREVA GmbH	Cs-137	4	<0,53	4	0,59	4	<0,55 (<0,11 - 0,99)
Standort Erlangen	Pu-238	4	<0,01	a)		4	<0,15 (<0,01 - <0,49)
	Pu-(239+240)	4	<0,02	a)		4	<0,09 (<0,01 - <0,24)
	U-235	4	<0,01	4	0,47	4	<0,05 (<0,01 - 0,08)
	U-238	4	0,11	4	<0,02	4	0,49 (0,02 - 1,00)
	Am-241	4	<0,01	4	<0,06	4	<0,03 (<0,02 - <0,04)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	2	<0,23	2	<0,30	a)	
	Pu-238	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		1	<0,25	a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	Am-241	1	<0,37	a)		a)	
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	4	0,47	3	0,81	4	<0,22 (0,11 - <0,20)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	<0,72*	7	<1,79*	7	4,00 (0,64 - 11,60)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	6	<0,17	6	<0,08	6	<0,08 (<0,06 - <0,13)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,21	4	<0,15	8	<0,69 (<0,08 - 3,53)
Zwischenlager Nord	Cs-137	6	<0,66	6	<0,18	12	<0,26 (<0,08 - 0,80)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	2	<0,06	a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	9	<0,14	5	<0,10	8	<0,11 (<0,07 - <0,18)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	8	<0,12	5	<0,15	8	<0,13 (<0,06 - <0,30)
Zwischenlager Grohnde	Cs-137	a)		a)		a)	
KKE Emsland	Cs-137	8	<0,23	4	<0,25	8	<0,23 (<0,07 - 0,48)
Zwischenlager Lingen	Cs-137	a)		a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	17	<2,92	10	5,04	16	<4,00 (<0,10 - 43,12)
	Sr-90	2	1,06	2	0,95	2	7,55 (6,00 - 9,11)
Schacht Konrad II [c)]	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	7	<0,11	3	<0,15	8	<0,18 (0,04 - <0,33)
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	2	<0,17	3	<0,06	3	<0,08 (<0,03 - <0,11)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWW Würgassen[d)]	Cs-137	10	<0,18	10	<0,30	a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
THTR Uentrop[d)]	Cs-137	4	<0,51	4	<0,21	3	<0,56 (<0,30 - <0,76)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	10	<0,19	10	<0,25	10	<0,58 (<0,02 - 5,00)
	Sr-90	10	0,35	10	0,36	10	0,13 (0,04 - 0,26)
UAG Gronau	U-238	a)		a)		a)	
	Uran (Bq/kgTM)	12	<0,35	12	<0,27	12	<0,23 (<0,23- <0,23)
	Fluor (mg/kg TM)	12	<1,61	12	<1,76	12	<1,50 (<1,50 - <1,50)
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	<0,17	4	<0,18	4	<0,12 (<0,06 - <0,18)
Cattenom (Frankreich)	Cs-137	6	<0,12	6	<0,08	6	<0,15 (<0,07 - 0,34)
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	8	<0,10*	9	<0,16*	7	<0,46* (0,19 - 1,10)
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	10	<0,30	14	<0,79	10	<0,37 (<0,08 - 1,7)
	Gesamt-β	4	220	2	260	4	151 (43 - 290)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	3	<0,12	4	<0,23	4	<0,19 (<0,13 - 0,29)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	5	<0,09	6	<0,13	8	<0,41 (<0,07 - <0,25)
	Sr-90	a)		a)		2	0,19 (0,28 - 0,10)
KKK Krümmel	Cs-137	4	<0,10	4	<0,13	6	<0,13 (<0,06 - 0,19)
	Sr-90	4	0,26	4	0,41	7	0,45 (0,09 - 1,30)
KBR Brokdorf	Cs-137	8	<0,13	6	<0,13	11	<0,11 (0,05 - <0,20)
	Sr-90	a)		a)		1	0,21
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	3	<0,10	4	<0,12	a)	

a) Messwerte lagen nicht vor b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll

c) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.

d) im Betrieb des sicheren Einschlusses

* 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	2019						2018
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal-wert [a]	Maximal-wert [a]	Mittel-wert [a]	Median [b]	Median [b]
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	98	44	32	2 500	270	200	<170
	Cs-137	98	98				<7,2	<8,0
	Sr-90	51	27	0,32	14		3,1	<3,8
	H-3	56	50	990	2 200		<3 800	<4 500
	U-234	47	16	0,053	120	20	2,9	2,3
	U-235	47	41	0,1	5,2		<0,74	<0,86
	U-238	47	16	0,023	81	9,4	2,1	<1,9
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	93	57	29	4 400		<190	170
	Cs-137	92	92				<8,4	<7,8
	Sr-90	38	20	1,1	16		<4,1	<3,5
	H-3	38	32	2 200	4 000		<3 700	<3 400
	U-234	40	13	0,14	85	11	3,4	<3,9
	U-235	40	34	0,1	3,7		<1,0	<1,0
	U-238	40	14	0,065	73	9,2	2,0	2,1
Reinwasser	K-40	267	165	19	1 200		160	<170
	Cs-137	267	265	1,3	4,9		<8,0	<8,5
	Sr-90	68	33	0,34	15	3,3	3,1	3,2
	H-3	72	61	1 300	4 500		<4 000	<5 000
	U-234	69	30	0,11	83	10	<1,6	<2,7
	U-235	72	61	0,041	3,3		<1,0	<0,93
	U-238	69	25	0,053	68	7,2	<1,5	2,0

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.

b Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.

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	2019						2018
		Anzahl gesamt [a]	Anzahl <NWG	Minimal-wert [b]	Maximal-wert [b]	Mittel-wert [b]	Median[c]	Median[c]
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	232	163	24	21 000		<550	<500
	Co-60	325	321	13	17		<31	<29
	Cs-137	232	232				<30	<29
	Sr-90	15	12	2,7	6,0		<6,0	<5,6
	H-3	327	299	580	14 000		<5 700	5 500
	R-Beta	24	24				<110	<100
	G-Alpha	47	24	18	110		<50	<50
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	57	31	37	2 000		230	<190
	Co-60	56	56				<10	<8,5
	Cs-137	52	52				<9,9	<8,8
	Sr-90	9	7	4,5	8,9		<1,0	<1,0
	H-3	61	55	1 700	9 000		<3 200	<3 300
	G-Alpha	5	0	28	49	36	33	34
Reinwasser	K-40	133	75	29	2 100		<200	<98
	Co-60	146	146				<7,5	<4,6
	Cs-137	133	133				<9,6	<5,0
	Sr-90	35	33	3,1	4,3		<10	<10
	H-3	140	138	12 000	13 000		<5 300	<5 300

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 Radionuklide die Anzahl der gemeldeten Werte kleiner als für Co-60 sein.

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.

c Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.

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	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)
	2019	7	<0,04 (<0,02 - <0,10)	60	<0,12 (<0,04 - 0,23)
Bayern	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)
	2019	20	<0,04 (0,02 - <0,20)*	217	<0,10 (0,04 - 0,24)
Berlin	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)
	2019	12	0,02 (0,01 - 0,03)*	24	<0,43 (0,04 – 1,92)
Brandenburg	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)
	2019	12	<0,01 (0,01 - <0,02)*	89	<0,17 (<0,04 – 0,91)
Bremen	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)
	2019	10	0,02 (0,01 - 0,03)	12	<0,15 (0,03 – 0,049)
Hamburg	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)
	2019	12	<0,05 (0,01 - 0,34)**	12	<0,10 (<0,06 - <0,17)
Hessen	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)
	2019	12	0,03 (0,02 - 0,04)*	34	<0,07 (<0,06 - <0,08)
Mecklenburg-Vorpommern	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)
	2019	11	<0,01 (<0,01 - 0,01)	45	<0,17 (<0,14 – 0,63)
Niedersachsen	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)
	2019	18	<0,05 (<0,02 – 0,15)	151	<0,19 (0,04 – <0,50)
Nordrhein-Westfalen	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)
	2019	12	<0,03 (<0,01 - 0,11)*	105	<0,13 (<0,01 – 0,33)
Rheinland-Pfalz	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)
	2019	13	0,02 (0,02 – 0,03)	39	<0,05 (<0,02 - <0,07)
Saarland	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)
	2019	12	0,05 (0,02 – 0,12)*	15	<0,09 (<0,07 – 0,12)
Sachsen	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)
	2019	11	0,02 (0,01 - 0,02)*	59	<0,11 (0,06 – <0,21)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	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)
	2019	12	0,32 (0,13 - 0,68)**	70	<0,11 (0,07 – 0,33)
Schleswig-Holstein	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)
	2019	12	<0,02 (0,01 - 0,06)	84	<0,12 (<0,00 - <0,17)
Thüringen	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)
	2019	17	0,01 (0,01 - 0,02)	36	<0,10 (<0,08 - <0,12)
Bundesrepublik (gesamt)	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)
	2019	203	<0,03 (<0,01 - 0,20)*	1052	<0,14 (<0,00 - 1,92)

* Ergebnisse aus der Sr-Schnellbestimmung wurden bei Mittelwertbildung und Wertebereichen nicht berücksichtigt
** alle Werte stammen aus der Sr-Schnellbestimmung

Tabelle T II.47 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2019
(Range of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2019)

Produkt	N	Cs-134 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1 052	<0,21	<0,02	1,92	<0,00
Käse	8	<0,68	<0,06	<0,68	<0,07
Milchpulver	6	<0,15	<0,08	1,95	1,07
Importe					
Käse	81	<0,26	<0,04	<0,25	<0,04
Frischkäse	3	<0,17	<0,06	<0,18	<0,07
Schafskäse	15	<0,22	<0,04	<0,24	<0,04
Lakenkäse	6	<0,14	<0,04	<0,16	<0,05

Tabelle T II.48 Radioaktive Kontamination der Milch in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactive contamination of milk in the vicinity of nuclear power plants)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg					
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	0,02	2	<0,02 (0,01 - <0,02)
	Sr-90	2	0,02	2	<0,16 (0,03 - <0,30)
	I-131 (nur Bereich)	1	<0,032	a)	
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,04	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 - <0,007	10	<0,004 - <0,008
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,03	4	<0,02 (0,01 - <0,02)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	9	<0,004 - <0,009	10	<0,004 - <0,007

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKP Philippsburg	Cs-137	4	<0,02	4	<0,03 (<0,02 - 0,05)
	Sr-90	4	<0,02	4	<0,06 (0,01 - <0,20)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,005 - <0,009	11	<0,005 - <0,009
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	5	<0,03	7	<0,03 (<0,02 - <0,05)
	Sr-90	5	0,02	5	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,003 - <0,007	11	<0,004 - <0,008
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	<0,03	4	<0,03 (<0,02 - <0,03)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,004 - <0,006	10	<0,004 - <0,007
Bayern					
KRB Gundremmingen	Cs-137	6	<0,03	6	<0,02 (0,01 - <0,04)
	Sr-90	6	<0,01	6	<0,02 (<0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,004 - <0,006	18	<0,004 - <0,010
KKI Isar	Cs-137	4	0,06	4	0,05 (0,03 - 0,07)
	Sr-90	4	<0,02	4	<0,02 (0,01 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,004 - <0,005	12	<0,004 - <0,009
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	6	<0,08	6	<0,09 (0,08 - <0,10)
	Sr-90	6	<0,02	6	<0,02 (<0,01 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,005 - <0,008	18	<0,005 - <0,010
FRM II	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
Brandenburg					
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	<0,11	4	<0,13 (<0,07 - 0,21)
	Sr-90	4	0,01	4	0,01 (0,01 - 0,01)
	I-131 (nur Bereich)	4	<0,080 - <0,119	4	<0,063 - <0,133
Hessen					
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,06	10	<0,05 (<0,02 - <0,08)
	Sr-90	10	<0,02	10	<0,01 (<0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	28	<0,004 - <0,008	28	<0,004 - <0,008
Mecklenburg-Vorpommern					
KGR Greifswald	Cs-137	2	<0,17	4	<0,17 (<0,15 - <0,19)
	Sr-90	2	<0,02	4	0,01 (0,01 - 0,01)
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,132 - <0,135	3	<0,145 - <0,154
Niedersachsen					
KKS Stade	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	2	<0,56	2	<0,09 (<0,08 - <0,09)
	Sr-90	2	0,02	2	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	4	<0,006 - <0,008	10	<0,005 - <0,008

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWG Grohnde	Cs-137	2	<0,07	2	<0,06 (<0,06 - <0,06)
	Sr-90	2	0,02	2	<0,02 (<0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	4	<0,006 - <0,049	10	<0,005 - <0,010
KKE Emsland	Cs-137	2	<0,05	2	<0,08 (<0,08 - <0,08)
	Sr-90	2	0,01	2	<0,01 (<0,01 - 0,01)
	I-131 (nur Bereich)	4	<0,005 - <0,010	10	<0,005 - <0,011
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	8	<0,12	18	<0,10 (0,04 - 0,18)
	Sr-90	4	0,02	7	<0,02 (<0,01 - 0,04)
	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	a)		2	<0,13 (<0,13 - <0,14)
Nordrhein-Westfalen					
FZ Jülich	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	38	<0,003 - <0,010	32	<0,005 - <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	<0,06 - <0,06	2	<0,06 - <0,08
KKW Cattenom	Cs-137	6	<0,04	5	<0,03 (<0,01 - <0,07)
(Frankreich)	Sr-90	6	0,02	5	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,006 - <0,008	12	<0,006 - <0,060
Sachsen					
VKTA Rossendorf	Cs-137	2	<0,10	2	<0,13 (<0,12 - <0,13)
	Sr-90	2	0,02	2	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,081 - <0,1	2	<0,084 - <0,120
Sachsen-Anhalt					
Endlager Morsleben	Cs-137	3	<0,10	4	<0,09 (<0,07 - 0,11)
	Sr-90	a)		a)	
Schleswig-Holstein					
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,13	4	<0,13 (<0,13 - <0,14)
	Sr-90	4	<0,02	4	<0,02 (<0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	4	0,04	4	<0,04 (0,02 - 0,06)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	32	<0,004 - <0,010	32	<0,005 - <0,010
KKK Krümmel	Cs-137	6	0,04	6	<0,04 (0,03 - 0,06)
	Sr-90	6	0,02	6	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,005 - <0,009	18	<0,005 - <0,009
KBR Brokdorf	Cs-137	6	<0,05	8	<0,03 (0,02 - 0,04)
	Sr-90	6	0,02	8	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,005 - <0,009	24	<0,005 - <0,009
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	2	<0,03	a)	
	Sr-90	2	0,02	a)	
	I-131 (nur Bereich)	6	<0,005 - <0,007	a)	

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					
		2019					2018
		N	nn	min.	max.	Median	Median
Binnenseen	Norddeutschland	64	12	<0,06	23,8	0,89	0,95
	Mitteldeutschland	8	3	<0,07	17,9	0,20	4,16
	Süddeutschland	20	1	0,08	4,72	0,28	0,14
Fischteiche	Norddeutschland	9	2	<0,09	0,9	0,23	0,16
	Mitteldeutschland	27	12	<0,05	9,40	0,11	0,14
	Süddeutschland	31	18	0,06	3,16	0,13	0,08
Fließgewässer	Norddeutschland	12	7	<0,08	2,03	<0,15	0,17
	Mitteldeutschland	20	13	0,04	1,67	0,09	0,10
	Süddeutschland	4	3	<0,14	0,21	<0,18	<0,17
nicht spezifizierte Gewässer	Norddeutschland	4	1	<0,08	3,52	0,16	0,16
	Mitteldeutschland	6	5	<0,08	0,38	<0,20	0,11
	Süddeutschland	-	-	-	-	-	0,08

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					
	2019					2018
	N	nn	min.	max.	Median	Median
Forellen	42	24	<0,05	0,28	0,12	0,08
Karpfen	31	131	<0,09	3,29	0,15	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					
		2019					2018
		N	nn	min.	max.	Median	Median
Nordsee	Fische	43	10	0,05	0,52	0,08	0,11
	Garnelen	13	13	<0,08	<0,16	<0,11	<0,10
	Miesmuscheln	11	11	<0,07	<0,14	<0,10	<0,09
Ostsee	Fische	13	1	<0,19	2,80	1,55	0,26

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					
	2019					2018
	N	nn	min.	max.	Median	Median
Süßwasserfisch	35	24	<0,07	3,08	<0,08	<0,08
Seefisch	126	80	<0,01	0,52	0,07	0,07
Krusten- u. Schalentiere	6	6	<0,08	<0,17	<0,11	<0,10
Fischereierzeugnisse	14	14	<0,06	<0,15	<0,10	<0,08

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					
	2019					2018
	N	nn	min.	max.	Median	Median
Seefisch	15	12	<0,06	0,31	0,11	0,09
Fischereierzeugnisse	2	2	<0,08	<0,10	<0,09	<0,09

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					
		2019					2018
		N	nn	min.	max.	Median	Median
Fisch	Binnenseen	14	4	0,008	0,080	0,026	0,018
	Fischteiche	10	1	0,010	2,68	0,026	0,016
	Fließgewässer	7	2	0,002	0,032	0,008	0,013
Garnelen	Nordsee	10	6	<0,010	0,028	0,011	<0,015
Miesmuscheln	Nordsee	11	10	<0,010	0,057	<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
Irische See							
Fischfleisch	Cs-137	2019	1	0	-	-	0,73
	Cs-134	2019	1	1	-	-	< 0,014
Gesamtfisch	Cs-137	2019	8	0	0,10	1,79	0,52
	Cs-134	2019	8	8	<0,009	<0,015	<0,012
Nordsee							
Fischfleisch	Cs-137	2017	1	0	-	-	0,11
		2019	2	0	0,14	0,15	0,14
Gesamtfisch	Cs-137	2017	5	0	0,05	0,8	0,06
		2018	3	0	0,05	0,12	0,08
		2019	19	0	0,04	0,15	0,07
Ostsee (südliche und westliche)							
Fischfleisch	Cs-137	2016	1	0	-	-	4,52
		2019	1	0	-	-	1,75
Gesamtfisch	Cs-137	2018	4	0	0,86	3,05	1,82
		2019	7	0	1,27	2,80	2,15

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	2019					2018
			N	nn	min.	max.	Median	Median
Fisch (Bq/kg FM)								
Donau	KGG Gundremmingen	Cs-137	6	3	<0,13	0,36	0,23	0,16
Elbe	HZ Geesthacht (ex GKSS)	Cs-137	6	0	0,13	0,21	0,16	<0,14
	KKK Krümmel	Cs-137	4	0	0,16	0,27	0,22	0,28
	PKA Gorleben	Cs-137	0	0	-	-	-	0,14
	KKS Stade	Cs-137	0	0	a)	a)	a)	a)
	KBR Brokdorf	Sr-90	6	2	<0,005	0,027	<0,010	<0,005
		Cs-137	6	0	0,28	0,47	0,33	0,18
	KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	0	0,08	0,32	0,21	0,19
Ems	KKE Emsland	Cs-137	0	0	-	-	-	0,20
Greifswalder Bodden	KGR Greifswald	Cs-137	2	0	0,63	0,66	0,64	0,60
Sacrower See	HZB (ehem. HMI) Berlin	Cs-137	1	0	-	-	9,8	13
Griebenitzsee		Cs-137	1	1	-	-	0,15	-
Pohlesee		Cs-137	2	0	0,35	0,40	0,37	0,35
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	5	5	<0,12	<0,18	<0,16	0,14
	FRM II Garching	Cs-137	1	0	-	-	<0,17	0,23
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	4	<0,17	<0,21	<0,19	<0,17
Mosel	Cattenom (Frankreich)	Sr-90	0	0	-	-	-	<0,01
		Cs-137						<0,075
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	0	0,02	0,03	0,02	0,04
	KWO Obrigheim	Cs-137	0	0			*	0,08
Rhein	KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,05	0,06	0,05	0,09
	KWB Biblis	Sr-90	8	2	0,01	0,03	0,01	0,03
		Cs-137	8	3	0,05	<0,15	0,05	0,09
	KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	0	0,04	0,08	0,06	<0,17
	KKP Philippsburg	Sr-90	1	0	-	-	0,02	0,02
		Cs-137	2	0	<0,07	<0,09	<0,08	0,11
	KIT Karlsruhe	Cs-137	0	0				0,12
Rur	FZ Jülich	Cs-137	4	0	0,21	0,35	0,24	0,22
		Co-60	4	4	<0,21	<0,30	<0,25	
Ellbogensee *	KKR Rheinsberg	Cs-137	1	0	a)	a)	6,77	3,10
Weser	KKU Unterweser	Cs-137	3	0	0,05	0,18	0,08	0,15
	KWG Grohnde	Cs-137	0	0	-	-	-	0,03
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)								
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60	1	1	-	-	<0,36	<0,36
		Cs-137	0	0	-	-	-	-

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2019					2018
			N	nn	min.	max.	Median	Median
Moorbach	Ahaus	Co-60	1	1	-	-	<0,36	<0,36
		Cs-137	0	0	-	-	-	-
Donau	KGG Gundremmingen	Co-60	2	2	<0,51	<1,25	<0,88	<0,34
		Cs-134	2	2	<0,31	<0,86	<0,58	<0,20
		Cs-137	2	1	<1,22	2,01	1,22	4,61
Isar	FRM II Garching	Co-60	4	4	<0,42	0,61	0,54	0,19
		Cs-137	4	0	0,79	3,92	2,66	7,92
	KKI 1/2 Isar	Mn-54	0	0	-	-	-	-
		Co-60	1	0	-	-	2,07	0,57
		I-131	1	0	-	-	6,83	15,5
		Cs-137	1	0	-	-	7,07	10,8
Main	KKG Grafenrheinfeld	Co-60	2	0	0,13	0,96	0,55	<0,1
		Cs-137	2	0	1,73	2,83	2,06	2,08

N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG
*: erfolgloser Fischfang

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	2018	21	<0,10 (<0,03 - <0,19)	3	0,17 (0,06 - 0,27)
	2019	31	<0,15 (0,05 - <0,21)	8	<0,09 (<0,04 - 0,19)
Bayern	2018	55	<0,13 (0,05 - 0,26)	9	0,17 (0,04 - 0,40)
	2019	59	<0,11 (<0,06 - <0,18)	8	0,15 (0,08 - 0,25)
Berlin	2018	1	<0,11	1	0,13
	2019	2	<0,12 (<0,10 - <0,14)	1	0,09
Brandenburg	2018	21	<0,12 (<0,06 - 0,20)	1	0,1
	2019	19	<0,10 (<0,05 - <0,15)	2	0,12 (0,09 - 0,15)
Bremen	2018	3	<0,07 (<0,07 - <0,07)	-	
	2019	3	<0,04 (<0,03 - <0,06)	-	
Hamburg	2018	3	<0,10 (<0,09 - <0,10)	-	
	2019	3	<0,11 (<0,09 - <0,13)	1	0,07
Hessen	2018	17	<0,09 (<0,04 - <0,12)	-	
	2019	17	<0,09 (<0,07 - <0,12)	-	
Mecklenburg-Vorpommern	2018	36	<0,14 (<0,12 - <0,18)	3	0,05 (0,04 - 0,06)
	2019	28	<0,14 (<0,11 - <0,17)	1	0,05
Niedersachsen	2018	41	<0,15 (<0,04 - 0,30)	6	<0,24 (<0,04 - <1,00)
	2019	36	<0,15 (<0,09 - <0,27)	4	0,08 (0,05 - 0,14)
Nordrhein-Westfalen	2018	27	<0,12 (<0,03 - <0,19)	3	0,05 (0,02 - 0,09)
	2019	25	<0,11 (<0,04 - <0,19)	1	0,09
Rheinland-Pfalz	2018	21	<0,07 (<0,03 - <0,09)	5	0,09 (0,05 - 0,13)
	2019	20	<0,07 (<0,03 - <0,09)	4	0,20 (0,12 - 0,29)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Saarland	2018	2	<0,08 (<0,08 - <0,09)	1	0,12
	2019	3	<0,11 (<0,06 - <0,14)	1	0,09
Sachsen	2018	30	<0,12 (0,10 - <0,15)	3	0,12 (0,09 - 0,13)
	2019	30	<0,12 (0,09 - <0,16)	3	0,12 (0,12 - 0,13)
Sachsen-Anhalt	2018	36	<0,12 (<0,07 - <0,17)	3	<0,08 (<0,02 - 0,17)
	2019	31	<0,14 (<0,09 - 0,27)	3	0,22 (0,03 - 0,49)
Schleswig-Holstein	2018	35	<0,14 (<0,11 - <0,18)	4	0,11 (0,08 - 0,15)
	2019	34	<0,13 (<0,06 - <0,15)	4	0,08 (0,04 - 0,12)
Thüringen	2018	34	<0,13 (<0,10 - <0,14)	2	<0,94 (0,04 - <1,84)
	2019	34	<0,12 (<0,08 - <0,14)	1	0,07
Bundesrepublik (gesamt)	2018	383	<0,12 (<0,03 - 0,30)	44	<0,17 (<0,02 - <1,84)
	2019	375	<0,12 (<0,03 - <0,27)	42	<0,12 (0,03 - 0,49)

Tabelle T II.58 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import)

Importe	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Estland	2018	-		
	2019	1	<0,10	
Italien	2018	-		
	2019	1	<0,13	
Kanada	2018	-		
	2019	3	<0,13	(<0,10 - <0,18)
Österreich	2018	2	<0,08	(<0,08 - <0,08)
	2019	2	<0,15	(<0,13 - <0,18)
Polen	2018	2	<0,11	(<0,08 - <0,13)
	2019	2	<0,13	(<0,11 - <0,14)
Slowakei	2018	-		
	2019	1	<0,08	
Türkei	2018	-		
	2019	1	<0,06	
Ungarn	2018	-		
	2019	1	<0,07	

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	2018	110	<0,14	(<0,04 - <0,24)	4	0,13 (0,04 - 0,26)
	2019	104	<0,14	(<0,04 - <0,77)	1	0,12

Tabellen

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Hafer	2018	24	<0,20	(0,09 - 0,84)	2	0,10	(0,03 - 0,17)
	2019	19	<0,20	(0,07 - 0,82)	1	<0,04	
Reis	2018	11	<0,17	(0,08 - 0,56)	-		
	2019	9	<0,13	(<0,06 - <0,20)	-		
Roggen	2018	130	<0,13	(<0,04 - 0,63)	10	0,13	(0,06 - 0,32)
	2019	130	<0,14	(0,01 - 0,82)	9	0,08	(0,02 - 0,14)
Triticale	2018	14	<0,14	(<0,08 - 0,26)	2	0,11	(0,08 - 0,14)
	2019	14	<0,13	(<0,07 - <0,29)	1	0,05	
sonstiges Getreide	2018	6	<0,18	(<0,09 - 0,49)	1	0,07	
	2019	12	<0,13	(<0,07 - 0,20)	-		

Tabelle T II.60 Kalbfleisch, Inland
(Veal, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2018	4	<0,20 (<0,11 - 0,40)
	2019	6	<0,16 (<0,10 - 0,24)
Bayern	2018	7	<0,22 (<0,09 - 0,60)
	2019	5	0,57 (0,12 - 2,11)
Berlin	2018	1	3,51
	2019	-	
Brandenburg	2018	3	<1,27 (<0,10 - 2,70)
	2019	3	0,69 (0,17 - 1,35)
Bremen	2018	3	<0,13 (<0,07 - 0,20)
	2019	3	0,16 (0,06 - 0,28)
Hamburg	2018	4	0,20 (0,12 - 0,24)
	2019	3	<0,12 (0,06 - 0,16)
Hessen	2018	3	<0,16 (<0,09 - 0,28)
	2019	2	<0,12 (<0,11 - <0,14)
Mecklenburg-Vorpommern	2018	3	<0,48 (<0,14 - 0,67)
	2019	3	<1,01 (<0,12 - 2,57)
Niedersachsen	2018	11	<0,61 (<0,10 - 3,90)
	2019	11	<0,42 (0,09 - 1,80)
Nordrhein-Westfalen	2018	15	<0,72 (0,11 - 8,45)
	2019	15	<0,17 (0,08 - 0,33)
Rheinland-Pfalz	2018	2	0,20 (0,12 - 0,28)
	2019	4	<0,12 (<0,08 - 0,21)
Saarland	2018	-	
	2019	1	<0,08

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen	2018	4	<0,35 (<0,13 - 0,61)
	2019	3	0,33 (0,14 - 0,57)
Sachsen-Anhalt	2018	3	<0,10 (<0,09 - <0,12)
	2019	3	<0,16 (<0,11 - 0,24)
Schleswig-Holstein	2018	1	1,88
	2019	2	<0,71 (<0,14 - 1,28)
Thüringen	2018	4	<0,12 (<0,08 - 0,19)
	2019	3	<0,09 (0,07 - <0,10)
Bundesrepublik	2018	68	<0,51 (<0,07 - 8,45)
(gesamt)	2019	67	<0,31 (0,06 - 2,57)

Tabelle T II.61 Rindfleisch, Inland
(Beef, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2018	41	<0,37 (<0,05 - 3,62)
	2019	45	<0,27 (<0,10 - 1,27)
Bayern	2018	86	<0,36 (<0,08 - 3,49)
	2019	91	<0,34 (0,05 - 3,63)
Berlin	2018	6	0,31 (0,14 - 0,68)
	2019	7	1,57 (0,81 - 2,64)
Brandenburg	2018	8	<0,96 (<0,10 - 2,86)
	2019	11	<2,61 (0,14 - 10,5)
Bremen	2018	6	<0,64 (<0,10 - 1,69)
	2019	6	0,22 (0,08 - 0,57)
Hamburg	2018	6	<0,46 (0,08 - 1,32)
	2019	6	<0,32 (0,07 - 1,04)
Hessen	2018	12	<0,11 (<0,01 - 0,25)
	2019	12	<0,13 (<0,06 - 0,40)
Mecklenburg-Vorpommern	2018	14	<0,33 (<0,08 - 0,72)
	2019	11	<0,46 (0,08 - 2,08)
Niedersachsen	2018	44	<0,65 (0,08 - 7,12)
	2019	50	<0,81 (0,09 - 8,40)
Nordrhein-Westfalen	2018	56	<0,17 (<0,03 - 1,66)
	2019	50	<0,18 (<0,03 - 0,96)
Rheinland-Pfalz	2018	15	<0,17 (<0,07 - 0,55)
	2019	13	<0,15 (<0,08 - 0,39)
Saarland	2018	6	<0,18 (0,12 - 0,26)
	2019	7	<0,13 (0,08 - 0,31)
Sachsen	2018	11	<0,15 (0,12 - 0,24)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
	2019	11	<0,22 (0,09 - 0,95)
Sachsen-Anhalt	2018	12	<0,56 (<0,09 - 4,50)
	2019	12	<0,32 (0,08 - 0,75)
Schleswig-Holstein	2018	27	<0,47 (<0,08 - 4,14)
	2019	25	<0,62 (<0,11 - 9,52)
Thüringen	2018	10	<0,12 (<0,10 - 0,19)
	2019	10	<0,12 (<0,09 - 0,18)
Bundesrepublik	2018	360	<0,37 (<0,01 - 7,12)
(gesamt)	2019	368	<0,46 (<0,03 - 10,50)

Tabelle T II.62 Schweinefleisch, Inland
(Pork, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2018	23	<0,14 (<0,09 - 0,22)
	2019	22	<0,19 (0,09 - <0,79)
Bayern	2018	41	<0,15 (<0,09 - 0,42)
	2019	43	<0,14 (0,04 - 0,62)
Berlin	2018	6	0,11 (0,08 - 0,15)
	2019	6	0,21 (0,12 - 0,35)
Brandenburg	2018	14	<0,21 (<0,07 - 0,78)
	2019	13	<0,16 (<0,05 - 0,50)
Bremen	2018	8	<0,10 (<0,06 - <0,15)
	2019	8	<0,10 (<0,07 - 0,27)
Hamburg	2018	6	<0,10 (0,06 - <0,16)
	2019	6	<0,14 (<0,13 - 0,16)
Hessen	2018	12	<0,09 (0,04 - <0,14)
	2019	12	<0,09 (<0,06 - <0,13)
Mecklenburg-Vorpommern	2018	17	<0,19 (<0,07 - 1,25)
	2019	10	<0,13 (<0,08 - 0,24)
Niedersachsen	2018	70	<0,16 (<0,03 - 2,00)
	2019	62	<0,16 (0,07 - 0,88)
Nordrhein-Westfalen	2018	86	<0,13 (<0,03 - <0,23)
	2019	91	<0,14 (<0,03 - 0,29)
Rheinland-Pfalz	2018	13	<0,12 (<0,07 - 0,35)
	2019	14	<0,09 (<0,07 - <0,14)
Saarland	2018	6	<0,10 (<0,06 - <0,15)
	2019	7	<0,10 (<0,07 - <0,14)
Sachsen	2018	11	<0,14 (0,10 - <0,15)
	2019	11	<0,13 (0,08 - 0,18)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	2018	24	<0,14 (<0,08 - 0,33)
	2019	24	<0,20 (<0,08 - 0,52)
Schleswig-Holstein	2018	13	<0,19 (<0,10 - 0,76)
	2019	12	<0,12 (<0,08 - <0,14)
Thüringen	2018	15	<0,13 (<0,10 - 0,20)
	2019	15	<0,13 (<0,09 - 0,24)
Bundesrepublik	2018	365	<0,14 (<0,03 - 2,00)
(gesamt)	2019	356	<0,14 (<0,03 - 0,88)

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)	2018	34	<0,19 (<0,11 - 0,39)
	2019	29	<0,19 (0,06 - 0,31)
Rindfleisch (Import)	2018	42	<0,19 (<0,06 - 1,63)
	2019	42	<0,42 (<0,06 - 6,70)
Schweinefleisch (Import)	2018	47	<0,14 (0,05 - <0,22)
	2019	43	<0,13 (<0,04 - 0,79)
Lamm	2018	24	<0,60 (0,05 - 5,40)
	2019	24	<0,27 (<0,07 - 2,14)
Geflügel			
Ente	2018	17	<0,17 (<0,08 - 0,59)
	2019	19	<0,12 (<0,07 - <0,17)
Gans	2018	23	<0,12 (<0,05 - 0,29)
	2019	15	<0,11 (<0,05 - <0,17)
Huhn	2018	119	<0,13 (<0,05 - <0,25)
	2019	137	<0,14 (<0,05 - 1,10)
Pute	2018	40	<0,14 (<0,03 - 1,24)
	2019	32	<0,11 (<0,0001 - <0,17)

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	2018	7	<10,3 (<0,10 - 51,8)
	2019	13	4,01 (0,15 - 14,0)
Hirsch	2018	7	<15,1 (<0,15 - 49,4)
	2019	17	6,44 (0,14 - 37,4)
Reh	2018	44	<8,13 (<0,12 - 64,0)
	2019	40	<12,0 (0,05 - 113,0)
Wildschwein	2018	248	<145 (<0,10 - 1 250)
	2019	224	<29,9 (0,06 - 925)
sonstige	2018	3	2,84 (0,16 - 7,92)
	2019	2	<0,77 (<0,16 - 1,39)

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	2018	6	<0,13 (<0,09 - <0,17)	-	
	2019	9	<0,13 (<0,05 - <0,22)	1	<0,04
Bayern	2018	33	<0,16 (<0,08 - <0,31)	6	<0,04 (0,02 - <0,09)
	2019	41	<0,14 (0,04 - 0,22)	3	0,02 (0,01 - 0,03)
Berlin	2018	2	<0,15 (<0,14 - 0,16)	1	0,02
	2019	2	<0,12 (0,06 - <0,17)	1	0,01
Brandenburg	2018	9	<0,14 (<0,06 - <0,17)	2	<0,01 (<0,01 - 0,02)
	2019	11	<0,12 (0,06 - <0,17)	2	<0,03 (0,02 - <0,04)
Bremen	2018	2	<0,08 (<0,07 - <0,09)	-	
	2019	2	<0,08 (<0,08 - <0,08)	-	
Hamburg	2018	2	<0,11 (<0,07 - <0,16)	-	
	2019	2	<0,12 (<0,08 - <0,15)	-	
Hessen	2018	5	<0,09 (<0,07 - <0,11)	1	0,02
	2019	6	<0,10 (<0,07 - <0,12	-	
Mecklenburg-Vorpommern	2018	10	<0,13 (<0,10 - 0,23)	2	<0,01 (<0,01 - <0,01)
	2019	9	<0,12 (<0,11 - <0,14)	-	
Niedersachsen	2018	59	<0,17 (<0,08 - 0,80)	8	<0,26 (0,02 - <1,00)
	2019	55	<0,16 (0,04 - 0,51)	5	<0,03 (<0,03 - <0,04)
Nordrhein-Westfalen	2018	20	<0,12 (<0,05 - <0,19)	4	<0,03 (<0,01 - 0,08)
	2019	24	<0,12 (<0,04 - <0,19)	4	0,01 (0,004 - 0,02)
Rheinland-Pfalz	2018	16	<0,06 (<0,02 - <0,09)	4	<0,02 (<0,01 - 0,02)
	2019	12	<0,07 (<0,03 - <0,09)	2	0,03 (0,02 - 0,03)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Saarland	2018	4	<0,09 (<0,08 - <0,10)	-	
	2019	2	<0,12 (<0,10 - <0,13)	-	
Sachsen	2018	6	<0,13 (<0,10 - <0,16)	1	0,01
	2019	6	<0,12 (<0,11 - <0,14)	1	0,01
Sachsen-Anhalt	2018	9	<0,12 (<0,08 - <0,16)	2	<0,03 (<0,02 - 0,04)
	2019	9	<0,15 (<0,09 - 0,31)	2	0,01 (0,004 - 0,01)
Schleswig-Holstein	2018	6	<0,13 (<0,09 - 0,21)	1	<0,02
	2019	5	<0,12 (<0,11 - <0,15)	1	<0,02
Thüringen	2018	3	<0,11 (<0,09 - <0,12)	1	0,03
	2019	3	<0,12 (<0,11 - <0,12)	1	0,04
Bundesrepublik	2018	192	<0,14 (<0,02 - 0,80)	33	<0,08 (<0,01 - <1,00)
(gesamt)	2019	198	<0,13 (<0,03 - 0,51)	23	<0,02 (0,004 - <0,04)

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	2018	662	<0,13 (<0,02 - 1,00)	72	<0,42 (0,01 - <5,02)
	2019	680	<0,14 (<0,02 - 1,85)	50	<0,09 (0,01 - 0,66)
Fruchtgemüse	2018	228	<0,13 (<0,03 - 0,80)	11	<1,65 (<0,01 - <9,90)
	2019	205	<0,12 (<0,02 - 0,48)	8	006 (0,01 - 0,26)
Sprossgemüse	2018	224	<0,12 (<0,01 - <0,30)	24	<0,03 (0,01 - 0,12)
	2019	243	<0,12 (<0,01 - 0,49)	21	<0,03 (0,01 - 0,09)
Wurzelgemüse	2018	187	<0,14 (<0,04 - 0,31)	16	<0,10 (0,01 - <0,53)
	2019	177	<0,13 (<0,03 - 0,29)	15	0,10 (0,03 - 0,23)
Kartoffeln (Import)	2018	36	<0,13 (<0,07 - <0,37)	-	
	2019	37	<0,12 (<0,06 - <0,22)	-	

Tabelle T II.67 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(Mushrooms, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kulturpilze	2018	3	<0,10 (<0,07 - <0,14)
	2019	2	<0,06 (<0,06 - <0,06)
Wild-Blätterpilze	2018	8	<4,32 (<0,18 - 17,4)
	2019	57	<61,7 (<0,11 - 738)
Wild-Leisten- u. Trompetenpilze	2018*	22	74,3 (0,54 - 434)
	2019*	23	94,8 (0,38 - 914)
Wild-Röhrenpilze	2018	36	<43,2 (<0,54 - 149)
	2019	164	<49,5 (0,14 - 500)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
sonstige Wildpilze	2018	3	30,5	(1,64 - 56,0)
	2019	14	<113	(<0,18 - 593)
Wildpilzmischungen	2018	9	<11,4	(<0,43 - 41,1)
	2019	9	<7,86	(<0,20 - 33,4)

* 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	2018	19	<0,08	(<0,06 - <0,13)	-		
	2019	16	<0,10	(<0,06 - <0,18)	-		
Erdbeere	2018	80	<0,10	(<0,05 - <0,24)	8	<0,13	(<0,01 - <0,64)
	2019	82	<0,10	(<0,04 - <0,23)	7	0,06	(0,03 - 0,21)
Johannisbeere	2018	22	<0,11	(<0,05 - <0,21)	4	<0,36	(0,01 - <1,35)
	2019	15	<0,10	(<0,05 - <0,18)	-		
Stachelbeere	2018	6	<0,11	(<0,06 - <0,16)	-		
	2019	4	<0,11	(<0,06 - <0,15)	1	0,04	
Wald- u. Wildbeeren	2018*	25	<18,9	(<0,06 - 196)	5	<0,28	(<0,04 - 0,73)
	2019	28	<2,81	(<0,05 - 38,7)	3	<0,05	(<0,04 - 0,06)
Kernobst	2018	200	<0,12	(<0,02 - <0,30)	25	<0,02	(0,004 - <0,20)
	2019	208	<0,12	(<0,02 - <0,27)	25	<0,02	(0,002 - 0,10)
Rhabarber	2018	10	<0,12	(<0,03 - <0,24)	1	0,11	
	2019	20	<0,11	(<0,04 - <0,20)	2	0,30	(0,09 - 0,50)
Steinobst	2018	88	<0,11	(<0,03 - <0,28)	7	<0,02	(<0,003 - 0,04)
	2019	95	<0,11	(<0,04 - <0,24)	8	<0,04	(<0,01 - 0,08)
Tafelweintraube	2018	13	<0,09	(<0,04 - 0,21)	-		
	2019	13	<0,09	(<0,05 - <0,15)	1	0,03	
Zitrusfrüchte	2018	22	<0,11	(<0,04 - <0,17)	-		
	2019	17	<0,10	(<0,04 - <0,15)	-		
sonstige Obstarten	2018	16	<0,13	(<0,05 - <0,21)	-		
	2019	14	<0,12	(<0,07 - <0,18)	-		

\- 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)			
Honig	2018	38	<1,22	(0,12	-	34,4)
	2019	36	<13,7	(<0,10	-	240)
Hülsenfrüchte, Ölsamen, Schalenobst	2018	3	<0,12	(<0,09	-	<0,15)
	2019	10	<0,17	(<0,09	-	<0,34)
Fleischprodukte	2018	-				
	2019	2	<0,13	(<0,08	-	<0,17)
Gemüseprodukte	2018	-				
	2019	1	<0,14			
Obstprodukte	2018	1	<0,07			
	2019	3	<0,07	(<0,06	-	<0,08)

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	Kalbfleisch	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

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartof-feln	Kernobst	Rind-fleisch	Schweine-fleisch	Kalb-fleisch	Weizen	Kartof-feln	Kernobst
1986	0,23	0,12	0,13	50	19	41	7,1	2,9	12
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 *
2019	<0,12	<0,02	<0,02 *	<0,46	<0,14	<0,31	<0,12	<0,13	<0,13 *

* 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	2018	75	<0,19	(0,03 -	0,85)	18	<0,05	(0,003 -	0,10)
	2019	68	<0,19	(<0,02 -	<0,39)	14	<0,04	(0,003 -	0,10)
Februar	2018	55	<0,18	(0,02 -	<0,42)	3	<0,05	(0,03 -	0,08)
	2019	51	<0,18	(<0,04 -	<0,41)	3	<0,06	(<0,04 -	0,08)
März	2018	60	<0,21	(0,02 -	0,70)	6	<0,04	(<0,002 -	0,10)
	2019	57	<0,21	(<0,03 -	1,00)	6	<0,05	(<0,01 -	0,09)
April	2018	62	<0,24	(0,01 -	2,86)	15	<0,07	(0,004 -	0,16)
	2019	60	<0,29	(0,02 -	3,07)	15	<0,08	(0,02 -	0,32)
Mai	2018	65	<0,18	(<0,01 -	0,48)	8	<0,04	(<0,01 -	0,07)
	2019	61	<0,21	(<0,03 -	0,60)	5	<0,05	(<0,03 -	0,07)
Juni	2018	58	<0,20	(0,02 -	0,92)	6	<0,05	(<0,02 -	<0,09)
	2019	55	<0,20	(0,02 -	<0,48)	4	<0,05	(<0,03 -	0,08)
Juli	2018	68	<0,22	(0,01 -	2,43)	20	<0,04	(0,002 -	0,11)
	2019	62	<0,20	(<0,03 -	0,60)	15	<0,05	(0,003 -	0,18)
August	2018	62	<0,22	(0,02 -	1,80)	1	0,04		
	2019	60	<0,23	(0,03 -	2,50)	3	<0,06	(0,03	0,10)
September	2018	59	<0,19	(0,02 -	<0,38)	7	<0,05	(0,004 -	0,22)
	2019	58	<0,20	(<0,05 -	0,60)	5	<0,03	(0,01 -	0,05)
Oktober	2018	65	<0,18	(0,03 -	0,99)	16	<0,04	(0,002 -	0,08)
	2019	60	<0,22	(<0,04 -	1,48)	12	<0,05	(0,003 -	0,07)
November	2018	60	<0,19	(0,02 -	<0,39)	3	<0,04	(0,03 -	<0,05)
	2019	55	<0,22	(<0,04 -	1,50)	4	<0,08	(<0,04 -	0,14)
Dezember	2018	52	<0,35	(0,02 -	9,21)	4	<0,07	(<0,01 -	0,14)
	2019	52	<0,29	(<0,001 -	<3,10)	4	0,04	(0,03 -	0,05)
Jahr (gesamt)	2018	741	<0,21	(0,01 -	9,21)	107	<0,05	(0,001 -	0,22)
	2019	699	<0,22	(<0,001 -	<3,10)	90	<0,05	(0,003 -	0,32)

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	2018	25	<0,10	(<0,03 -	0,33)	10	<0,02	(0,01 -	0,04)
	2019	23	<0,09	(<0,02 -	<0,18)	9	<0,03	(<0,002 -	0,14)
Februar	2018	17	<0,11	(<0,05 -	<0,20)	2	<0,03	(<0,02 -	0,05)
	2019	21	<0,09	(<0,01 -	0,19)	2	<0,02	(0,02 -	<0,02)
März	2018	19	<0,10	(<0,01 -	0,24)	4	0,07	(0,02 -	0,21)
	2019	20	<0,10	(0,03 -	<0,20)	6	<0,09	(0,01 -	0,33)
April	2018	20	<0,13	(<0,03 -	0,52)	3	<0,03	(<0,02 -	0,04)
	2019	23	<0,09	(<0,03 -	<0,13)	4	<0,03	(<0,01 -	0,08)
Mai	2018	22	<0,11	(<0,03 -	<0,22)	1	0,06		
	2019	19	<0,13	(0,05 -	0,63)	1	0,02		
Juni	2018	18	<0,17	(<0,03 -	1,15)	1	<0,03		
	2019	17	<0,18	(0,02 -	1,14)	-			
Juli	2018	22	<0,12	(<0,02 -	0,47)	6	<0,04	(0,01 -	<0,10)
	2019	29	<0,12	(<0,12 -	0,12)	7	<0,02	(0,01 -	0,03)
August	2018	17	<0,15	(0,03 -	1,00)	1	<0,02		
	2019	21	<0,10	(<0,03 -	<0,18)	3	<0,02	(<0,02 -	0,03)
September	2018	23	<0,12	(0,04 -	0,65)	6	<0,04	(0,01 -	0,08)
	2019	22	<0,22	(0,02 -	2,64)	6	<0,03	(0,01 -	0,09)
Oktober	2018	24	<0,15	(<0,02 -	1,30)	1	0,05		
	2019	21	<0,09	(0,01 -	<0,19)	2	<0,04	(0,02 -	0,05)
November	2018	19	<0,09	(<0,04 -	<0,24)	1	0,03		
	2019	26	<0,11	(<0,01 -	0,25)	-			
Dezember	2018	20	<0,10	(0,05 -	<0,21)	-			
	2019	16	<0,10	(0,04 -	<0,15)	-			
Jahr (gesamt)	2018	246	<0,12	(<0,01 -	1,30)	36	<0,04	(0,01 -	0,21)
	2019	258	<0,12	(<0,01 -	2,64)	40	<0,04	(<0,002 -	0,33)

- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle T II.73 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel 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					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	22	<0,04	18	<0,04	26	<0,04 (<0,02 - <0,05)
	Sr-90	12	0,05	8	0,05	13	<0,10 (<0,00 - 0,06)
KWO Obrigheim	Cs-137	9	<0,04	10	<0,05	12	<0,04 (<0,03 - <0,07)
	Sr-90	6	0,06	7	0,07	8	0,09 (0,03 - 0,18)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	11	<0,05	11	<0,04	10	<0,04 (<0,02 - <0,07)
	Sr-90	6	0,07	7	0,10	5	0,09 (0,02 - 0,21)
KKP Philippsburg	Cs-137	7	<0,04	13	<0,05	10	<0,03 (<0,02 - 0,07)
	Sr-90	5	0,03	10	0,05	8	<0,28 (0,02 - <0,70)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	7	<0,10	16	<0,04	22	<0,05 (<0,02 - <0,09)
	Sr-90	4	0,08	4	0,05	10	0,07 (0,03 - 0,12)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	11	<0,07	7	<0,05	9	<0,06 (<0,01 - <0,14)
	Sr-90	2	0,11	2	0,05	4	0,07 (0,01 - 0,15)
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	2	<0,03	1	<0,06	1	<0,04
	Sr-90	2	0,08	1	0,02	1	0,04
KKI Isar	Cs-137	1	<0,02	1	<0,02	1	<0,02
	Sr-90	1	0,03	1	0,08	1	0,08
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	3	<0,11	3	<0,13	3	<0,12 (<0,10 - <0,14)
	Sr-90	3	<0,05	3	<0,07	3	<0,04 (<0,03 - <0,04)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	<0,04	1	<0,04	1	<0,04
	Sr-90	1	0,03	1	0,01	1	0,04
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	15	<0,16	16	<0,14	7	<0,13 (0,08 - <0,19)
	Sr-90	5	0,09	3	0,02	2	0,03 (0,03 - 0,03)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	13	<0,19	12	<0,29	11	<0,29 (<0,12 - 1,29)
	Sr-90	13	0,17	12	0,28	11	0,35 (0,01 - 2,46)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	15	<0,05	11	<0,05	15	<0,04 (<0,01 - <0,09)
	Sr-90	15	0,03	11	0,04	10	0,03 (0,01 - 0,07)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	7	<0,09	a)		3	<0,12 (<0,08 - <0,15)
	Sr-90	7	0,10	a)		3	<0,02 (<0,01 - <0,03)
KWG Grohnde	Cs-137	6	<0,12	a)		5	<0,08 (<0,05 - <0,12)
	Sr-90	6	0,07	a)		5	<0,02 (<0,01 - 0,05)
KKE Emsland	Cs-137	8	<0,11	a)		4	<0,13 (<0,11 - <0,15)
	Sr-90	8	0,08	a)		4	0,05 (0,04 - 0,08)
Schacht Konrad II [b)]	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	3	<0,04	a)		4	<0,05 (<0,03 - <0,07)
	Sr-90	3	<0,03	a)		4	0,08 (0,02 - 0,20)
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	3	<0,05	3	<0,08	4	<0,14 (<0,08 - <0,20)
	Sr-90	3	0,02	3	0,02	4	0,03 (0,01 - 0,05)
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	17	<1,55	16	<1,69	16	<1,69 (<1,50 - 4,50)
	Uran (Bq/kg TM)	17	<0,24	16	<0,31	16	<0,21 (<0,23 - 0,98)
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	<0,02	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen							
VKTA Rossendorff	Cs-137	3	<0,17	3	<0,16	3	<0,14 (<0,13 - <0,15)
	Sr-90	1	0,04	1	0,04	a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	6	<0,17	6	<0,14	4	<0,13 (<0,12 - <0,13)
	Sr-90	1	0,02	1	<0,02	1	0,06
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,04	1	<0,05	1	<0,03
	Sr-90	1	<0,02	1	0,08	1	0,16
KKB Brunsbüttel	Cs-137	1	<0,06	1	<0,05	1	<0,04
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKK Krümmel	Cs-137	1	<0,06	1	0,05	1	<0,06
	Sr-90	1	0,03	1	0,14	1	0,10

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 Lebensmittel 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					
		2017		2018		2019	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,09	a)		2	<0,08 (<0,07 - <0,09)
	Sr-90	2	0,15	a)		2	0,05 (0,04 - 0,06)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,05	4	<0,04	4	<0,05 (<0,03 - <0,06)
	Sr-90	4	<0,05	2	0,05	a)	
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,06	4	<0,04	4	<0,05 (<0,03 - <0,06)
	Sr-90	4	<0,05	2	0,07	2	0,08 (0,07 - 0,09)
KKP Philippsburg	Cs-137	2	<0,08	3	<0,05	2	<0,07 (<0,05 - <0,09)
	Sr-90	2	<0,07	2	0,07	1	0,07
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	5	<0,05	6	<0,05	7	<0,04 (<0,03 - <0,06)
	Sr-90	5	<0,04	2	0,07	a)	
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	<0,07	3	<0,06	3	<0,05 (<0,05 - <0,06)
	Sr-90	3	<0,06	2	0,10	2	0,16 (0,14 - 0,19)
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	3	<0,03	4	<0,03	4	<0,03 (<0,02 - 0,07)
	Sr-90	3	<0,02	4	<0,04	4	<0,04 (0,01 - 0,10)
KKI Isar	Cs-137	5	<0,03	5	<0,03	5	<0,10 (<0,02 - 0,32)
	Sr-90	5	<0,02	5	<0,05	5	<0,05 (<0,01 - 0,08)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,10	2	<0,09	2	<0,11 (<0,10 - <0,11)
	Sr-90	2	<0,10	2	<0,03	2	<0,03 (<0,03 - <0,03)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	<0,02	1	<0,02	1	<0,02
	Sr-90	1	<0,02	1	0,04	1	0,03
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	a)		a)		a)	
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	5	<0,08	6	<0,10	5	<0,08 (<0,07 - <0,09)
	Sr-90	2	0,07	6	<0,06	5	0,06 (0,05 - 0,08)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	5	<0,12	a)		7	<0,15 (<0,07 - <0,28)
	Sr-90	5	<0,12	a)		7	0,08 (0,04 - 0,24)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

Tabellen

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2017		2018		2019
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKU Unterweser	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	2	<0,14	a)		2	<0,11 (<0,10 - <0,12)
	Sr-90	2	<0,14	a)		2	<0,21 (<0,13 - <0,30)
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	<0,11	a)		2	<0,06 (<0,03 - <0,10)
	Sr-90	2	0,05	a)		2	0,22 (0,08 - 0,37)
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)	6	<0,15	6	<0,15	6	<1,50 (<1,50 - <1,50)
	Uran (Bq/kg TM)	6	<0,23	6	<0,23	6	<0,23 (<0,23 - <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 Frankreich	Cs-137	2	<0,03	2	<0,03	2	<0,06 (<0,04 - <0,07)
	Sr-90	2	<0,03	2	0,08	2	0,10 (0,09 - 0,10)
Sachsen							
VKTA Rossendorff	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	3	<0,12	3	<0,16	3	<0,12 (<0,10 - <0,15)
	Sr-90	2	0,09	a)		2	0,08 (0,03 - 0,12)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,16	1	<0,14	1	<0,16
	Sr-90	1	0,30	1	0,12	1	0,14
KKB Brunsbüttel	Cs-137	2	<0,12	2	<0,16	2	<0,12 (<0,11 - <0,13)
	Sr-90	2	<0,06	2	0,07	2	0,05 (0,05 - 0,06)
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,10	2	<0,12	2	<0,10 (<0,09 - <0,11)
	Sr-90	2	<0,05	2	0,15	2	0,15 (0,12 - 0,17)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2017		2018		2019
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)

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 Lebensmittel 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					
			2017		2018		2019
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	4	<0,04	7	<0,04	5	<0,04 (<0,02 - <0,05)
	Sr-90	3	0,07	6	0,07	3	<0,77 (<0,30 - <1,00)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,04	4	<0,06	4	<0,04 (<0,02 - <0,06)
	Sr-90	2	0,06	2	0,08	2	0,06 (0,05 - 0,07)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	3	<0,05	4	<0,04	4	<0,03 (<0,02 - <0,03)
	Sr-90	2	0,07	2	0,12	2	0,07 (0,05 - 0,10)
KKP Philippsburg	Cs-137	2	<0,03	7	<0,05	3	<0,04 (<0,03 - <0,06)
	Sr-90	2	<0,02	5	0,03	2	<0,16 (0,01 - <0,30)
KKW Beznau/Leibstadt	Cs-137	5	<0,05	6	<0,04	4	<0,02 (<0,02 - <0,03)
(Schweiz)	Sr-90	3	0,07	3	0,16	1	0,02
KKW Fessenheim	Cs-137	2	<0,06	2	<0,02	a)	
(Frankreich)	Sr-90	1	0,04	1	0,07	a)	
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	2	<0,03	2	<0,02	2	<0,03 (<0,02 - <0,03)
	Sr-90	1	0,03	2	<0,01	2	<0,01 (<0,01 - 0,01)
KKI Isar	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,12	2	<0,09	2	<0,10 (<0,09 - <0,10)
	Sr-90	2	<0,03	2	<0,04	2	<0,03 (0,02 - <0,03)
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	6	<0,13	9	<0,11	9	<0,16 (<0,08 - 0,23)
	Sr-90	1	0,01	3	0,04	2	0,02 (0,01 - 0,02)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a)		a)		1	0,17
	Sr-90	a)		a)		1	0,20
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	5	<0,02	4	<0,06	5	<0,05 (<0,01 - <0,08)
	Sr-90	5	0,01	4	0,06	5	<0,02 (<0,01 - 0,03)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,11	1	<0,09	3	<0,11 (<0,09 - <0,12)
	Sr-90	4	<0,02	1	<0,01	3	<0,01 (<0,01 - 0,02)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2017		2018		2019
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKU Unterweser	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		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	Cs-137	2	<0,02	a)		2	<0,08 (<0,08 - <0,08)
Asse	Sr-90	2	<0,08	a)		2	<0,03 (0,01 - <0,05)
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	a)		a)		1	<0,09
	Sr-90	a)		a)		1	0,03
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	a)		2	<0,15	2	<1,50 (<1,50 - <1,50)
	Uran (Bq/kg TM)	a)		2	<0,23	2	<0,23 (<0,23 - <0,23)
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	<0,02	5	<0,02	5	<0,03 (<0,01 - <0,05)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Cattenom	Cs-137	3	<0,03	3	<0,02	3	<0,03 (<0,02 - <0,06)
Frankreich	Sr-90	3	<0,01	3	<0,01	3	<0,01 (<0,01 - 0,01)
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	1	<0,16	1	<0,14	1	<0,14
	Sr-90	1	<0,01	1	0,01	1	0,00
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	2	<0,20	4	<0,12	5	<0,12 (<0,09 - <0,17)
	Sr-90	1	<0,02	1	<0,02	1	0,00
Schleswig-Holstein							
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,28	2	<0,06	2	<0,05 (<0,05 - <0,05)
	Sr-90	2	0,03	2	0,04	2	0,04 (0,02 - 0,06)

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 Lebensmittel 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					
			2017		2018		2019
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	3	<0,05	3	<0,05	4	<0,04 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	2	<0,01	3	<0,01	3	<0,01 (<0,01 - 0,02)
KWO Obrigheim	Cs-137	2	<0,05	2	<0,05	2	<0,08 (<0,08 - <0,09)
	Sr-90	2	0,02	2	0,02	2	0,02 (0,02 - 0,02)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	<0,05	2	<0,03	2	<0,06 (<0,05 - <0,07)
	Sr-90	2	0,02	2	0,02	2	0,02 (0,01 - 0,02)
KKP Philippsburg	Cs-137	1	<0,04	a)		2	<0,04 (<0,03 - <0,04)
	Sr-90	1	<0,01	a)		1	<0,90
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	3	<0,03	2	<0,05	3	<0,04 (<0,03 - 0,04)
	Sr-90	2	<0,02	2	0,02	a)	
KKW Fessenheim	Cs-137	2	<0,04	2	<0,04	2	<0,05 (<0,05 - <0,05)
(Frankreich)	Sr-90	2	0,01	2	0,01	2	0,01 (0,01 - 0,01)
KKW Cattenom	Cs-137	2	<0,04	2	<0,02	1	<0,05
(Frankreich)	Sr-90	2	0,01	2	0,02	1	0,01
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	Cs-137	4	<0,18	2	<0,21	3	<0,16 (<0,15 - <0,18)
BERII	Sr-90	a)		1	0,02	1	0,02
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	3	<0,05	7	<0,04	6	<0,05 (<0,01 - <0,09)
	Sr-90	2	0,02	7	0,02	6	<0,02 (<0,01 - 0,03)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	1	<0,14	a)		a)	
	Sr-90	1	<0,02	a)		a)	
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	1	<0,12	a)		1	<0,16
	Sr-90	1	0,02	a)		1	<0,03

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2017		2018		2019
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWG Grohnde	Cs-137	a)		a)		1	<0,11
	Sr-90	a)		a)		1	<0,12
KKE Emsland	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	a)		a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	3	<0,06	3	<0,08	2	<0,05 (<0,05 - <0,05)
	Sr-90	3	0,02	3	0,01	2	0,02 (0,00 - 0,03)
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	1	<0,03	a)		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 2019
(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected medicine plants for the year 2019)

Probe	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Islandmoos, geschnitten	Montenegro	71	110
Gänsefingerkraut, geschnitten	Polen	380	17
Grüner Tee, Gun Powder	China	620	< NWG*: 3,8

* <NWG - kleiner als die Nachweisgrenze mit Angabe des Zahlenwertes für die Nachweisgrenze

Tabelle T II.78 **Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Islandmoos für die Jahre 2000 bis 2019 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes**

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in iceland moss for the years 2000-2019 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
2019	Montenegro	71	110

Tabelle T II.79 **Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Bitterkleeblättern für die Jahre 2005 bis 2019 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes**

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in bogbean leaves for the years 2005 - 2019 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 2019 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in silverweed herb for the years 2000 - 2019 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
2019	Polen	380	17

Tabelle T II.81 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Frischmasse - in ausgewählten Sonderproben für das Jahr 2019

(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected special samples for the year 2019)

Probe	Ursprungsland	K-40 [Bq/kg (FM)]	Cs-137 [Bq/kg (FM)]
Lärchenholz (Sägemehl)	Sibirien	11	< NWG*: 0,4
Weihrauchharz	Afrika	<NWG*: 0,8	18

* <NWG - kleiner als die Nachweisgrenze mit Angabe des Zahlenwertes für die Nachweisgrenze

Tabelle T II.82 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2019 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2019 - minimum, maximum, and mean values)

		2019						2018
Land	**Nuklid**	**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	19			1,8	<2,0	<2,0
	Co-60	20	20				<0,093	<0,09
	I-131	20	16	0,16	0,29		<0,15	<0,12
	Cs-137	20	20				<0,083	<0,089
	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				<1,1	<0,9
	Co-60	4	4				<0,054	<0,048
	I-131	4	0	0,1	0,3	0,17	0,13	0,16
	Cs-137	4	4				<0,052	<0,048
	Sr-90	4	2	0,0023	0,0095	0,0059	0,0023	0,0028
	U-234	4	0	5,7E-05	0,0043	0,0012	0,00012	0,00011
	U-235	4	2	1,5E-05	0,00017	9,3E-05	<4,7E-05	<3,5E-05
	U-238	4	0	3,3E-05	0,0031	0,00081	7,6E-05	8,8E-05
Niedersachsen	K-40	48	21	0,3	1,4	0,67	<0,7	0,75
	Co-60	48	48				<0,032	<0,027
	I-131	48	37	0,037	0,5		<0,075	<0,068
	Cs-137	48	48				<0,027	<0,023
	Sr-90	6	4	0,0058	0,014		<0,011	<0,01
	U-234	4	1	0,00045	0,0014	0,00084	0,00069	0,0013
	U-235	4	4				<0,00068	<0,00059
	U-238	4	2	0,00039	0,0012	0,00079	<0,00048	0,00072
Bremen	K-40	8	3	0,39	1,2	0,72	<1,1	<1,1
	Co-60	8	8				<0,043	<0,049
	I-131	8	2	0,06	0,28	0,16	0,11	0,16
	Cs-137	8	8				<0,048	<0,05
	Sr-90	2	2				<0,027	<0,018
	U-234	4	2	0,0017	0,0024	0,002	<0,0034	<0,0074
	U-235	4	4				<0,0038	<0,0093
	U-238	4	2	0,0018	0,0031	0,0025	0,0031	0,0085
Nordrhein-Westfalen	K-40	39	27	0,71	8,3		<1,4	<1,8
	Co-60	39	39				<0,076	<0,081
	I-131	39	28	0,04	0,69		<0,11	0,13
	Cs-137	39	38			0,065	<0,075	<0,081
	Sr-90	3	3				<0,051	<0,044
	U-234	4	2	0,007	0,025	0,016	<0,0099	0,0084
	U-235	4	4				<0,006	<0,0026
	U-238	4	3			0,019	<0,008	0,0072
Hessen	K-40	20	9	0,28	0,91	0,53	<0,56	<0,9
	Co-60	20	20				<0,026	<0,038
	I-131	20	18	0,043	0,05		<0,045	0,1
	Cs-137	20	20				<0,028	<0,039
	Sr-90	4	2	0,007	0,01	0,0085	0,01	<0,0085
	U-234	4	0	0,002	0,052	0,023	0,019	0,0095
	U-235	4	1	0,0002	0,0009	0,00047	<0,0005	0,00045
	U-238	4	0	0,002	0,033	0,015	0,012	0,007
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	0,4	2,4	0,86	0,68	0,84
	Co-60	20	20				<0,017	<0,014
	I-131	20	10	0,025	0,27	0,078	<0,034	<0,033
	Cs-137	20	20				<0,016	<0,014

		2019						2018
Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal-wert [1]	Maximal-wert [1]	Mittel-/ Einzel-wert [1]	Median [2]	Median [2]
	Sr-90	4	1	0,0013	0,0019	0,0016	0,0015	0,0032
	U-234	4	0	0,0079	0,02	0,014	0,014	0,017
	U-235	4	3			0,0032	<0,001	<0,0013
	U-238	4	0	0,0064	0,016	0,011	0,0099	0,013
Baden-Württemberg	K-40	40	1	0,21	0,84	0,49	0,51	0,49
	Co-60	40	40				<0,0065	<0,0074
	I-131	5	4			0,39	<0,74	<0,042
	Cs-137	40	40				<0,0064	<0,0074
	Sr-90	2	2				<0,0026	
Bayern	K-40	40	34	0,46	1,8		<1,3	<1,1
	Co-60	40	40				<0,071	<0,075
	I-131	40	36	0,087	0,14		<0,18	0,19
	Cs-137	40	40				<0,078	<0,078
	Sr-90	4	0	0,0079	0,092	0,033	0,016	0,0086
	U-234	4	0	0,0037	0,012	0,0067	0,0054	0,0069
	U-235	4	3			0,00052	<0,0012	<0,1
	U-238	4	0	0,0026	0,012	0,0072	0,007	0,0083
Saarland	K-40	8	1	0,3	1,4	0,72	0,57	0,61
	Co-60	8	8				<0,0078	<0,0045
	I-131	8	6	0,42	1,4		<0,081	<0,0058
	Cs-137	8	8				<0,0081	<0,0053
	Sr-90	4	3			0,026	<0,021	0,021
	U-234	4	4				<0,0063	<0,006
	U-235	4	4				<0,0041	<0,0042
	U-238	4	4				<0,0041	<0,0041
Berlin	K-40	4	0	0,81	1,4	1,0	0,92	0,87
	Co-60	4	4				<0,0055	<0,0039
	I-131	7	0	0,059	0,12	0,087	0,088	
	Cs-137	4	3			0,0015	<0,0055	<0,0039
	Sr-90	4	0	0,0015	0,0026	0,0021	0,0021	0,0022
	U-234	4	0	0,00038	0,002	0,0011	0,00099	0,0019
	U-235	4	3			0,00013	0,00013	0,00011
	U-238	4	0	0,00051	0,0018	0,0011	0,00098	0,0017
Brandenburg	K-40	55	20	0,7	2,2	1,0	0,97	1,0
	Co-60	55	55				<0,018	<0,014
	I-131	59	21	0,022	0,84	0,22	<0,14	0,1
	Cs-137	55	55				<0,018	<0,012
	Sr-90	12	2	0,0008	0,0078	0,0027	<0,002	0,002
	U-234	4	0	0,00044	0,001	0,00062	0,00051	0,0005
	U-235	4	4				<9,3E-05	<0,00015
	U-238	4	0	0,00031	0,0016	0,0007	0,00045	0,0005
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	0,6	1,4	0,94	0,98	0,83
	Co-60	20	20				<0,013	<0,012
	I-131	18	11	0,029	0,32		<0,041	<0,033
	Cs-137	20	20				<0,01	<0,01
	Sr-90	4	3			0,0037	<0,0034	<0,0055
	U-234	4	4				<0,0065	<0,0081
	U-235	4	4				<0,0069	<0,0056
	U-238	4	4				<0,0065	<0,0063
Sachsen	K-40	20	7	0,55	2,3	1,0	<1,0	<0,93
	Co-60	20	20				<0,085	<0,087
	I-131	20	15	0,094	0,26		<0,11	<0,097
	Cs-137	20	20				<0,076	<0,075
	Sr-90	4	4				<0,012	<0,019
	U-234	4	2	0,0027	0,0088	0,0058	0,0027	0,0028
	U-235	4	4				<0,0021	<0,0019
	U-238	4	2	0,0027	0,011	0,007	0,0027	<0,0022

		2019						2018
Land	**Nuklid**	**Anzahl gesamt**	**Anzahl <NWG**	**Minimal-wert [1]**	**Maximal-wert [1]**	**Mittel-/ Einzel-wert [1]**	**Median [2]**	**Median [2]**
Sachsen-Anhalt	K-40	20	1	0,14	7,2	1,2	0,57	0,49
	Co-60	20	20				<0,0095	<0,0085
	I-131	20	9	0,011	1,3	0,16	0,019	<0,013
	Cs-137	20	20				<0,01	<0,0083
	Sr-90	4	1	0,0049	0,068	0,028	0,012	<0,1
	U-234	4	4				<0,0018	0,0035
	U-235	4	4				<0,0023	<0,00063
	U-238	4	4				<0,0017	0,0017
Thüringen	K-40	20	18	0,95	1,0		<1,6	1,4
	Co-60	20	20				<0,081	<0,084
	I-131	20	17	0,07	0,65		<0,1	<0,1
	Cs-137	20	20				<0,085	<0,089
	Sr-90	4	4				<0,010	<0,011
	U-234	4	0	0,0071	0,079	0,039	0,035	0,027
	U-235	4	3			0,002	<0,0025	0,0014
	U-238	4	0	0,0066	0,037	0,023	0,024	0,016
Bundesrepublik Deutschland	K-40	386	165	0,14	8,3	0,87	0,93	<0,9
	Co-60	386	386				<0,032	<0,032
	I-131	356	230	0,011	1,4		<0,099	0,092
	Cs-137	386	384	0,0015	0,065		<0,03	<0,032
	Sr-90	69	37	0,0008	0,092		0,0079	<0,0098
	U-234	60	23	5,7E-05	0,079	0,011	0,0047	<0,0044
	U-235	60	51	1,5E-05	0,0032		<0,002	<0,001
	U-238	60	25	3,3E-05	0,037	0,0077	<0,0036	0,0035
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	2	28	160	79	67	75
	Co-60	20	20				<2,1	<1,8
	I-131	20	2	2,1	35	15	11	8,2
	Cs-137	20	19			1,8	<2,6	<2,0
	Sr-90	4	0	0,61	0,91	0,76	0,75	1,1
	U-234	4	0	9,6	17	13	12	14
	U-235	4	4				<5	<5,0
	U-238	4	0	8,8	14	11	10	12
Hamburg	K-40	8	0	93	460	270	280	200
	Co-60	8	8				<1,3	<1,2
	I-131	8	0	12	39	24	22	23
	Cs-137	8	4	0,48	0,91	0,73	<1,9	1,3
	Sr-90	4	0	0,6	1,1	0,86	0,88	1,0
	U-234	4	0	9,8	14	13	13	16
	U-235	5	0	0,38	3,9	1,2	0,54	0,71
	U-238	4	0	8,5	13	11	12	15
Niedersachsen	K-40	40	0	35	950	190	89	89
	Co-60	40	40				<1,3	<1,3
	I-131	40	2	1,2	130	38	26	24
	Cs-137	40	22	0,66	3,9		1,4	<1,3
	Sr-90	4	3			3,8	<2,8	2,2
	U-234	4	0	12	36	23	22	21
	U-235	4	0	0,49	1,3	0,87	0,85	0,67
	U-238	4	0	11	27	18	17	17
Bremen	K-40	8	0	190	400	330	350	180
	Co-60	8	8				<1,7	<1,2
	I-131	8	0	14	76	46	50	35
	Cs-137	8	6	0,91	2,1		2,1	<1,3
	Sr-90	2	1			0,87	<1,8	1,2

		2019						2018
Land	**Nuklid**	**Anzahl gesamt**	**Anzahl <NWG**	**Minimal-wert [1]**	**Maximal-wert [1]**	**Mittel-/ Einzel-wert [1]**	**Median [2]**	**Median [2]**
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	2	50	380	180	120	120
	Co-60	40	40				<0,93	<0,4
	I-131	40	3	4,0	170	43	28	36
	Cs-137	40	10	0,42	5,6	1,9	2,0	1,6
	Sr-90	3	0	0,98	5,2	3,7	5,0	2,9
	U-234	4	0	41	50	45	45	45
	U-235	4	0	1,8	2,5	2,0	1,8	1,7
	U-238	4	0	30	39	35	35	37
Hessen	K-40	20	0	93	450	140	120	120
	Co-60	20	20				<0,43	<0,73
	I-131	20	0	0,86	170	33	12	15
	Cs-137	20	7	0,35	2,9	1,7	1,3	1,4
	Sr-90	2	1			1,2	<3,3	0,74
	U-234	4	0	33	150	95	99	78
	U-235	4	0	1,0	4,2	3,1	3,5	2,6
	U-238	4	0	26	100	67	70	55
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	100	210	150	170	160
	Co-60	20	20				<0,29	<0,26
	I-131	20	0	0,53	89	20	14	11
	Cs-137	20	4	0,53	3,1	1,7	1,6	<1,9
	Sr-90	4	0	0,71	1,3	0,96	0,91	0,88
	U-234	4	0	45	71	59	60	65
	U-235	4	0	1,4	6,8	2,9	1,7	1,7
	U-238	4	0	34	45	39	39	43
Baden-Württemberg	K-40	40	0	68	300	160	160	160
	Co-60	40	40				<0,53	<0,52
	I-131	32	13	1,0	180	42	18	24
	Cs-137	40	0	0,89	36	9,3	3,2	4,9
Baden-Württemberg	Co-60	28	28				<0,51	<0,51
(West[3])	Cs-137	28	0	0,89	19	4,3	2,7	3,5
Baden-Württemberg	Co-60	12	12				<0,56	<0,58
(Ost[4])	Cs-137	12	0	6,4	36	21	22	20
Bayern	K-40	41	0	54	1 400	300	180	210
	Co-60	41	41				<1,1	<1,8
	I-131	40	9	3,0	640	68	27	26
	Cs-137	41	3	1,0	15	4,5	<3,1	4,0
	Sr-90	4	0	2,0	4,6	3,1	3,0	3,4
	U-234	4	0	41	250	140	140	62
	U-235	5	0	2,0	11	5,8	4,6	<7,9
	U-238	4	0	46	230	130	120	58
Bayern	Co-60	21	21				<1,1	<1,9
(Nord[3])	Cs-137	21	3	1,0	8,9	2,9	<2,6	2,8
	Sr-90	2	0	3,6	4,6	4,1	4,1	3,4
Bayern	Co-60	20	20				<1,1	<1,7
Süd[4])	Cs-137	20	0	1,4	15	5,9	5,2	6,6
	Sr-90	2	0	2,0	2,4	2,2	2,2	3,6
Saarland	K-40	7	0	74	240	150	190	160
	Co-60	7	7				<0,37	<0,26
	I-131	7	0	0,85	130	46	20	9,4
	Cs-137	7	1	0,41	3,2	2,1	2,7	2,5
	Sr-90	3	2			2,1	<1,5	3,5
	U-234	3	0	50	110	77	72	94
	U-235	3	0	1,7	6,9	3,6	2,3	3,1
	U-238	3	0	33	75	53	50	71

		2019						2018
Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal-wert [1]	Maximal-wert [1]	Mittel-/ Einzel-wert [1]	Median [2]	Median [2]
Berlin	K-40	4	0	52	70	61	62	58
	Co-60	4	4				<0,63	<0,98
	I-131	4	0	41	110	71	65	120
	Cs-137	4	1	0,39	0,9	0,66	0,8	<1,1
	Sr-90	2	0	0,93	0,99	0,96	0,96	1,1
	U-234	2	0	13	14	13	13	12
	U-235	2	0	0,53	0,67	0,6	0,6	0,56
	U-238	2	0	11	12	11	11	11
Brandenburg	K-40	50	1	32	180	89	83	82
	Co-60	50	50				<0,2	<0,42
	I-131	50	0	1,0	280	57	41	48
	Cs-137	50	8	0,27	2,8	0,88	0,77	0,67
	Sr-90	10	0	0,84	1,7	1,2	1,2	1,3
	U-234	2	0	15	22	18	18	17
	U-235	2	0	0,61	0,86	0,73	0,73	0,9
	U-238	2	0	13	19	16	16	15
Mecklenburg-vorpommern	K-40	20	0	51	320	120	110	110
	Co-60	20	20				<0,43	<0,39
	I-131	20	1	4,4	1 000	100	33	49
	Cs-137	20	3	0,37	1,8	0,91	0,61	0,92
	Sr-90	4	3			0,73	<1,2	0,8
	U-234	4	0	13	18	16	16	17
	U-235	4	3			2,6	<0,73	1,2
	U-238	4	0	12	17	14	14	16
Sachsen	K-40	20	0	69	220	140	140	130
	Co-60	20	20				<0,75	<0,73
	Cs-137	20	5	0,29	6,3	2,0	<1,5	0,96
	Sr-90	4	0	1,6	2,4	1,9	1,8	1,7
	U-234	4	0	53	220	110	77	68
	U-235	4	2	2,0	3,4	2,7	3,4	<4,1
	U-238	4	0	52	170	94	77	68
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	69	260	130	120	120
	Co-60	20	20				<0,5	<0,54
	I-131	20	5	3,6	130	29	14	9,5
	Cs-137	20	2	0,36	3,8	1,4	0,93	<1,0
	Sr-90	4	0	0,75	1,6	1,2	1,1	<2,5
	U-234	4	0	15	120	68	68	42
	U-235	14	3	1,3	6,3	3,7	3,2	4,1
	U-238	20	0	12	170	66	63	67
Thüringen	K-40	20	0	130	290	190	180	170
	Co-60	20	20				<0,48	<0,5
	I-131	20	4	0,6	99	38	18	34
	Cs-137	20	2	0,61	2,9	1,6	1,4	1,4
	Sr-90	4	0	0,67	0,87	0,73	0,69	0,82
	U-234	4	0	51	160	100	95	100
	U-235	4	0	1,2	4,2	2,7	2,8	3,2
	U-238	4	0	29	80	53	52	71
Bundesrepublik Deutschland	K-40	378	5	28	1 400	170	120	120
	Co-60	378	378				<0,58	<0,7
	I-131	349	39	0,53	1 000	46	24	24
	Cs-137	378	97	0,27	36	3,0	1,6	1,6
	Sr-90	58	10	0,6	5,2	1,5	1,2	1,2
	U-234	51	0	9,6	250	59	44	26
	U-235	63	12	0,38	11	2,8	2,1	2,4
	U-238	67	0	8,5	230	51	39	37
Bundesrepublik Deutschland (Nord[3])	Co-60	346	346				<0,55	<0,65
	Cs-137	346	97	0,27	19	1,9	1,5	1,5
	Sr-90	56	10	0,6	5,2	1,5	1,2	1,2

		2019						2018
Land	**Nuklid**	**Anzahl gesamt**	**Anzahl <NWG**	**Minimal-wert** [1]	**Maximal-wert** [1]	**Mittel-/ Einzel-wert** [1]	**Median** [2]	**Median** [2]
Bundesrepublik	Co-60	32	32				<0,92	<1,4
Deutschland	Cs-137	32	0	1,4	36	12	7,4	7,7
(Süd[4])	Sr-90	2	0	2	2,4	2,2	2,2	3,6

[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)

		2019						2018
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	65	10	1,1	190	32	20	20
	K-40	66	7	0,13	56	15	11	12
	Cs-137	66	42	0,0028	0,13		<0,036	0,043
Nord [3]	Cs-137	63	42	0,0028	0,085			
Süd [4]	Cs-137	3	0	0,051	0,13			
Flugasche / Filterstaub (Bq/kg TM)								
alle Länder	K-40	51	0	300	3500	1 400	1 300	1 400
	Co-60	51	51				<0,47	<0,48
	I-131	47	31	0,37	20		<1,1	<1,2
	Cs-137	51	3	2,3	190	34	14	17
Nord [3]	Cs-137	44	3	2,3	84			
Süd [4]	Cs-137	7	0	94	190			
Schlacke (Bq/kg TM)								
alle Länder	K-40	75	0	130	1 500	340	270	280
	Co-60	75	75				<0,22	<0,22
	I-131	69	65	1,3	17		<0,47	<0,33
	Cs-137	75	5	0,22	22	2,7	1,3	1,4
Nord [3]	Cs-137	68	5	0,22	22			
Süd [4]	Cs-137	7	0	2,5	21			
feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)								
alle Länder	K-40	53	4	1,8	1 800	520	300	190
	I-131	51	14	0,16	130	15	3,2	4,7
	Cs-137	53	16	0,33	56	14	2,6	1,6
Nord [3]	Cs-137	49	16	0,33	31			
Süd [4]	Cs-137	4	0	27	56			
flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)								
alle Länder	K-40	34	6	0,35	370	44	8,5	9,3
	I-131	34	6	0,12	880	87	2,1	4,0
	Cs-137	34	23	0,028	2,3		<0,093	<0,091
Nord [3]	Cs-137	31	20	0,028	2,3			
Süd [4]	Cs-137	3	3					
Kompost (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	77	0	29	780	480	490	490
	Cs-137	77	0	1,6	27	5,3	4,3	4,4
Nord [3]	Cs-137	73	0	1,6	9,5			
Süd [4]	Cs-137	4	0	7,1	27			

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.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
2019	368	42	0,30	351	50	0,29
Monatsmittelwerte für 2019						
Januar	35	43	0,29	37	51	0,29
Februar	33	42	0,30	32	50	0,32
März	30	44	0,28	35	50	0,30
April	40	41	0,25	34	49	0,28
Mai	30	42	0,25	27	49	0,26
Juni	26	43	0,26	26	51	0,27
Juli	41	41	0,24	37	49	0,28
August	26	42	0,29	27	51	0,26
September	26	42	0,25	33	51	0,27
Oktober	32	42	0,45	25	48	0,32
November	25	40	0,40	20	51	0,32
Dezember	24	40	0,37	18	48	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
2019	223	43	0,25	295	55	0,22
Monatsmittelwerte für 2019						
Januar	20	43	0,24	22	56	0,24
Februar	18	42	0,21	23	54	0,24
März	18	43	0,20	23	56	0,24
April	20	42	0,23	23	56	0,22
Mai	16	42	0,20	24	57	0,19
Juni	20	43	0,25	26	55	0,20
Juli	20	42	0,23	26	56	0,19
August	22	44	0,25	27	57	0,20
September	17	22	0,43	25	57	0,20
Oktober	21	46	0,28	29	55	0,25
November	19	44	0,30	27	57	0,25
Dezember	12	45	0,34	20	56	0,22

nn nicht nachgewiesen

Tabelle T II.86 **Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Karlsruhe (bis 2018)**
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area until 2018)

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

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 (Gliedmaßen)	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

Tabelle T IV.2 Verteilung der bedeutsamen Vorkommnisse, zu denen eine Abschlussmeldung vorliegt, auf die medizinischen Fachgebiete
(Distribution of significant incidents for which there is a final report by medical speciality)

Medizinisches Fachgebiet	Anzahl der Vorkommnisse
Röntgendiagnostik (einschließlich Röntgendurchleuchtung)	17
Interventionen (zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken)	2
Therapie mit ionisierender Strahlung und umschlossenen radioaktiven Stoffen	49
Nuklearmedizin (Diagnostik und Therapie)	12

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 A1/100 (GBq)	umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)		Gesamt-einfuhr Radionuklide (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (kg)
2010	578 964	32 783 390		33 362 734	6 204 450
2011	448 512	25 170 470		25 622 149	5 550 891
2012	289 541	48 678 600		48 968 143	4 701 992
2013	429 556	50 145 023		50 574 534	5 361 347
2014	273 682	61 174 877		61 448 525	3 976 324
2015	2 124 094	51 344 557		53 468 651	3 325 377
2016	3 920 877	114 183 613		118 129 212	4 698 422
2017	53 337	138 255 331		138 308 668	4 116 212
2018	1 995 553	76 556 076		78 551 629	4 182 210
Jahr	**Radionuklide ohne umschlossene Quellen HRQ (GBq)**	**umschlossene Quellen HRQ (GBq)**	**Aktivierungspro-dukte, Werk-zeuge, sonstige radioaktive Gemische (GBq)**	**Gesamt-einfuhr Radionuklide (GBq)**	**Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (kg)**
2019	284 055	37 425 403	227	37 709 685	3 528 424

Tabelle T V.2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Export of radioactive materials from Germany - without radioactive waste)

Jahr	Radionuklide ohne umschlos-sene Quellen ab A1/100 (GBq)	umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)		Gesamt-ausfuhr Radionuklide (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (kg)
2010	102 567	5 671 642		5 774 155	4 032 449
2011	115 285	2 053 722		2 168 993	3 338 873
2012	121 877	3 187 561		3 309 422	4 372 018
2013	106 189	4 518 028		4 624 175	1 683 737
2014	121 035	1 779 279		1 900 294	1 861 879
2015	95 633	1 862 494		1 958 127	1 187 779
2016	110 844	2 844 413		2 955 286	885 891
2017	73 987	9 858 401		9 932 388	941 521
2018	2 970 938	2 162 711		5 133 649	835 530
Jahr	**Radionuklide ohne umschlossene Quellen HRQ (GBq)**	**umschlossene Quellen HRQ (GBq)**	**Aktivierungspro-dukte, Werk-zeuge, sonstige radioaktive Gemische (GBq)**	**Gesamt-ausfuhr Radionuklide (GBq**	**Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (kg)**
2019	209 108	1 897 066	15	2 106 189	6 949 267

Tabelle T V.3 **Aktivität der 2019 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne HRQ)**
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2019 - without HRQ)

a)

Versender-land	Aktivität in GBq										
	H-3	P-32	P-33	S-35	Fe-55	Co-57	Co-60	Ni-63	Ge-68	Se-75	Kr-85
Aserbaid-schan							14,8			99,8	
Australien		54,0							3,7		
Belarus					370,0						
Indien					5,3		53,2			3 662,5	63,2
Israel									8,1	222,7	
Japan							25,9	7 407,4			24,5
Kanada	0,1							0,7	7,9		
Malaysia							11,6				185,0
Russland	4,0					26,1	130,8	1,1	8 624,1		24 719,7
Saudi-Arabien										236,2	
Schweiz	11 652,3							2,1	3,2	18,0	0,1
Südafrika									46,4	3 347,8	
Türkei								2,8	0,3		
Usbekistan		2 035,0	281,9	340,4							
VAE											
USA	147,8		78,3	1,8		94,8	2,4	1 940,5	617,8	1 280,4	2 224,2
VR China							0,6	104,9	3,0		129,5
sonstige					3,7		61,4	1,7	17,0	45,0	46,3
Summe	**11 804,2**	**2 089,0**	**360,2**	**342,2**	**379,0**	**120,9**	**300,8**	**9 461,1**	**9 331,4**	**8 912,4**	**27 392,5**

Tabellen

b)

Versen-derland	Aktivität in GBq										Summe
	Mo-99	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Ho-166	Lu-177	W-188	Ir-192	Sons-tige	
Aserbaid-schan											114,6
Austra-lien				58,0						0,9	115,7
Belarus											370,0
Indien				214,4	114,8					11,8	4 120,6
Israel											230,8
Japan										22,4	7 480,3
Kanada		11 026,0		2,9		30,0	1 062,4			3,7	12 133,8
Malaysia				14,4							211,0
Russland		986,7			9 035,4		436,6	671,6		42,5	44 678,6
Saudi-Arabien											236,2
Schweiz		10,1		0,3	0,5					33,9	11 720,5
Südafrika			23 842,0				78 914,0				106 150,1
Türkei	5.470,0										5 473,1
Usbekis-tan		11 766,0					222,0			0,1	14 645,5
VAE				149,3					8,0	3,3	160,7
USA		80,0		4,4	111,0	502,0	67 719,4			257,5	75 062,2
VR China									555,0		793,0
sonstige		0,3	28,2	72,3	3,7		0,4		37,0	35,2	352,1
Summe	**5 470,0**	**23 869,2**	**23 870,2**	**516,1**	**9 265,4**	**532,0**	**148 354,7**	**671,6**	**600,0**	**411,6**	**284 054,6**

Tabelle T V.4 **Aktivität der 2019 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen HRQ**
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2019 HRQ)

Versenderland	Aktivität in GBq					
	Co-57	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Ägypten		73 400			96	73 496
Belarus		6 133				6 133
Indien			2 332			2 332
Kanada		13 091 000			1 037	13 092 037
Republik Korea		2.540	1 050			3 590
Russische Föderation	925	21 751 547	2 151 436			23 903 908
Schweiz			1 214		1 264	2 478
Südafrika			3 546			3 46
Thailand		308 069				308 069
USA					12 916	12 916
VR China				1 850	14 689	16 539
sonstige		138	220			358
Summe	**925**	**35 232 827**	**2 159 799**	**1 850**	**30 002**	**37 425 403**

Tabelle T V.5 **Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2019**
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2019)

Versenderland	Einfuhr in kg					
	abger. Uran	Natururan	bis 10 % U-235	>85-100 % U-235	Thorium	Summe in kg
Frankreich			71 775,1	33,4		71 808,5
Honkong					168,0	168,0
Indien					156,0	156,0
Kanada		3 285 894,1				3 285 894,1
Niederlande			39 947,5			39 947,5
Russische Föderation			70 133,0			70 133,0
Schweden			54 393,4			54 393,4
Schweiz			17,0			17,0
USA	2,4	17,0	47,2			66,6
sonstige	5 839,6					5 839,6
Summe in kg	**5 842,0**	**3 285 911,1**	**236 313,2**	**33,4**	**324,0**	**3 528 423,6**

Tabelle T V.6 **Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne HRQ) im Jahr 2019**
(Export of sealed and unsealed radionuclides (without HRQ) in the year 2019)

a)

Empfängerland	Aktivität in GBq								
	H-3	F-18	Co-60	Ni-63	Ge-68	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-88
Argentinien									
Australien									
Brasilien					52,1		148,6		
Chile							18,5		
Hongkong									
Indien			107,3	29,4	53,0		132,8		
Indonesien							33,3		
Israel					14,5				
Japan				388,5			3 427,0		
Kanada	1.300,0					740,1	308,3		
Kolumbien									
Kuba									
Kuwait									
Libanon									
Malaysia							138,8		
Marokko									
Mexiko					925,9		51,8		
Neuseeland									
Norwegen	93,0								
Oman									
Pakistan									
Panama			74,0						
Philippinen									
Repulik Korea			41,4				473,6		
Russ. Föderation			79,9	8,0			182,8		
Saudi-Arabien							19,8		
Schweiz	4 479,5	6 961,4	20,8		678,1		31,6	5,5	
Serbien									
Singapur			37,0				102,4		
Sri Lanka									
Südafrika					114,5				
Thailand			26,5				155,4		
Tunesien									
Türkei					16,7				
Ukraine									
Uruguay									
USA	117,3		339,0	65,5	290,0		4 594,0	124,6	1 686,4
VR China			1 156,9		36,6		5 362,5	61,7	
sonstige			118,3	36,7	97,7	0,1	203,4	21,8	
Summe	**5 990**	**6 961**	**2 001**	**528**	**2 279**	**740**	**15 385**	**214**	**1 686**

b)

Empfängerland	Aktivität in GBq								
	Y-90	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Lu-177	Am-241	sons-tige	Summe
Argentinien		26,1		55,8		114,00			195,92
Australien		18,1		115,0		4 580,30		42,26	4 755,73
Brasilien						659,00			859,74
Chile				339,3		363,00			720,80
Hongkong			3 109,6			1 169,00			4 278,59
Indien				123,7	105,50	5 695,00		26,15	6 272,89
Indonesien				65,0	80,50				178,83
Israel	72,0	135,3	1 760,0			2 769,00			4 750,76
Japan	53,3				382,95				4 251,77
Kanada	16,4	209,9	58,1	71,3		7 095,00		56,64	9 855,71
Kolumbien			1 133,9			754,00			1 887,88
Kuba						322,00			322,00
Kuwait			450,9			105,00			555,95
Libanon			533,9						533,95
Malaysia			6 282,6	77,3		118,00			6 616,70
Marokko		27,2	3 309,2	98,8					3 435,18
Mexiko		35,4		253,2		1 998,0			3 264,33
Neuseeland			524,8						524,84
Norwegen	27,0	96,6	2 097,8	1 141,3		1 531,0		37,2	5 023,84
Oman			370,9						370,88
Pakistan						790,0			790,00
Panama			859,7	163,0					1 096,68
Philippinen				52,5		1 687,0			1 739,54
Repulik Korea			7 814,3	178,0	98,0	260,0	80,7		8 945,91
Russ. Föderation		1 541,9							1 812,64
Saudi-Arabien			74,0	273,0		452,0			818,81
Schweiz	294,0	1.173,5				5 775,3			19 419,71
Serbien						427,0			427,00
Singapur	15 709,5		1 370,6	101,9		4 518,0			21 839,39
Sri Lanka			3 654,5						3 654,46
Südafrika		37,5	314,6	72,2		612,2			1 150,97
Thailand						1 340,0			1 521,93
Tunesien			1 389,3						1 389,26
Türkei				286,0	50,0	5 707,0			6 059,77
Ukraine				224,6			2 946,4		3 170,99
Uruguay						485,0			485,00
USA	14 230,4	115,9		360,7	2 387,7	36 534,3	41,8	33,5	60 921,28
VR China	321,9			2 817,2	628,2	2 790,0	185,0	40,9	13 400,90
sonstige		49,9	312,7	588,7	48,1	230,0	49,1	50,6	1 807,09
Summe	**30 724**	**3 467**	**35 421**	**7 459**	**3 781**	**88 880**	**3 303**	**287**	**209 107,62**

Tabelle T V.7 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen HRQ im Jahr 2019
(Export of sealed radiation sources HRQ in the year 2019)

Empfängerland	Aktivität in GBq					
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Am-241	Summe
Ägypten	76			1.850		1 926
Algerien	217					217
Argentinien	348	7 030				7 378
Bahrain		2 572				2 572
Brasilien		1 687	75 670			77 357
Indien	430	111 509			330	112 270
Israel		6 290				6 290
Kanada	554 648			6.620		561 268
Mexiko			41 440			41 440
Nigeria	453					453
Republik Korea	74	7.317	239 610		666	247 667
Russische Föderation	1 558		62 290			63 848
Saudi-Arabien		17 760				17 760
Schweiz		1 504		9 540		11 044
Singapur		3 515				3 515
Südafrika		205 579				205 579
Taiwan			5 550			5 550
Vereinigte Staaten			998			998
Volksrepublik China			172 580	355 200		527 780
sonstige	1 489		444		222	2 155
Summe	**559 293**	**364 763**	**598 582**	**373 210**	**1 218**	**1 897 066**

Tabelle T V.8 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2019
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2019)

Empfängerland	Ausfuhr in kg			
	abger. Uran	Natururan	0,74-10 % U-235	Summe
Belgien			16 192,9	16 193
Brasilien			15 748,4	15 748
Finnland			17 656,6	17 657
Frankreich			142 503,8	142 504
Kanada		285,7		286
Niederlande			23,4	23
Republik Korea			85 095,5	85 096
Russische Föderation	5 987 056,3		10,6	5 987 067
Schweden			213 692,2	213 692
Schweiz			15 712,1	15 712
Spanien			40 198,3	40 198
USA	0,7	36 202,7	304 821,1	341 024
Vereinigtes Königreich			69 060,8	69 061
sonstige	5 005,6			5 006
Summe	**5 992 063**	**36 488**	**920 716**	**6 949 267**

Tabelle T V.9 Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2019
(Overview of the number of licenses and notifications in the year 2019)

Anzahl der Genehmigungen § 3 AtG und § 12 StrlSchV			Anzahl der Anzeigen § 13 StrlSchV	
für	erteilt	genutzt	Abs. 1 Nr.1 + Abs. 3 (Einfuhr)	Abs. 1 Nr. 2 (Ausfuhr)
Einfuhr § 3 AtG	38	14	2 596	7 697
Ausfuhr § 3 AtG	86	41		
Einfuhr § 12 StrlSchV	27	22		
Ausfuhr § 12 StrlSchV	62	57		

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	2019	2018
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	0
Straße / unbestrahltes Material	26	26
Straße / bestrahltes Material	0	1
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
Binnenwasserstraße / unbestrahltes Material	0	0
Binnenwasserstraße / bestrahltes Material	0	0
Binnenwasserstraße / Reststoffe und Abfall	0	0
insgesamt	26	27
Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte		
Luft / unbestrahltes Material	0	0
Luft / bestrahltes Material	0	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0	0
See / unbestrahltes Material	59	88
See / bestrahltes Material	0	1
See / Reststoffe und Abfall	0	2
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	0
Straße / unbestrahltes Material	261	239
Straße / bestrahltes Material	106	102
Straße / Reststoffe und Abfall	0	8
insgesamt	426	439

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	5
2016	327	101
2017	279	80
2018	217	86
2019	255	56

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 radioaktive materials (railway) in respect of their legal basis)

Rechtliche Grundlage	Genehmigungsbehörde	Anzahl Transporte		Anzahl Wagenladungen	
		2019	2018	2019	2018
AtG § 4	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
AtG § 23 Abs. 2	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
StrlSchV § 16 (2018) bzw. StrlSchG § 27 (2019)	Eisenbahn-Bundesamt (EBA)	56	86	255	217

Tabelle T V.13 Wagenladungssendungen
(Truck-loads)

Art der beförderten Stoffe	UN-Nummer*	Anzahl der Wagen	
		2019	2018
Kernbrennstoffe			
verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen, High Aktive Waste (HAW)	3328	-	-
unbestrahltes, angereichertes Uran (< 1 % U-235) als U_3O_8	3321	-	-
sonstige radioaktive Stoffe			
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF_6)	2978	170	62
Natururan in Form von Uranoxid (U_3O_8)	2912	35	91
Rückstände/Abfälle aus kerntechnischen Anlagen			
- in Typ (BU)-Behältern	2916	-	20
- SCO in Industrieversandstücken	2913	8	3
- Industrieverpackungen	3321	33	41
- in Typ A-Versandstücken	2915	-	-
freigestellte Versandstücke			
- als leere Verpackung	2908	-	-
- als begrenzte Stoffmenge	2910	9	-
Summe		**255**	**217**

* Nummer zur Stoffkennzeichnung nach Gefahrgutrecht

Tabelle T V.14 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported)

Art der beförderten Stoffe	beförderte Gesamtaktivität (Werte zum Teil geschätzt)	
	2019 (TBq)	2018 (TBq)
Kernbrennstoffe		
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen, High Aktive Waste (HAW)	-	-
unbestrahltes, angereichertes Uran (< 1 % U-235) als U_3O_8	-	-
sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF_6)	84,3	49,8
Natururan in Form von Uranoxid (U_3O_8)	47,8	125,2
Rückstände/Abfälle aus kerntechnischen Anlagen		
- in Typ (BU)-Behältern	-	6 535,4
- SCO in Industrieversandstücken	-	0,3
- Industrieverpackungen	35,4	474,5
- in Typ A-Versandstücken	-	-
freigestellte Versandstücke		
- als leere Verpackung	-	-
- als begrenzte Stoffmenge	-	-
Summe	**167,5**	**7 185,1**

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	Wagen		überprüfte Wagen		Beanstandungen	
	2019	2018	2019	2018	2019	2018
sonstige radioaktive Stoffe	255	217	57	87	2	5
Kernbrennstoffe	-	-	-	-	-	-

Tabelle T V.16 Festgestellte Verstöße gegen Gefahrgutvorschriften
(Detected contempts against dangerous goods regulations)

Verstöße	Anzahl	
	2019	2018
Gefahrenkategorie I (schwerwiegender Verstoß)	-	-
Gefahrenkategorie II (weniger schwerwiegender Verstoß)	-	-
Gefahrenkategorie III (kein schwerwiegender Verstoß)	2	5

Tabelle T V.17 Übersicht über die Zahl der Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG zum Umgang mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2019)
(Survey of the number of licencees according to § 12 paragraph 1, point 1 StrlSchG relating to the handling of radioactive substances - as at December 31, 2019)

Land	Zahl der Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG			
	Anwendung am Menschen	Forschung und Lehre ohne Anwendung am Menschen	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	531	394	824	68
Bayern	247	149	559	98
Berlin	171	221	234	2
Brandenburg	33	47	135	41
Bremen	28	15	43	9
Hamburg	43	35	72	27
Hessen	201	111	353	33
Mecklenburg-Vorpommern	25	50	74	6
Niedersachsen	204	234	534	64
Nordrhein-Westfalen	615	327	1 000	93
Rheinland-Pfalz	95	71	206	17
Saarland	38	24	45	11
Sachsen	43	82	268	42
Sachsen-Anhalt	46	28	204	21
Schleswig-Holstein	104	46	116	35
Thüringen	62	21	128	105
Summe	**2 486**	**1 855**	**4 795**	**672**

* Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 12, Absatz1 Nummer 3 StrlSchG sind nicht berücksichtigt

Tabelle T V.18 Zahl der Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2019)
(Survey of the number of licencees according to § 12 paragraph 1, point 3 StrlSchG relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2019)

Land	Zahl der Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG			
	Anwendung am Menschen	Forschung und Lehre ohne Anwendung am Menschen	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	davon zerstörungsfreie, ortsveränderliche Werkstoffprüfung
Baden-Württemberg	231	157	602	40
Bayern	64	47	513	12
Berlin	8	14	22	12
Brandenburg	7	26	117	10
Bremen	11	8	39	4
Hamburg	12	17	55	4
Hessen	57	30	216	7
Mecklenburg-Vorp.	8	33	60	3
Niedersachsen	49	83	396	13
Nordrhein-Westf.	172	140	755	93
Rheinland-Pfalz	27	31	124	17
Saarland	8	9	34	1
Sachsen	15	47	17	9
Sachsen-Anhalt	10	10	198	16
Schleswig-Holstein	37	13	91	3
Thüringen	15	5	127	11
Summe	**731**	**670**	**3 366**	**255**

* Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 12, Absatz1 Nummer 3 StrlSchG sind nicht berücksichtigt

Tabelle T V.19 Übersicht über die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 und § 10 StrlSchG (Stand: 31.12.2019)
(Survey of the number of licencees according to § 12 paragraph 1, point 1 StrlSchG - as at December 31, 2019)

Land	Zahl der Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 und § 10 StrlSchG			
	Anwendung am Menschen	ohne Anwendung am Menschen (Forschung und Lehre)	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	94	9	11	1
Bayern	107	15	31	0
Berlin	40	14	1	0
Brandenburg	13	1	0	0
Bremen	5	0	0	1
Hamburg	25	4	2	5
Hessen	37	4	3	0
Mecklenburg-Vorp.	12	2	0	0
Niedersachsen	60	14	9	1
Nordrhein-Westfalen	208	26	18	0
Rheinland-Pfalz	32	4	0	0
Saarland	10	0	1	0
Sachsen	27	14	5	0
Sachsen-Anhalt	16	0	5	0
Schleswig-Holstein	19	0	3	0
Thüringen	32	4	3	0
Summe	**737**	**111**	**92**	**8**

* einschließlich in Verbindung mit nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG erteilten Genehmigungen

Tabelle T V.20 Übersicht über gültige Genehmigungen
(Survey of current licences)

Land	Am 31.12.2019 gültige Genehmigungen nach:					
	§ 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG (Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen)*	§ 25 StrlSchG (Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen)	§ 27 StrlSchG (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)	§ 40 StrlSchG (ausschließlich Genehmigungen für den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrennstoffen)
Baden-Württemberg	1 817	115 (9)	345	38	3	6
Bayern	1 053	153 (13)	328	66	12	7
Berlin	628	55 (5)	192	44	1	2
Brandenburg	256	14 (1)	69	15	0	0
Bremen	95	6 (0)	48	7	0	0
Hamburg	177	36 (4)	93	5	0	0
Hessen	698	44 (4)	149	17	0	3
Mecklenburg-Vorp.	155	14 (8)	59	3	1	0
Niedersachsen	1 036	84 (1)	209	38	0	1
Nordrhein-Westf.	2 035	252 (12)	540	81	2	9
Rheinland-Pfalz	389	36 (2)	152	32	0	0
Saarland	118	11 (0)	18	13	0	0
Sachsen	435	46 (5)	144	26	4	2
Sachsen-Anhalt	299	21 (0)	48	12	0	0
Schleswig-Holstein	301	22 (0)	98	4	1	1
Thüringen	316	39 (1)	19	3	1	0
Summe	**9 808**	**948 (65)**	**2 511**	**404**	**25**	**31**

* Errichtungsgenehmigungen nach § 10 StrlSchG in Klammern

Tabelle T V.21 Übersicht über die Zahl der im Jahr 2019 erstatten Anzeigen
(Survey of the number of notifications in the year 2019)

Land	Zahl der erstatteten Anzeigen	
	§17StrlSchG (anzeigebedürftiger Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen)	BAZ § 208 Absatz 3 StrlSchG (Verwendung und Lagerung bestimmter BAZ-Vorrichtungen nach StrlSchV 1989)
Baden-Württemberg	33	789
Bayern	13	660
Berlin	2	500
Brandenburg	0	125
Bremen	1	0
Hamburg	0	168
Hessen	6	keine A.
Mecklenburg-Vorpommern	2	4
Niedersachsen	0	1 343
Nordrhein-Westfalen	0	2 632
Rheinland-Pfalz	0	555
Saarland	0	148
Sachsen	11	74
Sachsen-Anhalt	0	14
Schleswig-Holstein	0	172
Thüringen	0	0
Summe	**68**	**7 184**

Tabelle T V.22 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 89 StrlSchV im Jahr 2019
(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2019)

Land	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	Anzahl HRQ	Anzahl und Nuklid der bei den Prüfungen als undicht ermittelten Präparate	Anzahl undichter HRQ
Baden-Württemberg	1 865	267	0	0
Bayern	2 060	80	3 davon 2 x Ni-63, 1 x Am-241	0
Berlin	354	74	1 (Ra-226)	0
Brandenburg	560	109	0	0
Bremen	75	7	0	0
Hamburg	405	208	0	0
Hessen	391	13	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	80	7	0	0
Niedersachsen	1 856	241	3 davon 2 x Cs-137, 1 x Cm-244	0
Nordrhein-Westfalen	2 211	483	0	0
Rheinland-Pfalz	280	5	0	0
Saarland	0	0	0	0
Sachsen	987	138	13 davon 12 x Co-60, 1 x Cs-137	13
Sachsen-Anhalt	201	20	1 x Pu-239	0
Schleswig-Holstein	334	12	0	0
Thüringen	21	0	0	0
Summe	**11 680**	**1 664**	**21**	**13**

Tabelle T V.23 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin im Jahr 2019

(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine in 2019)

Land			Teleradiologie			
	Gesamtzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 i.V.m. § 19 Absatz 2 Nr. 2 StrlSchG genehmigten RöE für die Behandlung von Menschen	Gesamtzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG genehmigten RöE	Anzahl genehmigter RöE für die Teleradiologie nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 i.V.m. § 19 Absatz 2 Nummer 3 StrlSchG	Teleradiologie mit Ausdehnung auf reguläre Dienstzeit *	Anzahl der RöE im Rahmen der Früherkennung gemäß § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG i.V. m. § 19 Absatz 2 Nummer 4 StrlSchG	Gesamtzahl der nach § 19 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG angezeigten RöE
Baden-Württemberg	47	472	75	52	74	4 321
Bayern	23	400	129	44	90	5 518
Berlin	12	155	16	3	23	1 984
Brandenburg	5	95	75	49	20	900
Bremen	1	16	1	1	8	329
Hamburg	5	16	11	0	5	951
Hessen	20	72	72	25	15	2 372
Mecklenburg-Vorpommern	3	55	30	6	23	668
Niedersachsen	14	251	64	13	78	3 014
Nordrhein-Westfalen	92	891	182	12	163	7 171
Rheinland-Pfalz	14	143	60	21	22	1 764
Saarland	1	27	19	6	6	545
Sachsen	12	113	74	21	39	1 682
Sachsen-Anhalt	7	68	26	8	12	1 074
Schleswig-Holstein	4	111	29	9	13	1 026
Thüringen	11	64	30	1	18	1 235
Summe	**271**	**2 949**	**893**	**271**	**609**	**34 554**

* Erteilung auf Grund eines besonderen Bedürfnisses nach § 14 Absatz 2 Satz 3 StrlSchG über Nacht-, Wochenend- und Feiertagsdienst hinaus

Tabelle T V.24 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Zahnmedizin und Tiermedizin im Jahr 2019

(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in dentistry and veterinary medicine in 2019)

Land	Zahnmedizin		Anwendung am Tier in der Tierheilkunde	
	Gesamtzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 19 Absatz 1 Nummer 1 Buchst. b StrlSchG angezeigten RöE	Gesamtzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 19 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG angezeigten RöE
Baden-Württemberg	958	13 209	351	715
Bayern	169	16 827	451	1 032
Berlin	41	4 413	71	365
Brandenburg	41	2 345	100	247
Bremen	5	681	11	35
Hamburg	7	2 622	36	81
Hessen	102	7 090	164	574
Mecklenburg-Vorp.	3	1 944	43	119
Niedersachsen	160	8 341	262	865
Nordrhein-Westfalen	1 633	16 733	625	1 131
Rheinland-Pfalz	21	4 093	104	348
Saarland	0	938	11	96
Sachsen	31	5 154	109	272
Sachsen-Anhalt	8	2 637	36	171
Schleswig-Holstein	43	3 268	162	268
Thüringen	2	2 655	39	166
Summe	**3 224**	**92 950**	**2 575**	**6 485**

Tabelle T V.25 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik/Nichtmedizin im Jahr 2019
(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological/non-medical areas in 2019)

Land	Gesamzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG genehmigten RöE	Anzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 i.V.m. § 19 Absatz 2 Nummer 1 StrlSchG genehmigten RöE *	Gesamtzahl der angezeigten RöE nach § 19 Absatz 1 Nummer. 1 Buchst. a StrlSchG i.V.m. § 18 Absatz 1 Nummer 1 Buchst. c StrlSchG **	Gesamtanzahl der angezeigten RöE nach § 19 Absatz 1 Nummer 2 StrlSchG ***	Gesamtzahl der nach § 12 Abs. 1 Nummer 5 StrlSchG genehmigten Störstrahler)
Baden-Württemberg	1 988	113	914	1 098	310
Bayern	2 473	559	1 057	752	327
Berlin	583	117	364	217	121
Brandenburg	280	95	218	62	24
Bremen	139	45	109	36	6
Hamburg	120	12	123	196	25
Hessen	895	72	531	350	139
Mecklenburg-Vorp.	103	92	72	22	26
Niedersachsen	1 067	152	698	534	42
Nordrhein-Westfalen	3 000	640	1 337	987	174
Rheinland-Pfalz	560	101	199	191	55
Saarland	99	62	71	33	82
Sachsen	631	172	473	186	143
Sachsen-Anhalt	297	104	77	84	49
Schleswig-Holstein	370	32	133	159	22
Thüringen	257	39	271	145	19
Summe	**12 862**	**2 407**	**6 647**	**5 052**	**1 564**

* 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

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
Ende 2019	727	80	53 200	225 000

Tabelle T V.27 Übersicht über die Mengen (Massen und Volumina) vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2019
(Survey of quantities (masses and volumes) of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2019)

Kategorie	Einheit	Endlagerziel Konrad	anderes Endlager
Rohabfälle (RA)	[t]	7 558	209
vorbehandelte Abfälle (VA)	[t]	12 368	21
Abfallprodukte in Innenbehältern (P1)	[m^3]	12 948	145
produktkontrollierte Abfallprodukte (P2)	[m^3]	3 709	0
Abfallprodukte in Konradbehältern (G1)	[m^3]	104 997	1
produktkontrollierte Abfallgebinde (G2)	[m^3]	2 936	0
Summe	[t] [m^3]	**19 926** **124 590**	**230** **146**

Tabelle T V.28 Übersicht über den Bestand radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2019
(Survey on the stock of radioactive wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2019)

Abfallverursacher	RA [t]	VA [t]	P1 [m^3]	G1 [m^3]	P2 [m^3]	G2 [m^3]
Forschungseinrichtungen	1 383	6 015	1 966	42 700	136	0
kerntechnische Industrie	168	12	228	7 646	161	2 921
Kernkraftwerke*	5 433	5 644	7 923	38 807	3 105	15
Landessammelstellen	600	447	2 387	946	67	0
Wiederaufarbeitung (WAK)	184	272	589	14 899	240	0
Summe	7 767	12 389	13 093	104 998	3 709	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 Verursachergruppen am 31. Dezember 2019

(Survey on the stock of radioactive heat generating wastes - without irradiated BE - according to groups of waste producers on 31 December 2019

Verursachergruppe	Volumen in m^3	
	radioaktive Abfälle	
	2019	2018
Forschungseinrichtungen	4	4
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**	**576**

Tabelle T V.30 Bedeutsame Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (z. B. Beschleuniger), bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen[1]

(Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of facilities for the generation of ionising radiation (i. e. accelerators) and X-ray devices and during transport of radioactive material)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
15.06.2018 (Nachtrag)	Fund von radioaktiv kontaminierten Teilen (ein Metallteil und Laborschläuche) (Ra-226+, ca. 11 MBq und ca. 100 kBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.2018 (Nachtrag)	Fund von zwei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 2,7 MBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
30.07.2018 (Nachtrag)	Fund von fünf radioaktiv kontaminierten Metallteilen (Co-60, ca. 580 kBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.09.2018 (Nachtrag)	Fund von vier radioaktiv kontaminierten Metallteilen (Co-60, Gesamtaktivität ca. 400 kBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
03.01.2019	Fund von radioaktiv kontaminierten Windeln (Lu-177, ca. 76 MBq) bei einer Privatfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen lassen
07.01.2019	Fund eines mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Stahlkessels (Th-232; U-238, Dosisleistung am Behälter 0,16 µSv/h) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
09.01.2019	Fund eines radioaktiv kontaminierten Zellstofftuchs (I-131, 0,66 MBq) bei einer Privatfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.01.2019	Fund eines radioaktiven Strahlers (Co-60, 25 GBq) in einer Recycling-Anlage	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
14.01.2019	Fund von Prüfstrahlern und radioaktivem Thoriumoxid in Bleibehältern (Cs-137, 250 kBq; Th-232, 230 kBq) auf Firmengelände	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
15.01.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Lu-177) bei einer thermischen Abfallverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Separation, temporäre Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung

[1] Meldungen für 2018 nach § 51, § 71 StrlSchV 2001 sowie § 42 RöV bzw. für 2019 nach StrlSchV, u. a. § 170 StrlSchV

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
16.01.2019	Fund von Prüfstrahlerquellen (Co-60, 3 x 18,5 kBq) in einem Forschungsinstitut	unterlassene Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
16.01.2019	Fund einer Prüfstrahlerquelle (Cs-137, 333 kBq) in einer Gemeinschaftspraxis	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
17.01.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Materialien (Tc-99m, Dosisleistung 0,35 µSv/h) bei einem Müllverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
24.01.2019	Fund radioaktiver Stoffe (Tc-99m; I-131) im Hausmüll bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
30.01.2019	Fund radioaktiver Strahler (Cs-137; Sr-90; Ra-226; insgesamt 2,2 MBq) bei einer Privatfirma	unterlassene Entsorgung	keine	Dichtheitsprüfung der Strahler, Kontaminationsmessung am Fundort, ordnungsgemäße Entsorgung, Einleitung eines Ordnungswidrigkeitsverfahrens
30.01.2019	Fund von fünf Scheiben mit radioaktiver Leuchtmarkierung (Ra-226, Dosisleistung an der Oberfläche bis 220 µSv/h) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
01.02.2019	Absturz eines Abschirmdeckels bei einem Quellenwechsel in einem Betrieb	Fehlfunktion am Gerät	keine	Reparatur des Gerätes
Februar 2019	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137, ca. 200 kBq) bei einer Firma	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
01.02.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Abfälle im Hausmüll (I-131, 1,2 MBq,) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	vorübergehende Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
04.02.2019	Fund von natürlich radioaktivem Uranylacetat (Uran, ca. 400 kBq) im Labor einer technischen Hochschule	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
06.02.2019	Fund eines Kompasses mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 15 MBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.02.2019	Fund verschiedener mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierter Gegenstände (Ra-226; Thorium; Uranverbindung) in einem privaten Wohnhaus	unbekannt	keine	polizeiliche Ermittlungen, ordnungsgemäße Entsorgung
15.02.2019	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226, 900 kBq) in einer Lieferung mit Elektroschrott	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
18.02.2019	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Gegenständen (Ra-226, 94,7 kBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
22.02.2019	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Steinen (Uran) im Hausmüll bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
23.02.2019	Fund eines natürlich radioaktiven Steins (Uraninit, Dosisleistung an der Oberfläche 75 µSv/h) durch eine Privatperson	Annahme eines versehentlich falsch zugestellten Päckchens, Verstoß gegen Transportvorschriften	keine	Sicherstellung und Versand an den richtigen Empfänger, Prüfung eines Verstoßes gegen Transportvorschriften durch den Versender
25.02.2019	Fund von 11 Strahlenquellen ("Jodseeds", I-125) in einer Klinik	Entfernung der während einer früheren Operation implantierten Seeds bei einem erneuten urologischen Eingriff	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung unter Beteiligung des an der früheren Operation beteiligten Klinikums
26.02.2019	Fund eines Rohres mit natürlichen radioaktiven Inkrustierungen (Ra-226, Dosisleistung 1,9 µSv/h) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
27.02.2019	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Schieberplatten (Ra-226, Dosisleistung 1 µSv/h) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
28.02.2019	Fund eines mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Gitterschauzeichens (Ra-226, ca. 10 kBq) in einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Übernahme durch Bundeswehr
28.02.2019	Fund von Pumpenscheiben mit natürlichen radioaktiven Ablagerungen (Ra-226, 1,7 MBq; Ra-228, 1 MBq) in Metallschrott bei einer Firma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
11.03.2019	Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, Dosisleistung in 5 cm Abstand 90 µSv/h) bei einer Privatperson	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
11.03.2019	Fund von zwei Strahlenquellen (C-14; Cs-137, Dosisleistung an der Oberfläche 1 µSv/h) in einem Privathaus	unterlassene Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
11.03.2019	Fund von radioaktiv kontaminierten Inkrustationen in Stahlrohren bei einem Schrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung, Entscheidung über endgültige Entsorgung noch offen
12.03.2019	unbeabsichtigte Exposition von Personen bei einer Schweißnahtprüfung	versehentliches Einschalten durch Abstützen auf dem Bedienpult (menschliches Versagen)	Personenexposition max. 0,10 mSv, Hautdosis evtl. 350 mSv - gesundheitliche Beeinträchtigungen sind nicht zu erwarten	ärztliche Untersuchung der Betroffenen, Überarbeitung der Strahlenschutzanweisung, Beschäftigungsverbot für eine Person
14./15.03.2019	Freisetzung von radioaktiven Stoffen (Lu-177, ca. 900 MBq) in einem Laborraum nach einer Störung	versehentliche Öffnung der Heißen Zelle zur Störungsbehebung durch das Personal (menschliches Versagen)	keine	Durchführung von Dekontaminationsmaßnahmen
18.03.2019	Fund eines Behälters mit natürlichen radioaktiven Stoffen (U-238/U-235, Dosisleistung in 10 cm Abstand 0,9 µSv/h) in einem Privathaus	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
20.03.2019	Fund von Goldgranulat mit natürlich radioaktiven Begleitmineralien (Th-232, Dosisleistung am Behälter 1 µSv/h) beim Zoll	unbekannt	keine	Sicherstellung und weitere Untersuchungen
21.03.2019	Freisetzung radioaktiver Edelgase (Xe-123, 254 GBq) bei einem Zyklotron in einem Forschungszentrum	Riss der Target-Folie beim Betrieb (materialtechnisches Versagen)	Bevölkerung: effektive Dosis ca. 6 µSv; Mitarbeiter: Schilddrüsendosis ca. 100 µSv	Sperrung der Anlage, Erarbeitung einer technischen Lösung
22.03.2019	Fund radioaktiver Stoffe (I-131; Tc-99m) im Hausmüll bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
22.03.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Tc-99m, Dosisleistung 4,7 µSv/h) bei einem Müllverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
27.03.2019	Fund von acht Schulstrahlenquellen (Co-60, 1,2 kBq; Kr-85, 150 kBq; Na-22, 15 Bq; Pu-239, 37 kBq) bei einem Wertstoffhof	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
27.03.2019	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (Ra-226, Dosisleistung 1,0 µSv/h) bei einem Müllverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäßerdnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
27.03.2019	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (K-40, Dosisleistung 0,2 µSv/h) bei einem Müllverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
29.03.2019	Fund eines Nachtsichtgeräts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 10 kBq) in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	keine	Übernahme durch Bundeswehr
04.04.2019	Fund radioaktiver Stoffe bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
11.04.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Stoffe in Aluminiumschrott (Ra-226) bei einem Metallschrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
14.04.2019	Fund von elf Ionisationsrauchmeldern (Ra-226, 2,96 kBq pro Melder) auf einem Flohmarkt	Unkenntnis	keine	Sicherstellung durch Polizei, Messungen durch Berufsfeuerwehr, Entsorgung über Landessammelstelle
18.04.2019	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226, Dosisleistung an der Oberfläche 25 µSv/h) in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
23.04.2019	Fund von vier radioaktiven Uran- und Thorium-Stäben (U-238, 13,5 MBq; Th-232, 685 kBq) in einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
25.04.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Abfälle im Hausmüll (I-131, 2,14 MBq,) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Vorübergehende Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.04.2019	Fund radioaktiver Stoffe (I-131; Tc-99m) bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
06.05.2019	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226) im Schrott	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
08.05.2019	Fund von Resten einer Radium-Trinkkur (Ra-226, 1 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
09.05.2019	Fund von Strahlenquellen (Cs-137, 450 kBq) und kontaminierten Bereichen (Ra-226, 800 kBq) auf einem polizeilichen Übungsgelände	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
11.05.2019	Fund eines Analysegeräts mit einer Strahlenquelle (Am-241, 925 kBq) bei einem Kernkraftwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
13.05.2019	Fund von drei Aluminiumscheiben mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 3,64 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
14.05.2019	Fund eines Gefäßes mit radioaktivem Uranylnitrat bei einer Firma	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
14.05.2019	Fund von Resten einer Radium-Trinkkur (Ra-226, 0,3 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
15.05.2019	Fund eines Abschirmeinsatzes aus radioaktiven Stoffen (Uran-abgereichert, 370 MBq) bei einer Privatfirma	unbekannt	keine	Meldung an EURATOM, sichere Verwahrung in Lager
16.05.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Tc-99m, Dosisleistung 0,22 µSv/h) bei einem Müllverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
21.05.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Gesteinsstufen in Siedlungsabfällen bei einer Abfallverwertung	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
21.05.2019	Fund von 86 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, 18,5 kBq pro Melder) bei einem Elektro-Recycling-Betrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Prüfung auf Wiederverwendung durch Fachfirma bzw. ordnungsgemäße Entsorgung
21.05.2019	Fund von 72 Ionisationsrauchmeldern bei einem Elektro-Recyling-Betrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
22.05.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Lu-177, Dosisleistung 2,2 µSv/h) bei einem Müllverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
31.05.2019	versehentliche Exposition einer Mitarbeiterin während einer Patientenbestrahlung in einer Gemeinschaftspraxis	unabgesprochener Aufenthalt in einem durch die Videoüberwachung nicht einsehbaren Bereich im Behandlungsraum (menschliches Versagen)	auf Grund des Aufenthalts außerhalb des Nutzstrahls und der schnell erfolgten Abschaltung ist nur eine geringe Exposition zu erwarten	Unterweisung des Personals
03.06.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Abfall (Lu-177/Lu-177m) bei einem Unternehmen der Abfallwirtschaft	unzulässige Entsorgung	keine	sichere Zwischenlagerung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
05.06.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Hygieneartikel (I-131) bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
06.06.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Tc-99m, 0,3 µSv/h) bei einem Müllverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
12.06.2019	Fund eines mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Seilzugs (Ra-226) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
13.06.2019	Fund eines mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Triebwerks (Thorium, Dosisleistung im Nahbereich 5 µSv/h) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
14.06.2019	Fund eines Hinweisschildes mit radioaktiver Leuchtfarbe (H-3, 329 GBq) bei einem Transportunternehmen	unbekannt	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
17.06.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, 0,64 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	vorübergehende Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
17.06.2019	Fund radioaktiver Stoffe in Papiermüll bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
17.06.2019	Fund radioaktiver Stoffe (I-131) bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
18.06.2019	Fund radioaktiver Stoffe bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
19.06.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Hygieneartikel bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
19.06.2019	Fund eines Kompasses mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226+, 590 kBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
21.06.2019	Fund radioaktiver Stoffe (I-131) bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
21.06.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Lu-177, Dosisleistung 61 µSv/h) bei einem Müllverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
24.06.2019	Fund von Schulstrahlenquellen (Cs-137, 185 kBq; Kr-85, 185 kBq; Pb-210, 18,5 kBq) in einer Schule	unterlassene Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
25.06.2019	Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, Dosisleistung in 5 cm Abstand 90 µSv/h) bei einer Privatperson	unbekannt	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
25.06.2019	Fund einer Strahlenquelle (Cs-137, 120 kBq) in einem Privathaus	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
27.06.2019	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226) in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
02.07.2019	Fund von zwei Strahlenquellen (Cs-137, 250 kBq) in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
02.07.2019	Fund einer Scheibe mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 860 kBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
05.07.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Hygieneartikel (I-131) bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
12.07.2019	Fund einer Box mit radioaktiven Stoffen (Dosisleistung an der Außenseite 2 µSv/h) in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	gering	Sicherstellung und weitere Untersuchung
16.07.2019	Fund eines Schulstrahlenquellensatzes (2 x Cs-137, insgesamt 370 kBq) im öffentlichen Raum	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
17.07.2019	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 4 MBq) bei einer Privatperson	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
17.07.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Abfälle im Hausmüll (I-131, 3,7 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
18. und 22.07.2019	Fund eines radioaktiv kontaminierten Gehäuses und eines Ionisationsrauchmelders (Ra-226, ca. 600 kBq und ca. 700 kBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
24.07.2019	Fund von radioaktivem Material an einem Feldgrubber (Co-60, Dosisleistung an der Oberfläche 20 µSv/h) bei einem Schrotthandel	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
26.07.2019	Fund von zwei aktivierten Zyklotron-Bauteilen (Zn-65, ca. 3 MBq) bei einem Rohstoffhandel-Betrieb	Rücksendung aus Firmenniederlassung ohne Angabe der Radioaktivität (Verstoß gegen Transportvorschriften)	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
29.07.2019	Fund von natürlichen radioaktiven Stoffen (Th-232, Dosisleistung am Container 180 nSv/h) bei einer Müllverwertung	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
31.07.2019	Fund radioaktiver Stoffe bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
31.07.2019	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 1,8 MBq) in einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
02.08.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (Lu-177, Dosisleistung 6,5 µSv/h am Container) bei einer Müllverwertung	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
09.08.2019	Verdacht auf Undichtheit einer Strahlenquelle (Cs-137, 5 MBq) in einem Stahlwerk	Belegung des Strahlergehäuses mit flüssigen Stahlspritzern durch einen Unfall	keine (Feststellung von Kontaminationsfreiheit nach Durchführung von Wischtests, keine radiologischen Folgen für Personen zu erwarten)	sichere Einlagerung der Strahlenquelle im vorgesehenen Strahlenschutzschrank
14.08.2019	Fund von radioaktivem Uranylnitrat (Uranverbindung) in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
14.08.2019	Grenzwertüberschreitung von Teilkörperdosen bei einem Mitarbeiter in der Strahlenquellenproduktion (Kr-85) einer Firma	Ursache trotz intensiver Nachforschungen noch nicht erkannt	Personendosis 0,5 mSv, Augenlinsendosis 23 mSv und Handdosis 1340 mSv	weitere Untersuchungen
22.08.2019	zusätzliche Exposition einer schwangeren Mitarbeiterin (Tc-99m) in einem Therapiezentrum	Kontamination von Händen und Gegenständen nach Verzicht auf das Tragen von Handschuhen (Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften)	Hautdosis der Mitarbeiterin 1,1 mSv. Dosis für das ungeborene Kind 1,5 mSv (keine radiologischen Gefährdungen für das Kind erwartet)	Abmahnung und temporäre Versetzung der Mitarbeiterin, Belehrung der Mitarbeiter

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
27.08.2019	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Dosisleistung an der Oberfläche 0,14 µSv/h) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung durch die Landessammelstelle
29.08.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Abfälle im Hausmüll (I-131, 1,6 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
29.08.2019	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 0,3 MBq) auf einem Flohmarkt	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und Einlagerung in der Landessammelstelle
29.08.2019	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 100 kBq) in einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
30.08.2019	Fund radioaktiver Stoffe bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
02.09.2019	Fund von radioaktiv kontaminierten Hygieneartikeln (I-131) im Hausmüll	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
16.09.2019	Erwerb eines radioaktiven Schlüsselanhängers (H-3, 13 GBq) bei einer Online-Auktionsbörse	unwissentlicher Erwerb durch den Käufer, da Radioaktivität nicht vom Verkäufer ausgewiesen	keine	Übergabe der Strahlenquelle an die zuständige Behörde zur ordnungsgemäßen Entsorgung
17.09.2019	Fund von Teilen einer Gammakamera mit zwei Strahlenquellen (Ba-133, 130 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.09.2019	Fund von Skalenteilen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 270 kBq) in einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
19.09.2019	Fund einer Libelle mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 12 kBq) in einer Hochschule	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
24.09.2019	Fund eines Glasröhrchens mit einer Strahlenquelle (Ra-226, 1,5 MBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
26.09.2019	Fund eines natürlich radioaktiven Gesteinsbrockens und eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, Ortsdosisleistung ca. 26 µSv/h) aus einem Privathaushalt bei einem Wertstoffhof	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
Oktober 2019	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 600 kBq) in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
06.10.2019	Exposition zweier stark alkoholisierter Personen in einer Gepäckprüfanlage	Eindringen der Personen in einem unbeobachteten Moment	unbekannt	Umgestaltung des Arbeitsprozesses und zusätzliche bauliche Maßnahmen
11.10.2019	Fund einer Strahlenquelle (Ba-133, 50 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
14.10.2019	Kontamination (Mo-99m, ca. 230 kBq; Tc-99m, ca. 230 kBq) im Kontrollbereich einer nuklearmedizinischen Abteilung eines Klinikums	eingeschleppte Kontaminationen durch eine kontaminierte Transportbox	Überschreitung der Kontaminationsgrenzwerte gemäß StrlSchV sowie gemäß ADR	Dekontaminationsmaßnahmen, Rückverfolgung des Transports und Ursachenanalyse, Information aller Beteiligten
14.10.2019	Fund eines radioaktiven Stoffes (Ra-226, Dosisleistung 0,5 µSv/h) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und sachgemäße Entsorgung
21.10.2019	Fund eines Blitzableiters mit einer Strahlenquelle (Ra-226, Dosisleistung 2,1 mSv/h) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	gering	Separierung und sachgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
25.10.2019	Fund einer radioaktiven Strahlenquelle (Cs-137, 1,8 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
19.11.2019	Fund einer Chemikaliensammlung mit radioaktiven Stoffen (Ra-226) in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und Entsorgung über Landessammelstelle
29.11.2019	Exposition zweier Mitarbeiter während eines Justierungsvorgangs bei einer Untersuchung mittels Gammaradiographie (Ir-192)	unbemerktes fehlerhaftes Zurückfahren der Strahlenquelle sowie Tragen von ausgeschalteten elektronischen Dosimetern (menschliches Versagen)	Personendosis 30 mSv beim ersten und 100 mSv beim zweiten Mitarbeiter	Anordnung eines vorläufigen Beschäftigungsverbots für beide Mitarbeiter, ärztliche Untersuchungen
02.12.2019	Fund radioaktiver Stoffe im Schrott	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.12.2019	Fund radioaktiv kontaminierter Hygieneartikel (I-131) bei einer Restabfallbehandlungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
05.12.2019	Fund einer Schulstrahlenquelle (Ra-226, 50 kBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
19.12.2019	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallstücks (Ra-226, 1,35 MBq) bei einem Schrottverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
23.12.2019	Fund eines Teiles eines Radium-Emanators (Ra-226, 180 kBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle

VI. Tabellen zur nichtionisierenden Strahlung
(Tables on non-ionising radiation)

Tabelle T VI.1 SAR-Werte für Mobiltelefone
(SAR values for mobile phones)

Erhebung Februar 2019						
	SAR-Werte für den Anwendungsfall „Handy am Kopf“			**SAR-Werte für den Anwendungsfall „Handy körpernah betrieben“**		
betrachtete Modelle	**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)	569	0,13 bis 1,82	38 % der Modelle	383	0,45 bis 1,99	0,5 % der Modelle
(aktuell und nicht mehr in Produktion befindliche Auslaufmodelle)	1 514	0,05 bis 1,94	38 % der Modelle	449	0,01 bis 1,99	1,8 % der Modelle
klassische Mobiltelefone und Smartphones (nur aktuell erhältliche)	700	0,01 bis 1,82	40 % der Modelle	436	0,33 bis 1,99	0,9 % der Modelle
(aktuelle und nicht mehr in Produktion befindliche Auslaufmodelle)	3 111	0,01 bis 1,94	29 % der Modelle	515	0,01 bis 1,99	1,9 % der Modelle

* „strahlungsarm“ gemäß seit Juli 2017 geltendem 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 *Atmospheric Radionuclide Transport Model*
ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen *Positions prescribed for doctors and dentists*
AMG	Arzneimittelgesetz *Medical Preparations Act*
AtAV	Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung *Waste Shipment Regulation*
AtG	Atomgesetz *Atomic Energy Act*
AVR	Atomversuchsreaktor *Nuclear test reactor*
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift *General Administrative Provisions*
B	magnetische Flussdichte *Magnetic flux density*
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BASE	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung *Federal Office of Economics and Export Control*
BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben *Federal Agency for Digital Radio of Security Authorities and Organisations*
BEMFV	Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder *Regulation on verification procedure for limitation of electromagnetic fields*
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte *Federal Institute for Drugs and Medical Devices*
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde *Federal Institute of Hydrology*
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz *Federal Office for Radiation Protection*
BGBl	Bundesgesetzblatt *Federal Law Gazette*
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe *Federal Institute for Geosciences and Natural Resources*
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung *Federal Company for Radioactive Waste Disposal*
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung *Federal Immission Control Ordinance*
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung *Federal Ministry of Education and Research*
BMG	Bundesministerium für Gesundheit *Federal Ministry of Health*
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit *Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety*
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit *Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety*
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur *Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure*

Abkürzung *(Abbreviation)*	***Bedeutung*** *(Meaning)*
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie *Federal Ministry of Economic Affairs and Energy*
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben *Security authorities and organisations*
BNetzA	Bundesnetzagentur *Federal Network Agency*
Bq	Becquerel
Bq/m^3	Becquerel pro Kubikmeter *Becquerel per cubic meter*
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie *Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography*
/d×p	pro Tag und Person *per day and person*
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm *German Mobile Telecommunication Research Programme*
DNS	Desoxyribonukleinsäure (engl. DNA) *Deoxyribonucleic acid*
DRW	Diagnostische Referenzwerte *Diagnostic reference levels*
DWD	Deutscher Wetterdienst *German Meteorological Service*
DWR	Druckwasserreaktor *Pressurized Water Reactor*
E	elektrische Feldstärke *electric field strength*
EAS	elektronische Artikel-Sicherung *electronic article surveillance*
EMF	elektromagnetische Felder *electromagnetic fields*
EU	Europäische Union *European Union*
EEG	Elektroenzephalogramm *Electroencephalogram*
E_{ery}	Erythemwirksame (sonnenbrandwirksame) Bestrahlungsstärke *erythemal irradiance*
Euratom	Europäische Atomgemeinschaft *European Atomic Energy Community*
EUREF	Europäische Referenzorganisation für qualitätsgesichertes Brustscreening und Diagnoseleistungen *European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services*
FFS	Fischereiforschungsschiff *Fisheries Research Vessel*
FM	Feuchtmasse *Wet weight*
GGF	Gleichgewichtsfaktor *equilibrium factor*
GKV	gesetzliche Krankenversicherung *legal medical insurance*
GSM	Globales Mobilfunksystem *Global System for Mobile Communications*
FZ	Forschungszentrum *Research Centre*
$G\alpha$	Gesamt-Alpha-Aktivität *Total Alpha Activity*
$G\beta$	Gesamt-Beta-Aktivität

Abkürzung *(Abbreviation)*	***Bedeutung*** *(Meaning)*
	Total Beta Activity
H	magnetische Feldstärke *magnetic field strength*
hED	Halbstunden-Erythemgewichtete UV-Dosiswerte *Halfhour-erythema-weighted UV dose values*
HF	hochfrequente elektromagnetische Strahlung *high frequently electromagnetic radiation*
HTR	Hochtemperaturreaktor *High Temperature Reactor*
HWZ	Halbwertszeit *Halflife*
Hz	Hertz
IAEA	Internationale Atomenergie-Organisation *International Atomic Energy Agency IAEA*
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung *International Agency for Research on Cancer*
ICNIRP	Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung *International Commission on Non-Ionising Radiation Protection*
ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission *International Commission on Radiological Protection*
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem *Integrated Measuring and Information System*
IR	Infrarot-Strahlung Wellenlänge 780 nm - 1 mm *Infrared Radiation wave length 780 nm - 1 mm*
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr *Annual Intake of Activity*
FZ	Kernforschungsanlage *Nuclear Research Facility*
KBV	Kassenärztliche Bundesvereinigung *National Association of Statutory Health Insurance Physicians*
KFZ	Kernforschungszentrum *Nuclear Research Centre*
KKW	Kernkraftwerk *Nuclear Power Plant*
KNK	Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage *Compact Sodium cooled nuclear plant*
KTA	Kerntechnischer Ausschuss *Nuclear Safety Standards Commission*
KVB	Kassenärztliche Bundesvereinigung *German Association of Statutory Health Insurance Physicians*
LET	Linearer Energietransfer *Linear energy transfer*
LTE	*Long Term Evolution*
m^3	Kubikmeter *Cubic metre*
MED	minimale erythematogene Dosis für Hautrötung *minimal dose for erythema induction*
MRI	Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel *Federal Research Institute of Nutritron and Food*
MRT	Magnetresonanztomographie *Magnetic Resonance Tomography*
MSP	Mammographie-Screening-Programm *Mammography Screening Programme*
mSv	Millisievert
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor *Multipurpose research reactor*

Abkürzung ***(Abbreviation)***	***Bedeutung*** ***(Meaning)***
NF	niederfrequente elektrische und magnetische Strahlung *low freuquently elektromagnetic radiation*
NIR	nichtionisierende Strahlung *non-ionising radiation*
NGO	*non-governmental organisation*
NiSG	Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung *Act on Non-Ionising Radiation Protection*
NWG	Nachweisgrenze, siehe auch Grundlagenteil II- 2 Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren *Detection limit*
nSv	Nanosievert *Nanosievert*
ODL	Ortsdosisleistung *Ambient Dose Rate*
PAS	*Public Available Specification*
PET	Positronen-Emissions-Tomographie *Positron Emission Tomography*
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt *National Metrology Institute*
PTCA	Perkutane transluminale koronare Angioplastie *Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty*
PKV	Verband der Privaten Krankenversicherung *Private Health Insurances*
Rβ	Rest-Beta-Aktivität *Residual beta activity*
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen *Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities*
RMP	Routinemessprogramm *Routine Measuring Program*
RöV	Röntgenverordnung *X-ray Ordinance*
RTS	Runder Tisch Solarien *Roundtable solaria*
RFID	*Radio Frequency Identification*
S	Leistungsflussdichte *Power flux density*
SAR	Spezifische Absorptionsrate *Specific absorption rate*
SCO	*oberflächenkontaminierte Objekte* *surface contaminated objects*
SNR	Schneller natriumgekühlter Reaktor *Sodium-cooled reactor*
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie *Single Photon Emission Computed Tomography*
SSK	Strahlenschutzkommission *German Commission on Radiological Protection*
StrlSchG	*Strahlenschutzgesetz* *Radiation Protection Act*
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung *Radiation Protection Ordinance*
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz *Precautionary Radiation Protection Act*
SWR	Siedewasserreaktor *Boiling Water Reactor*
Sv	Sievert *Sievert*

Abkürzung ***(Abbreviation)***	***Bedeutung*** ***(Meaning)***
T	Tesla
TETRA-BOS	*Terrestrial Trunked Radio - Digitaler BOS-Funk*
TBL	Transportbehälterlager *Transport Container Repository*
TM	Trockenmasse *Dry weight*
UBA	Umweltbundesamt *Federal Environment Agency*
UMTS	*Universal Mobile Telecommunications System*
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung *United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*
UV	Ultraviolette Strahlung Wellenlänge 100 - 400 nm *Ultraviolet Radiation wavelength 100 - 400 nm*
UVSV	UV-Schutzverordnung *UV protective ordinance*
V	Volt
VO	Verordnung *Ordinance*
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz *Ordinance on the Guarantee of Nuclear Safety and Radiation Protection*
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut *Johann Heinrich von Thünen Institute*
W	Watt
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage *Reprocessing Plant*
WBA	Wasserbehandlungsanlage *Water Treatment Plant*
WHO	Weltgesundheitsorganisation *World Health Organization*
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart *Russian Type Light Water Pressurized Water Reactor*
Z_0	Feldwellenwiderstand des leeren Raums *Field characteristic impedance*
ZdB	Zentralstelle des Bundes *Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity*

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 µSv = 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 eine 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 Ladungsumverteilung stattfindet, so dass an seiner Oberfläche lokal Überschüsse an positiven und an 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 Tochernuklids, 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, aufgenommener 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

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/m**^{2} (Voltsekunde pro Quadratmeter); **T** (Tesla) 1 Vs/m^2 = 1 T gebräuchlich: 1 µT veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \bullet H = \mu_0 \bullet \mu_r \bullet H$ * für Luft und organische Materialien gilt: B (µT) = 1,256 • H (A/m) 1 G = 10^{-4} T = 100 µT
Hochfrequente elektromagnetische Felder			
elektrische Feldstärke	E	**V/m** (Volt pro Meter)	$E = Z_0 \bullet H$ dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit 376,7 Ω (Ohm) = 376,7 V/A
magnetische Feldstärke	H	**A/m** (Ampere pro Meter)	
Leistungsflussdichte	S	**W/m^2** (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \bullet H = Z_0 \bullet H^2 = E^2/Z_0$ (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

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	$\beta^-, \varepsilon, \beta^+, \gamma$
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	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
		Co-60	5,27 a	β^-, γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	244 d	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
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	ε,
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	$I\gamma, \beta^-$
		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	$\varepsilon, \beta^+, \beta^-, \gamma$
		Eu-154	8,8 a	$\beta^-, \varepsilon, \gamma$
64	Gadolinium	Gd-153	239 d	ε, γ
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^-, γ
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	$\beta^-, \varepsilon, \gamma$
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 µs	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	$7{,}04 \times 10^8$ a	α, γ
		U-238	$4{,}47 \times 10^9$ a	α
93	Neptunium	Np-239	2,36 d	β^-, γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α
		Pu-239 *)	$2{,}41 \times 10^4$ 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 Alphas-pektrometern 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)
(Overview of the federal administrative authorities for the monitoring of environmental and ambient radioactivity in accordance with StrlSchG and REI) *120*

Tabelle G 1.1-1 Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R nach StrlSchV, Anl. 18
(Radiation weighting factors according to Radiation Protection Ordinance) *127*

Tabelle G I 1.1-1 Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten
(Typical values for the specific activity of different soil consistencies) *135*

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) *135*

Tabelle G I 1.2-1 Natürliche radioaktive Stoffe in Wässern und Sedimenten
(Natural radioactive substances in bodies of water and sediments) *136*

Tabelle G I 1.2-2 Konzentrationen wichtiger natürlicher Radionuklide im Trinkwasser
(Concentrations of the main natural radionuclides in drinking water) *137*

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) *138*

Tabelle G I 1.4-1 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in Lebensmitteln (Median-Werte)
(Specific activity of natural radioactive substances in foodstuffs - median values) *139*

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)) *139*

Tabelle G I 1.4-3 Natürlich radioaktive Stoffe im Menschen (nach UNSCEAR [1,2])
(Natural radioactive substances in man - (UNSCEAR)[1,2]) *140*

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) *143*

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) *144*

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) *149*

Tabelle G II 1.1-1 Anzahl der Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2017
(Number of nuclear weapons tests in the years 1945 - 2017) *154*

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) *156*

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 *161*

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) . . *169*

Tabelle G VI 3.1 Grenzwerte für feststehende Niederfrequenz-und Gleichstromanlagen (26. BImSchV)
(Limit values for fixed low-frequency and DC installations - 26th BImSchV) 190

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) 193

Tabelle G VI 5.1-1 Teilbereiche des UV-Spektrums
(Sub-ranges of the UV radiation spectrum) 194

Tabelle G VI 5.1-2 Beschreibung der Hauttypen nach UV-Schutzverordnung (UVSV)
(Definition of skin type according to UVSV) 198

Tabelle G VI 5.1-3 Die Lichtempfindlichkeit steigernde Medikamente und chemische Stoffe
(Pharmaceuticals and chemical substances increasing sensitivity to light) 198

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) 204

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 2019 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2019 – Values measured by the Wismut GmbH) 206

Tabelle T I.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre 2018 und 2019 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2018 and 2019 - Values measured by the Wismut GmbH) 206

Tabelle T I.3 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2019 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2019 – Values measured by the Wismut GmbH) 207

Tabelle T I.4 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2018 und 2019 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2018 and 2019 - Values measured by the Wismut GmbH) 208

Tabelle T I.5 Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen
(Calculation of authorised limits for liquid discharges) 208

Tabelle T I.6 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2018/2019 und Sommer 2019; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - winter 2018/2019 and summer 2019 - Values measured by the Wismut GmbH) 209

Tabelle T I.7 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2019 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 - 2019 and range of variation of the mean values for the individual years - Values measured by the Wismut GmbH) 209

Tabelle T I.8 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbaugebiete 2018 und 2019 (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 2018 and 2019 -Values measured by the Wismut GmbH) 210

Tabelle T I.9 Ergebnisse der Radionuklidbestimmungen in Baustoffgruppen
(Results of radionuclide assessments by building material categories) 211

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) *212*

Tabelle T II.2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in Deutschland
(Research reactors - not including reactors with zero output - in Germany) *213*

Tabelle T II.3 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Deutschland
(Interim storage facilities of spent nuclear fuels in Germany) *214*

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) *215*

Tabelle T II.5 Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland
(Nuclear facilities in neighbouring countries located close to the German border) *215*

Tabelle T II.6 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2019
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2019) *216*

Tabelle T II.7 Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2019
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2019) *217*

Tabelle T II.8 Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2019 (I-131: Tabelle T II.6)
(Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2019 - I-131: Table T II.6) *218*

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 2009 bis 2019
(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 2009 to 2019) *221*

Tabelle T II.10 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren und Forschungsreaktoren von Universitäten im Jahr 2019
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2019) *221*

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) *222*

Tabelle T II.12 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse II und dem Endlager Morsleben
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine II and the radioactive waste repository Morsleben) *222*

Tabelle T II.13 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in Deutschland im Jahr 2019 **(Summenwerte, H-3 und Alphastrahler)**
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2019 - summation values, H-3 and alpha sources) *223*

Tabelle T II.14 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres) *224*

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) *224*

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) *224*

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) 225

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) 226

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) 227

Tabelle T II.20 Strahlenexposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser*
(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with waste water) 227

Tabelle T II.21 Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water) 227

Tabelle T II.22 Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Direktstrahlung*
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to direct radiation) 228

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) 228

Tabelle T II.24 Strahlenexposition durch Direktstrahlung* aus zentralen Zwischenlagern
(Radiation exposure due to direct radiation from interim storage facilities) 229

Tabelle T II.25 Einzelnuklid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft
(Activity concentrations of individual nuclides in ground-level air) 229

Tabelle T II.26 Deposition von Einzelnukliden mit dem Niederschlag
(Deposition of individual nuclides with precipitation) 231

Tabelle T II.27 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131) 233

Tabelle T II.28 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60) 234

Tabelle T II.29 Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors) 235

Tabelle T II.30 Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60
(Deposition of radioactivity related to Co-60) 236

Tabelle T II.31 Übersicht über die für 2019 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 2019, in accordance with the StrlSchG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times) 237

Tabelle T II.32 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrlSchG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrlSchG) 238

Tabelle T II.33 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrlSchG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrlSchG) *242*

Tabelle T II.34 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI
(Monitoring of water bodies in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI) 245

Tabelle T II.35 Radioaktive Kontamination von Weideböden
(Radioactive contamination of pasture soil) *253*

Tabelle T II.36 Radioaktive Kontamination von Ackerböden
(Radioactive contamination of arable soil) *254*

Tabelle T II.37 Radioaktive Kontamination von Waldböden
(Radioactive contamination of forest soil) *256*

Tabelle T II.38 Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs
(Radioactive contamination of pasture and meadow vegetation) *256*

Tabelle T II.39 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)
(Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production) *258*

Tabelle T II.40 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten
(Radioactive contamination of imported feedstuffs) *259*

Tabelle T II.41 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)
(Radioactive contamination of plants - indicators) *260*

Tabelle T II.42 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Specific activity of the soil in the vicinity of nuclear facilities) *260*

Tabelle T II.43 Spezifische Aktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Specific activity of vegetation in the vicinity of nuclear facilities) *263*

Tabelle T II.44 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in Deutschland
(General monitoring of groundwater and drinking water in Germany) *266*

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) *267*

Tabelle T II.46 Radioaktive Kontamination der Rohmilch
(Radioactive contamination of the raw milk) *268*

Tabelle T II.47 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2019
(Range of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2019) *269*

Tabelle T II.48 Radioaktive Kontamination der Milch in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactive contamination of milk in the vicinity of nuclear power plants) *269*

Tabelle T II.49 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen
(Specific Cs-137 activity in freshwater fish) *272*

Tabelle T II.50 Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen
(Cs-137 activity in trout and carp) *272*

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) 273

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) 273

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) 273

Tabelle T II.54 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren
(Specific Sr-90 activity in fish, crustaceans and molluscs) 274

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) 274

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) 275

Tabelle T II.57 Weizen, Inland
(Wheat, domestic production) 276

Tabelle T II.58 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import) 277

Tabelle T II.59 Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr
(Other cereals, domestic production and import) 277

Tabelle T II.60 Kalbfleisch, Inland
(Veal, domestic production) 278

Tabelle T II.61 Rindfleisch, Inland
(Beef, domestic production) 279

Tabelle T II.62 Schweinefleisch, Inland
(Pork, domestic production) 280

Tabelle T II.63 Sonstiges Fleisch, Inland und Einfuhr
(Other meat, domestic production and import) 281

Tabelle T II.64 Wild, Inland und Einfuhr
(Game, domestic production and import) 282

Tabelle T II.65 Kartoffeln, Inland
(Potatoes, domestic production) 282

Tabelle T II.66 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr
(Fresh vegetables, domestic production and import) 283

Tabelle T II.67 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(Mushrooms, domestic production and import) 283

Tabelle T II.68 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr
(Fruit and rhubarb, domestic production and import) 284

Tabelle T II.69 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
(Other foodstuffs, domestic production and import) 285

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) 285

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) 287

Tabelle T II.72 Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food) 288

Tabelle T II.73 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables) . . . 289

Tabelle T II.74 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Getreide
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals) . . 291

Tabelle T II.75 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit) 294

Tabelle T II.76 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln
(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: potatoes) 296

Tabelle T II.77 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in ausgewählten Arzneimittelpflanzen für das Jahr 2019
(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected medicine plants for the year 2019) 297

Tabelle T II.78 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Islandmoos für die Jahre 2000 bis 2019 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in iceland moss for the years 2000-2019 and indication of their country of origin) 298

Tabelle T II.79 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Bitterkleeblättern für die Jahre 2005 bis 2019 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in bogbean leaves for the years 2005 - 2019 and indication of their country of origin) 298

Tabelle T II.80 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Gänsefingerkraut für die Jahre 2000 bis 2019 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in silverweed herb for the years 2000 - 2019 and indication of their country of origin) 299

Tabelle T II.81 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Frischmasse - in ausgewählten Sonderproben für das Jahr 2019
(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected special samples for the year 2019) 299

Tabelle T II.82 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2019 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2019 - minimum, maximum, and mean values) 300

Tabelle T II.83 Überwachung von Abfällen
(Monitoring of wastes) 306

Tabelle T II.84 Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum München
(Annual and monthly mean values in the Munich area) 307

Tabelle T II.85 Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Berlin
(Annual and monthly mean values in the Berlin area) 308

Tabelle T II.86 Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Karlsruhe (bis 2018)
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area until 2018) 309

III. TABELLEN ZUR BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION
(TABLES ON OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE)

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) 311

Tabelle T IV.2 Verteilung der bedeutsamen Vorkommnisse, zu denen eine Abschlussmeldung vorliegt, auf die medizinischen Fachgebiete
(Distribution of significant incidents for which there is a final report by medical speciality) 311

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) 312

Tabelle T V.2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Export of radioactive materials from Germany - without radioactive waste) 312

Tabelle T V.3 Aktivität der 2019 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne HRQ)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2019 - without HRQ) 313

Tabelle T V.4 Aktivität der 2019 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen HRQ
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2019 HRQ) 315

Tabelle T V.5 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2019
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2019) 315

Tabelle T V.6 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne HRQ) im Jahr 2019
(Export of sealed and unsealed radionuclides (without HRQ) in the year 2019) 316

Tabelle T V.7 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen HRQ im Jahr 2019
(Export of sealed radiation sources HRQ in the year 2019) 318

Tabelle T V.8 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2019
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2019) 319

Tabelle T V.9 Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2019
(Overview of the number of licenses and notifications in the year 2019) 319

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) 320

Tabelle T V.11 Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen / Transporte mit radioaktiven Stoffen
(Number of yearly transported truck loads / transports containing radioactive materials) . . 321

Tabelle T V.12 Anzahl der Beförderungen radioaktiver Stoffe (Bahn) in Abhängigkeit von der rechtlichen Grundlage
(Number of transports of radioaktive materials (railway) in respect of their legal basis) 321

Tabelle T V.13 Wagenladungssendungen
(Truck-loads) 322

Tabelle T V.14 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported) 322

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) 323

Tabelle T V.16 Festgestellte Verstöße gegen Gefahrgutvorschriften
(Detected contempts against dangerous goods regulations) 323

Tabelle T V.17 Übersicht über die Zahl der Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG zum Umgang mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2019)
(Survey of the number of licencees according to § 12 paragraph 1, point 1 StrlSchG relating to the handling of radioactive substances - as at December 31, 2019) 323

Tabelle T V.18 Zahl der Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2019)
(Survey of the number of licencees according to § 12 paragraph 1, point 3 StrlSchG relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2019) 324

Tabelle T V.19 Übersicht über die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 und § 10 StrlSchG (Stand: 31.12.2019)
(Survey of the number of licencees according to § 12 paragraph 1, point 1 StrlSchG - as at December 31, 2019) 325

Tabelle T V.20 Übersicht über gültige Genehmigungen
(Survey of current licences) 326

Tabelle T V.21 Übersicht über die Zahl der im Jahr 2019 erstatten Anzeigen
(Survey of the number of notifications in the year 2019) 327

Tabelle T V.22 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 89 StrlSchV im Jahr 2019
(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2019) 328

Tabelle T V.23 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin im Jahr 2019
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine in 2019) 329

Tabelle T V.24 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Zahnmedizin und Tiermedizin im Jahr 2019
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in dentistry and veterinary medicine in 2019) 330

Tabelle T V.25 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik/Nichtmedizin im Jahr 2019
(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological/non-medical areas in 2019) 331

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) 332

Tabelle T V.27 Übersicht über die Mengen (Massen und Volumina) vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2019
(Survey of quantities (masses and volumes) of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2019) 332

Tabelle T V.28 Übersicht über den Bestand radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2019
(Survey on the stock of radioactive wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2019) 332

Tabelle T V.29 Übersicht über den Bestand an Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen - ohne bestrahlte BE - nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2019
(Survey on the stock of radioactive heat generating wastes - without irradiated BE - according to groups of waste producers on 31 December 2019 333

Tabelle T V.30 Bedeutsame Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (z. B. Beschleuniger), bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen
(Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of facilities for the generation of ionising radiation (i. e. accelerators) and X-ray devices and during transport of radioactive material) 334

VI. TABELLEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG
(TABLES ON NON-IONISING RADIATION)

Tabelle T VI.1 SAR-Werte für Mobiltelefone
(SAR values for mobile phones) 345

VII. ABKÜRZUNGEN UND GLOSSAR
(LIST OF ABBREVIATIONS AND GLOSSARY)

Tabelle T VII.1 Abkürzungen
(Abbreviations) 346

Tabelle T VII.2 Glossar
(Glossary, German only) 351

VIII. PHYSIKALISCHE EINHEITEN
(PHYSICAL UNITS)

Tabelle T VIII.1 Physikalische Einheiten - Basiseinheiten
(Physical units - basic units) *356*

Tabelle T VIII.2 Physikalische Einheiten - SI-Einheiten in der Radiologie
(Physical units - SI units applied in radiology) *357*

Tabelle T VIII.3 Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten
(Prefixes) *357*

Tabelle T VIII.4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung
(Physical quantities in non-ionising radiation) *358*

Tabelle T VIII.5 Liste ausgewählter Radionuklide
(List of selected radionuclides) *359*