

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2016

Impressum

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)
Referat RS II 2
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Redaktion: Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Claudia Hachenberger
Angela Trugenberger-Schnabel
Dr. Angelika Löbbke-Reinl
Dr. Josef Peter

Redaktioneller Stand: 2017 - 2018

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,
- Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse.

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

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

INHALTSVERZEICHNIS

BERICHT 2016 - AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG (CURRENT DATA AND THEIR EVALUATION)

ZUSAMMENFASSUNG	12
SUMMARY	16
RÉSUMÉ	20
I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)	
1. Natürliche Umweltradioaktivität	25
(Natural environmental radioactivity)	
2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität	25
(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)	
2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie	25
(Relics and residues of mining and industry)	
2.2 Radon in Gebäuden	28
(Radon in buildings)	
2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten	30
(Radioactive substances in building material and industrial products)	
II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)	
1. Quellen künstlicher Radioaktivität	32
(Sources of artificial radioactivity)	
1.1 Kernwaffenversuche	32
(Nuclear weapons tests)	
1.2 Zivile Freisetzungen	32
(Civil disposals)	
1.3 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall	34
(Chernobyl - radiation exposure from the accident)	
1.4 Anlagen nach Atomgesetz	36
(Facilities according to the Atomic Energy Act)	
1.5 Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen nach Atomgesetz	38
(Discharge of radioactive substances from facilities according to the Atomic Energy Act)	
1.6 Strahlenexposition durch Anlagen nach Atomgesetz	42
(Radiation exposure from facilities according to the Atomic Energy Act)	
2. Allgemeine Umweltüberwachung (Immissionen)	47
(Environmental radioactivity monitoring immission)	
2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse	47
(Air and precipitation, ambient gamma dose rate / trace analysis)	
2.2 Nord- und Ostsee	61
(North Sea and Baltic Sea)	
2.3 Binnengewässer	67
(Inland water)	
2.4 Böden	73
(Soil)	
2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser	74
(Foodstuff, groundwater and drinking water)	
2.6 Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe	83
(Consumer goods, pharmaceutical products and their raw materials)	
2.7 Abwasser und Klärschlamm	84
(Waste water and sewage sludge)	

2.8	Abfälle 86 (<i>Waste</i>)	86
2.9	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 88 (<i>Monitoring of incorporation among the population</i>)	88
III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN (<i>OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES</i>)		
1.	Personendosisüberwachung 93 (<i>Monitoring of personal dose</i>)	93
1.1	Dosimeterüberwachte Personen 93 (<i>Monitoring with personal dosimeters</i>)	93
1.2	Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen 95 (<i>Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities</i>)	95
2.	Überwachung des fliegenden Personals 97 (<i>Aircraft crew monitoring</i>)	97
3.	Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition 97 (<i>Monitoring of radon enhanced workplaces</i>)	97
4.	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen 98 (<i>Incorporation monitoring of occupationally exposed persons</i>)	98
IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN (<i>RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS</i>)		
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen 101 (<i>Diagnostic applications of radiation</i>)	101
1.1	Röntgendiagnostik 101 (<i>X-ray diagnostics</i>)	101
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik 104 (<i>Nuclear medicine diagnostics</i>)	104
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen 105 (<i>Evaluation of radiation exposures resulting from diagnostic procedures</i>)	105
1.4	Magnetresonanztomographie als alternatives Untersuchungsverfahren 107 (<i>Magnetic Resonance Imaging as an alternative examination procedure</i>)	107
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen 108 (<i>Therapeutic applications of radiation</i>)	108
2.1	Therapie mit ionisierender Strahlung 108 (<i>Radiation therapy</i>)	108
2.2	Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen 108 (<i>Therapy with unsealed radioactive sources</i>)	108
3.	Medizinische Forschung 108 (<i>Medical research</i>)	108
4.	Herzschrittmacher 108 (<i>Pacemakers</i>)	108
V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG (<i>THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION</i>)		
1.	Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe 110 (<i>Border-crossing transport of radioactive material</i>)	110
1.1	Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe 110 (<i>Overview of statistics on the import and export of radioactive material</i>)	110
1.2	Einfuhrstatistik 110 (<i>Import statistics</i>)	110
1.3	Ausfuhrstatistik 111 (<i>Export statistics</i>)	111
1.4	Genehmigungen und Anzeigen 111 (<i>Licenses and notifications</i>)	111

2.	Beförderung radioaktiver Stoffe	112
	<i>(Transport of radioactive material)</i>	
2.1	Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe	112
	<i>(Overview of shipment approvals and transport of radioactive material)</i>	
2.2	Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen	113
	<i>(Transport of radioactive material by the rail and shipping traffic)</i>	
3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler	114
	<i>(Handling of radioactive materials, operation of devices for the production of ionising radiation, X-ray devices and interfering radiation sources)</i>	
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe	114
	<i>(User of radioactive sources)</i>	
3.2	Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen	114
	<i>(industrial products and radioactive sources)</i>	
3.3	Hochradioaktive Quellen (HRQ)	115
	<i>(High-activity sealed sources (HASS))</i>	
3.4	Störstrahler	115
	<i>(Source of stray radiation)</i>	
3.5	Konsumgüter und sonstige Anwendungen	115
	<i>(Consumer goods and other applications)</i>	
3.6	Bestand radioaktiver Abfälle	115
	<i>(Stock of radioactive waste)</i>	
4.	Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse	116
	<i>(Radiation accidents and unusual incidents)</i>	
VI	NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG	
	<i>(NON-IONISING RADIATION)</i>	
1.	Elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen	118
	<i>(Electromagnetic fields - research activities and current topics)</i>	
1.1	Elektromagnetische Felder allgemein	118
	<i>(Electromagnetic fields in general)</i>	
1.2	Statische elektrische und magnetische Felder	118
	<i>(Static electric and magnetic fields)</i>	
1.3	Niederfrequente elektrische und magnetische Felder	119
	<i>(Low-frequency electric and magnetic fields)</i>	
1.4	Hochfrequente elektromagnetische Felder	122
	<i>(High-frequency electromagnetic fields)</i>	
2.	Optische Strahlung	126
	<i>(Optical radiation)</i>	
2.1	Solares UV-Monitoring	126
	<i>(Solar UV-Monitoring)</i>	
2.2	Forschung	128
	<i>(Research)</i>	
2.3	Rechtliche Regelung von Solarienbetrieben	128
	<i>(Legal restrictions of sunbeds)</i>	
2.4	Hautkrebspräventionsmaßnahmen	129
	<i>(Skin cancer prevention measure)</i>	

GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANGABEN ***(BASICS AND GENERAL INFORMATION)***

GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND ERLÄUTERUNGEN ***(LEGAL BASIS AND EXPLANATIONS)*** ***(Historical and legal basis of surveillance)***

1.	Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen	134
	<i>(Explanation of terms)</i>	

1.1	Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung 134 <i>Measures for environmental radioactivity and radiation exposure</i>	134
1.2	Strahlendosis und ihre Einheiten 134 <i>(Radiation dose and related units)</i>	134
1.3	Die Messung der Strahlendosen 137 <i>(Measurement of radiation dose)</i>	137
1.4	Äußere und innere Bestrahlung 137 <i>(External and internal radiation exposure)</i>	137
1.5	Stochastische und deterministische Strahlenwirkung 138 <i>(Stochastic and deterministic radiation effects)</i>	138
1.6	Genetische Strahlenwirkungen 139 <i>(Genetic radiation effects)</i>	139
1.7	Induktion bösartiger Neubildungen 139 <i>(Induction of malignant neoplasms)</i>	139
1.8	Risikoabschätzung 140 <i>(Risk assessment)</i>	140
1.9	Strahlenschutzmaßnahmen - Die Strahlenschutzverordnung 141 <i>(Radiation protection measures - the Radiation Protection Ordinance)</i>	141
1.10	Strahlenschutzmaßnahmen - Die Euratom-Grundnormen 142 <i>(Radiation protection measures - Euratom Basic Safety Standards)</i>	142
2.	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Stand 31.12.2016 143 <i>(Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory text and other regulations concerning radiation protection - as at December 31, 2016)</i>	143
I	GRUNDLAGEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT <i>(BASIC INFORMATION ON NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)</i>	
1.	Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt 149 <i>(Natural radioactive substances in the environment)</i>	149
1.1	Natürlich radioaktive Stoffe im Boden 150 <i>(Natural radioactive substances in soil)</i>	150
1.2	Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser 150 <i>(Natural radioactive substances in water)</i>	150
1.3	Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre 153 <i>(Natural radioactive substances in the atmosphere close to ground level)</i>	153
1.4	Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung 154 <i>(Natural radioactive substances in foodstuff)</i>	154
1.5	Natürliche Strahlenexposition 155 <i>(Natural radiation exposure)</i>	155
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität 157 <i>(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)</i>	157
2.1	Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie 157 <i>(Relics and residues of mining and industry)</i>	157
2.2	Radon in Gebäuden 160 <i>(Radon in buildings)</i>	160
2.3	Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten 162 <i>(Radioactive substances in building materials and industrial products)</i>	162
II	GRUNDLAGEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT <i>(BASIC INFORMATION ON ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)</i>	
1.	Quellen künstlicher Radioaktivität 167 <i>(Sources of artificial radioactivity)</i>	167
1.1	Kernwaffenversuche 167 <i>(Nuclear weapons tests)</i>	167
1.2	Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall 169 <i>(Chernobyl - radiation exposure from the accident)</i>	169

1.3	Fukushima	170
1.4	Anlagen nach Atomgesetz - Allgemeine Angaben	175
	<i>(Facilities according to the Atomic Energy Act - general data)</i>	
2.	Aktivitätsmessungen und Messnetze	176
	<i>(Activity measurements and monitoring networks)</i>	
2.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung	179
	<i>(Air and precipitation, ambient gamma dose rate)</i>	
2.2	Nord- und Ostsee	180
	<i>(North Sea and Baltic Sea)</i>	
2.3	Binnengewässer	181
	<i>(inland water)</i>	
2.4	Böden	182
	<i>(Soils)</i>	
2.5	Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser	183
	<i>(Foodstuff, groundwater, and drinking water)</i>	
2.6	Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe	184
	<i>(Commodities, medicinal products and their raw materials)</i>	
2.7	Abwasser und Klärschlamm	185
	<i>(Waste water and sewage sludge)</i>	
2.8	Abfälle	185
	<i>(Waste)</i>	
2.9	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung	186
	<i>(Monitoring of incorporation among the population)</i>	
III	GRUNDLAGEN ZUR BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION	
	<i>(BASIC INFORMATION ON OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE)</i>	
1.	Personendosisüberwachung mit Dosimetern	188
	<i>(Monitoring with personal dosimeters)</i>	
2.	Überwachung des fliegenden Personals	188
	<i>(Aircraft crew monitoring)</i>	
3.	Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition	188
	<i>(Monitoring of radon enhanced workplaces)</i>	
4.	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen	188
	<i>(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)</i>	
IV	GRUNDLAGEN ZUR STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN	
	<i>(BASIC INFORMATION ON RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)</i>	
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen	190
	<i>(Diagnostic applications of radiation)</i>	
1.1	Röntgendiagnostik	190
	<i>(X-ray diagnostics)</i>	
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik	191
	<i>(Nuclear medicine, diagnostics)</i>	
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen	192
	<i>(Evaluation of exposures resulting from radio-diagnostic procedures)</i>	
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren	192
	<i>(Alternative examination procedures)</i>	
1.5	Qualitätssicherung	192
	<i>(Quality assurance)</i>	
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen	193
	<i>(Therapeutic applications of radiation)</i>	
2.1	Strahlentherapie	193
	<i>(Radiotherapy)</i>	

2.2	Nuklearmedizinische Therapie <i>(Therapy with radiopharmaceuticals)</i>	194
3.	Medizinische Forschung <i>(Medical research)</i>	194
4.	Herzschrittmacher <i>(Pacemakers)</i>	194
V	GRUNDLAGEN ZUM UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG <i>(BASIC INFORMATION ON THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)</i>	
1.	Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe <i>(Border-crossing transport of radioactive material)</i>	196
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe <i>(Transport of radioactive material)</i>	199
3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler <i>(Handling of radioactive material, operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)</i>	199
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe <i>(User of radioactive sources)</i>	199
3.2	Radioaktive Stoffe in Konsumgütern und Industrieerzeugnissen <i>(Radioactive substances in consumer goods and industrial products)</i>	200
3.3	Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ) <i>(High-activity sealed sources (HASS))</i>	201
3.4	Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler <i>(Operation of devices for the production of ionising radiation, X-ray devices and parasitic X-ray emitters)</i>	201
3.5	Bestand radioaktiver Abfälle <i>(Stock of radioactive waste)</i>	201
3.6	Freigabe schwach radioaktiver Stoffe <i>(Clearance of low level radioactive materials)</i>	202
4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse <i>(Exceptional events subject to reporting)</i>	203
VI	GRUNDLAGEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG <i>(BASIC INFORMATION ON NON-IONISING RADIATION)</i>	
1.	Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung <i>(Physical characteristics and effects of non-ionising radiation)</i>	205
2.	Statische Felder <i>(Static fields)</i>	206
3.	Niederfrequente Felder <i>(Low-frequency fields)</i>	206
4.	Hochfrequente Felder <i>(High-frequency fields)</i>	208
5.	Optische Strahlung <i>(Optical radiation)</i>	210
5.1	UV-Strahlung <i>(UV-radiation)</i>	211
5.2	Sichtbares Licht <i>(Visible light)</i>	216
5.3	Infrarotstrahlung <i>(Infrared Radiation)</i>	218
6.	Grenzwerte <i>(Limit values)</i>	219

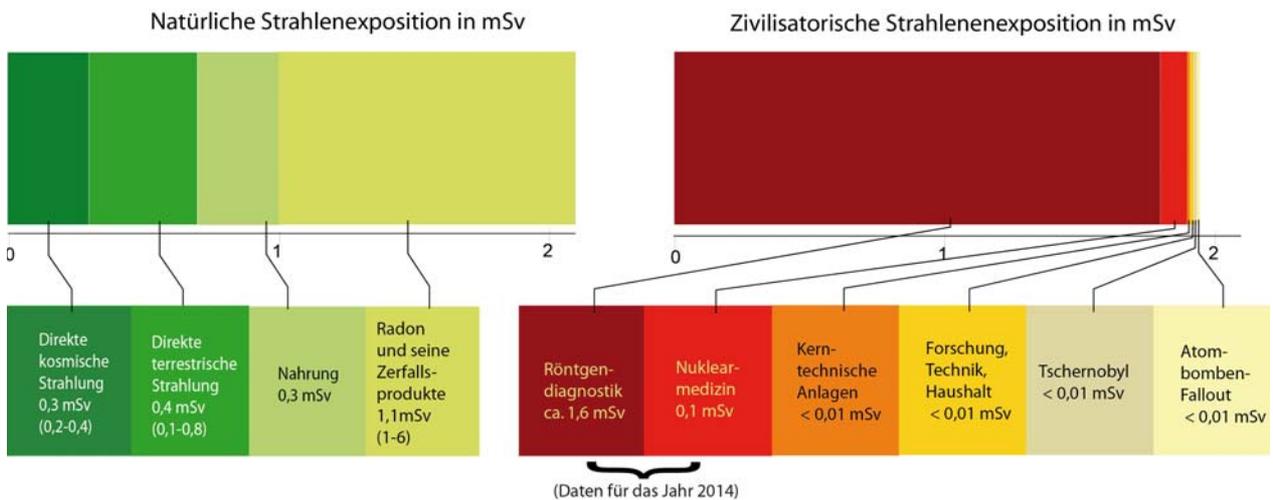
TABELLEN (TABLES)

I.	Tabellen zur natürlichen Umweltradioaktivität (Tables on natural environmental radioactivity)	222
II.	Tabellen zur künstlichen Umweltradioaktivität (Tables on artificial radioactivity in the environment)	228
III.	Tabellen zur beruflichen Strahlenexposition (Tables on occupational radiation exposure)	321
IV.	Tabellen zur medizinischen Strahlenexposition (Tables on radiation exposure from medical applications)	321
V.	Tabellen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung (Tables on the handling of radioactive materials and sources of ionising radiation)	323
VI.	Tabellen zur nichtionisierenden Strahlung (Tables on non-ionising radiation)	353
VII.	Abkürzungen und Glossar (List of abbreviations and glossary)	353
VIII.	Physikalische Einheiten (Physical units)	363
	Tabellenverzeichnis	369

BERICHT 2016 - AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG

(Überarbeitungsstand 2017)

(CURRENT DATA AND THEIR EVALUATION)



Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung in mSv im Jahr 2016, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands (Wertebereich in Klammern)

Effective annual dose to an individual due to ionising radiation in 2016 (in mSv), averaged over the German population (range in brackets)

Dose efficace annuelle reçue par une personne résultant des rayonnements ionisants (en mSv), indiquée en moyenne pour la population allemande en 2016 (plage de valeurs entre parenthèses)

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 2016 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 2016, 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 2014

Im Folgenden werden Aussagen gemacht über die Strahlenexposition durch

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

Natürliche Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus einer externen und einer internen Komponente, verursacht durch natürliche radioaktive Stoffe in der Umwelt sowie der Höhenstrahlung, zusammen. Zur externen Strahlenexposition tragen im Wesentlichen die Höhenstrahlung und die Strahlung des natürlichen Radionuklids K-40 sowie der Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen des U-238 und des Th-232 aus dem Boden und den Gebäuden bei. Die interne Komponente der Strahlenexposition wird zum Großteil durch die Inhalation der Zerfallsprodukte des natürlichen Edelgases Radon (Radonfolgeprodukte) verursacht, zum Teil auch durch die Aufnahme natürlicher radioaktiver Stoffe mit der Nahrung einschließlich des Trinkwassers. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 1 bis 6 mSv. Unter Verwendung der in den derzeit anzuwendenden Euratom-Grundnormen¹ festgelegten Dosisfaktoren ergibt sich ein mittlerer nomineller Wert von 2,1 mSv pro Jahr, wofür insbesondere die Inhalation von Radon in Gebäuden maßgeblich ist. Die Unterschiede der Exposition durch natürliche Strahlenquellen im jährlichen Vergleich sind gering. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie

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

Radon in Gebäuden

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

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 europaweit anerkannte Maßstab (Euratom-Grundnormen) 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. Im Oktober 2006, im Mai 2009 und im Februar 2013 wurden unterirdische Kernwaffentests in Nordkorea durchgeführt. Im Berichtsjahr hat Nordkorea zwei weitere Kernwaffen zur Explosion gebracht und zwar am 6. Januar und am 9. September. Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist seit dem Kernwaffenteststopp-Abkommen von 1964 stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

¹ Richtlinie 1996/29/Euratom

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/m².

Im Jahr 2016 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 2016 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 2016 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10 % 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 acht in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken verringerte sich im Jahr 2016 auf 84,6 Terawattstunden (TWh). Das KKW Grafenrheinfeld hat bereits 2015 seinen Betrieb beendet.

Berufliche Strahlenexposition

Personen, die in Bereichen mit erhöhter Strahlung arbeiten, unterliegen der Strahlenschutzüberwachung. Dies betraf in Deutschland im Jahr 2016 ca. 410 000 Personen. Der Großteil der beruflich strahlenexponierten Personen wurde mit Dosimetern überwacht. Die mittlere effektive Dosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 367 000) lag 2016 bei 0,06 mSv. Bei 87 % dieser überwachten Personen betrug während des ganzen Überwachungszeitraums die Personendosis 0 mSv. Bei den Überwachten mit einer messbaren Dosis (ca. 48 000 Personen) betrug die mittlere Jahrespersonendosis 0,47 mSv (Vorjahr: 0,46 mSv). Im Jahr 2016 wurde bei zwei Personen eine Überschreitung des Grenzwertes der Jahrespersonendosis von 20 mSv (§55 StrlSchV, §31a Röntgenverordnung) 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. 43 000 Personen im Jahr 2016 betroffen (Vorjahr: ca. 41 000). Die mittlere Jahresdosis dieser Beschäftigten betrug 2,0 mSv (Vorjahr: 1,9 mSv).

Medizinische Anwendung

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung wird durch die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Daher erhebt das BfS seit 1991 Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Im vorliegenden Bericht werden Daten der Jahre 2007 bis 2014 präsentiert.

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2014 auf ca. 1,6 mSv. Über den Beobachtungszeitraum 2007 bis 2014 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 bedingt. Demgegenüber nahm die effektive Dosis pro Einwohner für die Summe der restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 2007 bis 2012 geringfügig ab. Die CT und die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich 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 2012 jedoch ca. 80 %.

Für die nuklearmedizinische Diagnostik wurde eine über den Zeitraum 2010 bis 2014 gemittelte effektive Dosis von etwa 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr abgeschätzt. In der nuklearmedizinischen Diagnostik sind die Schilddrüsen- und die Skelettszintigraphie die häufigsten Untersuchungen. Auch die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) als nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren gewinnt auf Grund der hohen diagnostischen Aussagekraft des Verfahrens immer mehr an Bedeutung.

Zwischen 2004 und 2009 wurde das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm für alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren bundesweit eingeführt. Das Mammographie-Screening-Programm wird nun flächendeckend angeboten. Anspruchsberechtigt sind ca. 10,5 Mio Frauen. Die Teilnehmerate lag 2015 bei 52%.

Radioaktive Abfälle

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern am 31. Dezember 2016, mit dem Endlagerziel Konrad oder einem anderen, 20 999 t Rohabfälle und vorbehandelte Abfälle. Der Bestand an Abfallprodukten in Innenbehältern belief sich auf ca. 17 106 m³, von denen 2 439 m³ schon produktkontrolliert sind. Dies beinhaltet zum derzeitigen Zeitpunkt mindestens den radiologischen Teil der Produktkontrolle. Der größte Bestand entfällt auf die Abfallprodukte in Konradbehältern mit ca. 103 216 m³, hiervon ist bei etwa 2 936 m³ die Produktkontrolle abgeschlossen, so dass sie zur Einlagerung in das zukünftige Endlager Konrad abgerufen werden könnten. Lediglich 145 m³ und 4 553 t an radioaktiven Abfällen sind derzeit nicht für das Endlager Konrad vorgesehen.

Bis zum 31.12.2016 sind in Deutschland insgesamt ca. 15 158 Tonnen SM (Schwermetall = Uran + Plutonium) in Form bestrahlter Brennelemente angefallen. Davon wurden ca. 6670 t SM zur Wiederaufarbeitung im Ausland oder in andere Anlagen abgegeben.

Zusätzlich sind bis zum 31.12.2016 in Deutschland ca. 190 t SM in Form von bestrahlten Brennelementen aus Versuchs- und Demonstrationsreaktoren angefallen, von denen rund 180 t SM wiederaufgearbeitet wurden.

Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

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

Ein Großteil der für das Jahr 2016 gemeldeten Vorkommnisse sind Funde von radioaktivem Material, die meist durch eine nicht ordnungsgemäße Entsorgung des radioaktiven Stoffes verursacht wurden. Dabei kam es in keinem Fall zu einer hohen radiologischen Gefährdung.

Ein Teil der gemeldeten Vorkommnisse trat im medizinischen Anwendungsbereich auf. Im Jahr 2016 wurden zwölf Vorkommnisse mit unbeabsichtigten Expositionen in der Medizin durch menschliche Fehler (z. B. falsche Einstellungen, Patientenverwechslungen, Übertragungsfehler) bekannt.

Nichtionisierende Strahlung

Mit zunehmender Technisierung der Umwelt steigt auch die Zahl künstlicher Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung beitragen. Dies stellte auch 2016 eine Herausforderung für den Strahlenschutz dar. Um die Risikobewertung bezüglich gesundheitlicher Wirkungen nichtionisierender Strahlung auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurden im Rahmen des Ressortforschungsplans des Bundesumweltministeriums (BMUB) vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in den Bereichen „Niederfrequente und hochfrequente elektromagnetische Felder“ sowie „Optische Strahlung“ auch 2016 Forschungsvorhaben initiiert und koordiniert. Die Ergebnisse der 2016 abgeschlossenen Studien sind im Programmreport 2016 (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>) veröffentlicht.

Im Bereich „**Elektromagnetische Felder**“ liegt der Schwerpunkt der Forschungs- und Kommunikationsaktivitäten von BMUB 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. Der Zusammenhang zwischen einem erhöhten Risiko für Leukämie im Kindesalter und einer erhöhten häuslichen Magnetfeldexposition ist weiterhin nicht geklärt und bedarf weiterer Forschung. Um bestehende wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern und offene Fragen beantworten zu können, wird das BfS ein begleitendes Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ durchführen. In insgesamt acht Themenfeldern sollen 36 einzelne Forschungsvorhaben durchgeführt werden.

Im Bereich „**Optische Strahlung**“ sind vor allem die Verwendung optischer Strahlung zu kosmetischen Zwecken und im Wellnessbereich sowie die deutliche Zunahme von Hautkrebskrankungen Grund für weitere Forschung und für weitere Optimierung der Risikokommunikation und Informationsmaßnahmen. Ein Forschungsvorhaben zur systematischen Erfassung der optischen Strahlenquellen in Kosmetik und Wellness wurde 2016 abgeschlossen.

2016 wurde die 2010 begonnene UV-Informationenkampagne „Sonne - Aber sicher“ weitergeführt und mit Lehrerfortbildungen ergänzt. Das 2011 gegründete UV-Schutz-Bündnis - eine Kooperation von medizinischen, wissenschaftlichen Institutionen und Organisationen sowie Bundesbehörden - fokussiert sich seit 2014 auf die Förderung verhältnispräventiver Hautkrebspräventionsmaßnahmen in Ergänzung zu verhaltenspräventiven Maßnahmen.

Die kontinuierliche Messungen der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke im Rahmen des solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA ergaben, dass der UV-Index im Norden, in der Mitte und im Süden Deutschlands im Juni 2016 sehr hoch war. Grund war der Durchzug einer um 20-25% reduzierten stratosphärischen Ozonschicht über Deutschland.

In Bezug auf die Reduzierung des Hautkrebsrisikos bei der Nutzung von Solarien unterstützten das BfS und das BMUB auch 2016 die Landesbehörden bei ihrer Kontrollaufgabe mittels Infoveranstaltungen und telefonischer Beratung.

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 2016, broken down into the various sources of radiation. The mean effective dose is about 3,8 millisieverts (mSv) 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 2016, 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 2014

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 and terrestrial radiation from the natural radionuclide K-40 together with the radionuclides of the natural decay chains of U-238 and Th-232. The internal component of radiation exposure is largely caused by inhalation of the daughter nuclides of the natural noble gas radon (radon decay products), and partially also by the intake of natural radioactive substances with drinking water and food. Typically, natural radiation sources contribute to the effective dose to the level of 1 to 6 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. Measurements performed during recent years revealed considerable regional variations in natural radiation exposure, because the concentrations of natural radioactive substances in soil and air differ largely. The construction of houses on land containing increased amounts of uranium and radium, and to a lesser extent, the use of building materials containing increased amounts of radioactive substances are assumed to be responsible for the increase in population exposure due to the inhalation of radon and its decay products. During the last few years, national and international epidemiological studies were performed in order to obtain estimates of the health risk associated with increased exposures of the general public to radon decay products. The studies revealed a significant increase in lung cancer risk by about 10 % per 100 Bq/m^3 .

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 Europe-wide criterion (Euratom basic standards) accepted 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. Underground nuclear weapons tests were conducted in North Korea in October 2006, May 2009 and February 2013. During the year under report, North Korea detonated two further nuclear weapons on January 6 and September 9. The general level of environmental radioactivity due to former tests in the atmosphere has steadily decreased since the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty from 1964. At present its contribution to the total of human radiation exposure is less than 0.01 mSv per year.

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 2016; 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 2016. 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 2016 from the annual emissions of radioactive substances in accordance with the "General Administrative Guideline relating to § 47 of the Radiation Protection Ordinance" did not exceed the dose limits indicated in the Radiation Protection Ordinance. They are within the range of the corresponding values of the preceding year, accounting for less than ten per cent of the respective dose limit. The upper values of radiation exposure due to emissions of radioactive are clearly below the range of variation of natural radiation exposure in the Federal Republic of Germany. The total generation of electricity from the eight nuclear power plants currently in operation decreased to 84,6 terawatt hours (TWh) in 2016.

Occupational radiation exposure

Persons who might incur enhanced radiation doses at work are subject to radiation protection monitoring in Germany (approx. 410 000 individuals in 2016). Most of these persons occupationally exposed to radiation were monitored using personal dosimeters. The average annual individual dose (measured in approx. 367 000 individuals) amounted to 0.06 mSv in 2016. In 87 % of all persons involved the personal dose was 0 mSv over the entire monitoring period. An average annual personal dose of 0.47 mSv (preceding year: 0.46 mSv) was determined for all other cases with a measurable dose (approx. 48 000). In 2016, two individuals were registered whose personal doses exceeded the limit value of 20 mSv per year (§55 Radiation Protection Ordinance, §31a X-ray Ordinance).

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 2016, this applied to approx. 43 000 individuals (preceding year: 41 000 individuals). The average annual dose of these employees amounted to 2.0 mSv (preceding year: 1.9 mSv).

Medical application

The major part of man-made radiation exposure is caused by medical applications of radioactive substances and ionising radiation, in particular in X-ray diagnostics. Since 1991, BfS therefore has collected and analysed data on medical radiation exposure in Germany. The present report exhibits values from 2007 to 2014.

In 2014, medical applications contributed about 1.6 mSv per inhabitant to the mean effective dose in Germany. The observation period from 2007 to 2014 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 slight decrease from 2007 to 2012. While CT and angiography procedures (that are dose-intensive as well), including interventions, accounted for only 10 % of the overall frequency of 1.7 X-ray examinations per inhabitant per year, these procedures made up for 80 % of the collective effective dose in 2012.

For nuclear medical diagnostics, the average effective dose is estimated at 0.1 mSv per inhabitant and year in the period 2010 to 2014. In the field of nuclear medical diagnostics, thyroid and skeletal scintigraphy are the most frequent methods of examination. Positron Emission Tomography (PET), too, becomes more important as it is a tool of high diagnostic value.

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 10.5 million women are entitled to participate. The attendance rate was 54 % in 2014.

Radioactive waste

Primary waste and pretreated waste intended for the Konrad mine or another repository added up to a total of 20 999 t stored by all waste producers on 31 December 2016. The inventory of waste in inner containers was approx. 17 106 m³. A portion of 2 439 m³ was already subject to product monitoring, which currently includes at least the radiological part of product monitoring. The greatest stock of waste products is in "Konrad" containers: approx. 103 216 m³, of which about 2 936 m³ were subject to product monitoring and are ready to be stored in by the future Konrad repository. Only 145 m³ and 4 553 t of radioactive waste are not intended for the Konrad mine.

A total of approx. 15 158 tonnes (t) of HM (heavy metal = uranium + plutonium) accrued in the form of spent fuel elements up to 31 December 2016 in Germany, of which approx. 6 670 tonnes were delivered abroad or to other facilities for reprocessing

In addition, about 190 t of HM in the form of spent fuel elements accrued from experimental and demonstration reactors in Germany up to 31 December 2016, of which 180 t of HM were reprocessed.

Radiation accidents and exceptional events

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

For the most part, the exceptional events reported for 2016 involved discoveries of radioactive material mostly associated with improper disposal of the radioactive substance. There was no case of substantial radiological hazard.

Some of the reported events occurred in the field of medical applications. In 2016, twelve events involving unintended exposure in the medical context were reported that were due to human failure (e. g. wrong settings, patient misidentification, transmission errors).

Non-ionising radiation

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 2016. 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 (BMUB) in 2015. These projects covered the areas of both "Low-frequency and high-frequency electromagnetic fields" and "Optical radiation". The results of the studies completed in 2016 are published in the Programme Report 2016 (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>).

In the area of "electromagnetic fields", research and communication activities by BMUB 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 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 as to risk assessment and to answer open questions, BfS will implement an accompanying research programme on "radiation protection for grid expansion". The programme covers eight subject areas involving 36 research projects.

In the field of "Optical Radiation", uses for cosmetic and wellness purposes and the clear increase in skin cancers have been the main reasons for further research and for continuous optimization of both risk communication and information measures. A research project aimed at the systematic recording of sources of optical radiation in cosmetics and wellness was completed 2016.

In 2016, the UV information campaign "Sonne - Aber sicher!" (initiated in 2010) was continued and complemented by teacher training sessions. The UV Protection Alliance, a cooperation of medical and scientific institutions and organisations as well as federal authorities, has focused its action since 2014 on the promotion of environmental prevention activities against skin cancer in addition to behavioural prevention. Continuous measurements of the intensity of erythema-effective UV radiation, performed within the solar UV measuring network operated by BfS/UBA, have shown that the UV index reached very high values in the northern, central and southern parts of Germany in June 2016. This was due to the passage of a stratospheric ozone layer reduced by 20-25 percent over Germany.

With respect to a reduction of the skin cancer risk associated with the use of sunbeds, BfS and BMUB continued to support the Laender authorities in their monitoring work by holding information events and giving advice by telephone also in 2016.

RÉSUMÉ

Les taux de radioactivité dans l'environnement humain mesurés par les stations officielles de mesure sont publiés, sous forme de rapports trimestriels depuis 1958, et de rapports annuels depuis 1968. Ces rapports contiennent, en plus des résultats concernant la surveillance de la radioactivité de l'environnement, des données sur l'exposition du public aux rayonnements due aux sources naturelles et artificielles.

Le tableau ci-dessous montre la moyenne d'exposition aux rayonnements subie par une personne de la population de la République Fédérale d'Allemagne en 2016 selon les différentes sources d'exposition. La dose efficace moyenne s'élève à environ 3,8 millisieverts (mSv) par an et par personne.

La part la plus importante provient des applications médicales, en particulier des examens de tomographie par ordinateur. Une autre source essentielle d'exposition aux rayonnements est le radon, un gaz rare d'origine naturelle ainsi que l'inhalation de ses dérivés qui s'accumulent surtout dans des pièces mal aérées. Il convient de noter que les données représentent des doses efficaces moyennées sur toute la population. La vraie dose annuelle reçue par une personne dépend fortement des circonstances individuelles.

Dose efficace annuelle reçue par une personne en 2016 résultant des rayonnements ionisants, indiquée en moyenne pour la population allemande et selon les sources des rayonnements

		Dose efficace moyenne millisieverts par an	
1. Exposition naturelle par source			
1.1	rayonnements cosmiques (au niveau de la mer)	env. 0,3	
1.2	rayonnements terrestres externes	env. 0,4	
	dont à l'extérieur (5 h/jour)		env. 0,1
	dont à l'intérieur des maisons (19 h/jour)		env. 0,3
1.3	produits de filiation de radon (par inhalation)	env. 1,1	
	dont à l'extérieur (5 h/jour)		env. 0,2
	dont à l'intérieur des maisons (19 h/jour)		env. 0,9
1.4	ingestion de substances radioactives naturelles	env. 0,3	
Chiffre total de l'exposition naturelle aux rayonnements		env. 2,1	
2. Exposition artificielle par source			
2.1	retombées des essais nucléaires	<0,01	
2.2	accident dans la centrale nucléaire de Tchernobyl	<0,01	
2.3	installations nucléaires	<0,01	
2.4	applications médicales* de substances radioactives et de rayonnements ionisants (sans thérapie)	env. 1,7	
	dont examens en médecine nucléaire		env. 0,1
Chiffre total de l'exposition artificielle aux rayonnements		env. 1,7	

* données de l'année 2014

Le présent résumé expose les principaux résultats concernant l'exposition aux rayonnements dus

- aux sources naturelles,
- aux anciens sites miniers et industriels,
- au radon dans les bâtiments,
- aux substances radioactives contenues dans les matériaux de construction et les produits industriels,
- aux essais nucléaires,
- aux accidents des réacteurs de Tchernobyl et de Fukushima,
- au génie nucléaire,
- à l'exposition professionnelle aux rayonnements,
- aux applications médicales,
- aux déchets radioactifs,
- aux accidents radiologiques et événements particuliers,
- rayonnements non-ionisants.

Sources naturelles de rayonnements

L'exposition naturelle aux rayonnements se compose d'une contribution externe et interne, causée par les substances radioactives naturelles présentes dans l'environnement et par les rayonnements cosmiques. La contribution externe est due essentiellement au rayonnement cosmique ainsi qu'au rayonnement émis par le radioisotope naturel potassium-40 et les radionucléides appartenant aux chaînes de désintégration de l'uranium-238 et du thorium-232, rayonnement provenant du sol et des bâtiments. La contribution interne de l'exposition aux rayonnements est causée particulièrement par l'inhalation des descendants du gaz rare radon d'origine naturelle (dits produits de filiation), et partiellement par l'ingestion de substances radioactives naturelles contenues dans l'alimentation, y compris l'eau potable. La dose efficace annuelle typique due aux sources naturelles de rayonnements varie entre 1 et 6 mSv. En appliquant les facteurs de dose définis dans les normes de base Euratom en vigueur, on arrive à une valeur moyenne nominale de 2,1 mSv par an, dont la source est principalement le radon à l'intérieur des maisons. L'exposition naturelle aux rayonnements ne varie que faiblement d'un an à l'autre. La part des diverses sources contribuant à la dose efficace moyenne par an est indiquée dans le tableau ci-dessus.

Anciens sites miniers et industriels

Les travaux d'assainissement que la société Wismut GmbH est en train d'effectuer dans l'ancienne région d'extraction de minerais d'uranium en Saxe et Thuringe occasionnent la libération de radionucléides de la chaîne de désintégration de l'uranium/du radium dans l'air et dans les eaux. Ces radionucléides sont rejetés dans l'environnement avec l'autorisation des autorités compétentes. Ce n'est qu'à proximité immédiate des installations minières que les activités minières causent des concentrations élevées de radon dans l'air au niveau du sol, le taux diminuant rapidement avec la distance. Globalement, les mesures réalisées font état de concentrations de radon élevées dans les régions uranifères mentionnées ci-dessus, qu'il faut attendre dans des régions avec une géologie comparable. Elles sont donc apparemment d'origine naturelle. Les rejets liquides d'uranium, de radium et de leurs produits de désintégration provenant des installations minières dans les régions uranifères n'ont aucune influence, ou seulement une influence négligeable sur le niveau naturel de ces radionucléides dans le milieu récepteur. Les rejets liquides et gazeux de substances radioactives (radon-222 et émetteurs alpha à vie longue, uranium et radium-226) provenant des mines souterraines dans la région où des travaux d'assainissement sont effectués par la société Wismut varient selon les influences météorologiques et le progrès de l'assainissement, mais dans l'ensemble ils présentent une tendance à la baisse.

Radon dans les bâtiments

La valeur moyenne annuelle de la concentration d'activité du radon dans les parties habitées des bâtiments s'élève à 50 becquerel par mètre cube (Bq/m^3) en Allemagne, ce qui est équivalent à une dose efficace moyenne de 0,9 mSv par an. Les mesures effectuées aux cours des dernières années ont mis en évidence des différences régionales considérables quant à l'exposition naturelle aux rayonnements, du fait des différentes concentrations de substances radioactives naturelles dans le sol et dans l'air. La construction de bâtiments sur un terrain à teneur élevée en uranium et en radium et, dans une moindre mesure, l'utilisation de matériaux de construction à teneur élevée en substances radioactives naturelles, provoquent une augmentation de l'exposition aux rayonnements de la population, due à l'inhalation du radon et de ses produits de filiation. Des études épidémiologiques nationales et internationales ont été effectuées ces dernières années afin d'estimer le risque que les expositions élevées aux produits de filiation du radon présentent pour la santé de la population. Ces études montrent une augmentation significative du risque de cancer du poumon, qui s'élève à environ 10 % par 100 Bq/m^3 .

Substances radioactives contenues dans les matériaux de construction et les produits industriels

Des études récentes portant sur les concentrations des radionucléides naturelles radium-226, thorium-232 et potassium-40 dans les matériaux de construction courants produits industriellement pour l'usage à l'intérieur des bâtiments confirment que la dose annuelle moyenne qu'ils provoquent s'élève à environ 0,3 mSv et qu'elle n'atteint ou passe 1 mSv par an que dans des cas exceptionnels. Ceci est conforme à la norme de limitation de la radioexposition due aux matériaux de construction reconnue au niveau européen (les normes de réglementation d' Euratom). Les études ont aussi analysé le dégagement de radon-222 des matériaux de construction minéraux, mais celui-ci s'est avéré comme étant généralement faible. Il en est de même des pierres naturelles utilisées à l'intérieur des bâtiments. Les études ont révélé que, dans la plupart des cas, ce matériau ne cause pas d'exposition élevée, même s'il est utilisé sur une surface étendue.

Essais nucléaires

De 1945 à 1980, un grand nombre d'essais nucléaires a été réalisé dans l'atmosphère; depuis 1981, seuls des essais nucléaires souterrains ont été effectués. En octobre 2006, en mai 2009 et en février 2013 des essais nucléaires souterrains ont eu lieu en Corée du Nord. Au cours de l'année sous revue, la Corée du Nord a fait exploser deux autres armes nucléaires à savoir les 6 janvier et 9 septembre. Le niveau général de radioactivité de l'environnement causé par les essais atmosphériques effectués par le passé a constamment baissé depuis le Traité interdisant les essais d'armes nucléaires de 1964. Actuellement, il représente une contribution inférieure à 0,01 mSv par an à la radioexposition totale de l'homme.

Accident du réacteur de Tchernobyl

En avril 1986 un accident grave de réacteur est survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl. Dans les journées suivantes, une grande quantité de radionucléides a été dégagée dans l'atmosphère et s'est répandue sur toute l'Europe. En Allemagne c'étaient surtout les régions du Sud qui ont souffert des retombées radioactives. La contamination en Cs-137 des sols y atteignait en partie jusqu'à 100 000 Bq/m².

En 2016, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer faiblement; la dose efficace moyenne était en dessous de 0,01 mSv. Elle était ainsi largement inférieure à un pour cent de la radioexposition naturelle, et résultait d'environ 90 % du rayonnement du sol dû au césium-137. Pour l'année 2016, la dose efficace moyenne due au radiocésium ingéré avec la nourriture est estimée à 0,001 mSv. En Allemagne du Sud, cette exposition peut atteindre 0,01 mSv. Dans cette région, c'est surtout la contamination en Cs-137 de la viande de sanglier qui surpasse la valeur maximale autorisée de 600 Bq/kg (règlement CEE 737/90) dans quelques cas.

Génie nucléaire

Les valeurs d'exposition aux rayonnements calculées pour 2016 à partir des rejets annuels de matières radioactives conformément à l'Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV (au „Règlement administratif général pour le paragraphe 47 StrlSchV“) n'ont pas dépassé les limites de dose fixées dans l'Ordonnance sur la radioprotection. Elles se situent dans la fourchette des valeurs de l'année précédente et sont inférieures à 10 % des valeurs limites de dose respectives pour la dose effective et pour les doses individuelles de chaque organe. Par conséquent, les valeurs supérieures d'exposition au rayonnement dues aux rejets de matières radioactives des installations nucléaires sont nettement en dessous de la marge de fluctuation de l'exposition naturelle au rayonnement en République fédérale d'Allemagne.

La production totale d'électricité d'origine nucléaire (8 centrales nucléaires en service) a baissé à 84,6 térawattheures (TWh) en 2016.

Exposition professionnelle aux rayonnements

En Allemagne, toute personne travaillant dans un secteur à rayonnement élevé est soumise à une surveillance à des fins de radioprotection. En 2016 près de 410 000 personnes étaient affectées en Allemagne. La plus grande part de ces personnes exposées aux rayonnements a été surveillée à l'aide de dosimètres. La dose efficace moyenne de toutes les personnes surveillées de cette manière (environ 367 000) était de 0,06 mSv en 2016. Pour environ 85 % de ces personnes surveillées, la dose individuelle était de 0 mSv pendant toute la période de surveillance. Les personnes surveillées chez lesquelles une dose a pu être constatée (environ 48 000) ont présenté une dose individuelle moyenne annuelle de 0,47 mSv (année précédente: 0,46 mSv). En 2016, deux personnes ont été touchées par un dépassement de la limite de dose annuelle réglementaire de 20 mSv (§55 du Règlement sur la Protection contre les rayonnements, §31a du Règlement sur les rayons X).

Depuis le 1er août 2003, le personnel navigant soumis au droit du travail allemand et susceptible de recevoir une dose efficace d'au moins 1 mSv par année civile due aux rayonnements cosmiques est soumis à surveillance. La surveillance du personnel navigant n'est pas effectuée à l'aide de dosimètres. Les compagnies aériennes utilisent plutôt des programmes de calcul agréés par les autorités compétentes afin de déterminer la dose reçue par le personnel navigant. En 2016, environ 43 000 personnes étaient affectées par cette réglementation (année précédente: 41 000 personnes). Leur dose moyenne annuelle s'élevait à 2,0 mSv (année précédente: 1,9 mSv).

Applications médicales

La plus grande part de l'exposition artificielle aux rayonnements provient de l'utilisation de substances radioactives et de rayonnements ionisants en médecine, surtout dans le diagnostic radiologique. De ce fait, l'Office fédéral de radioprotection (BfS) a commencé, en 1991, à collecter et analyser des données sur la radioexposition médicale en Allemagne. Ce rapport présente des données pour les années 2007 à 2014.

En 2014, la dose efficace moyenne provoquée par les examens radiographiques était d'environ 1,55 mSv par habitant allemand. On constate globalement une tendance à la hausse en ce qui concerne la dose efficace moyenne par habitant et par an dans la période de référence 2007 à 2014. Cette tendance est surtout à attribuer à la hausse de la fréquence des examens tomodensitométriques et donc à la hausse de la dose efficace par personne. En ce qui concerne toutes les autres types d'examen, par contre, la dose efficace par habitant a légèrement diminué entre 2007 et 2012. Tandis que les examens tomodensitométriques et l'angiographie (qui provoque aussi une dose élevée), interventions incluses, ne représentaient que 10 % de la fréquence totale des examens radiographiques (environ 1,7 examens par habitant), ces techniques étaient responsables pour environ 80 % de la dose efficace collective en 2012.

En ce qui concerne le diagnostic en médecine nucléaire, la dose efficace moyenne est estimée à 0,1 mSv par habitant et par an pour les années 2010 à 2014. Dans ce domaine, les scintigraphies de la glande thyroïde et du squelette sont les examens les plus fréquents. De même, la tomographie à émission de positrons (PET) gagne en importance en tant que méthode diagnostique en médecine nucléaire en vertu de sa grande validité diagnostique.

Entre 2004 et 2009 le programme de dépistage par mammographie (intégrant une démarche assurance qualité) a été introduit à l'échelle nationale pour toutes les femmes (asymptomatiques) âgées entre 50 et 69 ans. Aujourd'hui, ce pro-

gramme est offert partout dans le pays. Près de 10,5 millions de femmes sont éligibles à participer dans le programme. En 2014, 54 % d'entre elles ont participé.

Déchets radioactifs

Jusqu'au 31 décembre 2015, la quantité totale de déchets primaires et prétraités entreposés aux sites des producteurs de déchets à destination du centre de stockage de Konrad ou d'un autre centre s'élevait à 20 999 t. Le stock de déchets mis dans des conteneurs internes était d'environ 17 106 m³ dont 2 439 m³ ont été soumis à des contrôles de produits. Le stock des déchets mis en conteneurs „Konrad“ était le plus grand, s'élevant à environ 103 216 m³, dont quelque 2 926 m³ étaient déjà soumis à des contrôles de produits et par conséquent prêts à être envoyés au futur centre de Konrad. Actuellement, il est prévu que le dépôt de Konrad accueille seulement 145 m³ et 4 553 t de déchets radioactifs.

Jusqu'au 31 décembre 2016, la quantité totale de métaux lourds (uranium + plutonium) provenant d'éléments combustibles irradiés s'élevait à environ 15 158 tonnes en Allemagne. De cette quantité, près de 6670 tonnes de métaux lourds ont été exportées à l'étranger ou délivrées à d'autres installations afin d'être retraitées.

En outre, environ 190 t de métaux lourds sous forme d'éléments combustibles irradiés provenaient de réacteurs expérimentaux ou de démonstration jusqu'au 31 décembre 2016, dont près de 180 t de métaux lourds étaient retraités.

Accidents radiologiques et événements particuliers

Grâce aux dispositions juridiques strictes en matière de radioprotection, rares sont les incidents soumis à déclaration impliquant des personnes en contact avec des rayonnements ionisants ou des matières radioactives. Le présent rapport rassemble ces incidents chaque année.

La plupart des incidents déclarés par rapport à l'année 2016 avait trait à la découverte de matériau radioactif, le plus souvent dû à des activités d'élimination irrégulières de la substance radioactive. Aucun des incidents n'entraînait un risque radiologique important.

Une partie des incidents déclarés s'est produite lors d'applications médicales. En 2016, douze incidents dans le champ médical ont été rapportés. Dans ces situations, c'étaient des erreurs humaines (par ex. mode d'opération incorrecte, confusion de patients, erreur de transmission) qui avaient conduit à une exposition accidentelle.

Rayonnements non ionisants

L'ubiquité croissante d'équipements techniques dans l'environnement augmente l'exposition du public aux rayonnements non ionisants. En 2016, ce phénomène a de nouveau posé des défis en matière de radioprotection. Afin de permettre une évaluation, sur la base de données solides, des risques sanitaires présentés par les rayonnements non ionisants, l'Office fédéral de radioprotection (BfS) a continué, en 2016, à initier et à coordonner des projets de recherche dans le cadre du plan de recherche du ministère de l'Environnement (BMUB) dans les domaines des champs électromagnétiques de basse et de haute fréquence et des rayonnements optiques. Les résultats des études terminées en 2016 sont publiés dans le „Programmreport“ 2016 <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>.

Dans le domaine des champs électromagnétiques, les activités concernent actuellement l'extension du réseau électrique. Lors de la mise en place d'installations de basse fréquence et de courants continus (par ex. lignes électriques), il conviendra de tirer parti des possibilités de réduire au minimum les champs électriques et magnétiques émanant d'une installation tenant compte de l'état de la technique et de la situation donnée dans la zone exposée. Le lien entre un risque accru de leucémie infantile et une exposition élevée aux champs électromagnétiques domestiques n'est toujours pas établi. Il conviendra donc d'intensifier les activités de recherche sur le sujet. Afin de réduire les incertitudes scientifiques existantes dans l'évaluation des risques et de pouvoir répondre aux questions en suspens, le BfS mènera un programme de recherche d'accompagnement sur "La radioprotection dans l'extension du réseau électrique". Au total, 36 projets de recherche individuels seront menés dans huit domaines thématiques.

En ce qui concerne les rayonnements optiques, ce sont surtout l'utilisation croissante d'appareils à visée cosmétique et dans le domaine du bien-être ainsi que l'accroissement significatif du nombre des cancers de la peau qui donnent lieu à la poursuite de la recherche et à l'optimisation de la communication des risques et des mesures d'information. Un projet de recherche pour l'enregistrement systématique des sources de rayonnements optiques utilisés en cosmétique et bien-être a été achevé en 2016.

La campagne d'information UV „Sonne - Aber sicher!“, initiée en 2010, a été continuée en 2016 et complétée par les formations des enseignants. L'Alliance Protection UV, une coopération d'établissements et d'organisations médicaux et scientifiques et d'autorités fédérales qui s'est formée en 2011, s'est donnée une nouvelle orientation en 2014: Elle s'occupe de la promotion des activités de prévention situationnelle concernant le cancer de la peau, en plus des activités visées à la prévention comportementale.

Les mesures continues du rayonnement UV érythémateux dans le cadre du réseau, opéré par BfS et UBA, ont montré que l'indice UV dans le nord, le centre et le sud de l'Allemagne était très élevé en 2016. Cela s'explique par le passage d'une couche d'ozone stratosphérique réduite par 20 à 25 % au-dessus de l'Allemagne.

A l'égard de la réduction du risque de cancer de la peau dans le cadre de l'utilisation de solariums, le BfS et le BMUB ont continué à soutenir les autorités des Länder par des réunions d'information et des conseils téléphoniques.

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Natürliche Umweltradioaktivität (*Natural environmental radioactivity*)

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 (*Technologically enhanced natural environmental radioactivity*)

2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie (*Relics and residues of mining and industry*)

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 die jährlichen Umweltberichte der Wismut GmbH (www.wismut.de).

2.1.1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft¹ und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen) (*Discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water as a result of the activities of the Wismut GmbH*)

In [Tabelle T I.1](#) (Seite 222) sind die Fortluftmengen und die Ableitungen radioaktiver Stoffe aller Wismut-Sanierungsbetriebe in den Jahren von 1998 bis 2016 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter den - in Klammern angegebenen - genehmigten Werten liegen.

In [Tabelle T I.2](#) ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2015 und 2016 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 etwas über den Vorjahreswerten. In Dresden-Gittersee haben sich die Jahresableitungen von Rn-222 gegenüber dem Vorjahr nur geringfügig erhöht. Bei der Messung langlebiger Alphastrahler in Dresden-Gittersee wurde die Nachweisgrenze des Jahres 2016 leicht überschritten und deshalb - im Vergleich zu 2015 - eine Emission bilanziert. Die gesamten Ableitungen von Rn-222 und der langlebigen Alpha-Strahler werden fast vollständig vom Standort Schlema/Alberoda verursacht. Die daraus resultierende jährliche Strahlenexposition kann hier im Berichtsjahr bis zu 0,5 mSv betragen, was den geltenden Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung deutlich unterschreitet.

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer (Vorfluter), die in [Tabelle T I.3](#) und [Abbildung B I 2.1-2](#) zusammengestellt sind, liegen ebenfalls seit Jahren deutlich unter den Genehmigungswerten. Die gesamte Abwassermenge ist 2016 gegenüber dem Vorjahr gleich geblieben und setzte sich aus den Niederschlagswässern sowie den hoch belasteten Wässern aus der Flutung und dem Oberflächenwasser auf den verbliebenen industriellen Absetzanlagen sowie den Sickerwässern zusammen. Die Freisetzungen von Uran und Ra-226 entsprechen in ihrer Menge und Konzentration denen im Jahr 2015. Die Freisetzungen von Uran verringerten sich insgesamt geringfügig, während die von Ra-226 etwas anstiegen (siehe [Tabelle T I.4](#)). Insgesamt belegen diese Werte die sichere Betriebsweise der weiter optimierten Wasserbehandlungsanlagen.

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

¹ Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.

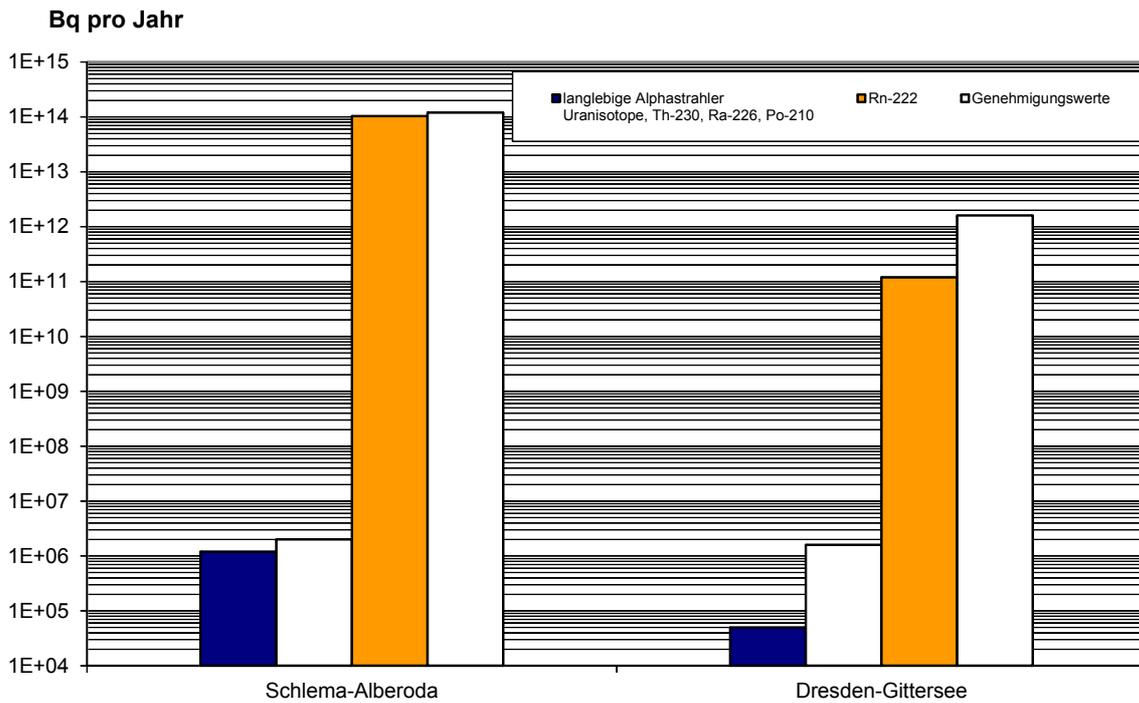


Abbildung B I 2.1-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2016
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in the Wismut remediation areas 2016)

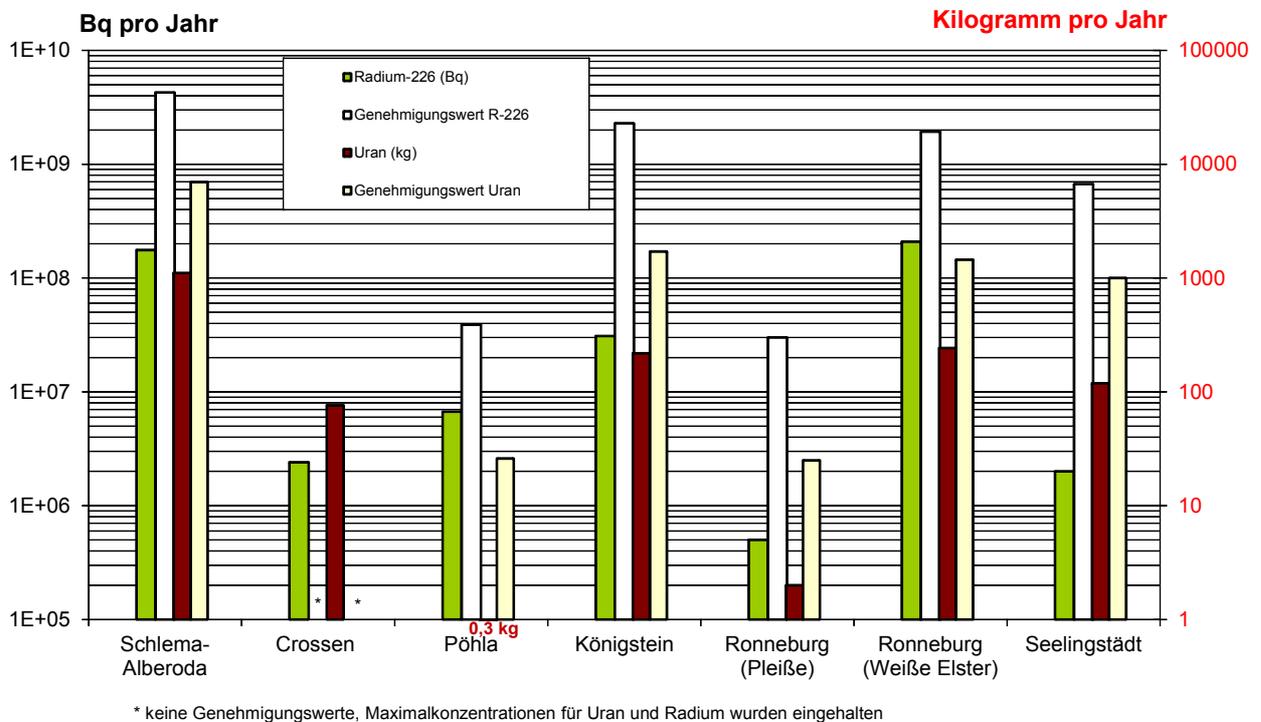


Abbildung B I 2.1-2 Flüssige Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2016
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters from the Wismut remediation areas 2016)

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 wird langfristig jedoch eine Mengen- bzw. Konzentrationsabnahme einsetzen.

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 unterschritten wurden.

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

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

(Monitoring of the concentrations of radioactive substances in environmental media from areas in the vicinity of remediation facilities)

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

Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft

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

In [Tabelle T 1.6](#) sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen im Zeitraum Winter 2015/2016 bis Sommer 2016 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, Halden) und Betriebsflächen.

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

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

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

Überwachung der Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern

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

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

Die im Jahr 2016 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 $\mu\text{g/l}$ und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 14 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 $\mu\text{g/l}$ 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 3 überschritten und reicht von Werten unter der Nachweisgrenze (<10 mBq/l) bis zu 92 mBq/l, während es bei Uran bis zum Faktor 100 erhöht ist und Werte zwischen 4 und 290 $\mu\text{g/l}$ aufweist (vgl. Messpunkte k-0024, g-0077, m-165A, M-204, M-232, E-369, E-383, e-416, s-609 und e-437 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 deutlich.

In den großen Vorflutern wurden an den Messpunkten k-0028, m-111, E-314, E-321, M-205 und e-419 im Unterlauf von Wismut-Ableitungen Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber dem o. a. geogenen Niveau bis etwa zum Zweifachen erhöht sind (1 - 6 $\mu\text{g/l}$). Mit Werten von <10 bis 12 mBq/l liegen die Ra-226-Aktivitätskonzentrationen dagegen im Bereich des o. a. geogenen Niveaus.

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

2.2 Radon in Gebäuden (Radon in buildings)

Untersuchungen und Ergebnisse

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

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

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

In Gebieten mit Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft bis 20 kBq/m³ sind Radonaktivitätskonzentrationen in Aufenthaltsräumen über 100 Bq/m³ selten. Grundsätzlich kann in diesen Gebieten davon ausgegangen werden, dass ein fachgerechter Schutz der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte nach dem Stand der Technik ausreichend Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen im Gebäude bietet.

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

auf die konvektionsdichte Verbindung der einzelnen Elemente des Feuchteschutzes sowie die fachgerechte Abdichtung von Rohr- und Leitungsdurchführungen zu legen. Insbesondere bei Radonkonzentrationen in der Bodenluft von über 100 kBq/m^3 ist auch bei neu errichteten Gebäuden ohne Radonschutzmaßnahmen häufig mit Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 zu rechnen. Die [Tabelle T 1.9](#) zeigt die auf der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft beruhende Abschätzung (Stand 2007) der Anzahl von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Radonaktivitätskonzentrationen in Aufenthaltsräumen oberhalb von 100 Bq/m^3 .

In Bergbaugebieten können über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen von Stollen oder Schächten Grubenwetter in die Gebäude gelangen. In diesen Fällen werden die eindringende Radonmenge und die daraus resultierende Radonkonzentration meist von der Bewetterung der untertägigen Hohlräume beeinflusst. In Häusern in Bergbaugebieten mit Uranvererzungen wurden in Einzelfällen kurzzeitig deutlich über $100\,000 \text{ Bq/m}^3$ gemessen. Werden Jahresmittelwerte der Radonkonzentration von über 100 Bq/m^3 Luft in Aufenthaltsräumen ermittelt, ist generell die Durchführung geeigneter Maßnahmen zu empfehlen. Dabei sollen die Höhe der Radonkonzentration, d. h. das damit verbundene Gesundheitsrisiko, und der Aufwand der Sanierungsmaßnahmen in einem angemessenen Verhältnis stehen.

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

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

Im Jahr 2005 startete die Weltgesundheitsorganisation (WHO) ein internationales Radonprojekt, um die Gesundheitsaspekte einer Radonexposition zu analysieren und Empfehlungen für Messungen und Sanierungen sowie Leitfäden zur administrativen Regelung in den Mitgliedsstaaten zu formulieren. Als Ergebnis dieser weltweiten Betrachtung weist die WHO im 2009 veröffentlichten WHO-Radonhandbuch [1] wiederholt darauf hin, dass Radon ein wichtiges Gesundheitsproblem darstellt und für den Menschen krebserregend ist. Ferner wird festgestellt, dass die Unsicherheit bei der Risikoabschätzung geringer ist als bei anderen krebserregenden Stoffen. In diesem Handbuch wird empfohlen, die Radonkonzentration möglichst auf unter 100 Bq/m^3 zu begrenzen. Wo dies nicht möglich ist, wird ein Referenzwert von höchstens 300 Bq/m^3 empfohlen. Bei Neubauten sind Maßnahmen einzusetzen, die zu einer Konzentration deutlich unter 100 Bq/m^3 führen sollten.

Eine Zusammenstellung wichtiger Innenraumschadstoffe als Teil der neuen Leitlinien zur Raumluftqualität wurde im Jahr 2010 von der WHO veröffentlicht. In dieser Zusammenfassung wird Radon als Innenraumschadstoff aufgeführt. Das aus den epidemiologischen Studien abgeleitete zusätzliche Lebenszeitrisiko in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, beträgt im Alter von 75 Jahren $0,6 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m^3 Radonkonzentration, d. h. sechs Fälle pro einer Million Betroffener für lebenslange Nichtraucher bzw. $15 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m^3 für Raucher. Das Risiko für Ex-Raucher 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 dementsprechend 67 Bq/m^3 bzw. $6,7 \text{ Bq/m}^3$ für Raucher und 1670 Bq/m^3 bzw. 167 Bq/m^3 für lebenslange Nichtraucher.

Literatur

- [1] WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, 2009, http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf

2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten (*Radioactive substances in building material and industrial products*)

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 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.10](#) 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/m³ liegt. 20 Bq/m³ 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. 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 kiesel-säurereiche Magmages Steine 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

(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

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 (*Sources of artificial radioactivity*)

1.1 Kernwaffenversuche (*Nuclear weapons tests*)

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“ 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 2016 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) unterzeichnet. Damit soll die Weiterentwicklung und Weiterverbreitung dieser Waffen verhindert werden. Es handelt sich daher nicht um ein Umweltschutzabkommen, sondern um einen Vertrag gegen die Proliferation von Massenvernichtungswaffen. Zur Überwachung der Einhaltung dieses Vertrages betreibt die Vertragsorganisation mit Sitz in Wien (CTBTO) mit Hilfe der Signatarstaaten ein weltweites Überwachungssystem (International Monitoring System, IMS). Von den vorgesehenen 321 Stationen sind derzeit schon ca. 288 Messstationen in Betrieb und das Messnetz damit weitestgehend fertiggestellt. 68 der operationellen Stationen sind mit Radionuklidmesssystemen ausgerüstet, die die Atmosphäre auf an Luftstaub gebundene radioaktive Spuren überwachen. Zusätzlich sind 31 von ihnen mit Systemen zur Detektion der radioaktiven Isotope des Edelgases Xenon ausgestattet. Die dabei eingesetzten Systeme wurden speziell für die Aufgabe entwickelt, in der Luft auch noch geringste Freisetzungen von Radionukliden aus unterirdischen Kernexplosionen nachzuweisen, auch wenn die freigesetzte Menge hinsichtlich der resultierenden Strahlenbelastung sehr gering ist.

Seine Einsatzbereitschaft wie auch seine Sensitivität stellte das Überwachungssystem bei dem Nachweis unterirdischer Kernwaffentests in Nordkorea in den Jahren 2006, 2009, 2013 und bei den beiden Tests 2016 (06.01.2016 und 09.09.2016) unter Beweis. Nordkorea hat damit in den letzten 10 Jahren sechs Kernwaffentests durchgeführt. 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 2016 10 kT und 25 kT TNT-Äquivalent. Nach den Tests in den Jahren 2006 und 2013 wurde der nukleare Charakter der detektierten Explosionen durch den Nachweis von ungewöhnlichen Konzentrationen und Aktivitätsverhältnissen von Xe-133 und Xe-131m bestätigt. Die atmosphärischen Ausbreitungsrechnungen lokalisierten das aus den Versuchen in 2006 und 2013 bekannte nordkoreanische Testgelände als mögliche Emissionsquelle. Nach der Explosion in den Jahren 2009 und 2016 konnten keine Radionuklide nachgewiesen werden, was auf einen guten Einschluss der Radionuklide in der Explosionskaverne hindeutet. 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 (RN33), die etwa 1000 m oberhalb von Freiburg im Schwarzwald gelegen ist. Dort sind automatische Messsysteme für den Nachweis an Luftstaub gebundener Radionuklide sowie auch für den Nachweis der radioaktiven Xenonisotope Xe-135, Xe-133m, Xe-133 und Xe-131m in Betrieb. Das Messsystem für den Nachweis partikelgebundener Radionuklide ist seit 2004 zertifiziert. Das Edelgasmesssystem SPALAX, seit 2004 als Bestandteil des sogenannten internationalen Edelgasexperiments in Betrieb, wurde nach einer mehrmonatigen Testphase am 11. November 2013 von der CTBTO zertifiziert.

1.2 Zivile Freisetzungen (*Civil disposals*)

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

Die mengenmäßig weitaus größten atmosphärischen Freisetzungen von Radionukliden aus zivilen Anlagen betreffen derzeit radioaktive Edelgase. Diese sind sehr flüchtig und daher schwer zurückzuhalten. Wegen dieser Eigenschaft sind sie einerseits schwierig zu messen, tragen andererseits aber auch nur sehr wenig zur Strahlenbelastung bei. Da radioaktive Edelgase so schwer zurückzuhalten sind, legt das CTBT-Verifikationssystem gerade auf diese - speziell auf radioaktives Xenon - einen besonderen Wert. Das Messnetz ist dabei auch in der Lage, Schwankungen des weltweiten Untergrundpegels an radioaktivem Xenon zu erfassen, die auf variierende Emissionen ziviler Anlagen zurückzuführen

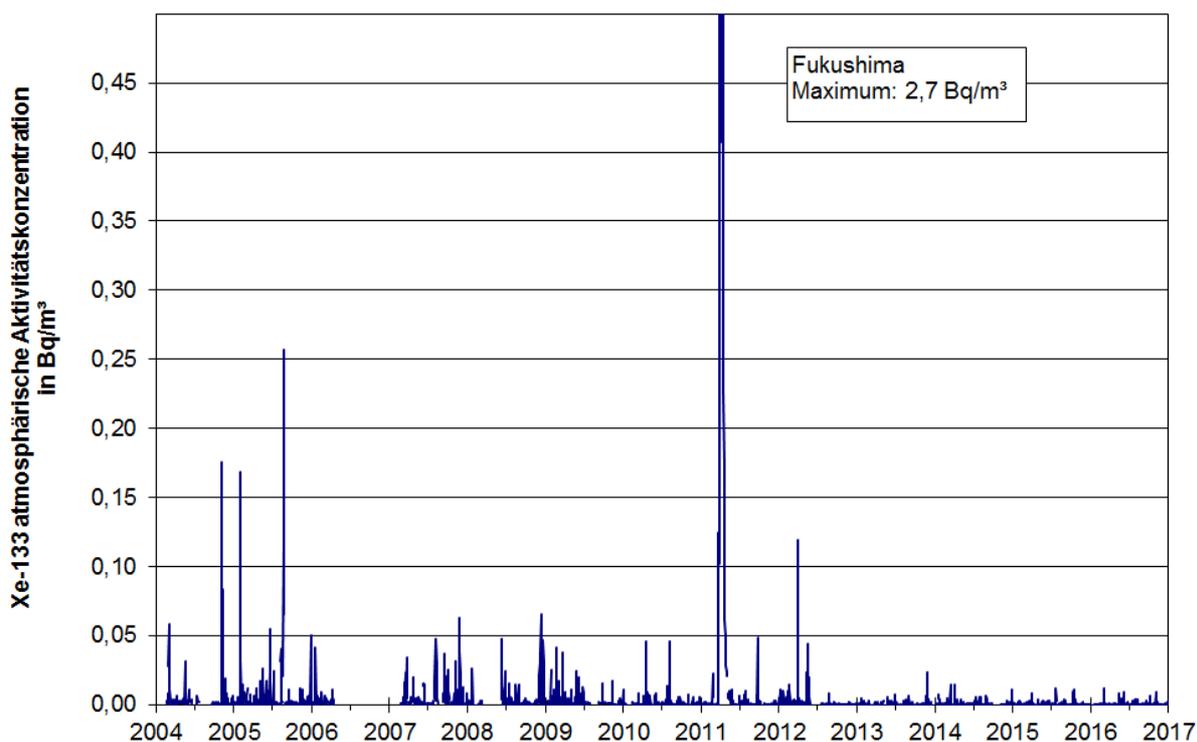


Abbildung B II 1.2-1 Zeitreihe der Xe-133-Aktivitätskonzentration in den Jahren 2004 bis 2016 an der CTBT-Station RN33 auf dem Schauinsland
(Time series of Xe-133-activity concentration at CTBT-station RN33 at Schauinsland mountain for the years 2004 to 2016)

sind. Überraschenderweise hat man mit Inbetriebnahme des Messnetzes festgestellt, dass der relative Beitrag von Kernkraftwerken zu dem weltweiten Untergrundpegel nicht so dominant war wie angenommen. Weitaus größere Emissionen beobachtet man bei Produktionsanlagen 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 immer wieder neue Produktionsanlagen in Betrieb genommen oder sind in Planung.

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

Während man anhand der Messergebnisse und der vorliegenden Emissionsdaten für das Jahr 2005 noch davon ausgehen musste, dass radiopharmazeutische Anlagen pro Jahr eine Größenordnung mehr Xe-133 (ca. 10000 TBq/a) freisetzen als alle Kernkraftwerke weltweit, beobachtet man seit 2008 einen deutlichen Rückgang des Untergrundpegels von Xe-133 an der Station auf dem Schauinsland. Die Ursache hierfür ist die vorübergehende Stilllegung einer der größten und ältesten Produktionsanlagen für radiopharmazeutisches Tc-99m in Chalk River, Kanada, sowie die Implementierung bestimmter emissionsreduzierender Maßnahmen in anderen Anlagen. Im Oktober 2016 wurde der Chalk-River Forschungsreaktor ($135 \text{ MW}_{\text{therm}}$), in Ontario, Kanada, stillgelegt. In diesem Reaktor wurden u. a. Urantargets zur Herstellung radiopharmazeutischer Radionuklide wie z. B. Tc-99m bestrahlt. Die Chalk-River Laboratories waren bisher einer der weltweit größten Produzenten von Tc-99m, aber auch einer der größten Emittenten an radioaktivem Xenon, welches den Untergrund in der Nordhemisphäre maßgeblich beeinflusste. Letzteres hatte auch Auswirkungen auf die Xenonmessungen im Rahmen der Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens. Emissionen dieser Anlagen wurden trotz der großen Entfernung von Zeit zu Zeit an der Station auf dem Schauinsland nachgewiesen. 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 2016. Die bisher ermittelte maximale Xe-133-Aktivitätskonzentration lag am 30.03.2011 bei $2,7 \text{ Bq/m}^3$ und ist auf den Unfall im Kernkraftwerk Fukushima zurückzuführen. Der höchste Wert der

Xe-133-Aktivitätskonzentration für das Jahr 2016 betrug am 03.03.2016 $12,2 \text{ mBq/m}^3$ und lag damit nur geringfügig unter dem seit Beginn der Messungen niedrigsten Jahresmaximalwert von $12,3 \text{ mBq/m}^3$ im Jahr 2015.

Der Jahresmittelwert der Xe-133-Aktivitätskonzentration sank von $5,3 \text{ mBq/m}^3$ im Jahr 2005 auf weniger als 1 mBq/m^3 im Jahr 2016. Die Auswirkungen der Emissionsreduzierungen in Nordamerika und Europa lassen sich auch an anderen Messstationen der Nordhemisphäre in ähnlicher Form nachweisen.

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

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

1.3 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall (*Chernobyl - radiation exposure from the accident*)

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2016 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. 49 % 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 0,01 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 zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsiums am Boden geführt haben, um bis zu eine Größenordnung höher sein.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch radioaktives Cäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig belastet. In einem umfangreichen Messprogramm nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz 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].

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. 0,23 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 weiterhin höhere Werte gemessen. Die spezifischen Cs-137-Aktivitäten reichten bei einigen Arten von Wildpilzen, z. B. Maronenröhrlingen (19 Messungen) bis 704 Bq/kg. Bei Fischen traten bis zu 26 Bq/kg bei Flussbarschen auf (13 Messungen).

Bei Wildschweinen wurden nach wie vor stellenweise Überschreitungen des Höchstwertes von 600 Bq/kg für Cs-137 gemessen; diese dürfen 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 (70 Messungen an Wildschweinfleisch), Niedersachsen (35 Messungen an Wildschweinfleisch, 37 Messungen an Rehfleisch), Nordrhein-Westfalen (56 Messungen an Wildschweinfleisch) und Hessen (15 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 70 Messungen der Aktivitätskonzentration von Wildschweinen bei 76 Bq/kg, die Werte reichten bis 1160 Bq/kg. 56 Messungen an Wildschweinen in Nordrhein-Westfalen ergaben einen Mittelwert von 99 Bq/kg bei einem Höchstwert von 837 Bq/kg. In Niedersachsen lag der Mittelwert bei 141 Bq/kg (35 Messungen), der Maximalwert bei 409 Bq/kg. In Thüringen wurde bei 8 Messungen ein Einzelwert von 123 Bq/kg bei Wildschweinen gefunden. In allen anderen Bundesländern und allgemein bei Rehfleisch wurde bei keiner Messung der Höchstwert von 600 Bq/kg überschritten.

Cs-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Die höchsten Aktivitäten weist das Fleisch von Wildschweinen aus großen geschlossenen Waldgebieten auf, da die Tiere

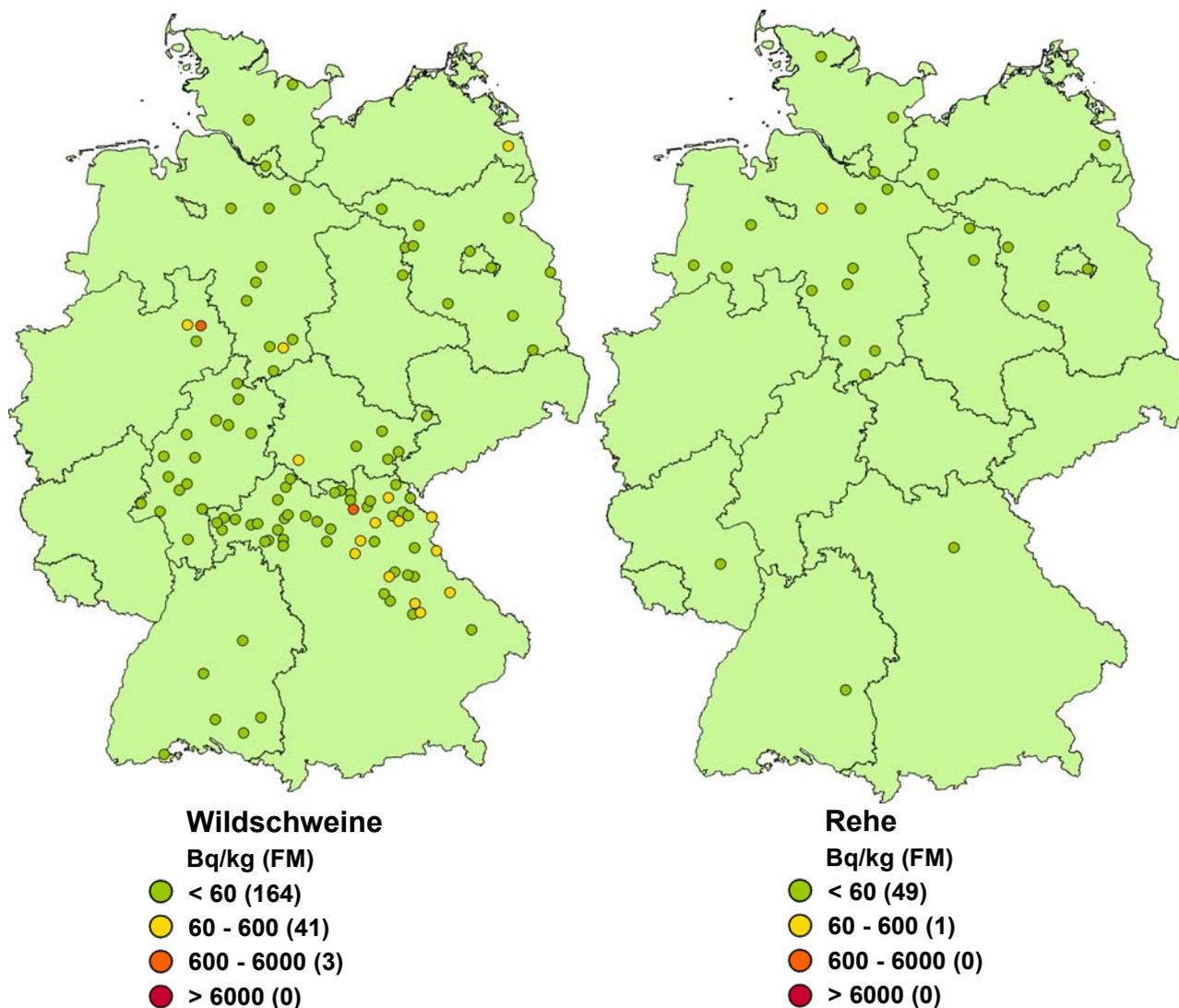


Abbildung B II 1.3-1 Cs-137-Gehalt (Mittelwerte) von Wildschweinen und Rehen im Jahr 2016
(Datenbasis des Bundes, Anzahl der Werte in Klammern)

(Specific Cs-137 activity (means) in wild boar and deer - year 2016 - data from IMIS, number of values in brackets)

hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Aus demselben Grund sind Wildschweine aus Gegenden, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, nur geringfügig belastet.

Der einmalige Verzehr von 500 g Wildschweinfleisch des am höchsten kontaminierten Tieres (1160 Bq/kg Cs-137) würde bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,008 mSv führen. Das BfS rät grundsätzlich, jede Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Die Strahlenexposition durch den Verzehr von Nahrungsmitteln lässt sich durch das individuelle Ernährungsverhalten reduzieren. Wer für sich persönlich die Strahlenbelastung so gering wie möglich halten möchte, sollte deshalb auf den Verzehr von vergleichsweise hoch kontaminierten Pilzen und Wildbret verzichten (www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/pilze-wildbret/pilze-wildbret.html).

Literatur

- [1] BMUB (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland: Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz; Stand 2014, [urn:nbn:de:0221-2015103013753](http://nbn.de:0221-2015103013753), Bonn, April 2015

1.4 Anlagen nach Atomgesetz (Facilities according to the Atomic Energy Act)

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland existierten im Jahr 2016 folgende kerntechnische Anlagen:

- 8 in Betrieb befindliche Kernkraftwerke (Tabelle T II.1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 11 357 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 84,6 TWh und einem Anteil von 13,0 % an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung im Jahr 2016. Im Betriebsjahr 2016 wurde kein weiteres Kernkraftwerk abgeschaltet. Acht Kernkraftwerke wurden bereits im Jahr 2011 endgültig abgeschaltet. Davon betroffen waren die Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel. Die Reaktoren MZFR Karlsruhe, AVR Jülich, KNK Karlsruhe sowie die Leistungskraftwerke Rheinsberg, Gundremmingen A, Würgassen, Lingen, Greifswald, Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich, Stade, Obrigheim und Grafenrheinfeld 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.
- 17 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, 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 2016 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 2016 ermittelten Aktivitätsableitungswerten geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten und mit Ausnahme der Ableitungen von Tritium deutlich unterschritten wurden.

Die aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Strahlenexposition der Bevölkerung sind in Kapitel 1.6 zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Im benachbarten Ausland waren 2016 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 2016 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI veröffentlicht (www.ensi.ch).

Zentrale und dezentrale Zwischenlager

Bei den in Betrieb befindlichen zentralen Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente wie dem Transportbehälterlager (TBL) Ahaus, dem TBL Gorleben¹ sowie dem Zwischenlager Nord (Rubenow bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Für die in Betrieb befindlichen dezentralen Standort-Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten treten im Normalbetrieb ebenfalls keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist je nach Lagerbelegung lediglich die Dosis bzw. Dosisleistung der Gamma- und Neutronenstrahlung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Sie wird zusammen mit der Direktstrahlung der entsprechenden Kernkraftwerksanlage erfasst. Abbildung B II 1.4-1 und Tabelle T II.3 zeigen eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager, die Anzahl der Stellplätze und die Belegung im Jahr 2016.

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

¹ Das TBL Gorleben ist zusätzlich für die Aufbewahrung hochradioaktiver Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken genehmigt.

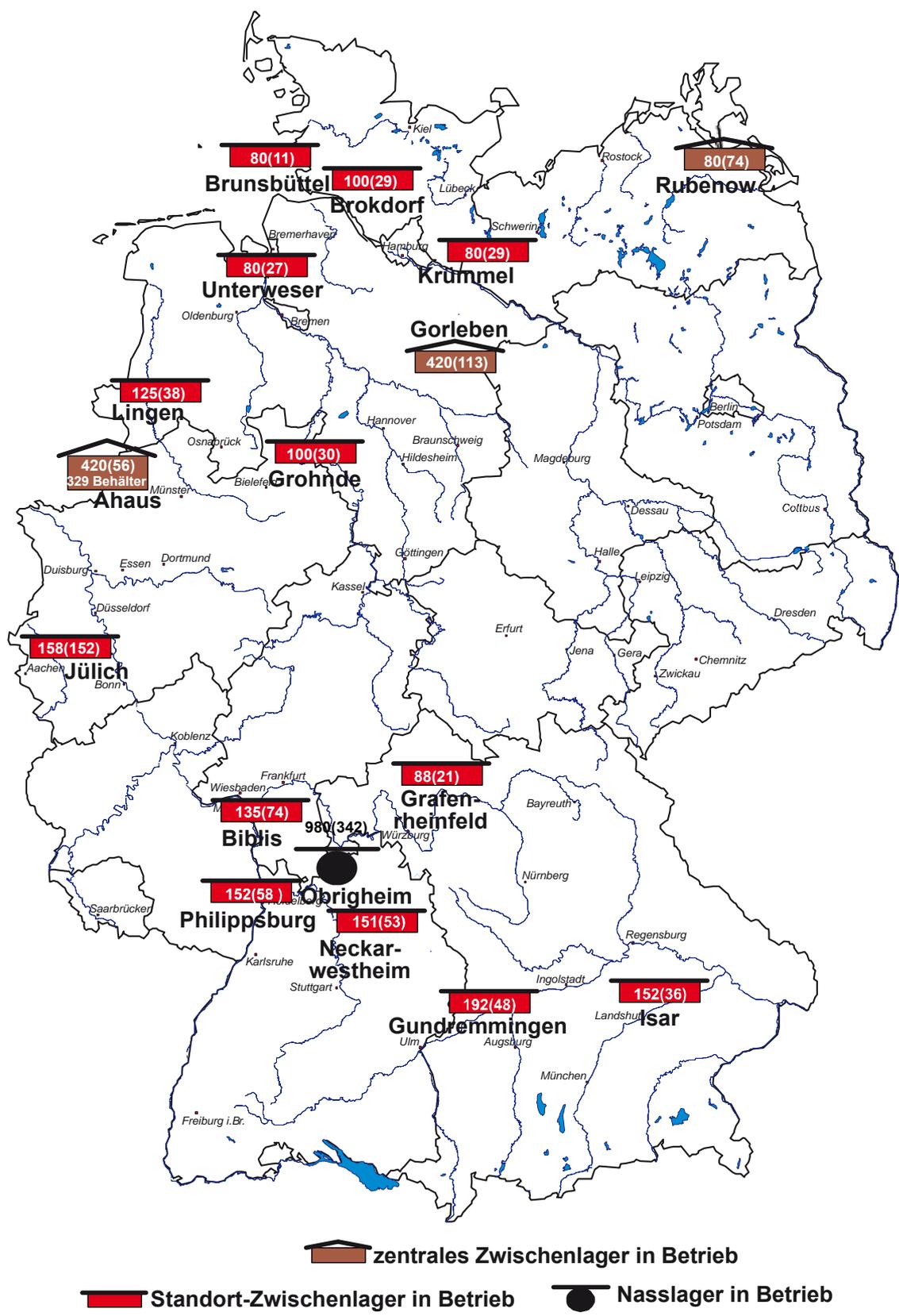


Abbildung B II 1.4-1 Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland im Jahr 2016 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern, Stand 31.12.2016) bzw. beim Nasslager Obrigheim Positionen für Brennelemente

(Interim storage for irradiated nuclear fuel in Germany in the year 2016 with number of storing positions - allocation in brackets -, status 31.12.2016 respectively positions of nuclear fuel elements in the wet storage Obrigheim)

1.5 Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen nach Atomgesetz (Discharge of radioactive substances from facilities according to the Atomic Energy Act)

Die für das Jahr 2016 ermittelten Daten über die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Kapiteln 1.5.1 bzw. 1.5.2 zusammengefasst. Sie dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der einzelnen Anlagen. Diese Berechnung wurde entsprechend der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen“ durchgeführt. Beim Endlager Morsleben und der Schachanlage Asse wurde für die Fortluft das Partikelmodell ARTM (Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell) verwendet.

1.5.1 Fortluft (Exhaust air)

Die nuklidspezifisch nachgewiesenen Aktivitätsableitungen werden vom Betreiber vierteljährlich und jährlich dokumentiert und an die zuständige Aufsichtsbehörde übermittelt. Aus der lückenlosen Bilanzierung der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen ermittelt und die Einhaltung der Dosisgrenzwerte des § 47 StrlSchV überprüft. Auf die Bestimmung der Strahlenexposition aus den Emissionsdaten muss deshalb zurückgegriffen werden, weil die Aktivitätskonzentrationen und spezifischen Aktivitäten der aus kerntechnischen Anlagen abgeleiteten Radionuklide in den Umweltmedien Luft und Wasser und in Nahrungsmitteln im Allgemeinen so gering sind, dass sie messtechnisch nicht nachgewiesen werden können. Die Aktivitätsableitungen sind dagegen genügend genau erfassbar (Tabelle T II.20 bis Tabelle T II.26).

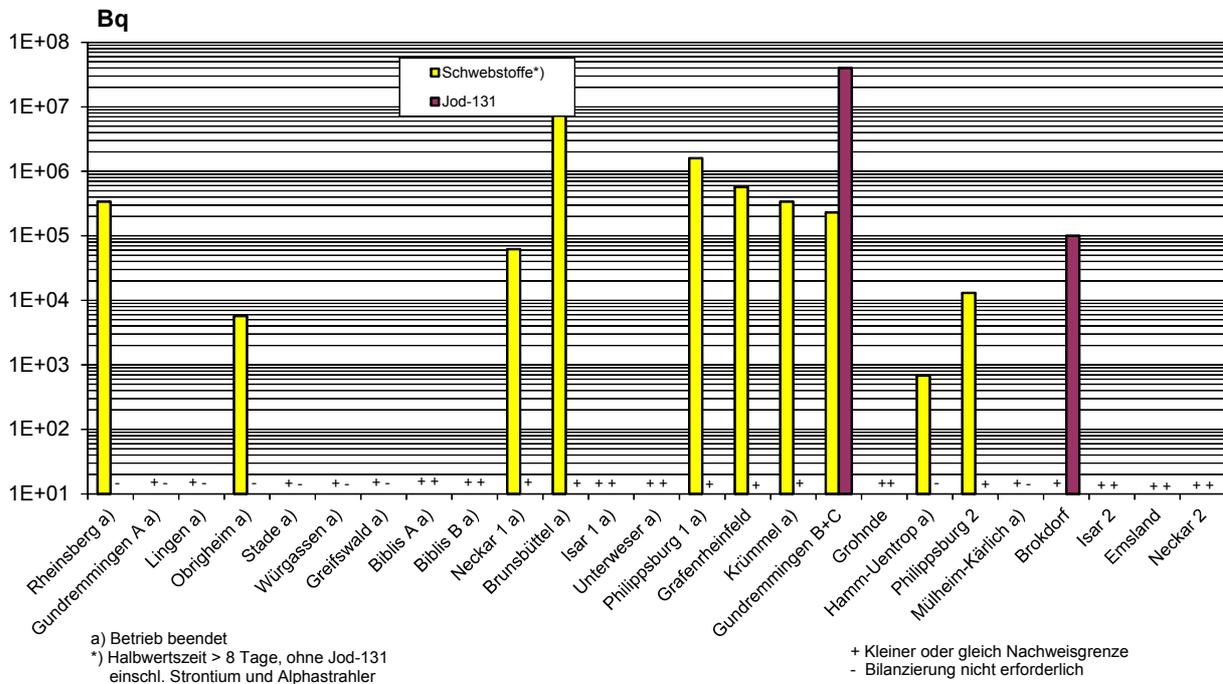


Abbildung B II 1.5-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2016 (Schwebstoffe und I-131)
(Discharge of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants (particulates and I-131) during the year 2016)

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft der Kernkraftwerke im Jahr 2016 sind in Tabelle T II.20 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.24 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 2016 abgeleiteten radioaktiven Edelgase ist aus Tabelle T II.21 zu ersehen. Tabelle T II.22 enthält die nuklidspezifischen Aktivitätsableitungen

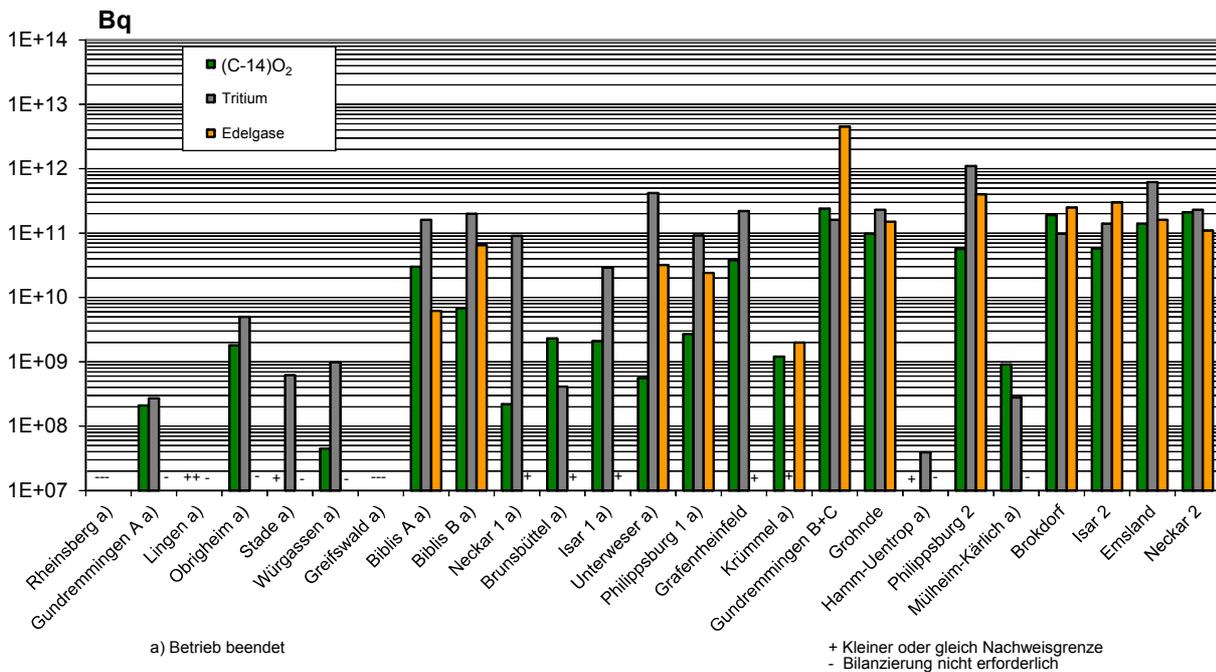


Abbildung B II 1.5-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2016 (C-14 als Kohlenstoffdioxid, Tritium und Edelgase)
(Discharge of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants (C-14 as carbondioxide, tritium and noble gases) during the year 2016)

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.23 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 2016 mit $6,0 \cdot 10^{12}$ Bq größer als 2015 mit $4,8 \cdot 10^{12}$ Bq, die Summe der Jahresaktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden war mit $4,7 \cdot 10^7$ Bq größer als im Vorjahr mit $1,3 \cdot 10^7$ Bq. Die Gesamtaktivitätsableitung von I-131 lag 2016 mit $4,0 \cdot 10^7$ Bq über dem Vorjahreswert von $3,0 \cdot 10^7$ Bq. Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Kernkraftwerke.

In Tabelle T II.24 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 2016 für die Radionuklidgruppen radioaktive Edelgase und an Schwebstoffen gebundene Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als 8 Tage, inklusive Strontiumisotope und Alphastrahler, sowie für die Radionuklide I-131, C-14 (in allen chemischen Verbindungen) und H-3 zusammengefasst.

Bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben werden die mit der Fortluft emittierten, an Schwebstoffen gebundenen, alphastrahlenden Radionuklide ermittelt (Tabelle T II.25). Die 2016 abgeleitete Gesamt-Alpha-Aktivität der Anlagen Gronau und Lingen betrug weniger als $4,4 \cdot 10^4$ Bq.

Einen Überblick über die Aktivitätsableitungen mit der Fortluft für das Endlager Morsleben und die Schachanlage Asse gibt Abbildung B II 1.5-4. Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Endlager Morsleben ist in Tabelle T II.26 zusammengestellt. An der Schachanlage Bartensleben und am Abwetterbauwerk Marie, welche Teile der Anlage „Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben“ (ERAM) und genehmigte Emittenten sind, werden jährlich etwa 2 Milliarden Kubikmeter Abwetter aus dem untertägigen Kontrollbereich über Stahlblech-Rohrleitungen (Abwetterluten) nach Übertage gefördert und in die Umgebung abgegeben.

Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachanlage Asse II ist in der Tabelle T II.26 für gasförmige Verbindungen von H-3 und C-14 sowie Rn-222 sowie für die an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide zusammengestellt.

Die für das Jahr 2016 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 II.20 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Bq für radioaktive Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für an Schwebstoffen gebundene Radionuklide und ca. 10^{10} Bq für I-131. Auch zusätzlich auftretende Strahlenexposition z. B. durch Direktstrahlung führt nicht zu einer Überschreitung des Dosisgrenzwertes von 1 mSv nach § 46 StrlSchV.

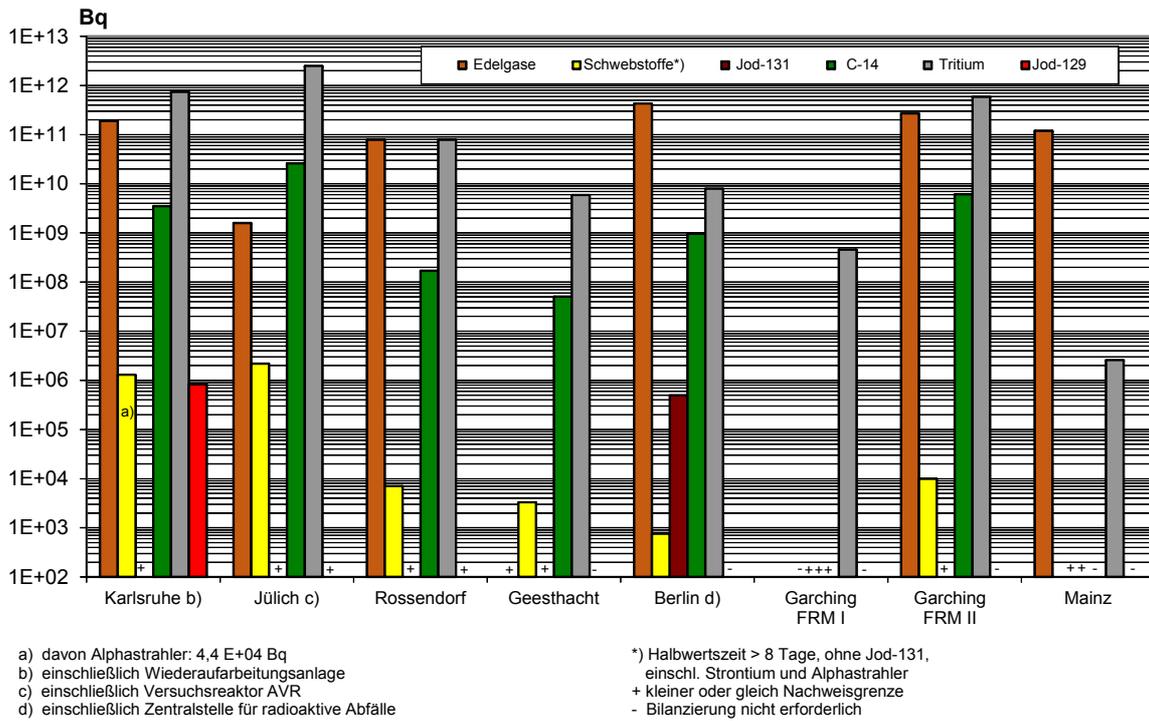


Abbildung B II 1.5-3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2016 (Schwebstoffe, I-131 und I-129, C-14 (gesamt), Tritium und Edelgase)

(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 2016)

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

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

C-14 wird in [Abbildung B II 1.5-2](#) und [Tabelle T II.20](#) 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 gesamte abgeleitete Aktivität von C-14 in allen chemischen Verbindungen über die Fortluft im Jahr 2016 beträgt an den in [Abbildung B II 1.5-2](#) und [Tabelle T II.20](#) aufgeführten Standorten etwa $1,9 \cdot 10^{12}$ 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.24](#)).

1.5.2 Abwasser (Waste water)

In den [Tabellen II.31 bis II.33](#) sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2016 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Im Jahr 2016 wurden aus dem Kontrollbereich des ERAM insgesamt 9 m^3 Abwasser abgeleitet (Vorjahr: 39 m^3).

Sämtliche Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken ([Tabelle T II.31](#) und [Abbildung B II 1.5-5](#)) liegen in der Größenordnung der Abgaben der Vorjahre und unterschreiten die entsprechenden Genehmigungswerte deutlich.

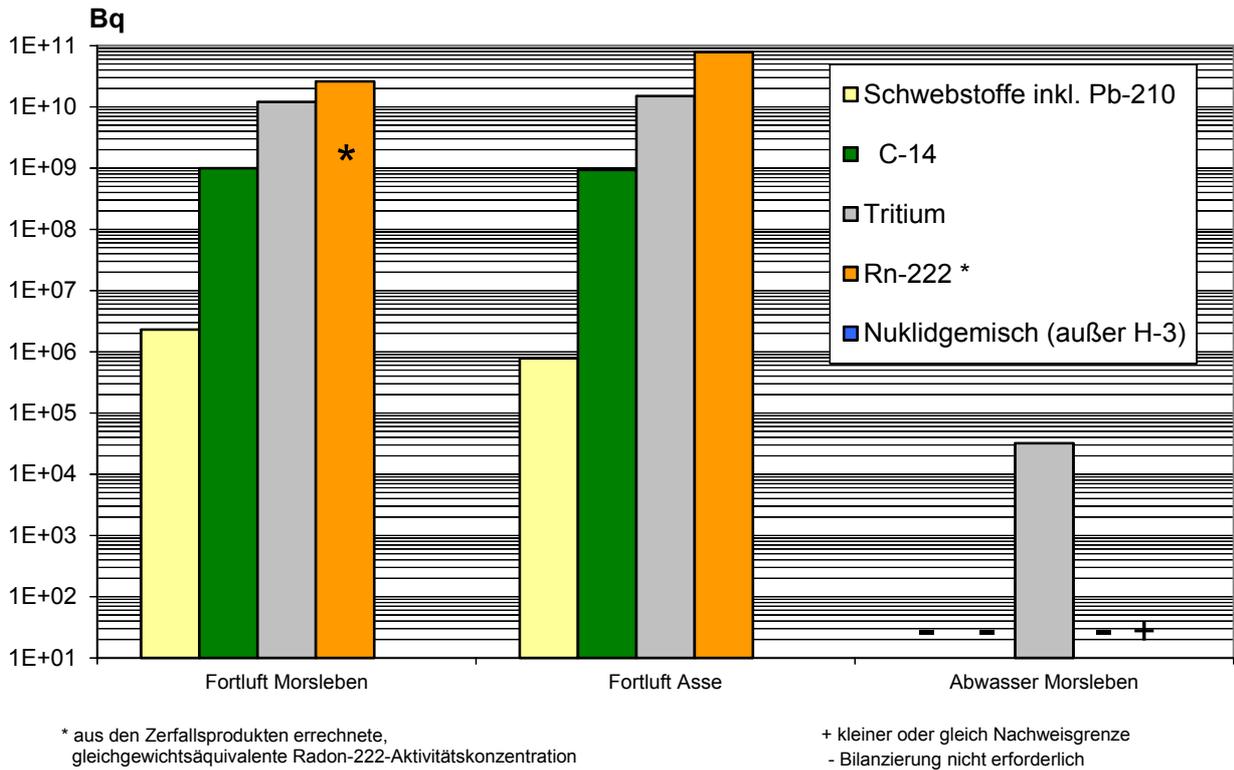


Abbildung B II 1.5-4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben und der Schachanlage Asse im Jahr 2016
(Discharges of radioactive substances with exhaust air and waste water from the Asse mine and the radioactive waste repository Morsleben in 2016)

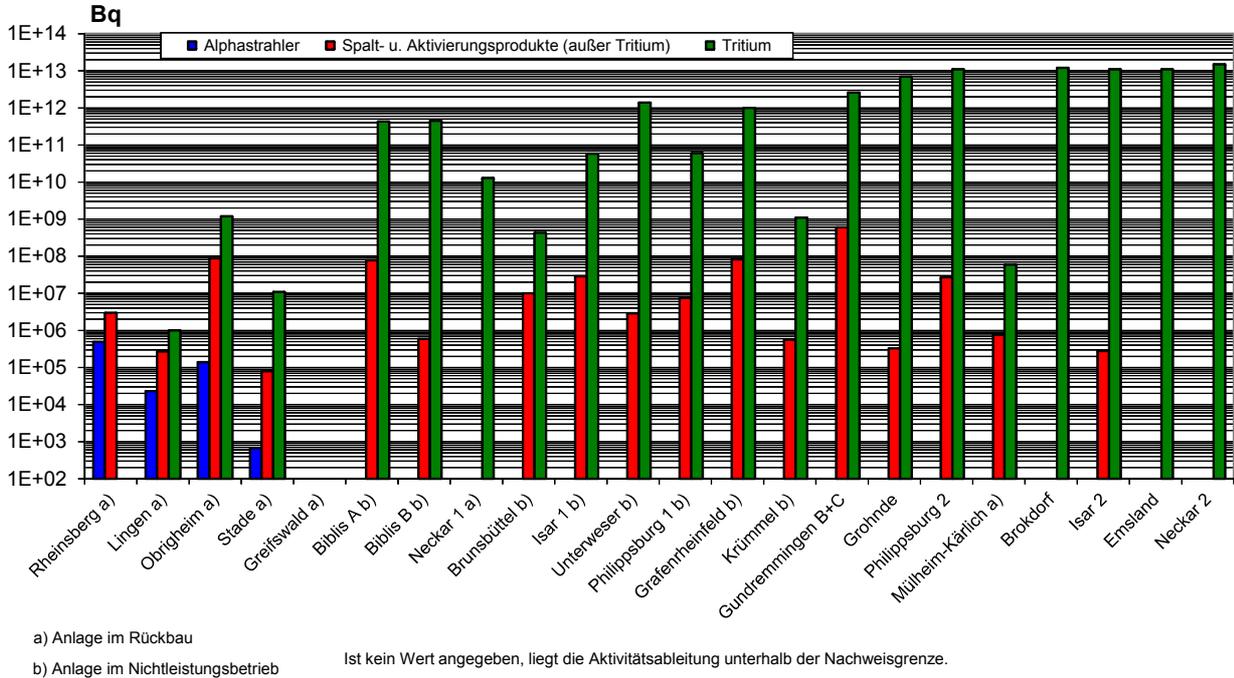
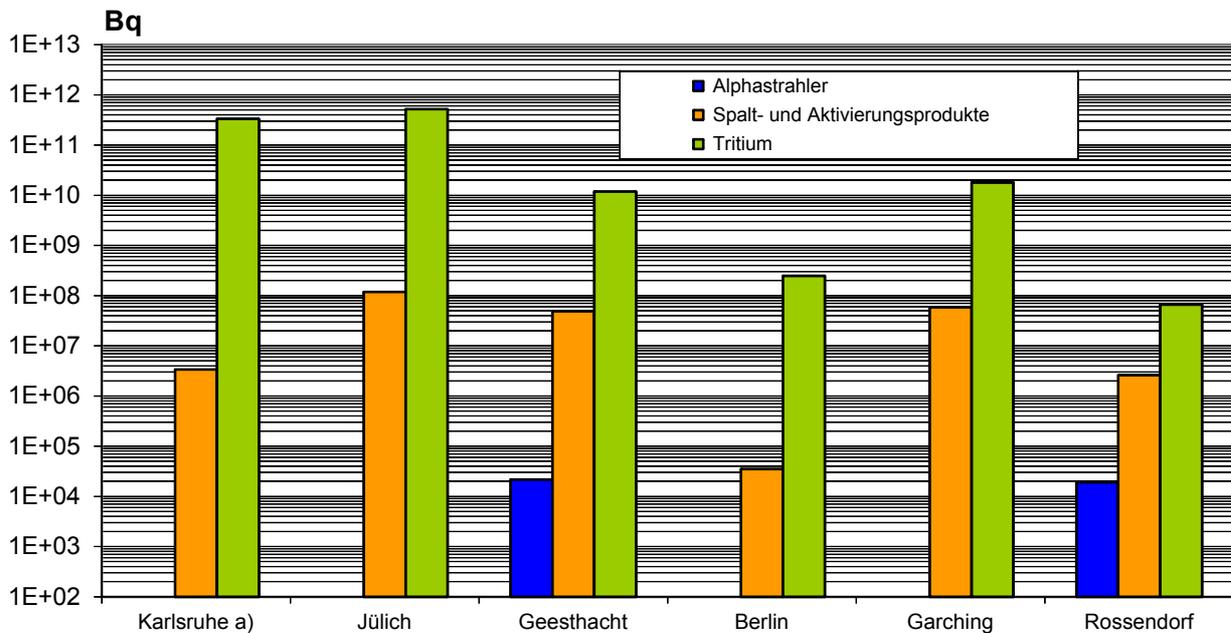


Abbildung B II 1.5-5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2016 (Alphastrahler, Summenwerte und Tritium)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in the year 2016 (alpha sources, summation values, and tritium))



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 2016 (Alphastrahler, Summenwerte und Tritium)
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2016 (alpha sources, summation values, and tritium))

Aus Druck- und Siedewasserreaktoren wurden mit dem Abwasser insgesamt 0,3 GBq bzw. 0,6 GBq Spalt- und Aktivierungsprodukte abgegeben. Die H-3-Abgaben aus Druckwasserreaktoren sind mit 69 TBq (Vorjahr 107 TBq) rückläufig und liegen für die Siedewasserreaktoren mit 2,8 TBq in der Größenordnung der Vorjahre.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Forschungszentren (Tabelle T II.32 und Abbildung B II 1.5-6), den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben (Tabelle T II.33) und dem Endlager Morsleben (Tabelle T II.34 bzw. Abbildung B II 1.5-4) liegen bezüglich der einzelnen Radionuklidgruppen ebenfalls in der Größenordnung der Abgaben der letzten Jahre.

Im Jahr 2016 wurden aus der Schachanlage Asse II keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet. Die Strahlenexposition in der Umgebung der Schachanlage Asse II resultiert daher ausschließlich aus Ableitungen über den Luftpfad (vgl. Teil B II 1.5). Für die aus dem Deckgebirge zutretende Salzlösung wurde das Lösungsmanagement der Schachanlage Asse II umgestellt. Die Entsorgung der Zutrittslösung geschieht seit 2009 über eine Freigabe nach § 29 StrlSchV.

1.6 Strahlenexposition durch Anlagen nach Atomgesetz *(Radiation exposure from facilities according to the Atomic Energy Act)*

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

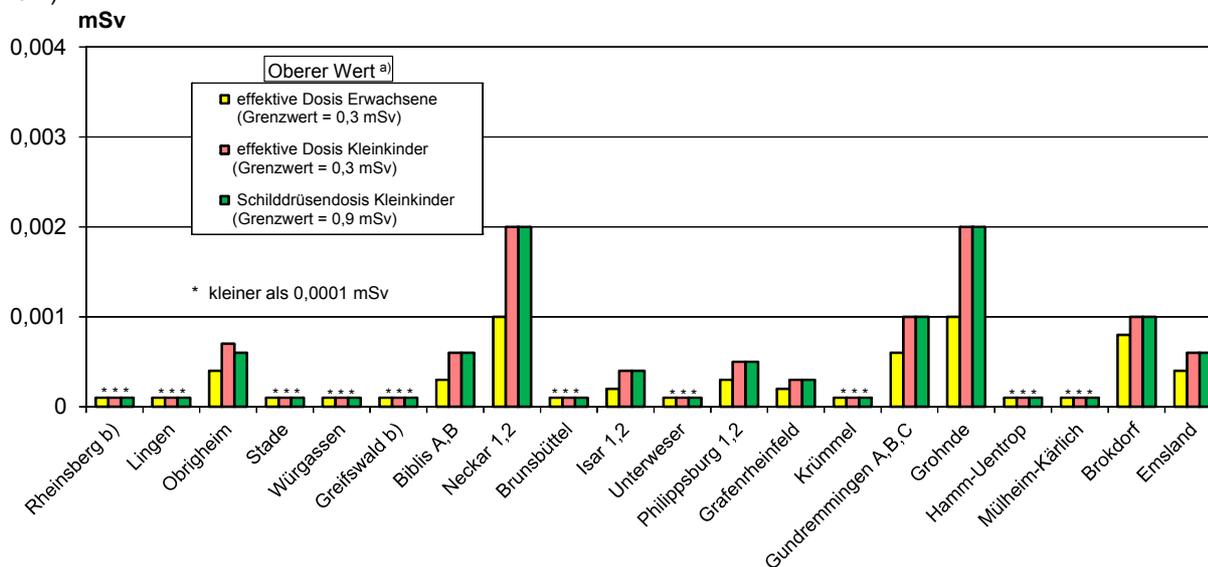
Die in den Tabellen angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen stellen obere Werte dar, da sie gemäß § 47 Absatz 2 StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist. Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 µSv, die 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.6 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2016 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.6** zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 1 μSv (unter 1 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) sowie für Kleinkinder 2 μSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) bei den Standorten Neckarwestheim und Grohnde. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 2 μSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) ebenfalls für Neckarwestheim und Grohnde. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr leicht zurückgegangen. (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

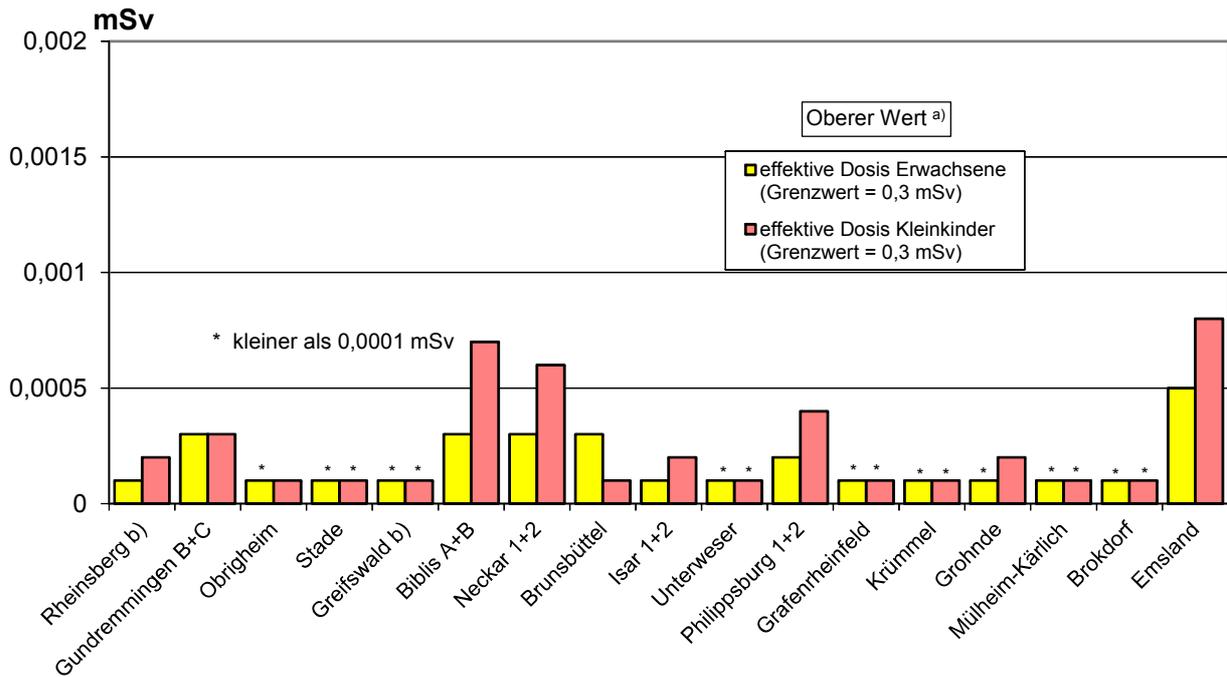
Abbildung B II 1.6-1 Strahlenexposition im Jahr 2016 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with exhaust air during the year 2016)

In **Tabelle T II.7** 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 Verzehr- 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 0,8 μSv (entsprechend ca. 0,3 % des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Emsland (s.a. **Abbildung B II 1.6-2**). Der höchste berechnete Wert einer Organdosis beträgt 2,5 μSv und wurde für die Knochenoberfläche der Altersgruppe der 12- bis 17-Jährigen in der Umgebung des Kernkraftwerkes Rheinsberg berechnet.

Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Für das Mündungsgebiet des Neckar wurde eine effektive Jahresdosis von 0,6 μSv für Erwachsene und 0,9 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 und 0,2 μSv für Erwachsene und für Kleinkinder berechnet; am Rhein liegen die berechneten effektiven Jahresdosen unterhalb 0,1 μSv und an der Donau bei 0,2 bzw. 0,3 μSv . Zu diesen Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen aus früheren Jahren bedingt ist.

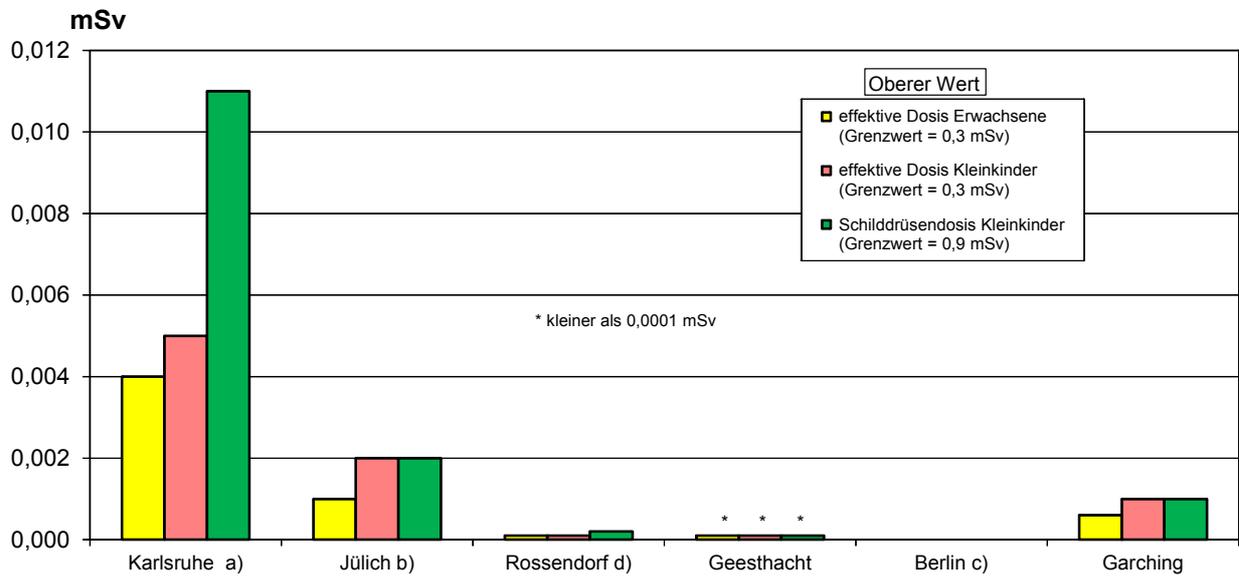
Forschungszentren

Die in **Tabelle T II.8** 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. Für Berlin lagen für 2016 keine Jahresberichte vor. Die Ergebnisse können von der Leitstelle für Fortluft aus kerntechnischen Anlagen ggf. plausibilisiert werden. Die Werte für das Forschungszentrum Garching sind vom BfS errechnet worden. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 2016 als höchsten Wert 4 μSv (1 % des Grenzwertes) für Erwachsene beim Forschungszentrum Karlsruhe sowie 5 μSv (unter 2 % des Grenzwertes) für Kleinkinder aus. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 11 μSv (1 % des Grenzwertes) ebenfalls am Standort Karlsruhe (s.a. **Abbildung B II 1.6-3**).



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 2016 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 2016)



Die Werte für die Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin sind den entsprechenden Jahresberichten 2016 entnommen.

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

Abbildung B II 1.6-3 Strahlenexposition im Jahr 2016 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 2016)

In [Tabelle T II.9](#) wird die Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe über das **Abwasser** aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich und Geesthacht angegeben.

Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau sind in [Tabelle T II.10](#) 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.11](#)) 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.10](#) 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.12](#) aufgeführt und in [Abbildung B II 1.6-4](#) dargestellt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene betrug 2016 0,2 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,5 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 1 μSv ; dies sind unter 0,1 %, 0,2 % bzw. 0,3 % des Grenzwertes nach der StrlSchV von 0,3 mSv. Die Dosis des für alle Altersgruppen kritischen Organs Knochenoberfläche errechnete sich zu 5 μSv für Erwachsene, 5 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 - 2 Jahre) und 10 μSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,3 %, 0,3 % bzw. 0,6 % des Grenzwertes von 1,8 mSv). Die Dosiswerte sind allerdings sehr konservativ, da kein Abzug der Radioaktivität natürlichen Ursprungs in der Fortluft erfolgt. Die berechneten Dosiswerte sind gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis liegen auch im Berichtsjahr 2016 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 realistischen Ausbreitungsrechnung mit ARTM wird eine deutlich größere Kaminüberhöhung simuliert und die konservative Berücksichtigung der Orografie im Gauß-Modell entfällt. Es erfolgten keine Ableitungen über das Abwasser.

Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis einschließlich der Inhalationsdosis durch Radonfolgeprodukte beträgt im Jahr 2016 für Erwachsene 0,05 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,1 μSv und für Säuglinge 0,2 μSv . Dies entspricht einer Ausschöpfung von etwa 0,1 % des Grenzwertes gemäß Strahlenschutzverordnung von 0,3 mSv. Die Dosis einschließlich der Inhalationsdosis durch Radon-Folgeprodukte für das kritische Organ Knochenoberfläche wurde mit 2 μSv für Säuglinge, 1 μSv für Kleinkinder und 1 μSv für Erwachsene ermittelt. Damit liegt die Grenzwertausschöpfung bei etwa 0,1 % des zulässigen Organdosisgrenzwertes von 1,8 mSv.

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.12](#) 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.13](#) 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 2016 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10 % des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die

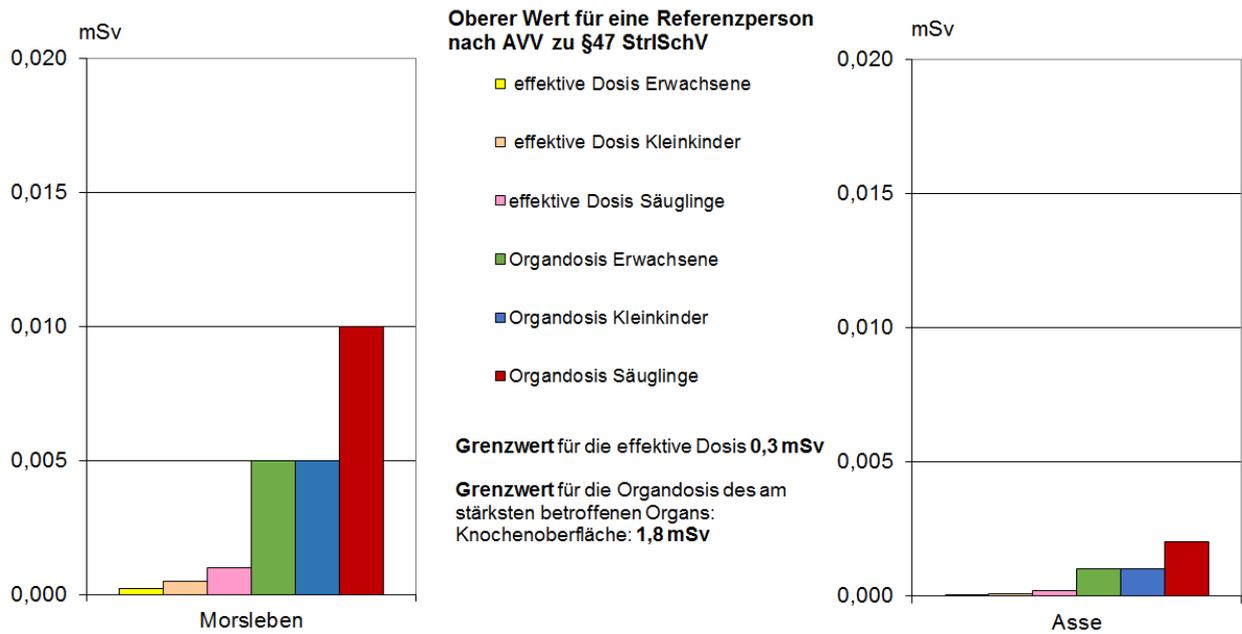


Abbildung B II 1.6-4 Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2016
(Radiation exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air in 2016)

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 2016 deutlich unter 10 μ Sv pro Jahr.

2. Allgemeine Umweltüberwachung (Immissionen) (*Environmental radioactivity monitoring immission*)

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse (*Air and precipitation, ambient gamma dose rate / trace analysis*)

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

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

Messungen im Rahmen der Spurenanalyse dienen primär der Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen sowie der Beobachtung von Langzeittrends. Diese Messungen werden vom BfS, dem DWD, der PTB und dem Helmholtz-Zentrum München durchgeführt. Die von DWD, BfS und PTB erhobenen Daten werden nicht nur für IMIS, sondern auch für die Berichterstattung gegenüber der EU gemäß Artikel 35 des Euratomvertrages 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 2016, 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 (*Radionuclides in ground-level air*)

Monitoring

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

Edelgase

Auch im Jahr 2016 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 1 und 100 mBq/m³ Luft. Als Beispiel 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 beiden Jahren eine Abnahme der mittleren Aktivitätskonzentration beobachtet (siehe Kapitel [II 1.1 Kernwaffenversuche](#)). Bedingt durch den Rückgang der Emissionen liegt der Untergrundpegel für Xe-133 mittlerweile im Bereich der Nachweisgrenzen, die mit den manuellen Analysesystemen des BfS erreicht werden können.

Nachdem der Grundpegel von Kr-85 in der Luft über lange Zeit mit ca. 30 mBq/m³ pro Jahr kontinuierlich angestiegen ist, war seit 2003 ein Abflachen der Kurve zu beobachten (siehe [Abbildung B II 2.1-2](#)), das sich im Berichtsjahr jedoch nicht mehr fortgesetzt hat. Es ist eher eine Tendenz zu einer leichten Zunahme erkennbar, die auf den erneuten Anstieg der Kr-85-Emissionen von der Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague zurückzuführen ist. Ein Ansteigen des Grundpegels wird dann hervorgerufen, wenn die Freisetzungsrates von Kr-85 größer ist als die durch die Halbwertszeit von 10,76 Jahren bestimmte Zerfallsrate. Die Kr-85-Emissionen stiegen in den letzten Jahren wieder an, so wurde im Jahr 2016 von dem Hauptemittenten, der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague, eine Aktivität von $3,2 \cdot 10^{17}$ Bq Kr-85 in die Atmosphäre entlassen, was sowohl dem Vorjahreswert als auch der bisher maximalen jährlichen Emission im Jahr 1998 entspricht.

Der Medianwert für die Aktivitätskonzentration von Kr-85 für den Probenentnahmeort Freiburg - er ist repräsentativ für die acht mitteleuropäischen Stationen - betrug im Jahr 2016 1,69 Bq/m³. Kurzzeitige Schwankungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen können, sind auf Emissionen aus den europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen für Kernbrennstoffe (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen.

So wurden im Sammelzeitraum vom 04.07. - 11.07.2016 in Freiburg 4,1 Bq/m³ Kr-85 gemessen. Tagesproben wurden analysiert, als Quelle konnte - mit Hilfe atmosphärischer Ausbreitungsrechnungen - La Hague zugeordnet werden. In KW 31 (01.08. - 08.08.2016) wurden erhöhte Kr-85 Aktivitätskonzentrationen im gesamten Bundesgebiet festgestellt mit maximalen Konzentrationen von 4,5 Bq/m³ in Freiburg und auf dem Schauinsland. Die Erhöhungen dauerten über den gesamten August an. Dies ist untypisch, da üblicherweise niedrigere Messwerte im August auf eine Sommerpause in La Hague hindeuten.

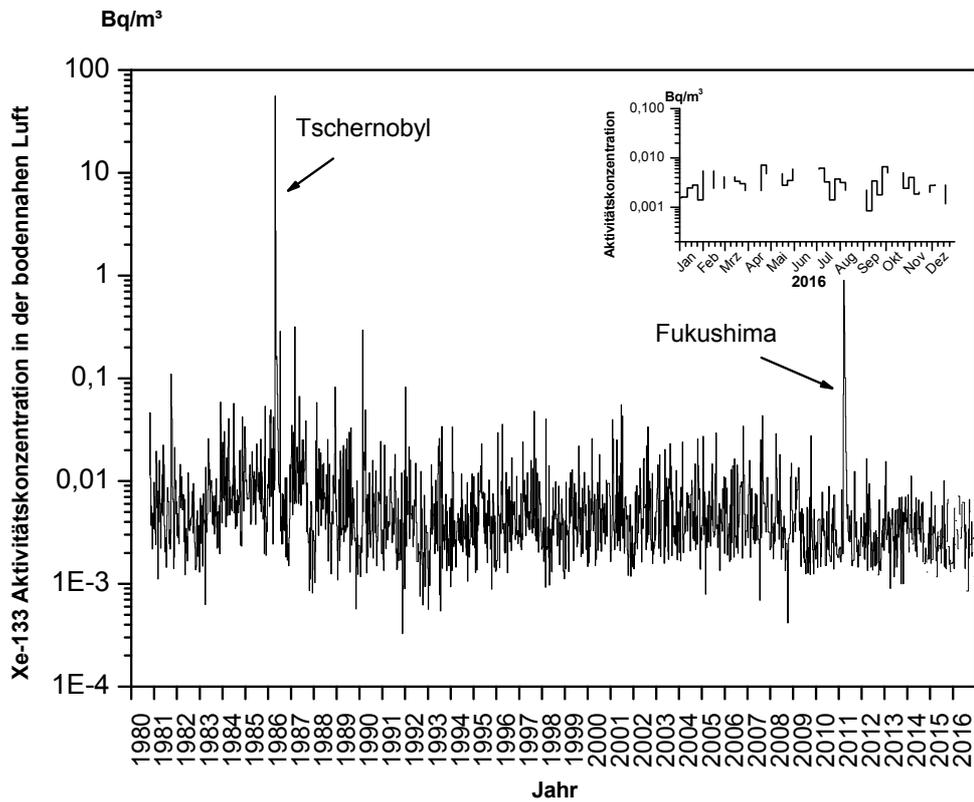


Abbildung B II 2.1-1 Xe-133-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Schauinsland
(Xe-133-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Freiburg/Schauinsland)

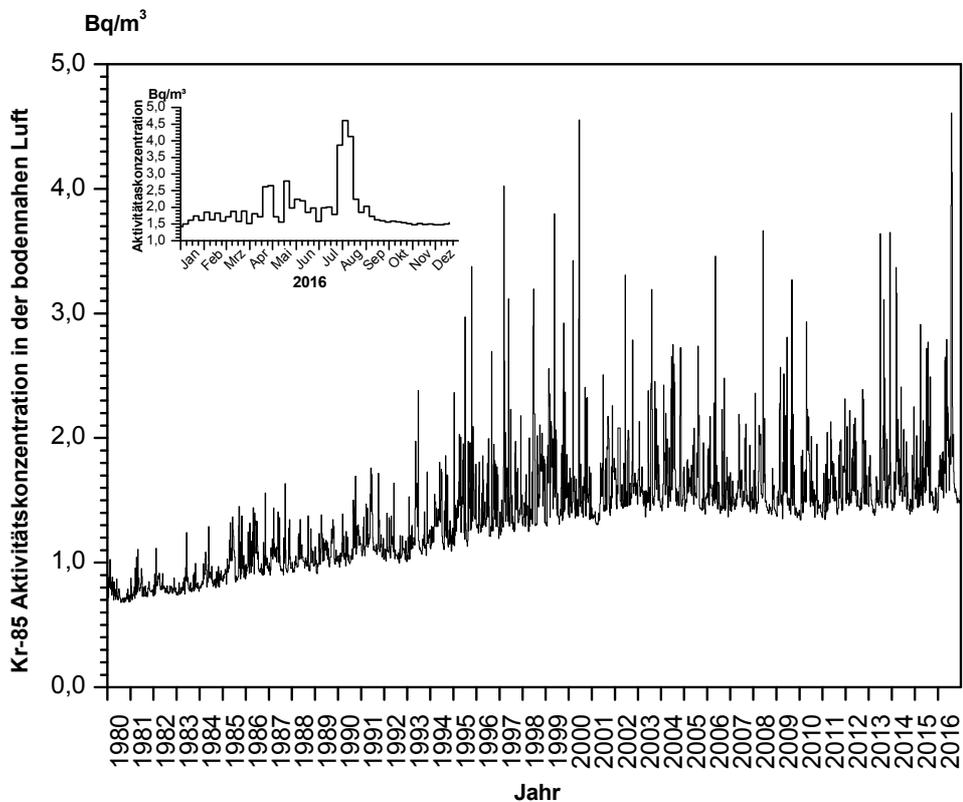


Abbildung B II 2.1-2 Kr-85-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Schauinsland
(Kr-85-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Freiburg/Schauinsland)

Ein Vergleich mit den monatlichen Entlassdaten der Wiederaufbereitungsanlage La Hague (www.aveva.com/EN/operations-2333/gaseous-releases-monthly bzw. [Abbildung B II 2.1-3](#)) bestätigt den grundsätzlichen Zusammenhang.

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.

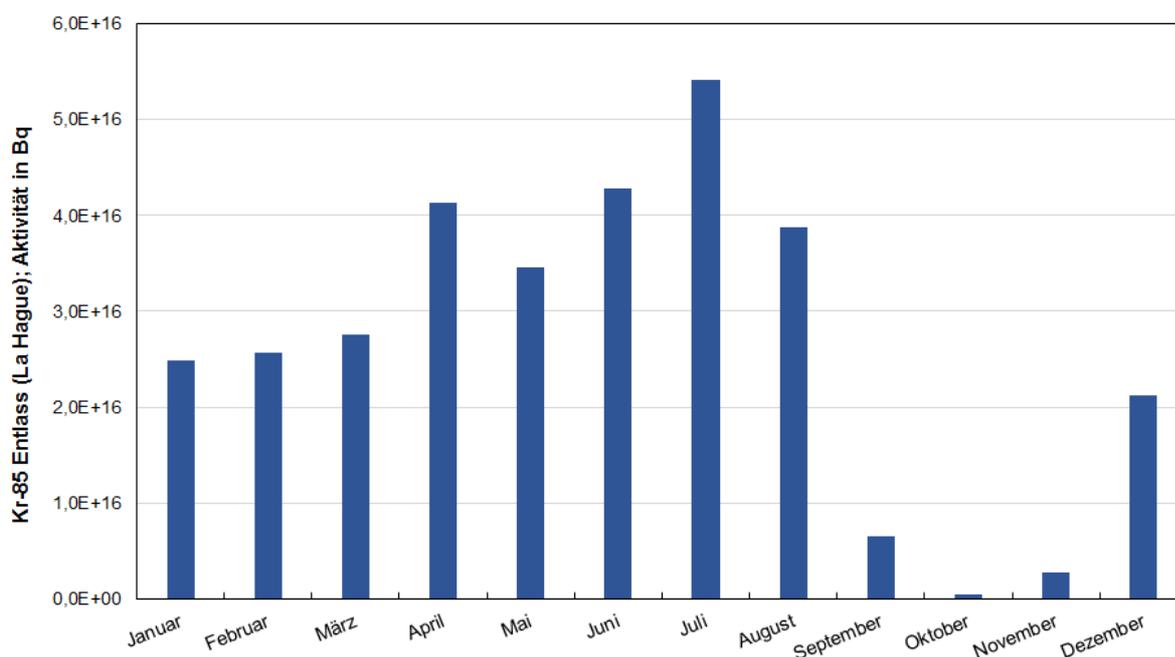


Abbildung B II 2.1-3 Monatlicher Kr-85-Entlass der Wiederaufbereitungsanlage La Hague für das Jahr 2016
(*Monthly emission of Kr-85 from La Hague reprocessing plant in 2016*)

Gammaskpektrometrie

Für spurenanalytische Messungen werden wöchentlich beaufschlagte Staubfilter zunächst γ -spektrometrisch ausgewertet. In [Tabelle T II.14](#) werden exemplarisch die Messergebnisse des DWD für Aachen, Potsdam, Offenbach und Schleswig dargestellt. Weiterhin sind die Ergebnisse des Helmholtz Zentrums München (München-Neuherberg), des BfS (Schauinsland) und der PTB (Braunschweig) enthalten. Es handelt sich um Monatsmittelwerte und die daraus abgeleiteten Jahresmittelwerte.

Die Messergebnisse von Be-7 und Cs-137 an den Messstellen Potsdam und Offenbach werden in [Abbildung B II 2.1-4](#) grafisch dargestellt. Das Radionuklid Cs-137 ließ sich im Berichtsjahr in Potsdam mit Werten zwischen 0,19 und 0,63 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 0,20 und 0,62 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, das kosmogene Be-7 in Potsdam mit Werten zwischen 1,8 und 4,6 mBq/m^3 und in Offenbach mit Werten zwischen 2,1 und 4,9 mBq/m^3 Luft nachweisen, das heißt, die Werte liegen im üblichen Schwankungsbereich.

An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei 0,15 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft (vgl. [Abbildung B II 2.1-5](#), [Tabelle T II.14d](#)). Auch im Jahr 2016 lagen die Aktivitätskonzentrationen im Rahmen der üblichen Schwankungen der Werte der vergangenen Jahre. Kurzfristige Erhöhungen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft treten vereinzelt, insbesondere bei Ostwind-Wetterlagen, auf. Sie sind durch verstärkte Resuspension (z. B. bei langer Trockenheit) des Cäsiums aus höher belasteten Regionen in der Gegend um Tschernobyl erklärbar. Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt bei etwa 0,1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft. Die Aktivitätskonzentrationen für Be-7 in den Wochenproben lagen mit Werten von 0,9 mBq/m^3 bis zu 9,6 mBq/m^3 Luft innerhalb des für diese Station üblichen Rahmens.

Im Berichtszeitraum lagen in Braunschweig die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und der im Routinebetrieb zu bestimmenden natürlichen Radionuklide im üblichen Schwankungsbereich. Die in der KW 36 (05.09.2016 - 12.09.2016) beobachtete Erhöhung der Aktivitätskonzentrationen von K-40 und Cs-137 sind auf einen ungewöhnlich hohen Eintrag von Bodenstaub als Folge landwirtschaftlicher Bodenbearbeitung auf benachbarten Feldern zurückzuführen. Die Zeitreihe für 2016 (vgl. auch [Abbildung B II 2.1-6](#)) zeigt keine weiteren besonderen Auffälligkeiten. Zur Ermittlung der wöchentlichen Niederschlagsmengen hat das Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung (ZAMF) des DWD in Braunschweig dankenswerterweise die in einer Entfernung von ca. 2 km zur PTB gemessenen Tagesmittelwerte bereitgestellt.

Über den „Ring of 5“, einem informellen Zusammenschluss europäischer Spurenmessstellen, wurde im Berichtszeitraum mehrfach über den Nachweis von I-131 im Bereich einiger Mikrobecquerel pro Kubikmeter in der bodennahen Luft in nördlichen Teilen Europas berichtet. Die genaue Herkunft konnte nicht ermittelt werden. I-131 wird häufig in der Nuklearmedizin verwendet und in entsprechend großen Mengen hergestellt.

In KW-40 (04.10.2016 - 10.10.2016) wurden in Braunschweig geringe Spuren künstlicher Radionuklide gemessen:

Mn-54: (0,156 +/- 0,007) $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, erreichte NWG = 0,019 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$

Co-58: (0,024 +/- 0,005) $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, NWG = 0,023 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$

Co-60: (0,081 +/- 0,007) $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, NWG = 0,036 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$

Mit einer Aktivitätskonzentration, die zwischen der erreichten Erkennungsgrenze und der erreichten Nachweisgrenze liegt, war auch das relativ kurzlebige Nb-95 nachweisbar: $a(\text{Nb-95}) = (0,019 \pm 0,004) \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, EKG = 0,012 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, NWG = 0,019 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Unter Berücksichtigung der Wetterlage während des Sammelzeitraums kommt als mögliche Quelle das Kernkraftwerk Ignalina in Litauen in Frage. Informationen des Kernkraftwerks zufolge wurden in dieser Zeit im Zuge des Rückbaus abgebrannte Brennelemente transportiert (www.iaea.it/en/news/press-releases/2016/10/14/in-pp-director-general-vitally-important-activities).

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Luftfilter der Messstationen Potsdam, München, Offenbach und Schleswig zur Bestimmung von Sr-90, Uran-, Plutonium- und Americium-Isotopen in Monatsmischproben radiochemisch analysiert. Für das aerosolgebundene U-234 wurden Aktivitätskonzentrationen von 0,0211 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis zu einem Wert von 0,222 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ermittelt. Für U-238 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,0267 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und einem Wert von 0,219 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ festgestellt. Diese Messwerte spiegeln die natürlich vorkommenden Aktivitätskonzentrationen wider.

Die Aktivitätskonzentrationen des Sr-90 lagen unterhalb der geforderten Nachweisgrenze von 1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. In **Abbildung B II 2.1-7** sind die entsprechenden Monatswerte für U-234, U-235 und U-238 exemplarisch für die Messstation Potsdam dargestellt. Gemäß den Vorgaben des Routinemessprogramms werden für die Alphastrahler in der Luft Nachweisgrenzen von 0,1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und für Sr-90 eine Nachweisgrenze von 1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ gefordert. Diese Vorgaben wurden eingehalten.

Die in Braunschweig im Berichtszeitraum gemessenen Aktivitätskonzentrationen des Sr-90 lagen mit Werten von 0,007 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis 0,08 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ im üblichen Schwankungsbereich (**Abbildung B II 2.1-8**). Der höchste Messwert wurde im September beobachtet und ergibt sich durch die ungewöhnlich große Staubmenge, die in der KW 40 eingetragen wurde.

Aus demselben Grund sind auch die Aktivitätskonzentrationen des Pu-238 und des Pu (239+240) (**Abbildung B II 2.1-8**) und der Uranisotope (**Abbildung B II 2.1-9**) im September deutlich höher als im übrigen Berichtszeitraum.

Die Aktivitätskonzentration von Pu-238 lag im Berichtszeitraum im Bereich von 0,00007 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis 0,0007 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Die erreichten Nachweisgrenzen in den Monaten, in denen Pu-238 nicht nachweisbar war, liegen zwischen 0,00003 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis 0,00005 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. 2016 lagen die Messwerte für Pu (239+240) im Schwankungsbereich von 0,00008 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis 0,01 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. In diesem Fall wurden Nachweisgrenzen zwischen 0,00003 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis 0,0001 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ erreicht.

Die Messergebnisse der Aktivitätskonzentrationen der Uranisotope U-234 und U-238 lagen im Berichtszeitraum zwischen 0,046 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und 1,8 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Deren Nachweisgrenzen bewegten sich zwischen 0,00005 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und 0,0003 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. U-235 wurde in Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,002 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und 0,083 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ nachgewiesen. Nachweisgrenzen im Bereich von 0,00004 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis 0,0003 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ wurden für die Aktivitätskonzentration dieses Isotops erreicht.

Beim BfS in Freiburg konnten auf Grund von Personalengpässen im Berichtsjahr keine radiochemischen Routine-Analysen durchgeführt werden.

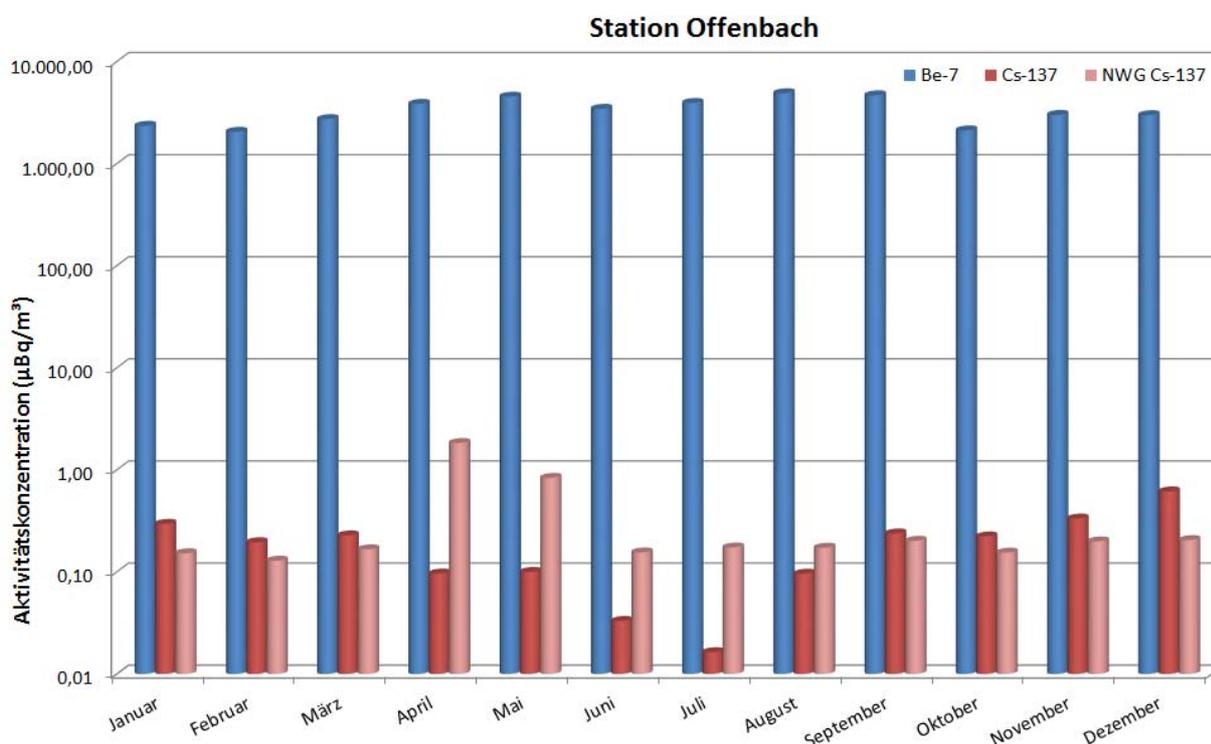
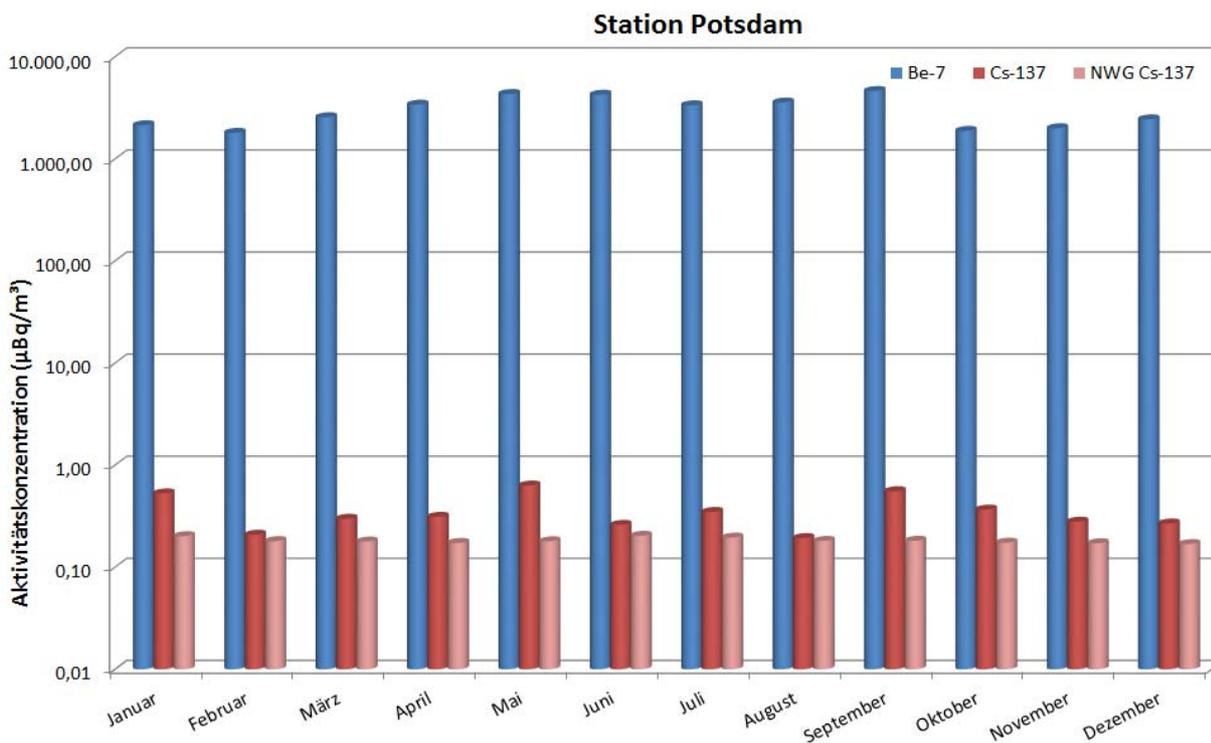


Abbildung B II 2.1-4 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2016 - DWD-Stationen Potsdam und Offenbach
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2016 at the DWD stations in Potsdam and Offenbach)

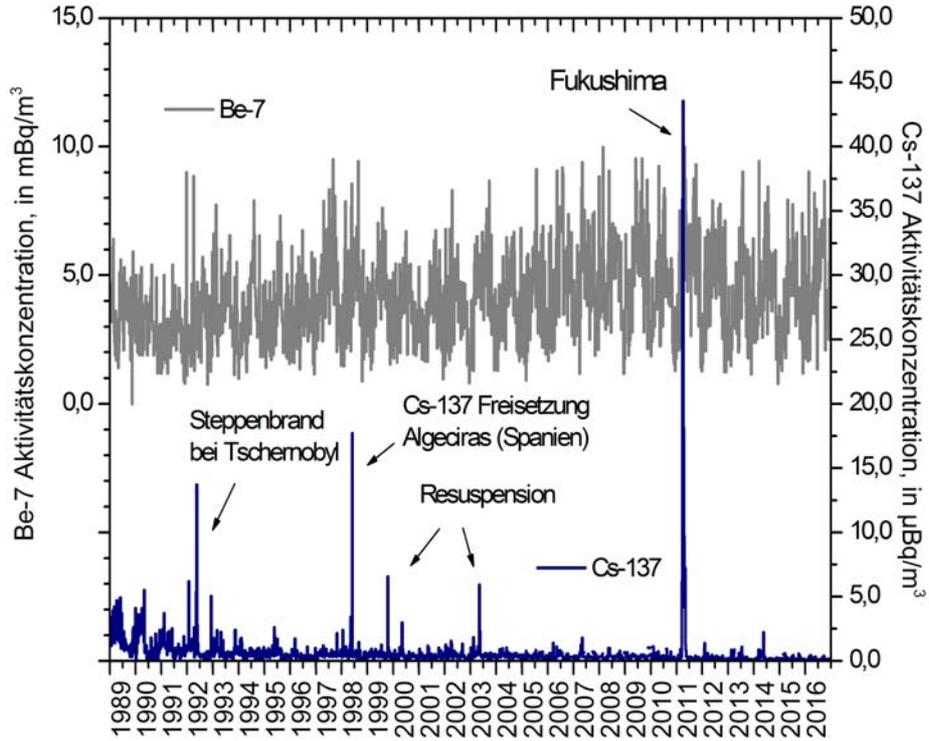


Abbildung B II 2.1-5 Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Schauinsland
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in ground level air at Schauinsland measuring station)

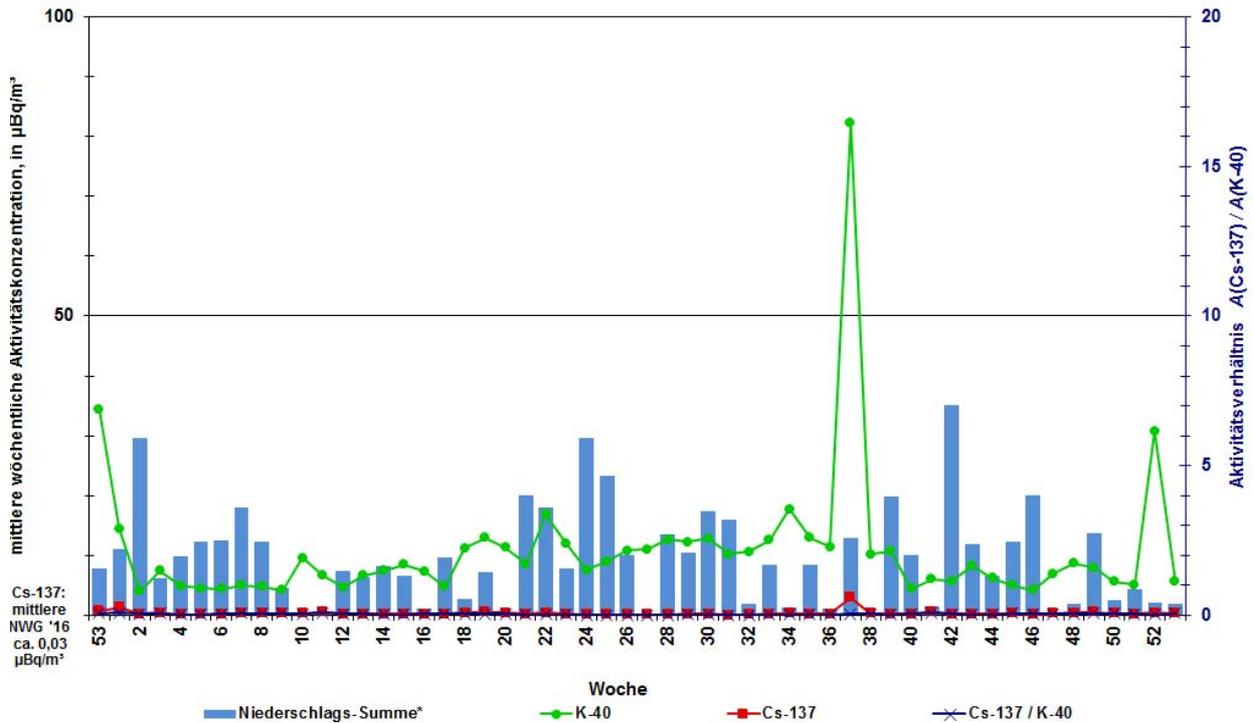


Abbildung B II 2.1-6 Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft 2016 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratio of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2016)

2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition) (*Total deposition of radionuclides due to precipitation*)

Gesamt- β -Aktivität

Zur Fortsetzung der langjährigen Messreihe wurde die Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag (Gesamtdeposition) ermittelt. Der stationspezifische Jahreswert der Deposition errechnet sich aus der Summe der Werte der Tagesproben. Für das Jahr 2016 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 32 Bq/m^2 (2015: 34 Bq/m^2).

Der Messwert liegt im Schwankungsbereich der Messunsicherheiten, somit ist keine Veränderung zum Vorjahr nachweisbar. Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl, das heißt im Bereich der natürlichen Schwankungen. [Abbildung B II 2.1-10](#) zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Deposition zugeführten Gesamt- β -Aktivität von 1957 bis 2016 in Bequerel pro Quadratmeter. Die stationspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bequerel pro Quadratmeter zeigt [Abbildung B II 2.1-11](#). Hier heben sich besonders die niederschlagsreichen Bergstationen hervor.

Gammasspektrometrie

Monatssammelproben von 40 Messstationen wurden γ -spektrometrisch analysiert. Als Nachweisgrenze für die Konzentrationsmessung bezogen auf Co-60 werden $0,005 \text{ Bq/l}$ 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 $0,05 \text{ Bq/m}^2$ und $0,5 \text{ Bq/m}^2$ resultieren können. Die ermittelten Nachweisgrenzen für die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen zwischen $0,40$ und $19,0 \text{ mBq/l}$ in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Niederschlagsmenge. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Potsdam, Offenbach und Schleswig in [Tabelle T II.15](#) als Monatswerte und als aufsummierte Jahreswerte zusammengefasst. Diese Daten dienen als Vergleichsgrößen, um Veränderungen gegenüber den Vorjahren festzustellen. Die Werte waren im Jahr 2016 ähnlich denen der Jahre vor dem Reaktorunfall von Fukushima. Die [Abbildung B II 2.1-12](#) zeigt für die Messstationen Offenbach und Potsdam die aus den Aktivitätskonzentrationen und der Niederschlagsmenge errechneten Werte für die monatliche Deposition von Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 lagen die Nachweisgrenzen zwischen $0,05 \text{ Bq/m}^2$ und $0,12 \text{ Bq/m}^2$. Werte oberhalb der Nachweisgrenze wurden nicht gefunden. Für kosmogenes Be-7 wurden Messwerte zwischen $8,3$ und $113,0 \text{ Bq/m}^2$ (Offenbach) und Messwerte zwischen $11,6$ und $45,6 \text{ Bq/m}^2$ (Potsdam) anhand von Monatsproben ermittelt.

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Niederschlagsproben der Messstationen Potsdam, München, Offenbach und Schleswig bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat analysiert. Es wurden Sr-90, H-3 sowie die Isotope von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betragen je nach Niederschlagsmenge für Sr-90 ca. $0,36$ bis $9,08 \text{ mBq/l}$, für Pu-(239+240) und Am-241 ca. $0,004$ bis $0,600 \text{ mBq/l}$. Für H-3 wurden Messergebnisse zwischen $0,58$ und $1,49 \text{ Bq/l}$ nach der elektrolytischen Anreicherung ermittelt. Natürlich vorkommendes aerosolgebundenes U-234 und U-238 wurde ausgewaschen.

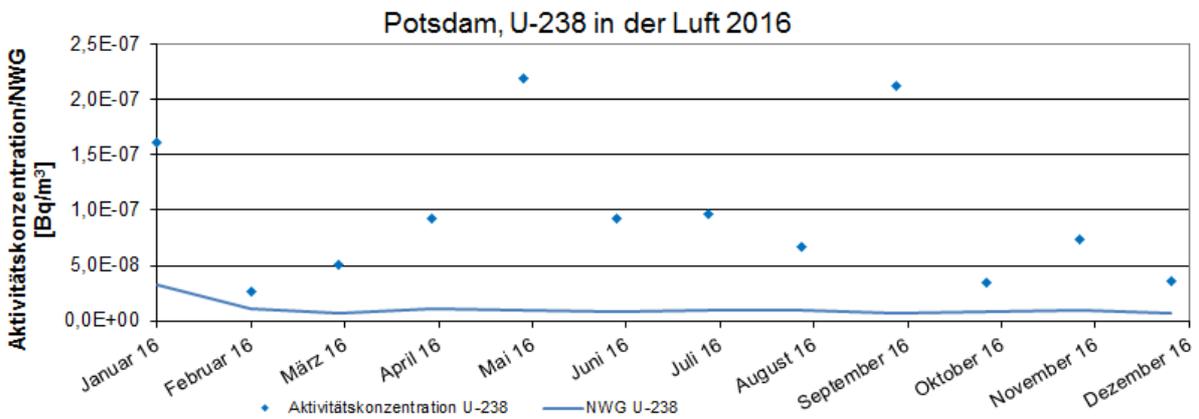
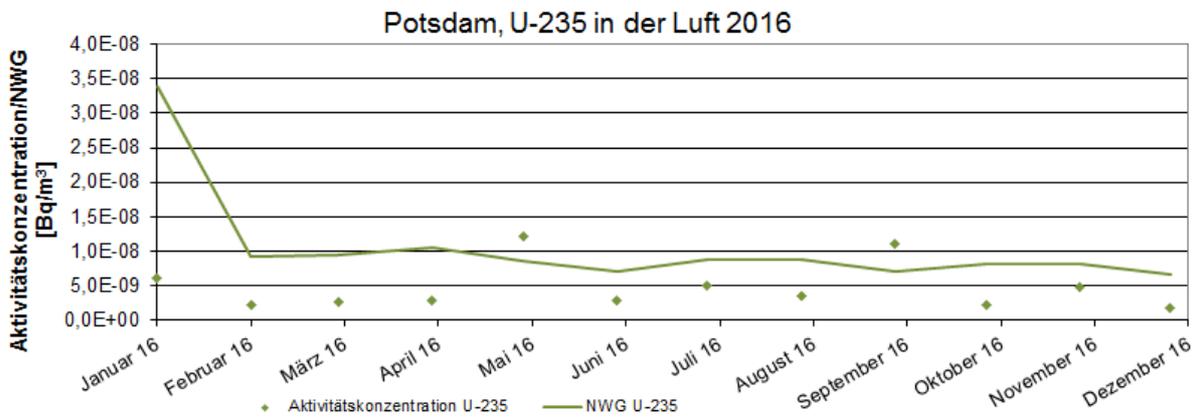
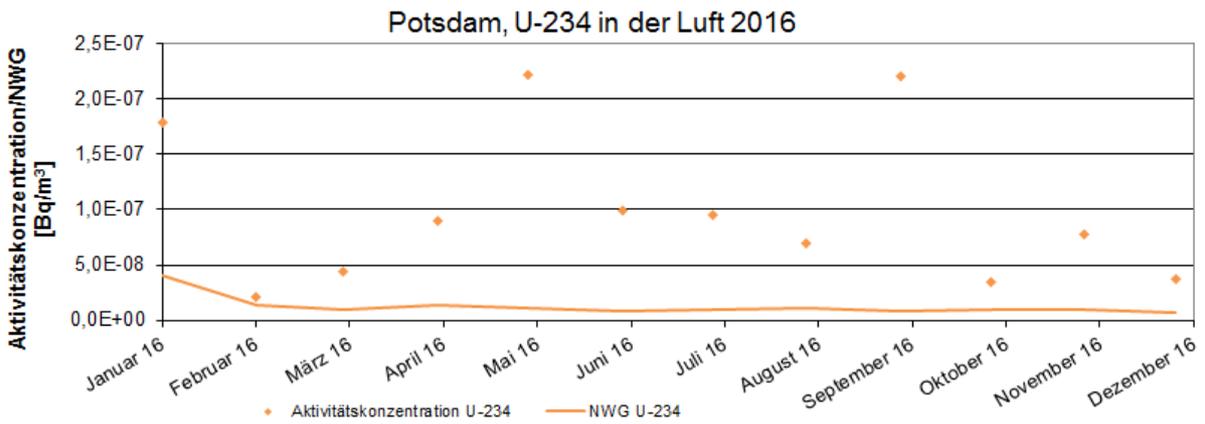


Abbildung B II 2.1-7 Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft von Uranisotopen für das Jahr 2016 am Probenentnahmeort Potsdam
(Activity concentrations and activity ratio of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Potsdam in 2016)

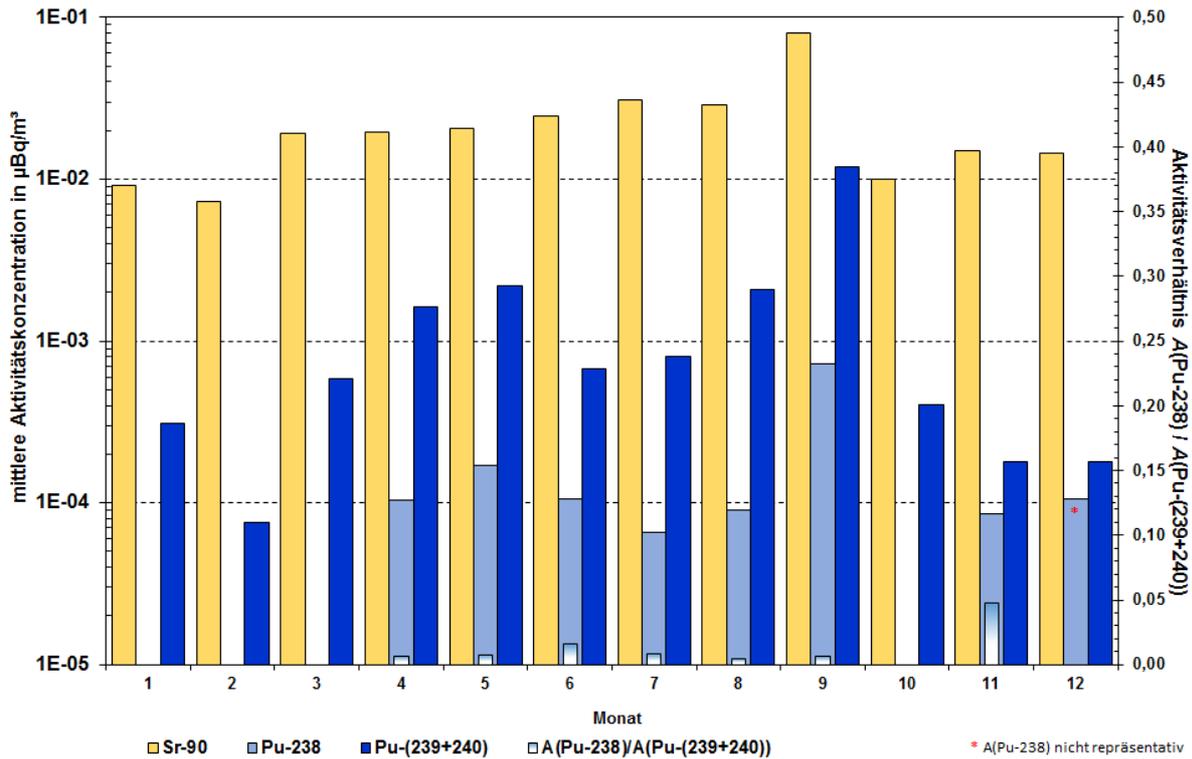


Abbildung B II 2.1-8 Aktivitätskonzentrationen der Plutoniumisotope und Sr-90 in der bodennahen Luft im Jahr 2016 am Probenentnahmestort Braunschweig
(Activity concentrations Plutonium and Sr-90 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2016)

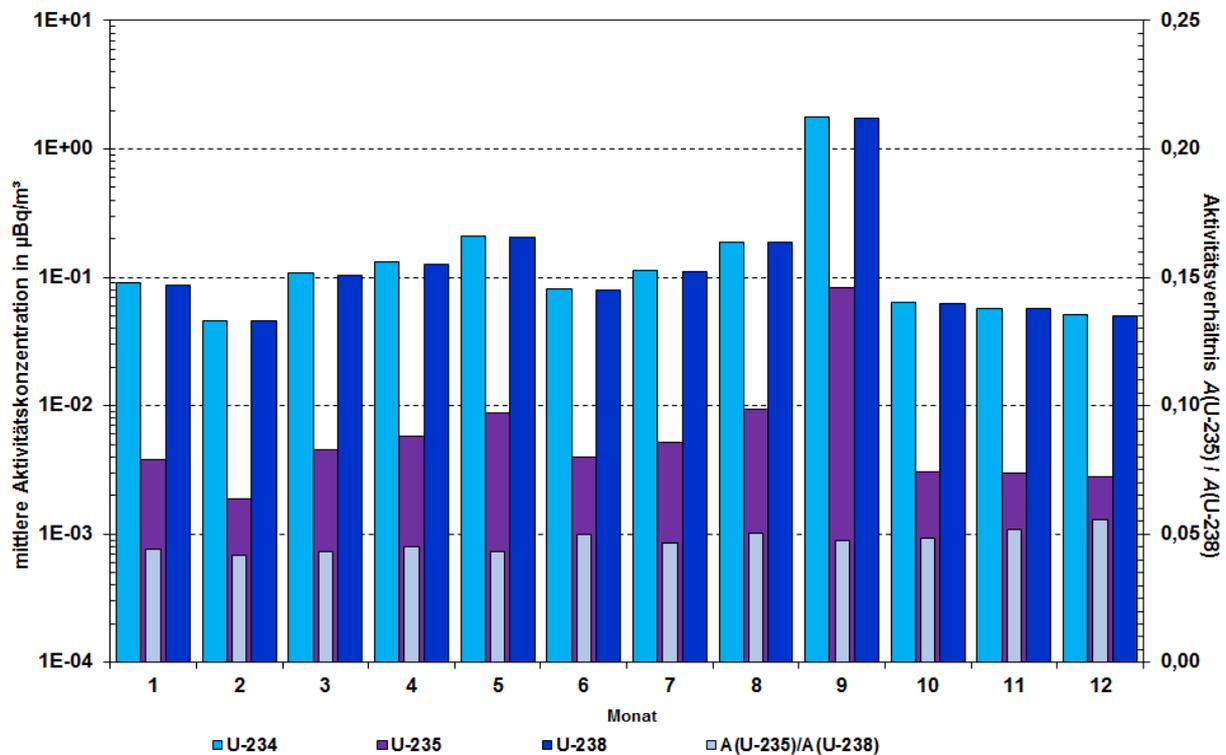


Abbildung B II 2.1-9 Aktivitätskonzentrationen und -verhältnisse der Uranisotope in der bodennahen Luft im Jahr 2016 am Probenentnahmestort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratios of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2016)

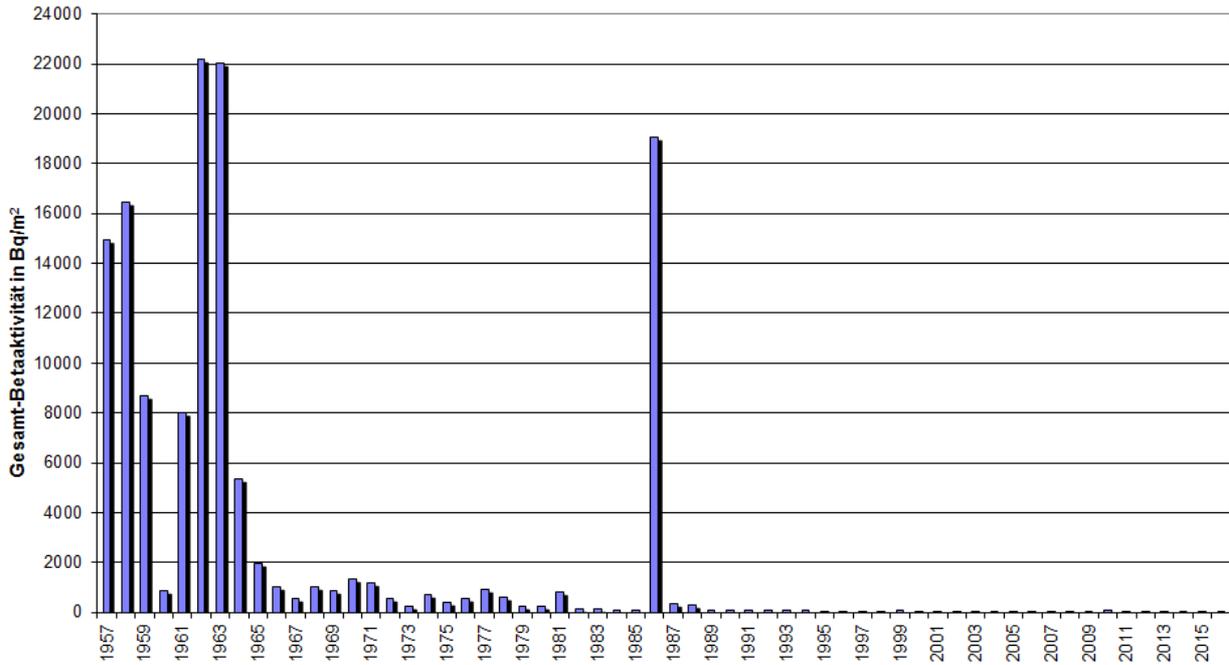


Abbildung B II 2.1-10 Dem Erdboden durch Niederschläge zugeführte langlebige Gesamt-β-Aktivität
 - Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messstationen von 1957 bis 2016
(Deposition of additional long-lived total β-activity due to precipitation - Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2016)

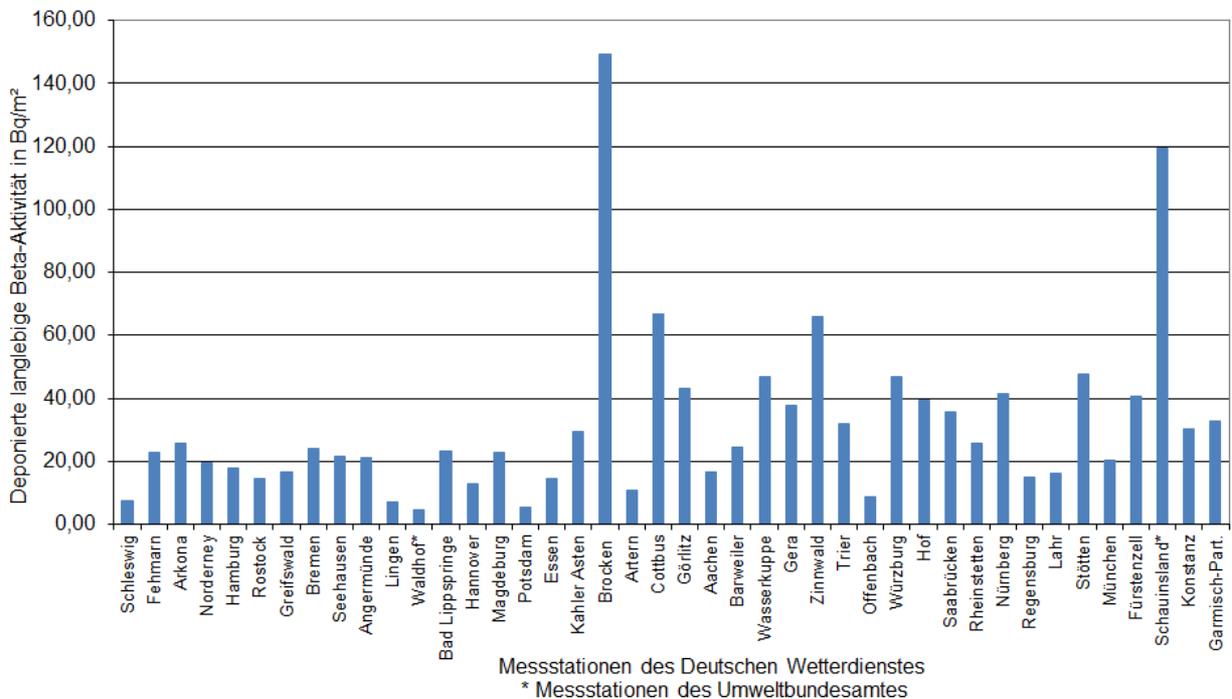


Abbildung B II 2.1-11 Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2016 zugeführte langlebige Gesamt-β-Aktivität – stationspezifische Jahressummen
(Deposition of additional long-lived total β-activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2016)

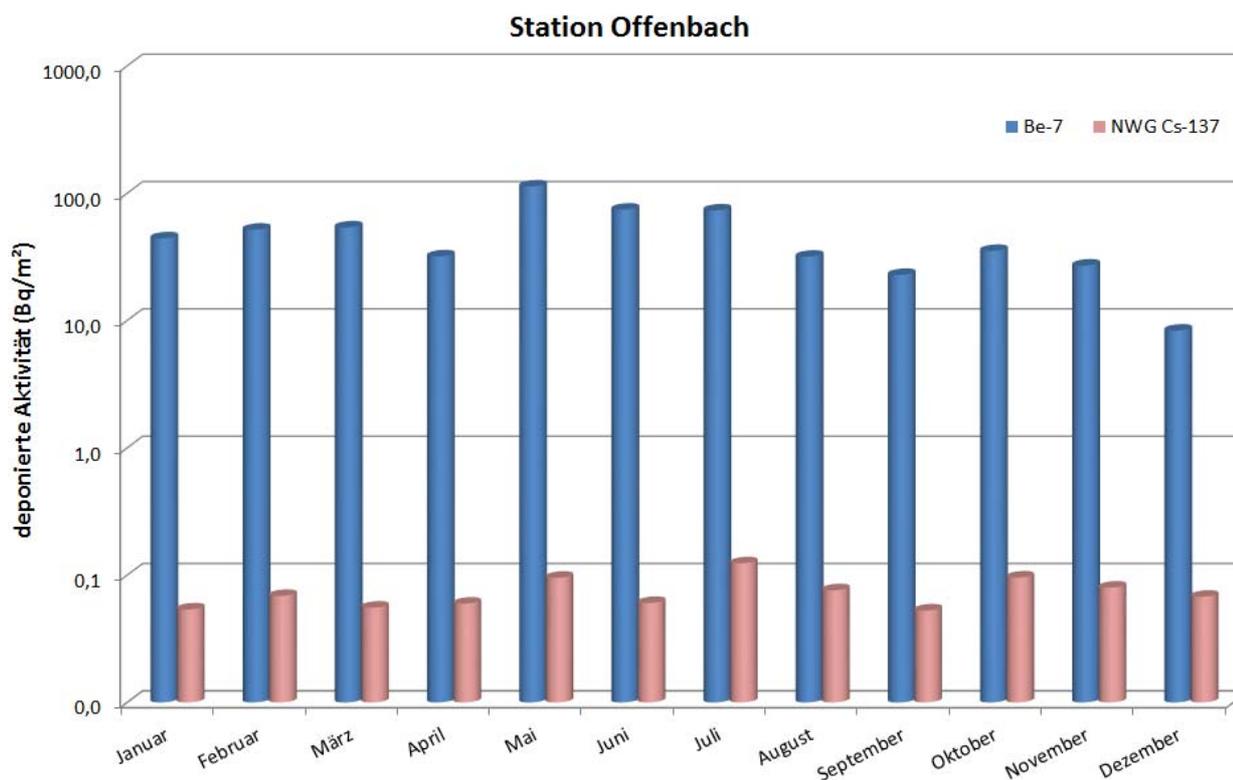
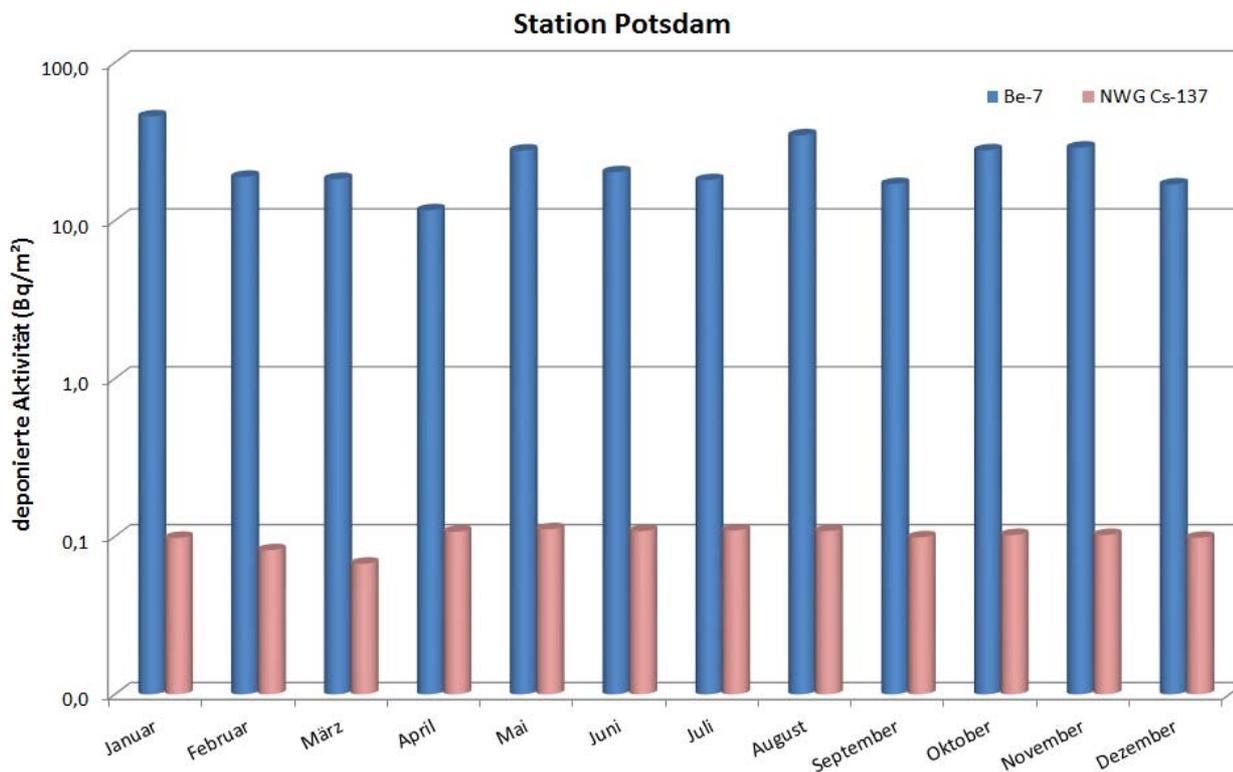


Abbildung B II 2.1-12 Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2016 -
 DWD-Stationen Potsdam und Offenbach
*(Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2016 -
 DWD stations in Potsdam and Offenbach)*

2.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung (Ambient gamma dose rate)

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

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

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.

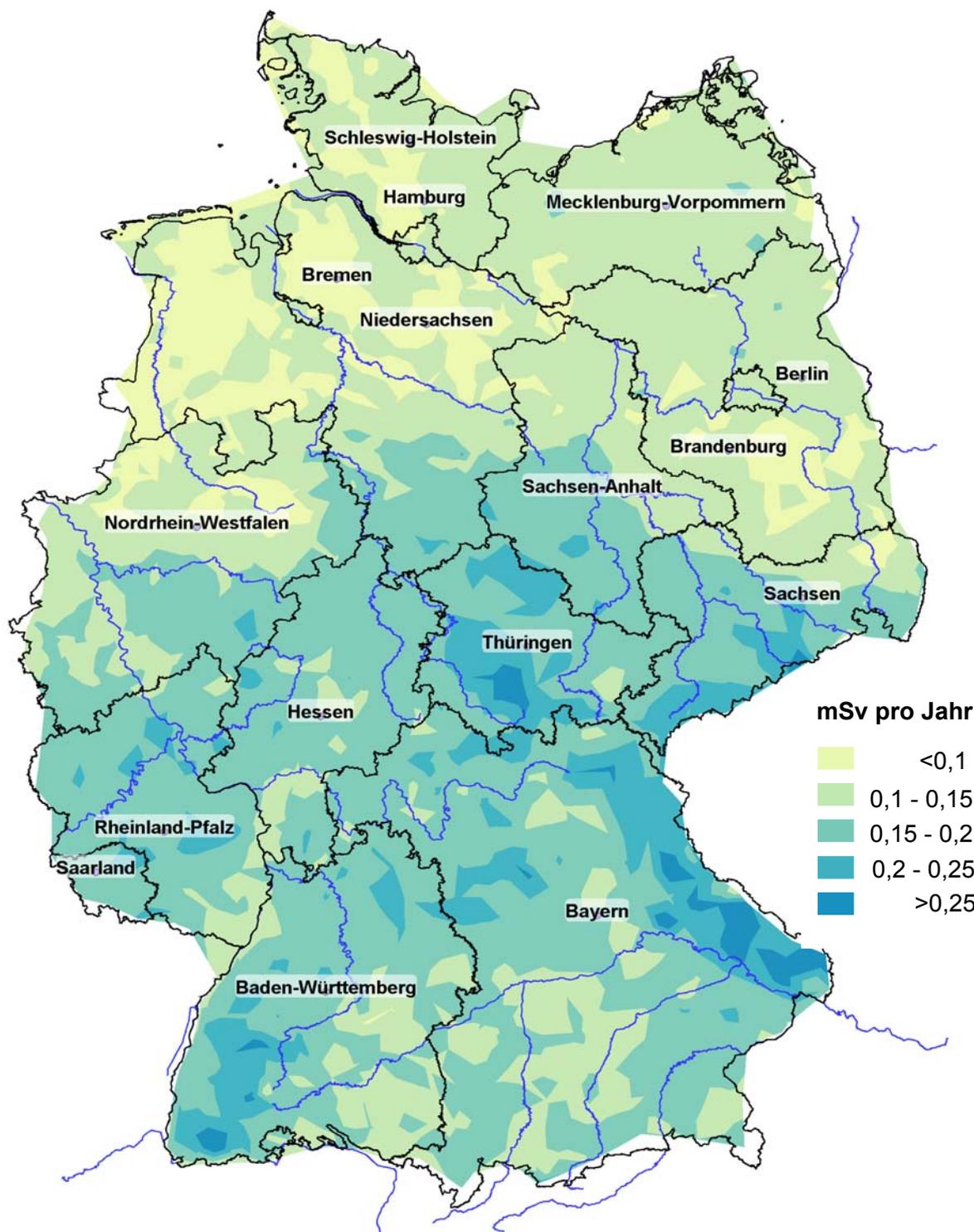
Kurzzeitige, meist lokal auftretende Erhöhungen der γ -Ortsdosisleistung, die insbesondere bei starken Niederschlägen in den Sommermonaten zu beobachten sind, sind auf das Auswaschen von natürlichen Radon-Folgeprodukten aus der Luft zurückzuführen. Üblicherweise sind dabei nur wenige Messstellen betroffen 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 2006 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 Technik umgerüstet. Die Integration einer kleinen Anzahl von autarken Sonden ohne Strom- und festem Telekommunikationsanschluss in den operationellen Betrieb des ODL-Messnetzes konnte 2016 ebenfalls fortgesetzt werden. Durch den Einsatz der neuen Technik konnten bisher rund 130 ODL-Messstellen an Liegenschaften des DWD kostenneutral durch Nutzung des gesicherten DWD-WAN (Weitverkehrsnetz) integriert werden. Diese Messstellen liefern ihre Daten online im Routinebetrieb alle 10 Minuten.

Seit 2012 laufen im ODL-Messnetz Feldversuche, bei denen spektrometrierende ODL-Sonden mit Cadmium-Zink-Tellurid- oder Lanthanbromid-Detektoren verschiedener Hersteller eingesetzt werden. 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.

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

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



mSv pro Jahr

- <math><0,1</math>
- 0,1 - 0,15
- 0,15 - 0,2
- 0,2 - 0,25
- >0,25

0 50 100 150km

Daten aus dem Messnetz des Bundes
 Bundesamt für Strahlenschutz

Abbildung B II 2.1-13 Externe Strahlenexposition im Jahr 2016 in Deutschland bei täglich 5 Stunden Aufenthalt im Freien
 (External radiation exposure 2016, spending 5 hours per day outdoors)

2.1.4 Radioaktivität in Luft und Niederschlag in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz (*Radioactivity in air and deposition in the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act*)

Luft

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

Für das gasförmige I-131 wurden im Allgemeinen nur Nachweisgrenzen gemessen - mit Ausnahme der zeitweise durch Fukushima beeinflussten Einzelmesswerte 2011 (siehe Tabelle B-II-2.1.4-1a im [Jahresbericht 2011](#) des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“). Im Berichtsjahr hat sich die Konzentration des emittierten I-131 gegenüber den Vorjahren nicht verändert ([Tabelle T II.16](#)). Dasselbe gilt für die Aktivitätskonzentrationen der schwebstoffpartikelgebundenen Radionuklide, die 2016 wie im Vorjahr an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen lagen. Die Messergebnisse sind in [Tabelle T II.17](#) für das Bezugsnuklid Co-60 zusammengefasst.

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der kontinuierlich gemessenen γ -Ortsdosisleistung ([Tabelle T II.18](#)) 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 $0,05 \text{ Bq/l}$ gefordert. Die Niederschlagsmenge liegt im Durchschnitt je nach Jahreszeit und Standort zwischen 10 und 100 Liter pro Quadratmeter und Monat, so dass für die Deposition Nachweisgrenzen zwischen $0,5 \text{ Bq/m}^2$ und 5 Bq/m^2 resultieren können. Es liegen keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen vor. In [Tabelle T II.19](#) sind die erzielten Nachweisgrenzen, bezogen auf Co-60, zusammengefasst. Höhere Messwerte erklären sich häufig aus der Resuspension von bereits deponierten schwebstoffgebundenen Radionukliden, deren Verfrachtung mit dem Wind und abschließender Deposition.

2.2 Nord- und Ostsee (*North Sea and Baltic Sea*)

In diesem Kapitel wird der aktuelle Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide beschrieben. Grundlage der Bewertung sind jährlich 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.

2.2.1 Radionuklide im Nordseewasser

Die Probenentnahme zur Überwachung der Nordsee erfolgte 2016 auf einer Fahrt im August. Zusätzlich wurden an den Positionen der früheren Feuerschiffe Borkumriff und Elbe 1 in der Deutschen Bucht Proben möglichst monatlich entnommen.

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

In der [Abbildung B II 2.2-1](#) wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 im Oberflächenwasser der Nordsee von 49° bis 60° nördlicher Breite im Jahr 2016 dargestellt. Insgesamt sind die Konzentrationen sehr gering mit einer minimalen Erhöhung im Skagerrak als Resultat des aus der Ostsee fließenden Oberflächenwassers. Der höchste hier gefundene Wert von $4,5 \text{ Bq/m}^3$ ist sehr gering im Vergleich zu nachgewiesenen Aktivitätskonzentrationen in früheren Jahrzehnten. Ebenfalls leicht erhöht sind die Aktivitätskonzentrationen an der englischen Ostküste. Dabei ist diese Erhöhung nicht auf aktuelle Einleitungen der Anlage Sellafield zurückzuführen, sondern auf Resuspension aus dem Sediment der Irischen See. Hier wurden in der Vergangenheit, vor allem in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts, große Mengen einiger künstlicher Radionuklide abgelagert, die seitdem aus diesem Puffer langsam wieder freigesetzt werden. Auch in der Umgebung der Anlage La Hague sind aktuelle Einleitungen nicht mehr nachweisbar.

Auf Grund technischer und personeller Probleme konnten die Tritium- und Strontiumanalysen aus dem Jahr 2016 und 2015 zum Redaktionsschluss nicht fertiggestellt werden. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen keine auffälligen Werte.

In [Abbildung B II 2.2-2](#) ist die Aktivitätskonzentration von Pu-(239+240) in der Nordsee und dem Englischen Kanal von 52° N bis $62^\circ 30' \text{ N}$ im Jahr 2015 dargestellt. Charakteristisch sind die relativ hohen Aktivitätskonzentrationen an der Englischen Ostküste und in den Gewässern um Schottland, die wie beim Cs-137 von resuspendiertem Sediment in der Irischen See stammen. Hier lässt sich eine deutliche Abnahme der Konzentrationen dieses Radionuklids gegenüber dem Vorjahr erkennen.

Die in den letzten Jahren gefundenen Aktivitätskonzentrationen waren in allen Fällen sehr gering und daher für Mensch und Umwelt unbedenklich. Dies gilt nicht nur für die Transurane, sondern für alle hier dargestellten Radionuklide in Nord- und Ostsee.

2.2.2 Radionuklide in der Ostsee

Ostseewasser

Die Ostsee erfuhr nach dem Unfall von Tschernobyl einen hohen Eintrag von Fallout, im Wesentlichen 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 entfernt werden. Dies ist seit über 30 Jahren auch für das Cs-137 aus dem Tschernobylunfall zu beobachten. Das ebenfalls eingetragene Cs-134 ist auf Grund der relativ kurzen Halbwertszeit von 2,07 Jahren in der Ostsee schon lange 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 Tschernobyl-Fallout, im Tiefenwasser finden wir durchweg niedrigere Konzentrationen bei höherem Salzgehalt.

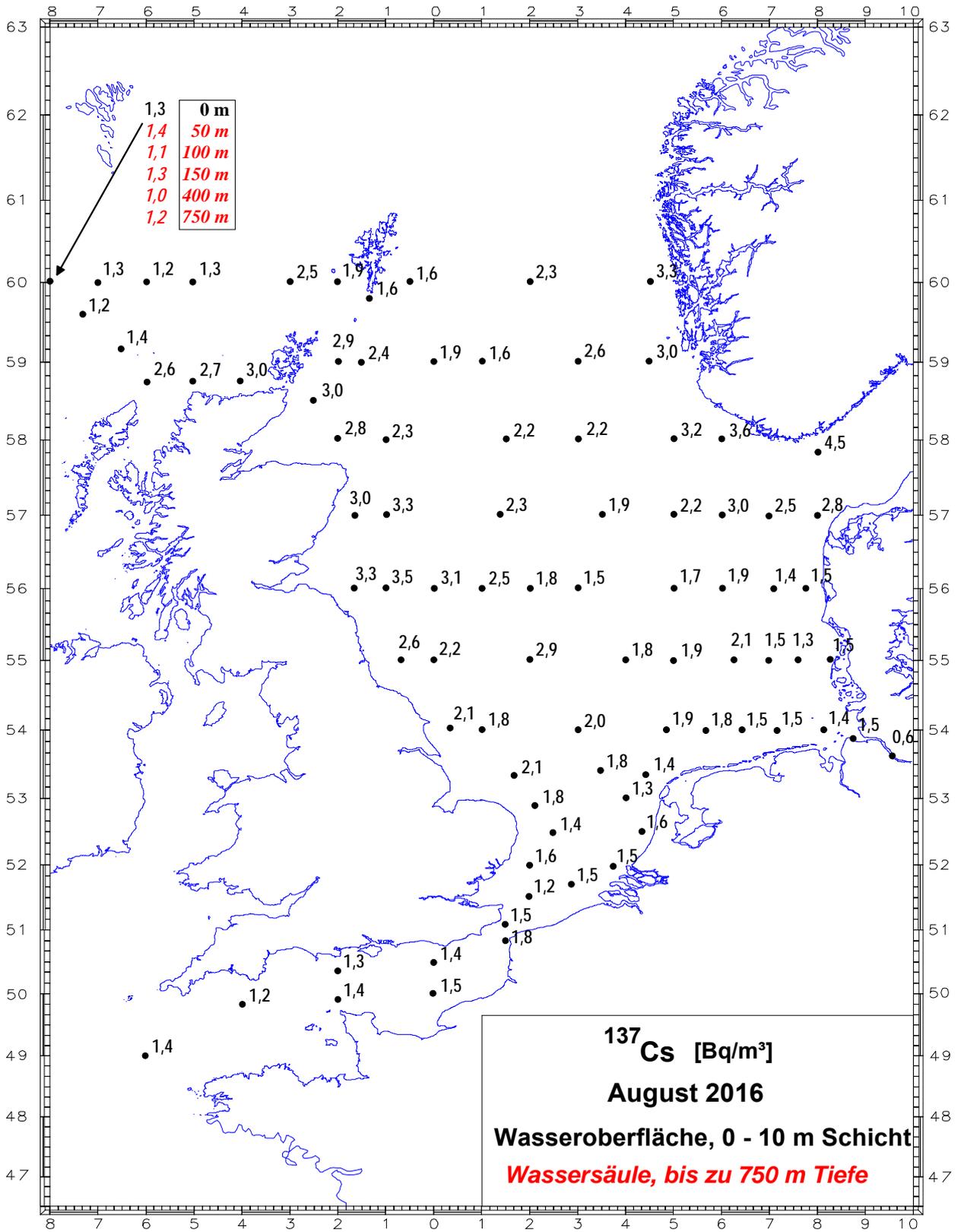


Abbildung B II 2.2-1 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2016
(Distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2016)

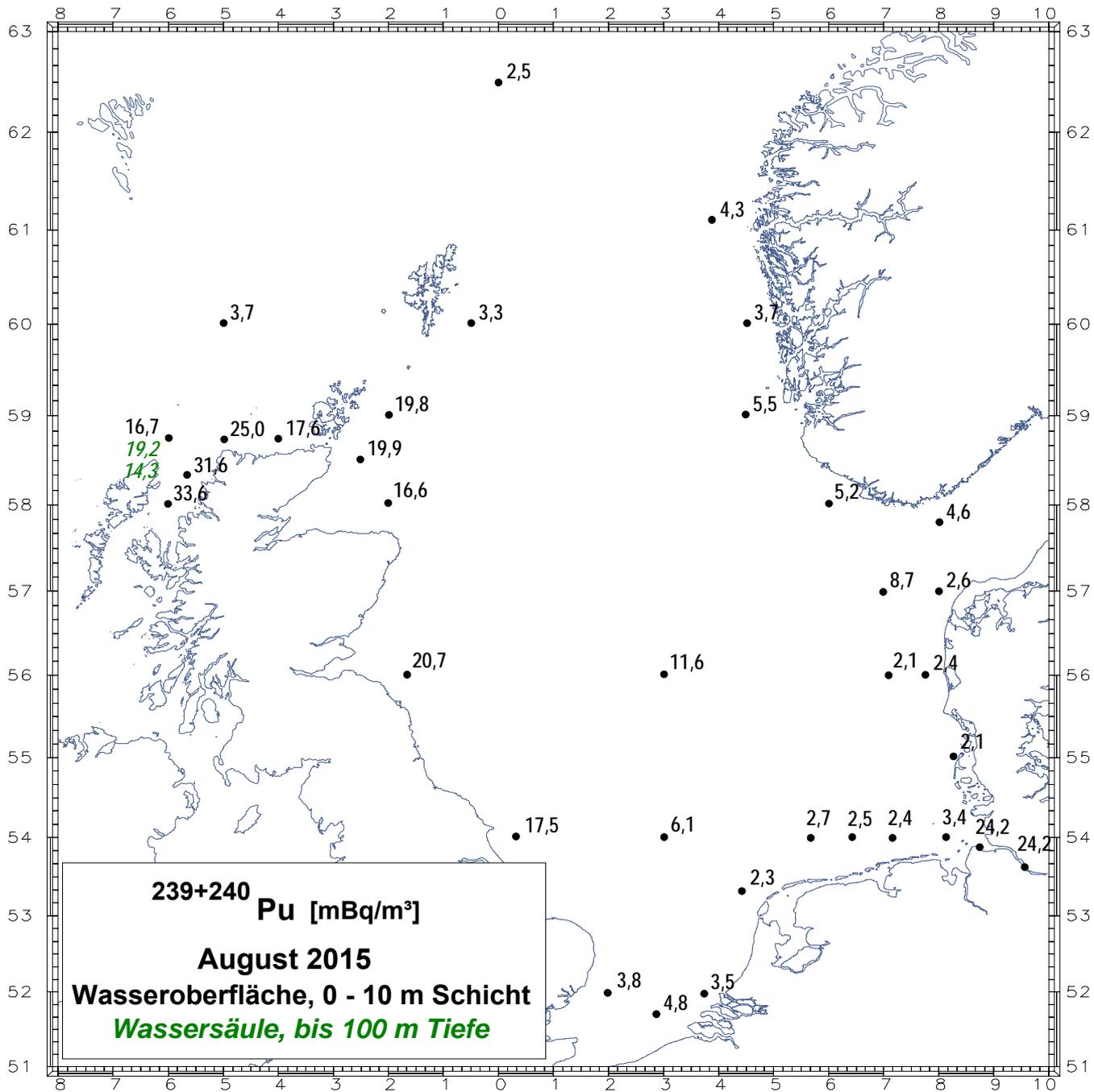


Abbildung B II 2.2-2 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Pu-(239+240) (Bq/m^3) im Wasser der Nordsee im August 2015
(Distribution of the activity concentration of Pu-(239+240) (Bq/m^3) in seawater of the North Sea in August 2015)

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegt an der Wasseroberfläche der westlichen Ostsee zwischen etwa 13 Bq/m³ im westlichen und 24 Bq/m³ im östlichen Teil des im Juni 2016 überwachten Gebietes (Abbildung B II 2.2-3). Gegenüber dem Vorjahr ist wiederum eine leichte Abnahme festzustellen. Die Konzentrationen nehmen in west-östlicher Richtung nach wie vor leicht zu - in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallouts. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich in den letzten Jahren insgesamt deutlich verringert hat, liegt sie immer noch um mindestens den Faktor 10 über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der zentralen Ostsee im überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine sehr homogene Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers mit deutlich geringerem Gehalt an Cs-137 nachweisen. Im Bereich des Fehmarnbelt zeigen die Messwerte die größten Unterschiede in der Cs-137-Konzentration zwischen Oberflächen- und Bodenwasser. Hier wurde im Jahr 2016 eine Aktivitätskonzentration unter 10 Bq/m³ im Bodenwasser nachgewiesen - erstmals seit dem Tschernobylunfall.

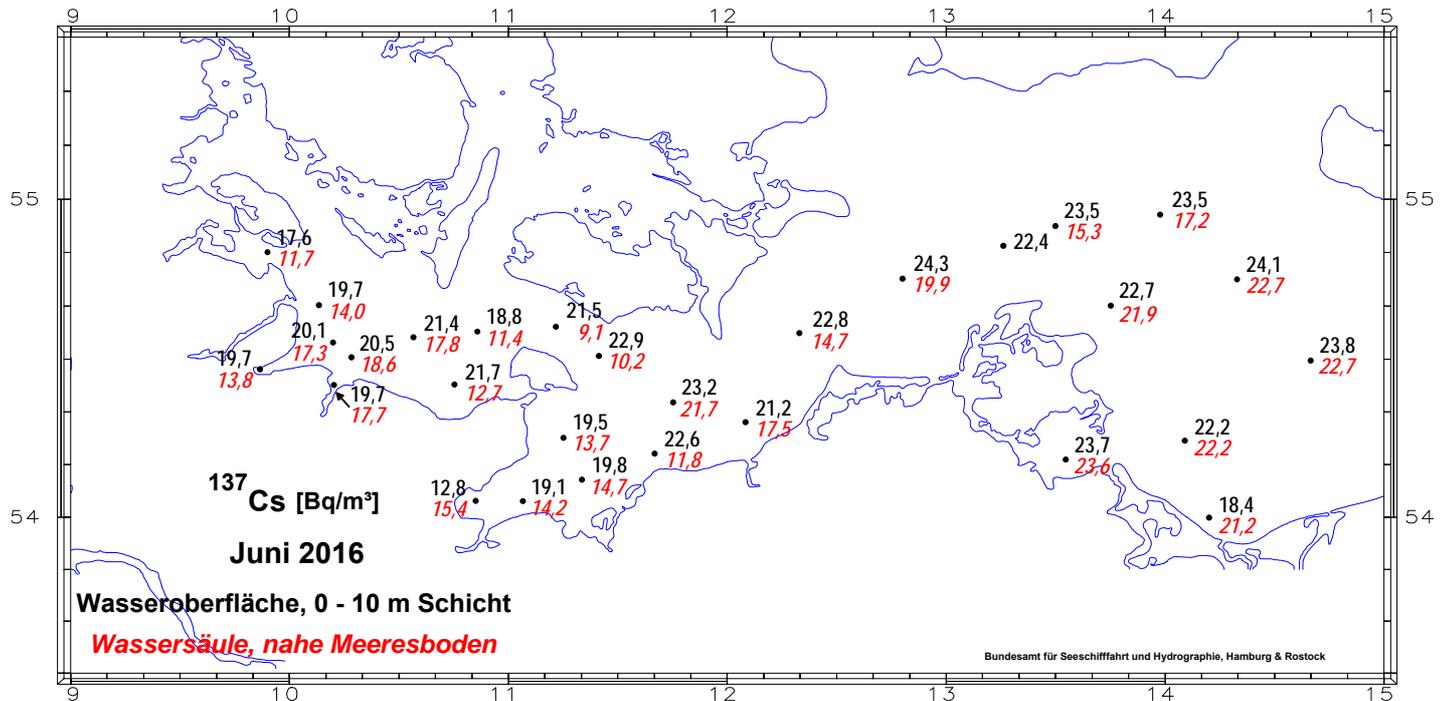


Abbildung B II 2.2-3 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2016
(Spatial distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in surface and bottom sea water of the western Baltic Sea in June 2016)

Eine Cs-137-Aktivitätskonzentration von unter 15 Bq/m³ entspricht der historischen Vor-Tschernobyl-Konzentration und wurde von HELCOM dementsprechend als ökologisches Qualitätsziel für die Ostsee festgelegt. Diese Konzentration wird allerdings bislang in kaum einem Seegebiet der Ostsee erreicht.

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

Die räumliche Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser auf einigen ausgewählten Stationen im Untersuchungsgebiet im Juni 2016 ist in [Abbildung B II 2.2-4](#) dargestellt. Die Verteilung von Sr-90 ist sehr homogen, weil sie vom globalen Kernwaffenfallout und nicht vom Tschernobyl-Unfall bestimmt wird.

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

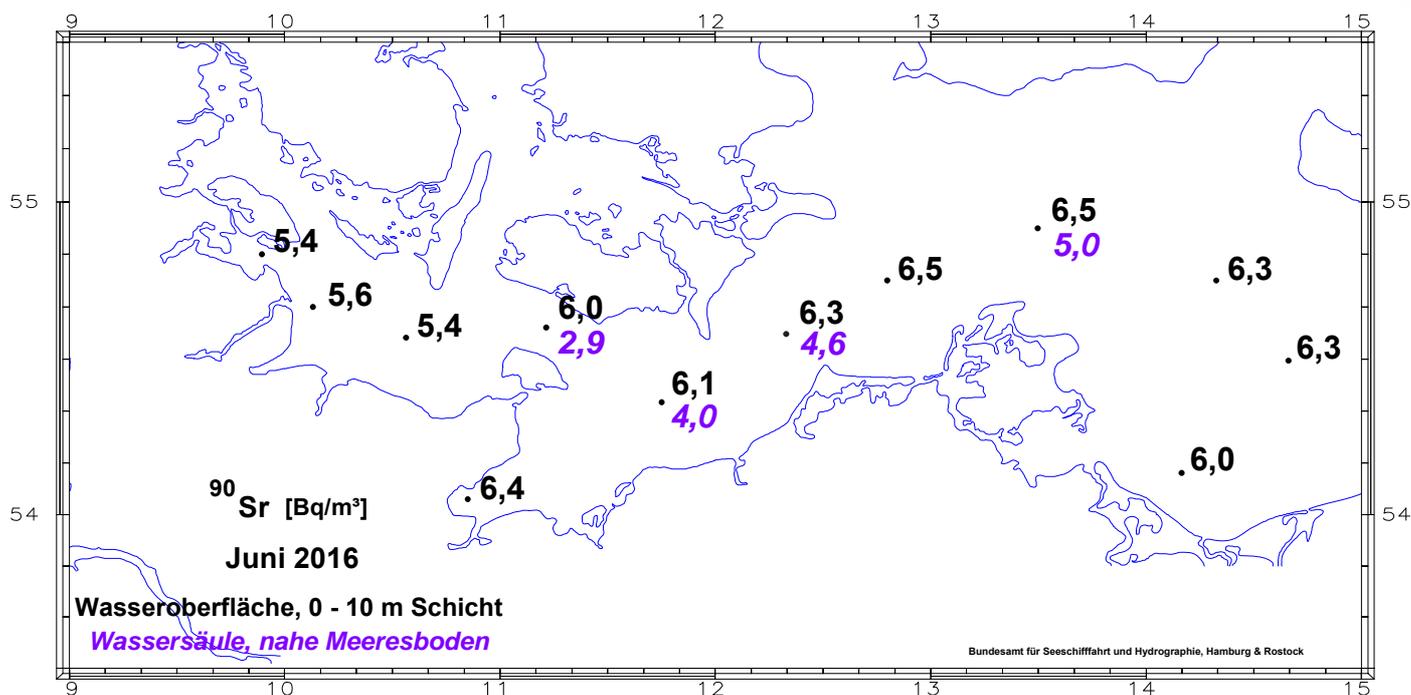


Abbildung B II 2.2-4 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2016

(Spatial distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in surface and sub-surface sea water of the western Baltic Sea in June 2016)

Schwebstoffe und Sedimente der Ostsee

Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall findet sich natürlich auch in den Schwebstoffen und Sedimenten der Ostsee. Die spezifische Aktivität an einigen ausgewählten Stationen in der westlichen Ostsee ist in Abbildung B II 2.2-5 dargestellt.

Die Messwerte sind alle im Rahmen der langjährigen Messbereiche. Die gegenüber den anderen Stationen etwas erhöhte Aktivität im Greifswalder Bodden wird seit einiger Zeit dort beobachtet und ist im Jahr 2016 niedriger als in den Vorjahren. In den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee wurde das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall regional sehr unterschiedlich deponiert. Die höchste Konzentration findet sich vielfach nicht mehr an der Sedimentoberfläche, sondern je nach Ort in Tiefen von 2 bis 8 cm. Dabei wurden im Jahr 2016 spezifische Aktivitäten von bis zu 99 Bq/kg Trockenmasse festgestellt, wie in den Vorjahren auf der Station BODDEN in 4-6 cm Tiefe.

In Abbildung B II 2.2-6 ist das Inventar in kBq/m² einiger ausgewählter Sedimentstationen der westlichen Ostsee bis in 24 cm Tiefe im Jahr 2016 dargestellt. Die höchsten Werte mit bis zu 4,1 kBq/m² bzw. 3,5 kBq/m² (Eckernförder Bucht bzw. Greifswalder Bodden) sind in den wasseraustauscharmen Buchten, Bodden und dem als Senke fungierenden Arkonabecken zu finden. Es zeigt sich, dass auch über 30 Jahre nach dem Tschernobyl-Unfall noch beachtliche Depositionen gefunden werden können. Die Inventare hängen stark von der Feinkörnigkeit der Sedimente ab. Dabei sind die in diesem Teil der Ostsee gefundenen Inventare an Cs-137 wesentlich geringer als z. B. im Finnischen oder Bottnischen Meerbusen, jedoch höher als in fast allen Gebieten des Weltmeeres mit Ausnahme der Irischen See.

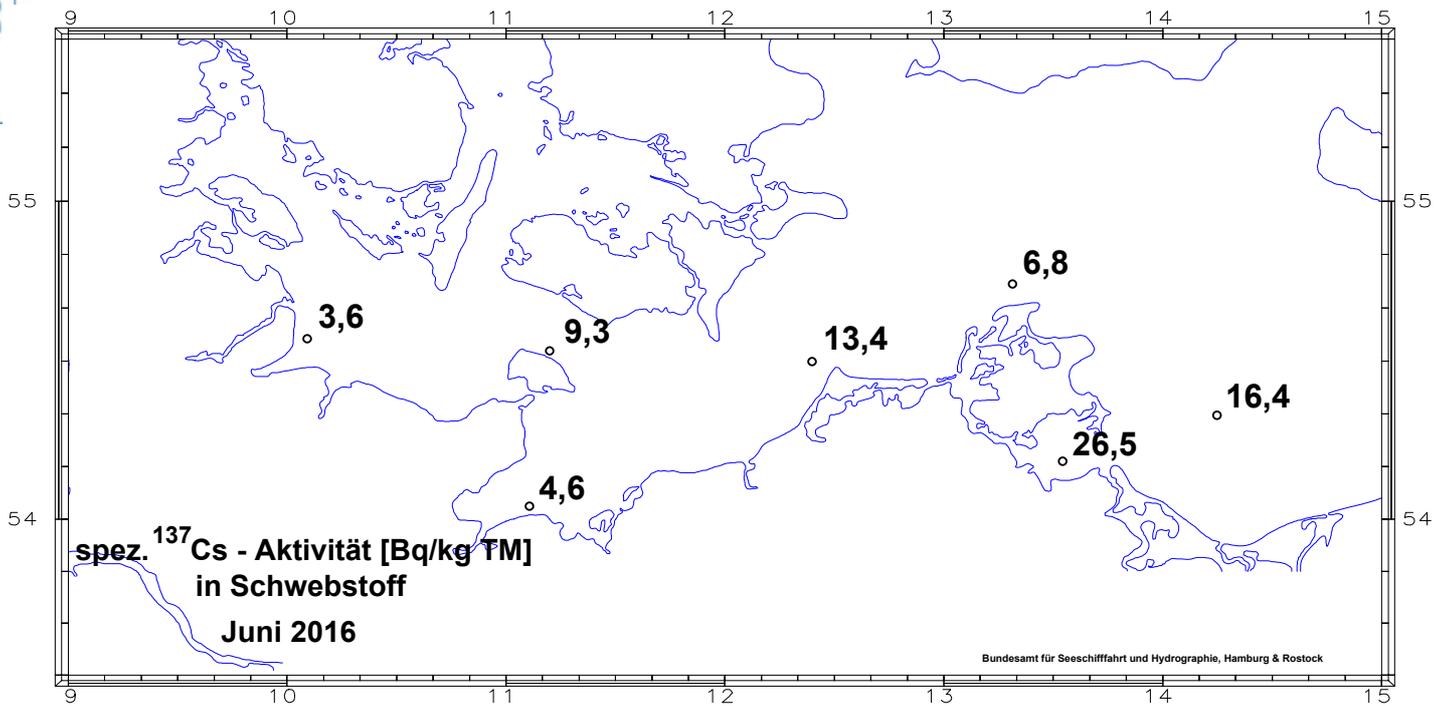


Abbildung B II 2.2-5 Spezifische Cs-137-Aktivität (Bq/kg TM) in Schwebstoff der westlichen Ostsee im Juni 2016
(Specific Cs-137-Activity (Bq/kg DW) in suspended matter of the western Baltic Sea in June 2016)

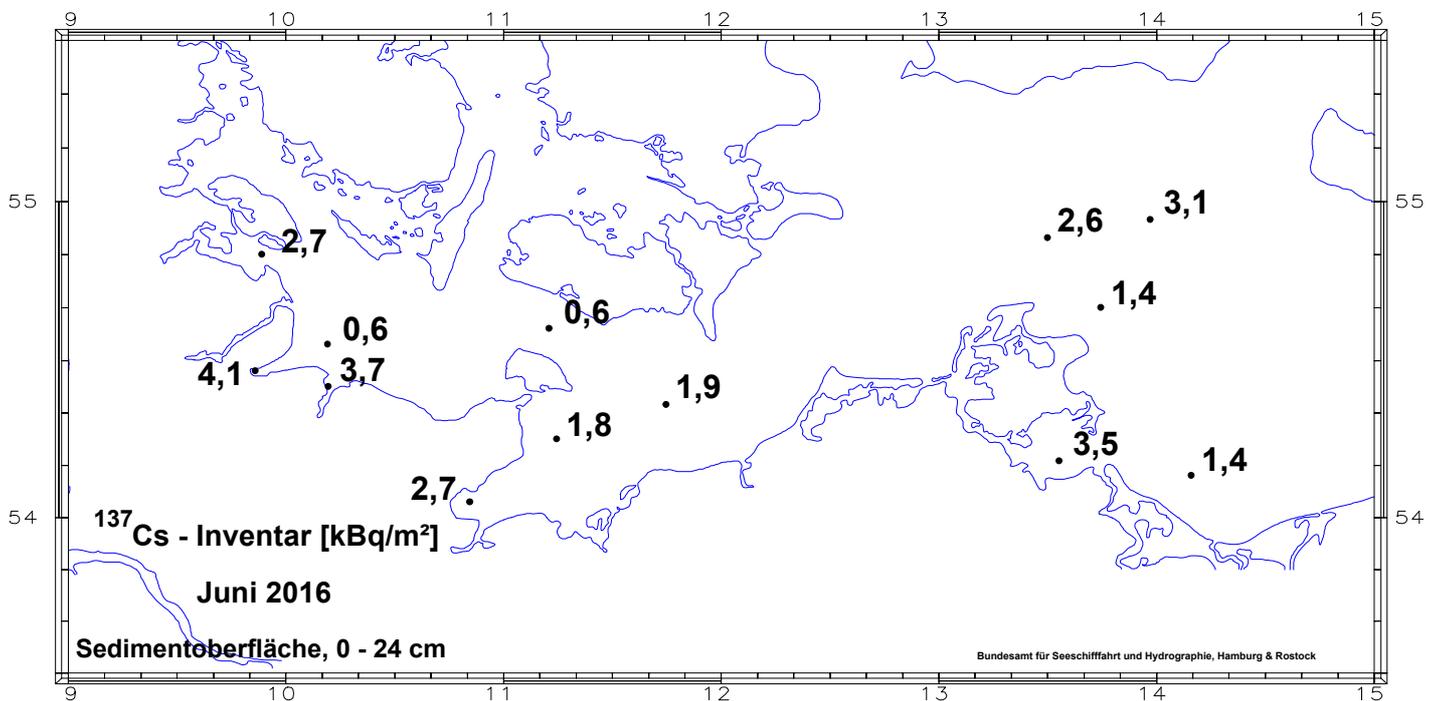


Abbildung B II 2.2-6 Cs-137 Inventar (kBq/m²) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juni 2016. Das Inventar wird bis 24 cm Sedimenttiefe erfasst.
(Cs-137 inventory (kBq/m²) in sediment cores of the western Baltic Sea in June 2016. The inventory is calculated down to 24 cm depth)

2.3 Binnengewässer (Inland water)

2.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer (Surface water, suspended matter, and sediment in inland water)

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 Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) für das Jahr 2016 berichtet.

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

Hinweise zu den insgesamt erhaltenen Ergebnissen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG bzw. REI können der [Tabelle T II.27](#) entnommen werden.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG wurden im Berichtsjahr Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 160 Gewässern mit insgesamt ca. 20 900 Einzelwerten durchgeführt. Zur Auswertung wurden für repräsentative Entnahmestellen Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischen Aktivitäten berechnet und - zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten - den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt. Weiterhin sind die Anzahl der Werte (N) und die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) aufgelistet. Bei gemischten Datenreihen sind die Jahresmittelwerte stets derart berechnet worden, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit „<“ gekennzeichnet, so wurden auch die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Damit stellen diese Mittelwerte obere Grenzen dar, die die tatsächlichen mittleren Aktivitätsgehalte eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Auftragung „nn“ angegeben. [Tabelle T II.28](#) enthält die Auswertungen für Fließgewässer und [Tabelle T II.29](#) die für Seen bzw. Talsperren. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte ausgewählter Entnahmestellen in den [Abbildungen B II 2.3-1](#) bis [B II 2.3-8](#) beispielhaft aufgezeigt. Die unterschiedliche Höhe der erreichten Nachweisgrenze ergibt sich aus den Unterschieden in verfügbarem Probenvolumen und Messzeit.

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

Oberflächenwasserproben wiesen H-3-Konzentrationen im Jahresmittel überwiegend unterhalb der geforderten Nachweisgrenze des RMP von 10 Bq/l auf. Selbst in Flüssen, in die H-3 aus kerntechnischen Anlagen eingeleitet wurde, betragen die Jahresmittelwerte bis höchstens 31 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit ebenfalls unter den Nachweisgrenzenvorgaben des RMP. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren - von H-3 abgesehen - im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen nicht mehr nachweisbar. I-131 trat sporadisch auf mit Einzelkonzentrationen bis 0,03 Bq/l. Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für U-234, U-235 und U-238 durchweg Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen. Für U-238 schwankten die Werte beispielsweise regional bis 0,05 Bq/l.

In **Schwebstoffproben** betragen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 vorwiegend unter 50 Bq/kg TM. Höhere Werte für Cs-137 wurden wiederum von einzelnen Seen berichtet; der maximale Jahresmittelwert lag bei 195 Bq/kg TM (Steinhuder Meer, Niedersachsen). Co-58 und Co-60 konnten in Mosel und Rhein nachgewiesen werden, wobei die Werte aber unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM lagen. Für I-131 wurden Einzelwerte bis 24 Bq/kg TM (Mosel) gemessen.

In **Sedimentproben** betragen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 ebenfalls meist unter 50 Bq/kg TM. In einzelnen Seen traten auch hier immer noch höhere mittlere Gehalte an Cs-137 auf; der maximale Jahresmittelwert ergab sich zu 208 Bq/kg TM (Schollener See, Sachsen-Anhalt). Co-60 konnte in der Mosel nachgewiesen werden mit Werten deutlich unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

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

Strahlenexposition

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 eine Kontamination von Oberflächenwas-

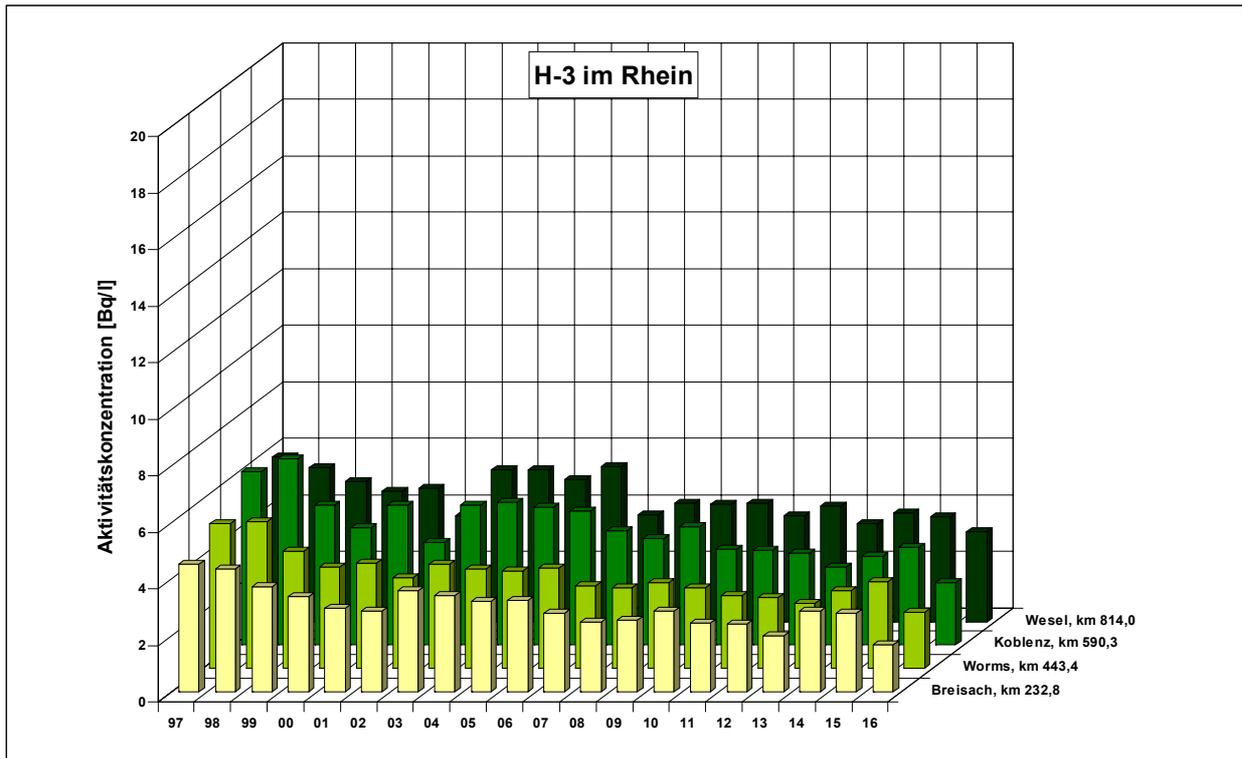


Abbildung B II 2.3-1 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)
 (Contents of H-3 (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

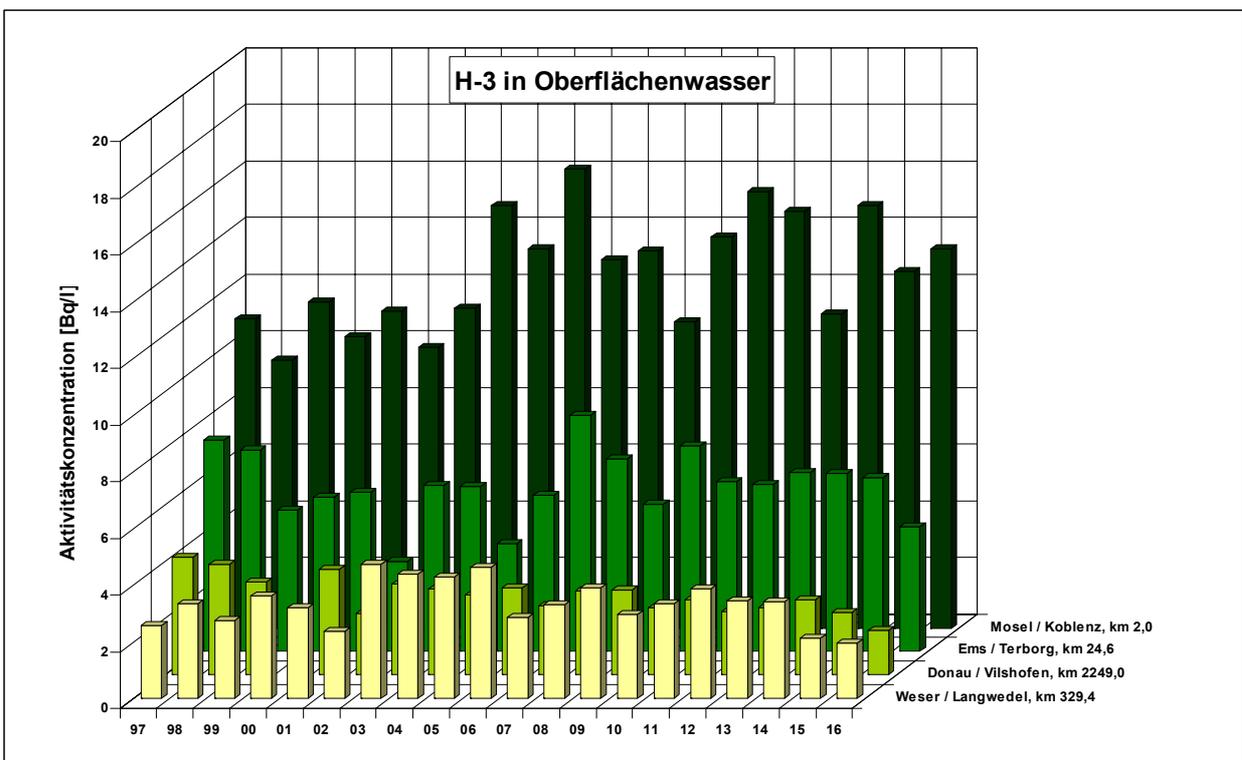


Abbildung B II 2.3-2 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer
 (Jahresmittelwerte)
 (Contents of H-3 (Bq/l) in surface water from selected inland waters
 - annual mean values)

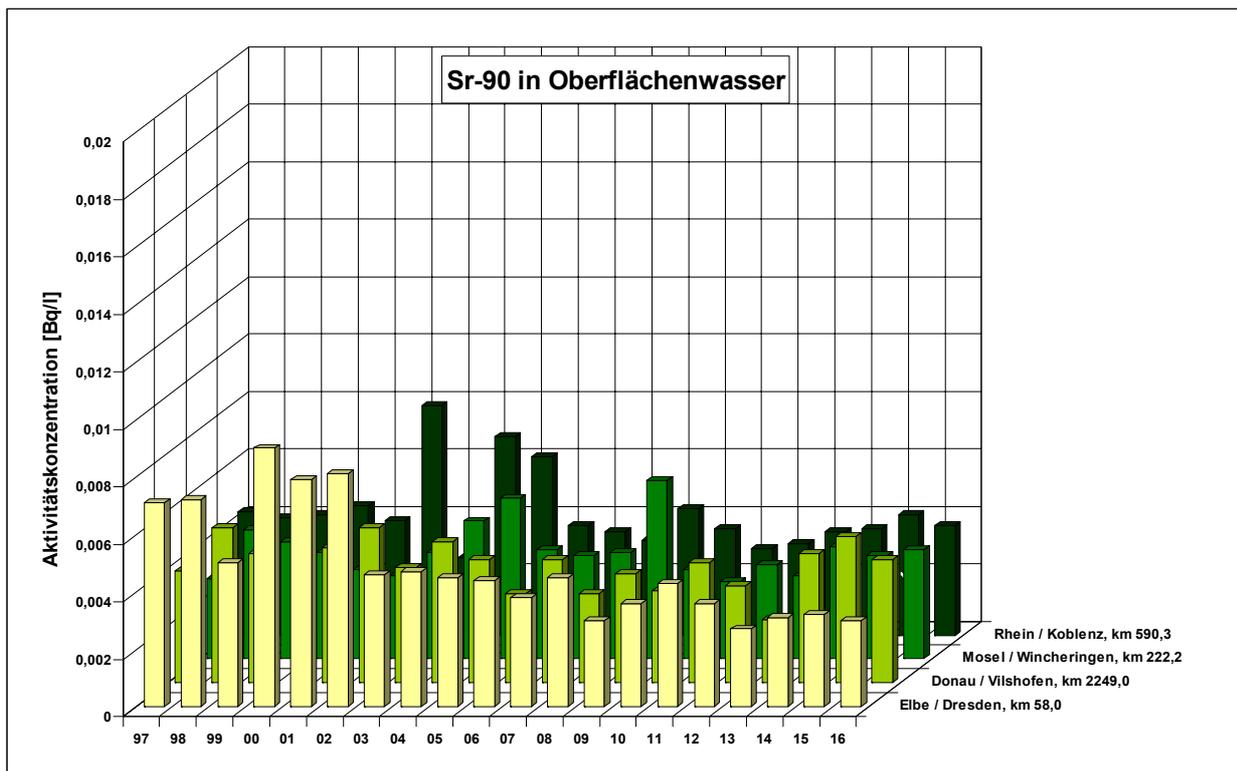


Abbildung B II 2.3-3 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Sr-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Sr-90 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

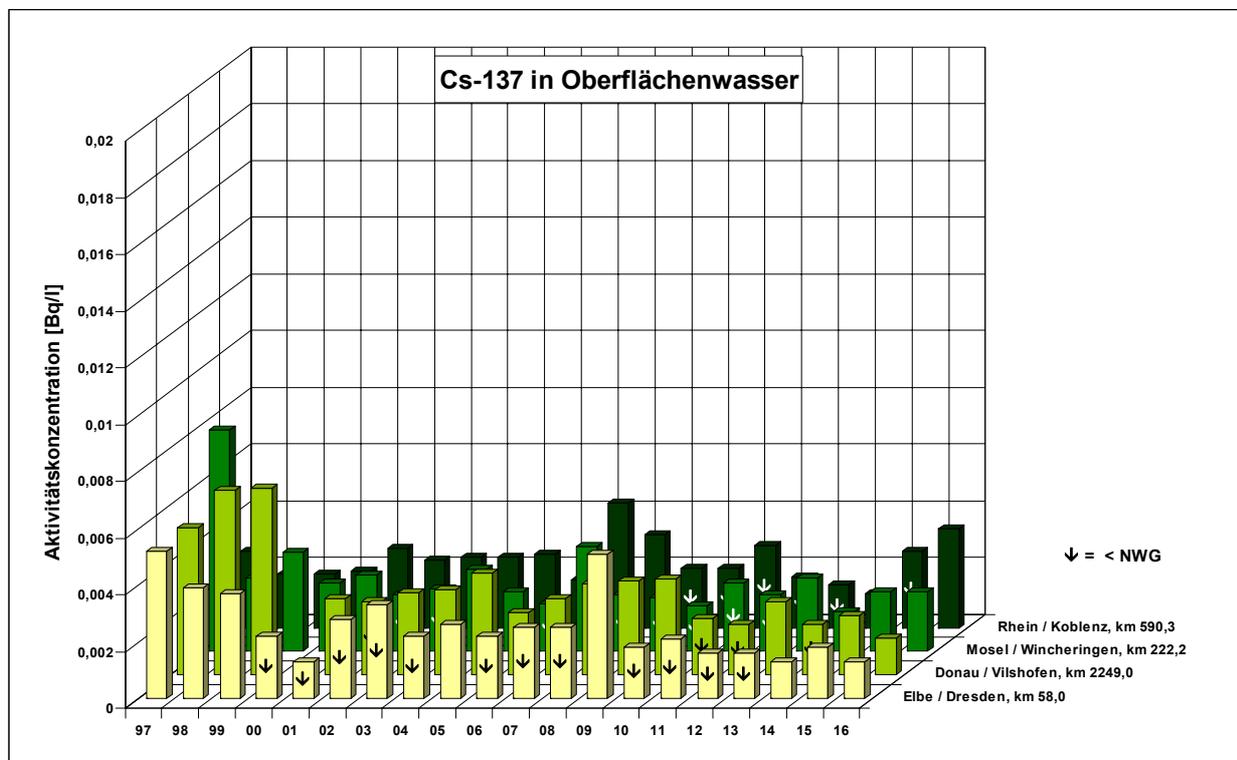


Abbildung B II 2.3-4 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cs-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

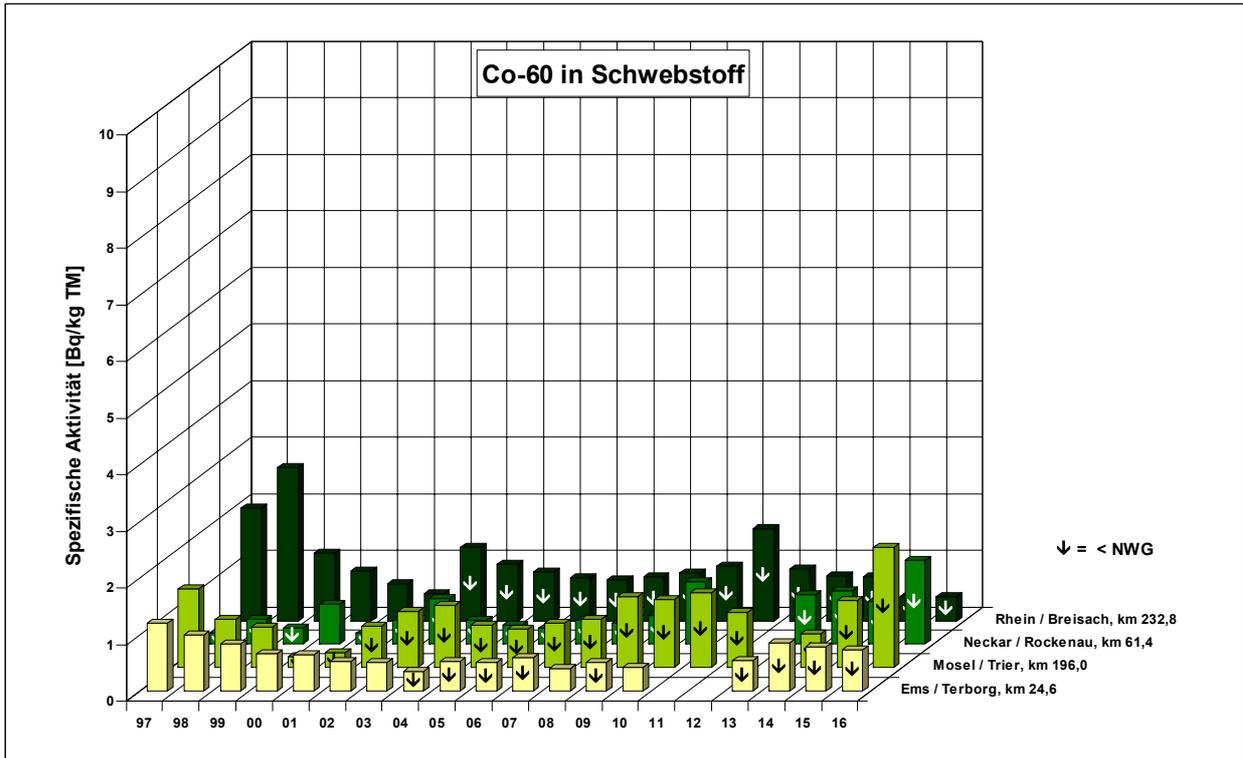


Abbildung B II 2.3-5 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (*Co-60 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values*)

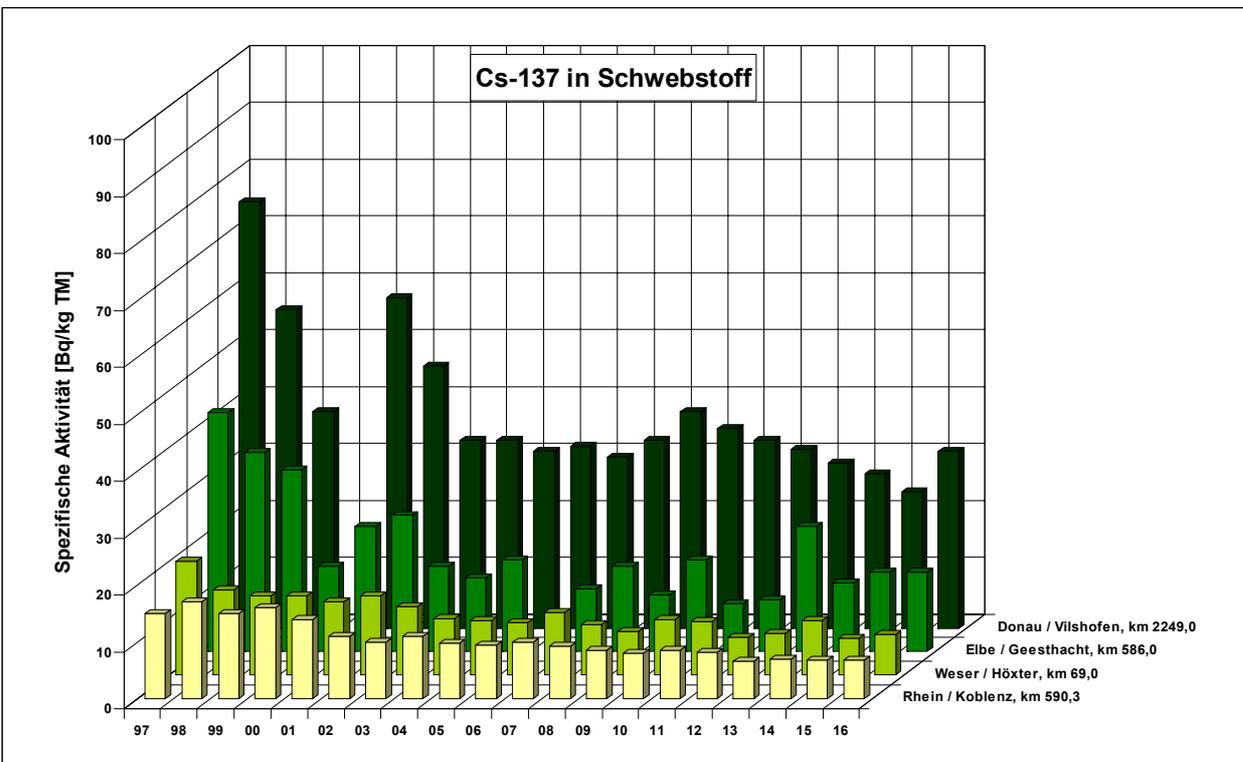


Abbildung B II 2.3-6 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (*Cs-137 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values*)

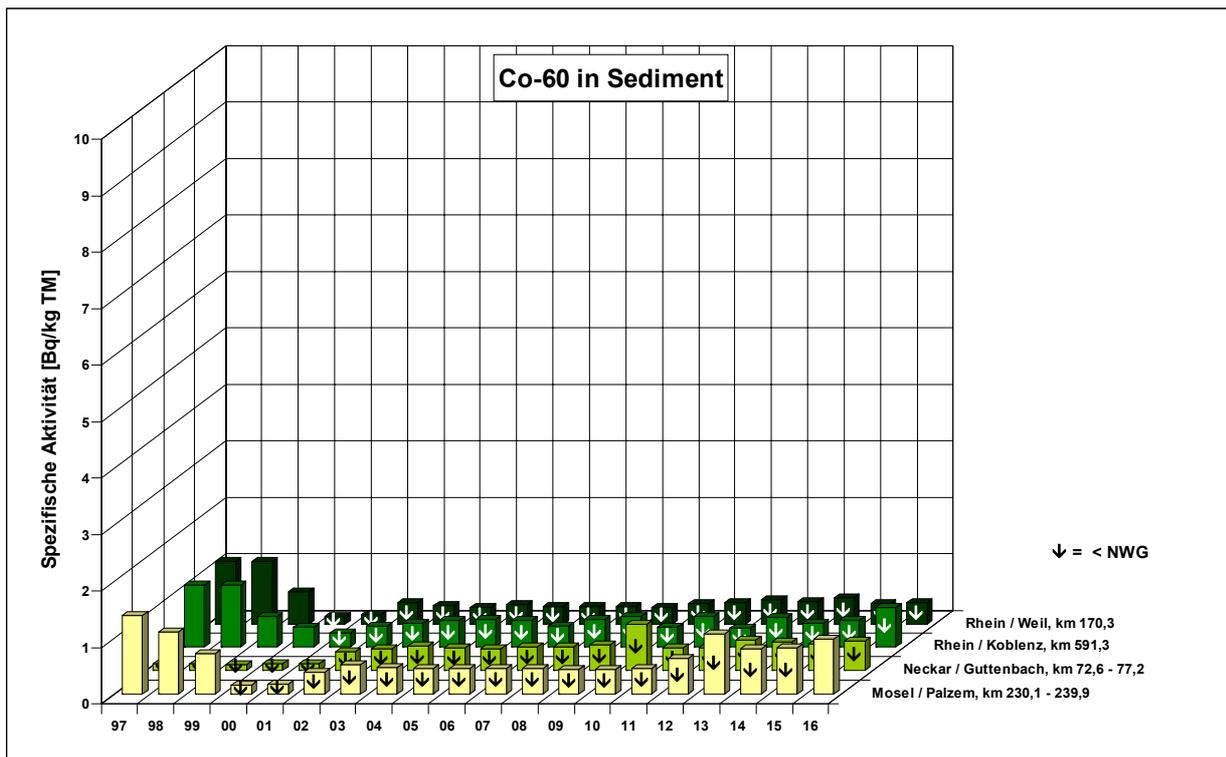


Abbildung B II 2.3-7 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Co-60 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

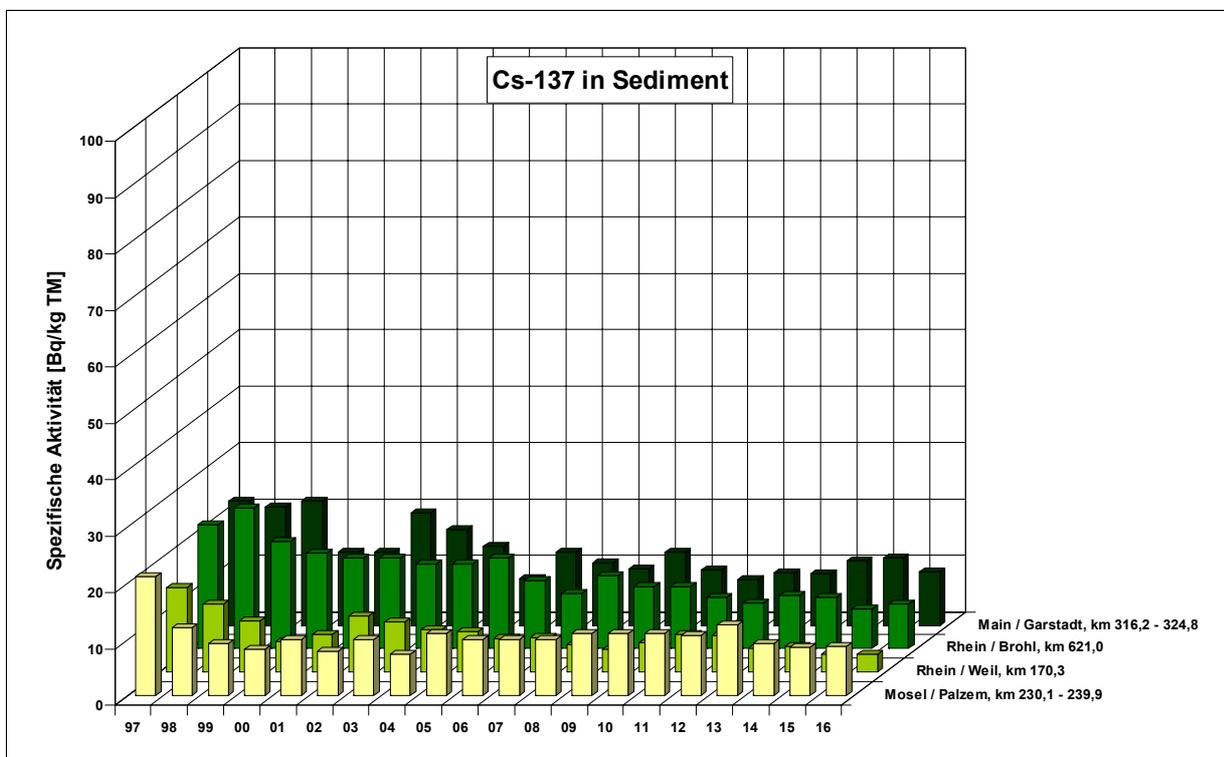


Abbildung B II 2.3-8 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

ser mit H-3 von 10 Bq/l sowie mit Sr-90 und Cs-137 von jeweils 0,01 Bq/l an, so errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a; 350 l/a Konsum) auf dem „Trinkwasser“-Pfad zu ca. 0,21 µSv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Die angenommenen Trinkwasser-Verzehrmengen sind in der Strahlenschutzverordnung (Stand 2012), Anlage VII Teil B Tabelle 1 festgelegt. Für Kleinkinder (<= 1 a; 215 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,69 µSv/a. Allein der von dem natürlichen Radionuklid K-40 für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 0,87 µSv/a bzw. 5,3 µSv/a deutlich darüber.

Insbesondere Cs-137 war auch 2016 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) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu ca. 11 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. 28 µSv/a wesentlich höher.

2.3.2 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung der Anlagen nach dem Atomgesetz (*Surface water and sediment from inland waters in the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act*)

Dieses Kapitel enthält die Auswertung der Ergebnisse der Immissionsüberwachung des aquatischen Nahbereichs kerntechnischer Anlagen aus dem Berichtsjahr 2016 gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). Insgesamt lagen ca. 6600 Einzelwerte von Messungen an Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben vor. Die Auswertung erfolgte wie im vorigen Kapitel beschrieben.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in **Oberflächenwasserproben** aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte in Einzelfällen nachweisbar (Tabelle T II.30). Erhöhte H-3-Konzentrationen wurden in Proben gemessen, die direkt an Auslaufbauwerken genommen wurden; die Mittelwerte betragen hier maximal 1350 Bq/l in der Ems (KKE Emsland). In Folge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die H-3-Konzentrationen aber rasch wieder 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. Insbesondere Sr-90 und Cs-137 waren wegen der Vorbelastung aus anderen Quellen (Kernwaffen-Fallout und Reaktorunfall in Tschernobyl) nicht explizit aufzuzeigen. Dies gilt auch für I-131, das auf nuklearmedizinische Anwendungen zurückgeführt wurde. Transurane wurden nicht nachgewiesen.

In **Sedimentproben** - und vereinzelt Schwebstoffproben - aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten der anlagentypischen Radionuklide meist unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. Der erhöhte Wert für Co-60 von 900 Bq/kg TM im Hauptentwässerungskanal (FZ Jülich) wurde auf ein sog. heißes Teilchen zurückgeführt [1]. I-131 und Cs-137 wurden nachgewiesen, Einflüsse der jeweiligen kerntechnischen Anlagen waren aber auf Grund anderweitiger Vorbelastungen praktisch nicht aufzuzeigen bzw. auszuschließen. Für Alpha-Strahler wurden etwas erhöhte mittlere Werte für die Gesamt-Alpha-Aktivität ($G-\alpha$) mit 529 Bq/kg TM im Hirschkanal (KIT Karlsruhe), für Am-241 mit 18 Bq/kg TM im Hauptentwässerungskanal (FZ Jülich) und für Pu-(239+240) mit 0,15 Bq/kg TM in der Isar (Neutronenquelle FRM II) gemessen. Andere Transurane wurden nicht nachgewiesen.

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser ist aus radiologischer Sicht vernachlässigbar. Geringfügig erhöhte H-3-Konzentrationen traten als Folge von Ableitungen aus Kernkraftwerken auf. Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser mit 25 Bq/l H-3 unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich die aus dem „Trinkwasser“-Pfad für Erwachsene (> 17 a; 700 l/a Konsum) von H-3 resultierende effektive Dosis zu ca. 0,3 µSv/a. Für Kleinkinder (<= 1 a; 366 l/a Konsum¹) beträgt der entsprechende Wert 0,59 µSv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 µSv/a nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu ca. 0,1 bzw. 0,2 % ausgeschöpft werden.

Co-60 wurde vereinzelt in Sedimentproben gemessen. Für den Fall, dass Sediment mit 10 Bq/kg TM Co-60 gebaggert und an Land gelagert werden würde, lässt sich die auf dem sensitiven Expositionspfad „Aufenthalt auf Spülfeldern“ zu erwartende zusätzliche externe effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a) für Standardbedingungen zu ca. 3,1 µSv/a abschätzen. Sie würde damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 47 StrlSchV von 300 µSv/a liegen.

Literatur

- [1] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Umgebungsüberwachung Forschungszentrum Jülich, Jahresbericht 2016, S. 5, April 2017

¹ Die angenommenen Trinkwasser-Verzehrmengen sind in der Strahlenschutzverordnung (Stand 2012), Anlage VII Teil B Tabelle 1 festgelegt. Nach § 47 sind für den Betrieb kerntechnischer Anlagen für einen Säugling, der nicht gestillt wird, 55 Liter Trinkwasser mit einem Faktor 2 und 160 Liter Trinkwasser zur Zubereitung von Milchfertigprodukten mit einem Faktor 1,6 anzusetzen. Dies ergibt für das 95 %-Perzentil der Trinkwassermenge 366 Liter.

2.4 Böden (Soil)

2.4.1 Boden, Pflanzen und Futtermittel (Soil, plants, and animal feedstuffs)

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 2016 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

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

In der Vegetationsperiode 2016 wurden verschiedene Pflanzenproben gammaspektrometrisch gemessen. Im Vordergrund standen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination pflanzlichen Materials ist gegenüber dem Vorjahr wieder etwas zurückgegangen, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

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

2.4.2 Boden und Bewuchs in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz (Soil and vegetation from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)

In der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation in Bezug auf Radioaktivität im Boden nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall 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 [Tabelle T II.42](#) und [Tabelle T II.43](#) zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser (*Foodstuff, groundwater and drinking water*)

2.5.1 Grundwasser und Trinkwasser (*Groundwater and drinking water*)

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

Die von den amtlichen Messstellen der Länder im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) im Jahr 2016 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 Strahlenschutzvorsorgegesetz 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 Plutoniumisotopen) je 10 mBq/l.

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

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

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

Grundwasser

Im Jahr 2016 wurde Grundwasser aus 51 Probenahmestellen untersucht.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 liegen ausschließlich unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen von 0,72 mBq/l bis 31 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Nachweisgrenzen beträgt <7,7 mBq/l (2015: <7,6 mBq/l).

In 27 % der gemessenen Proben konnte Sr-90 mit Aktivitätskonzentrationen von 0,2 mBq/l bis 17 mBq/l (2015: 0,16 bis 15 mBq/l) nachgewiesen werden. Ein Median von 4,5 mBq/l (2015: <3,8 mBq/l) wurde berechnet.

In 54 von 59 auf H-3 untersuchten Grundwasserproben wurde als Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ erhalten, wobei die Nachweisgrenzen zwischen 0,9 Bq/l und 10 Bq/l lagen. In den restlichen Proben wurden tatsächliche Messwerte deutlich unterhalb der mittleren Nachweisgrenzen von ca. 5 Bq/l angegeben. Der Median liegt bei <5,0 Bq/l (2015: <5,0 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 2016 sind mit einer Aktivitätskonzentration von bis zu 160 mBq/l und einem Median von 3,0 mBq/l (2015: <3,7 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. Aktivitätskonzentrationen von Plutoniumisotopen wurden nicht nachgewiesen.

Der Medianwert für das natürliche Radionuklid K-40 im Grundwasser beträgt <210 mBq/l und entspricht der mittleren erreichten Nachweisgrenze. Die höchste K-40-Aktivitätskonzentration im Jahr 2016 wurde in einer Probe mit 1000 mBq/l ermittelt (2015: 690 mBq/l).

Trinkwasser

Die 2016 untersuchten Roh- und Reinwässer stammten aus 76 bzw. 82 Probenentnahmestellen.

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

In drei Rohwasserproben konnte Cs-137 mit Aktivitätskonzentrationen zwischen 2,3 und 3,1 mBq/l belegt werden. Die Ergebnisse der restlichen 93 Proben liegen unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen von 0,1 bis 50 mBq/l. Der Median aller Ergebnisse beträgt <7,6 mBq/l (2015: <6,7 mBq/l).

Für Cs-137 im Reinwasser sind alle Ergebnisse als kleiner Nachweisgrenze bewertet worden, wobei die bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen zwischen 0,12 mBq/l und 43 mBq/l liegen. Als Median aller mitgeteilten Ergebnisse für das Jahr 2016 wurde <8,0 mBq/l (2015: <7,3 mBq/l) ermittelt.

In 68 % der untersuchten Proben im Rohwasser und in 49 % der untersuchten Proben im Reinwasser konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen sind mit 0,65 bis 15 mBq/l im Rohwasser und 0,71 mBq/l bis 30 mBq/l im Reinwasser (2015: 0,92 und 6,1 mBq/l im Rohwasser und 0,81 und 28 mBq/l im Reinwasser) angegeben worden, der Median sämtlicher Ergebnisse beträgt 3,3 mBq/l im Rohwasser bzw. 3,5 mBq/l im Reinwasser (2015: <3,8 mBq/l im Rohwasser und 3,0 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 2016 angegebenen Mediane für die Uranisotope U-238 und U-234 von <1,2 bis <1,8 mBq/l liegen niedriger als der in der Trinkwasserstudie in Deutschland für 582 Proben ermittelte Median für U-238 von 3,2 mBq/l. Aktivitätskonzentrationen von Plutoniumisotopen wurden nicht nachgewiesen.

Die Medianwerte für das natürliche Radionuklid K-40 im Roh- und Reinwasser betragen <170 bzw. <160 mBq/l. Die höchste K-40-Aktivitätskonzentration im Jahr 2016 wurde im Reinwasser mit 600 mBq/l ermittelt (2015: 5900 mBq/l im Rohwasser).

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe im Trinkwasser ist gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr klein. Legt man die maximale aus den Messungen erreichte Nachweisgrenze für Cs-137 von 43 mBq/l und den Maximalwert für Sr-90 von 30 mBq/l im Reinwasser zu Grunde, ergeben sich, mit einer angenommenen jährlichen Verzehrrate von 700 Liter für eine erwachsene Referenzperson gemäß StrlSchV Anlage VII Teil B, Ingestionsdosen von 0,39 bzw. 0,59 μ Sv/a. Für den Säugling (0 bis 1 Jahr) errechnen sich entsprechend einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 366 Liter Ingestionsdosen von 0,33 bzw. 2,5 μ Sv/a.

2.5.2 Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz

(Groundwater and drinking water from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)

Die von den amtlichen Messstellen der Länder nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen im Jahr 2016 erhobenen Daten sind für K-40, Co-60, 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 145 Grundwassermessstellen mitgeteilt.

Für Cs-137 liegen von 281 untersuchten Grundwasserproben nahezu alle Messwerte unter den angegebenen Nachweisgrenzen von 0,16 mBq/l bis 100 mBq/l, ein tatsächlich gemessener Wert wurde mit 50 mBq/l (2015: 89 mBq/l) bestimmt. Der Median aller Cs-137-Ergebnisse beträgt wie im Vorjahr <30 mBq/l.

In 58 % der untersuchten Proben wurde Sr-90 nachgewiesen. Es wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,17 mBq/l und 16 mBq/l gemessen. Ein Median von 2,7 mBq/l (2015: 2,8 mBq/l) wurde ermittelt.

Die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 22 mBq/l und 170 mBq/l (2015: 19 bis 150 mBq/l), mit einem Median sämtlicher Ergebnisse von <50 mBq/l (2015: 43 mBq/l).

In 7 % der untersuchten Wasserproben wurde H-3 im Konzentrationsbereich von 0,98 Bq/l bis 85 Bq/l nachgewiesen (2015: 0,86 Bq/l bis 22 Bq/l), der Median aller Ergebnisse beträgt <5,7 Bq/l (2015: 6,0 Bq/l). Einige Werte liegen damit deutlich über den derzeitigen Messergebnissen für H-3 im Niederschlag im Bereich von 1 bis 2 Bq/l (siehe [2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag \(Gesamtdeposition\)](#)).

Entgegen des abnehmenden Trends der letzten Jahre wurde die höchste H-3-Aktivitätskonzentration von 85 Bq/l in einem Pegel auf dem Gelände des Freilagers für radioaktive Abfälle des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf nachgewiesen. Letztmalig erhöhte H-3-Aktivitätskonzentrationen für diesen Brunnen wurden in den Jahren 1999-2001 mit bis zu 140 mBq/l erhoben und sind, zusammen mit der partiell auftretenden Co-60-Aktivitätskonzentration (2016: 4,9 mBq/l) im Grundwasser, auf die Kontaminationen des Untergrundes infolge von Leckagen an dem inzwischen nicht mehr genutzten Beton-Abklingbecken für kontaminierte Wässer zurückzuführen.

Trinkwasser

Im Jahr 2016 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz 20 Rohwasser- und 36 Reinwasser-Entnahmestellen beprobt.

Drei Probenahmestellen um das Forschungszentrum Jülich wurden in den vorangegangenen Berichtsjahren irrtümlicherweise der Kategorie Rohwasser (unbehandeltes Grund- und Oberflächenwasser als Zulauf der Wasserwerke) zugeordnet, obwohl es sich um vom Wasserwerk aufbereitete und dem Netz zugeführte Trinkwasserproben (Reinwasser) handelte. An Berichtsstellen, bei denen es aufgrund der falschen Zuordnung zu Abweichungen zum Berichtsjahr 2015 kommt, wird dezidiert darauf eingegangen. In [Tabelle T II.45](#) sind die Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen getrennt nach Roh- und Reinwasser dokumentiert.

Für Cs-137 ist bei allen 97 untersuchten Reinwasserproben als Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ angegeben worden, wobei die Nachweisgrenzen zwischen 0,28 mBq/l und 40 mBq/l liegen. Der Median aller angegebenen Nachweisgrenzen beträgt <6,9 mBq/l (2015: <6,6 mBq/l). Die für das Forschungszentrum Jülich genannte Änderung der Zuordnung hatte keine Auswirkung auf die Zusammenstellung der Roh- und Reinwasserdaten von Cs-137.

Für die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen ergab sich eine Verschiebung auf Grund der Änderung der Kategorie für die Proben aus dem Forschungszentrum Jülich. Es liegen für das Reinwasser nun insgesamt 36 anstelle von 24 Daten und für das Rohwasser 10 anstelle von 22 Daten vor. Unverändert bleibt die Anzahl der 9 tatsächlich bestimmten Messwerte zwischen 0,12 mBq/l und 3,0 mBq/l (2015: 0,09 mBq/l bis 3,0 mBq/l) im Reinwasser und der 4 tatsächlich bestimmten Messwerte zwischen 0,12 mBq/l und 3,6 mBq/l (2015: 0,1 mBq/l bis 3,4 mBq/l) im Rohwasser. Deutliche Änderungen treten bei der Berechnung des Medianes aller Ergebnisse von <7,0 mBq/l anstelle von 2,5 mBq/l für das Reinwasser (2015: <2,0 mBq/l) und <1,0 mBq/l anstelle von <20 mBq/l für das Rohwasser (2015: <20 mBq/l) auf.

Ähnlich wie für Sr-90 werden bei den Co-60-Daten nun 12 Proben dem Rein- anstelle dem Rohwasser zugerechnet. Da alle erzeugten Messergebnisse unter der angegebenen Nachweisgrenze liegen, ändert sich nur der Median im Reinwasser von <7,3 auf <7,9 mBq/l mit den 12 Proben (2015: <7,4 mBq/l) und im Rohwasser von <11 auf <9,5 mBq/l (2015: <9,4 mBq/l).

In einer von 108 (104 ohne die Proben aus dem Forschungszentrum Jülich) gemessenen Reinwasserproben wurde H-3 mit Aktivitätskonzentrationen von 11 Bq/l (2015 wurden Werte mit 9 und 14 Bq/l bestimmt) nachgewiesen; vier weitere Messwerte im Bereich von 1,2 bis 4,5 Bq/l überschreiten lediglich die erreichte Erkennungsgrenze. Der Median aller Ergebnisse liegt wie im Vorjahr bei <5,3 Bq/l. Erhobene Werte für Reinwasser über den durchschnittlich erreichten Nachweisgrenzen von etwa 5 Bq/l können auf den Eintrag von durch H-3-Emissionen kerntechnischer Anlagen geringfügig belastetes Oberflächenwasser (z. B. als Uferfiltrat) hindeuten. Alle H-3-Werte oberhalb 10 Bq/l stammen aus Einzelwasserversorgungen in der Nähe eines Altrheinarms, der in der Fließrichtung von Grund- und Oberflächenwasser des Karlsruher Institutes für Technologie, Campus Nord (KIT) liegt. Das Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen in den Ortschaften beim KIT weist lediglich H-3-Konzentrationen von <10 Bq/l auf. Selbst unter der Annahme, dass der gesamte Trinkwasserbedarf mit Wasser aus den Einzelwasserversorgungen gedeckt würde, ergäbe sich nur eine unwesentliche Erhöhung gegenüber der natürlichen Strahlenexposition für die betroffenen Personen. Für die Rohwasserdaten hat sich entsprechend der Umstellung lediglich die Anzahl der Proben von 67 auf 63 verändert, wobei die Anzahl an tatsächlich bestimmten Messwerten gleich geblieben ist.

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 (*Milk and milk products*)

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall 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 2015 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 2016.

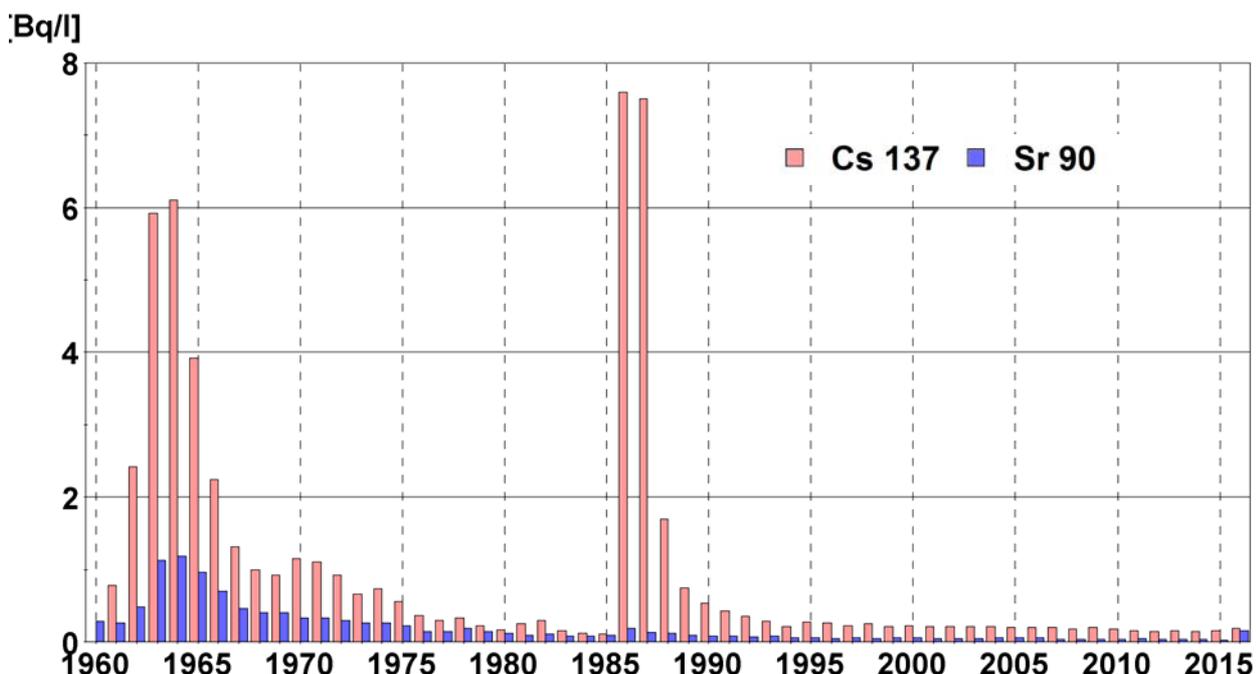


Abbildung B II 2.5-1 Jahresmittelwerte der Sr-90- und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland
(Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)

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.

2.5.4 Milch in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz (Milk from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)

Wie bei Boden und Bewuchs ist die Situation in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahre 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.

2.5.5 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer (Fish and seafood and fish from inland water)

Im Folgenden werden Messergebnisse über spezifische Aktivitäten einzelner Radionuklide in Fischen, Krusten- und Schalentieren der Binnengewässer und der Meere für das Jahr 2016 vorgestellt und diskutiert.

Methodik

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

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

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

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

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

Diskussion der Ergebnisse der Messstellen der Bundesländer und der Leitstelle

Die mittleren Cs-137-Aktivitäten der Fische aus Binnenseen Nord- und Süddeutschlands (Abbildung B II 2.5-2) lagen auch im Jahr 2016 etwa eine Größenordnung höher als die aus Fischteichen und Fließgewässern (Tabelle T II.49).

Der in der Region „Mitteldeutschland“ berichtete Maximalwert von 19,4 Bq/kg FM (Tabelle T II.49) geht auf eine Probe eines Fisches der Gattung Coregonus sp. (Renke, Maräne oder Felchen) aus dem Arendsee in Sachsen-Anhalt zurück. Die nächst kleineren Messwerte von 18,7 und 14,5 Bq/kg FM wurden in einem Rapfen und einer Karausche aus dem Schollener See bestimmt. Die Ergebnisse der Messungen von Fischen aus sachsen-anhaltinischen Seen, die im Jahr 2007 begonnen wurden und höhere Cs-137-Werte zeigten, wurden bereits im entsprechenden Kapitel des Jahresberichts 2007 [2] erörtert und bewertet.

In Fischen aus Teichhaltung der Region Norddeutschland wurden seit 1990 regelmäßig höhere Cs-137-Mittelwerte als in der Region Süddeutschland beobachtet (Abbildung B II 2.5-3). In diesem Jahr scheint sich dieser Trend erstmals umgekehrt zu haben und muss daher weiter beobachtet werden. Die ab 1994 vorliegenden Cs-137-Werte von Proben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands unterscheiden sich nicht von den in Abbildung B II 2.5-3 und Abbildung B II 2.5-4 dargestellten Verläufen für dieselben Gewässertypen Nord- und Süddeutschlands.

Für Forellen und Karpfen, den bedeutsamsten wirtschaftlich genutzten Fischarten 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 auftretende Unterschiede nicht mehr signifikant (vgl. Abbildung B II 2.5-5).

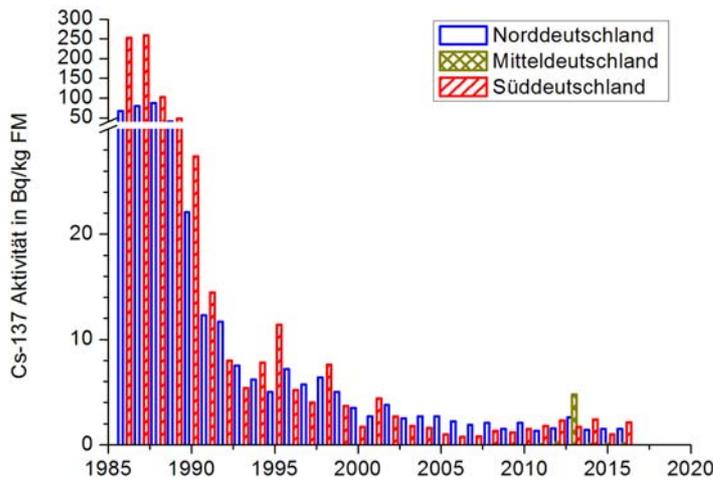


Abbildung B II 2.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from lakes in Bq/kg WW)

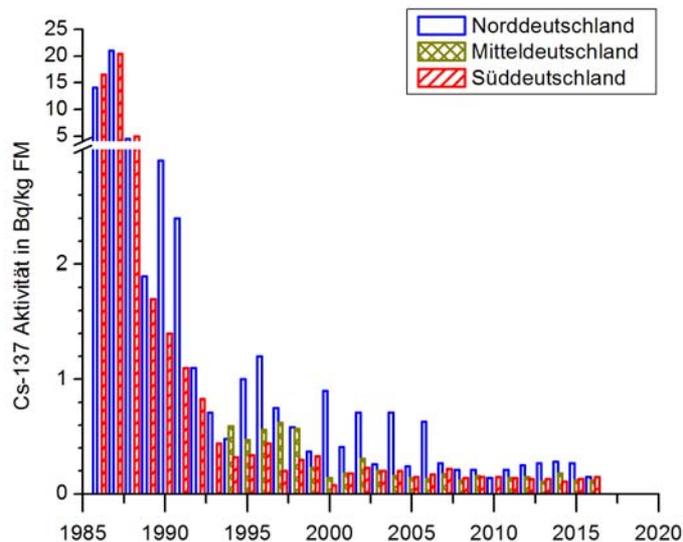


Abbildung B II 2.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms in Bq/kg WW)

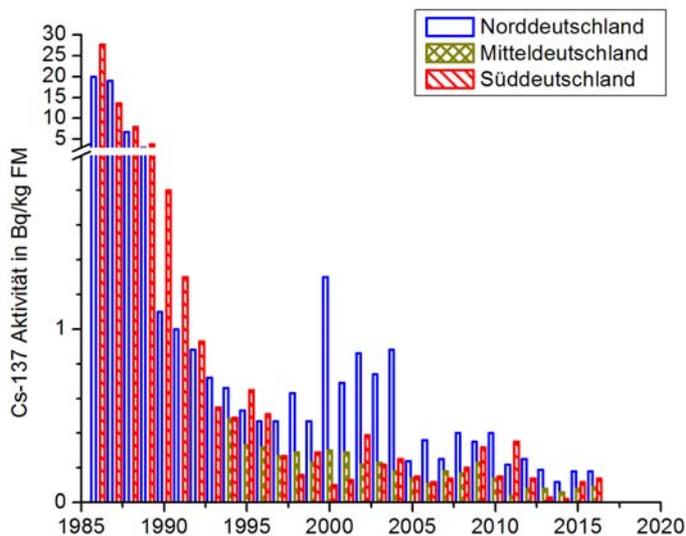


Abbildung B II 2.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers in Bq/kg WW)

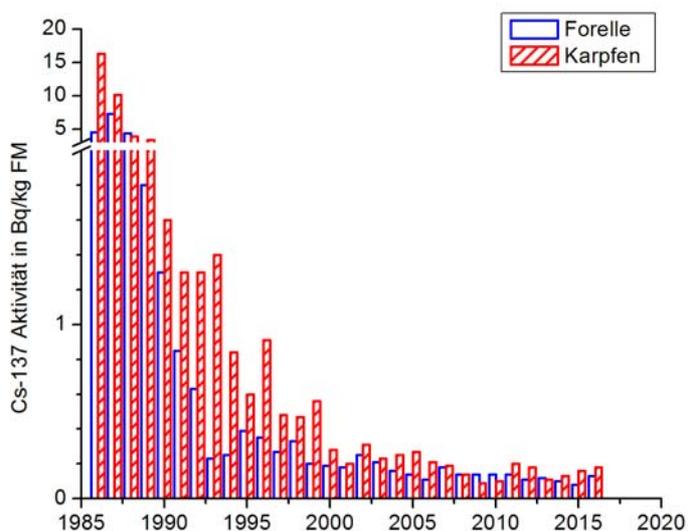


Abbildung B II 2.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in carp and trout in Bq/kg WW)

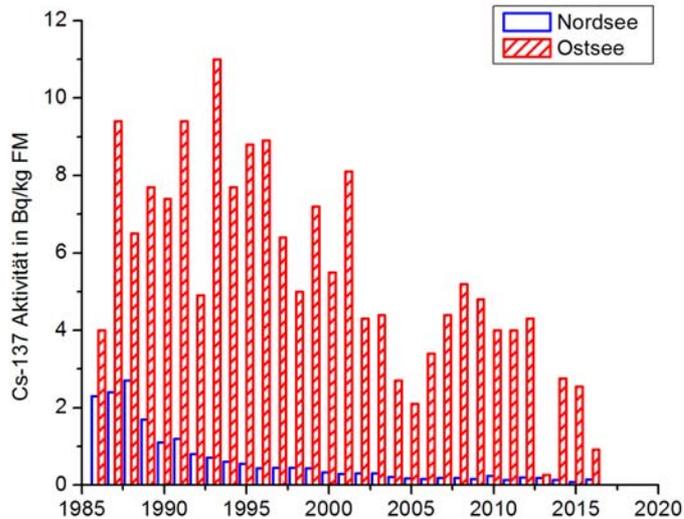


Abbildung B II 2.5-6
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas in Bq/kg WW)

In [Tabelle T II.51](#) sind die mittleren Cs-137-Aktivitätswerte für Fische aus der Nord- und der Ostsee zusammengestellt. In Biota aus der Nordsee blieben die Messwerte im Jahr 2016 unterhalb von 0,44 Bq/kg. Der Mittelwert beträgt 0,15 Bq/kg. Auch im Jahr 2016 waren die spezifischen Aktivitäten von Cs-137 in Fischen der Ostsee im Mittel höher als in denen der Nordsee ([Tabelle T II.51](#)). Das liegt am höheren Wasseraustausch der Nordsee im Vergleich zur Ostsee, wodurch der Eintrag von Cs-137 aus dem Reaktorunglück von Tschernobyl in Fischen aus der Nordsee seit Mitte der 1990er Jahre nicht mehr nachweisbar ist (siehe [Abbildung B II 2.5-6](#)). Im Gegensatz dazu dominiert der Eintrag aus dem Reaktorunglück von Tschernobyl noch immer die ermittelte Cs-137-Aktivität in Fischen aus der Ostsee. Die in [Abbildung B II 2.5-6](#) festzustellende Variation der Jahresmittelwerte in Fischproben der Ostsee ist im Wesentlichen auf den stark schwankenden Anteil von Fischproben aus der östlichen Ostsee (in diesem Fall östlich der Insel Rügen) zurückzuführen, in denen in vergangenen Jahren eine höhere Cs-137-Aktivität nachgewiesen wurde; so wurde im Jahr 2013 gar keine Fischprobe aus dem Bereich der östlichen Ostsee analysiert, was den sehr niedrigen Mittelwert erklärt. Insgesamt nähern sich die aktuellen Messwerte von Fischen aus der Ostsee den vor dem Reaktorfall von Tschernobyl gemessenen Werten immer weiter an [3].

In Proben von Nordseegarnelen und Miesmuscheln, die an der Nordseeküste entnommen wurden, wurde auch im Jahr 2016 keine Cs-137-Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt (vgl. [Tabelle T II.51](#)).

Die im Jahr 2016 in Proben aus Importen ermittelten Mittelwerte für Cs-137 ([Tabelle T II.52](#)) lagen nur für Proben von Seefisch oberhalb der Nachweisgrenze.

Wegen der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 werden Importe aus dem Pazifik weiterhin separat betrachtet. Die Ergebnisse der Untersuchungen der deutschen Landesmessstellen auf Cs-137 sind in [Tabelle T II.53](#) zusammengestellt, während die Werte für Cs-134 an denselben Proben alle unterhalb der Nachweisgrenze lagen (Daten nicht gezeigt). Die im Jahr 2016 in Seefischen aus dem Pazifik nachgewiesenen Aktivitäten von Cs-137 lagen mit einem Mittelwert von 0,12 Bq/kg und einem Maximalwert von 0,23 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 nur ein Wert von 0,2 Bq/kg für die spezifische Cs-137-Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt werden; in Krusten- und Schalentieren ist dieses bereits seit dem Jahr 2011 der Fall.

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 2016 noch keine Ergebnisse von Sr-90-Bestimmungen vor.

Messergebnisse der Leitstelle im Routinemessprogramm

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

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

Literatur

- [1] Kanisch G, Kirchhoff K, Michel R, Rühle H, Wiechen A: „Genauigkeit von Messwerten, Empfehlungen zur Dokumentation“. Kapitel IV.4. In: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen. Stand: 1.10.2000, www.bmub.bund.de/N45179
- [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, 2013: Thematic assessment of long-term changes in radioactivity in the Baltic Sea, 2007-2010. Baltic Sea Environmental Proceedings No.135, 40 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

(Fish and aquatic plants from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)

Im Berichtsjahr 2016 wurden für 26 kerntechnische Anlagen Werte γ -spektrometrischer Messungen (vor allem Cs-137) an 82 Fischfleischproben und 11 Proben von Wasserpflanzen gemeldet. Sr-90-Messungen wurden an 14 Fischfleischproben durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 16 Süßwasserfischarten bzw. ihren Mischungen inkl. „Friedfisch“ und „Raubfisch“ sowie Fische ohne Artbezeichnung untersucht wurden. Die statistische Auswertung der Daten wurde wie im vorangehenden [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 höhere Cs-137-Aktivitäten in Fischen aus dem Greifswalder Bodden, die im Rahmen der Überwachung des sich im Rückbau befindlichen Kernkraftwerks Greifswald genommen werden, werden auf den Einfluss der 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 Besonderheiten festzustellen.

2.5.7 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung (*Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods*)

Einzellebensmittel

Das vor und nach dem Tschernobylunfall deponierte Cs-137 in Nahrungsmitteln führt auch in diesem Jahr 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). 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 Beprobung der Gesamtnahrung (siehe Tabelle T II.71) dient der Abschätzung der ingestionsbedingten Strahlendosis gesunder Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. Dazu werden verzehrfertige Menüs der Gemeinschaftsverpflegung aus Kantinen, Heimen, Krankenhäusern und Restaurants vermessen. Daraus resultiert eine Mittlung der Verzehrmenge und der Zusammensetzung.

Die mittlere tägliche Cs-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2016 mit 0,23 Bq/(d·p) (d = Tag; p = Person) nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Abbildung B II 2.5-7 zeigt die Aktivitätszufuhr in Bq pro Tag (d) und Person (p) seit 1960.

[Bq/(d·p)]

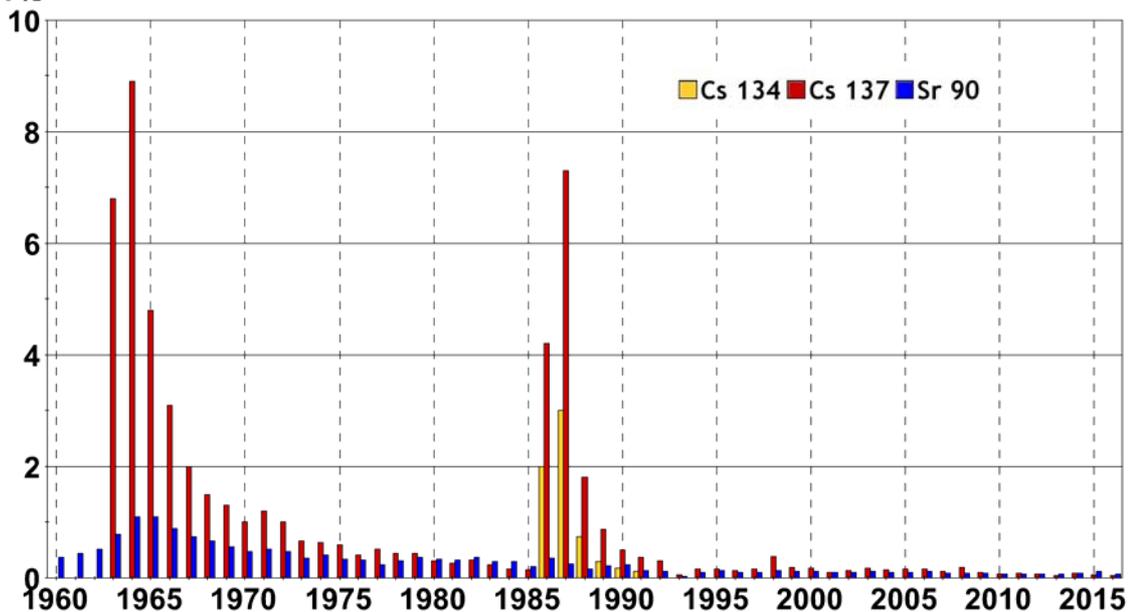


Abbildung B II 2.5-7 Jahresmittelwerte der Sr-90-, Cs-134- und Cs-137-Aktivitäten in der Gesamtnahrung
(Annual mean values of Sr-90, Cs-134 and Cs-137 activities of whole diet)

Da in diese Mittlung 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 0,08 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: 83,95 Bq/(a·p) (Vorjahr 83,95 Bq/(a·p))

Sr-90: 29,20 Bq/(a·p) (Vorjahr 43,80 Bq/(a·p))

2.5.8 Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz (*Foodstuffs of vegetable origin from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act*)

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.

2.6 Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe (*Consumer goods, pharmaceutical products and their raw materials*)

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

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

Im Jahr 2016 wurden die in den vergangenen Jahren am höchsten belasteten Arzneimittelproben, wie Islandmoos und Bitterkleeblätter sowie Teeproben, stichprobenartig untersucht ([Tabelle T II.77](#)). Die Messdaten von pflanzlichen Ausgangsstoffen der Jahre 2000 – 2016 sind in [Tabelle T II.78](#) und [Tabelle T II.79](#) dargestellt. In [Tabelle T II.80](#) sind die Messdaten von Gänsefingerkraut von 2000 bis 2015 aufgelistet. Bitterkleeblätter und Islandmoos zählten in den vergangenen Jahren zu den pflanzlichen Ausgangsstoffen mit den höchsten Cs-137-Kontaminationen.

Die spezifischen Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 lagen 2016 mit maximal 790 Bq/kg (TM) bei Bitterkleeblättern und minimal 61 Bq/kg (TM) bei Islandmoos im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite. Die Aktivitäten von K-40 schwanken im Wesentlichen entsprechend dem Kaliumgehalt der untersuchten Pflanzenproben.

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

2.7 Abwasser und Klärschlamm (Waste water and sewage sludge)

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

Dem Bericht für das Jahr 2016 liegen die Messergebnisse aus 90 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Messwerte für Abwässer beziehen sich auf gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und die Messwerte für Klärschlämme auf konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen, z. B. als teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme.

In [Tabelle T II.82](#) sind die Ergebnisse für K-40, Co-60, 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 2016 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 Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) geforderten Nachweisgrenzen betragen für die gamma-spektrometrische Untersuchung, bezogen auf Co-60, für die Sr-90-Bestimmungen und für die Bestimmung von Alphastrahlern (Uran- und Plutoniumisotopen) jeweils 0,1 Bq/l, im Klärschlamm jeweils 5 Bq/kg TM.

K-40 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind natürliche Bestandteile des Bodens und damit geogenen Ursprungs. Die Gehalte in Abwasser und Klärschlamm können in Abhängigkeit von den regionalen geologischen Gegebenheiten beträchtlich variieren. Die Messwerte im Jahr 2016 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 1800 Bq/kg TM (Vorjahr bis 1300 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 170 bzw. 130 Bq/kg TM (Vorjahr 230 bzw. 200 Bq/kg TM). Wie stets wurde das in der oberen Atmosphäre durch Einwirkung der kosmischen Strahlung gebildete und daher an der Erdoberfläche allgegenwärtige kurzlebige Be-7 (Halbwertszeit: 53 Tage) im Klärschlamm mit spezifischen Aktivitäten bis zu 1200 Bq/kg TM (Vorjahr 1600 Bq/kg TM) bestimmt.

Das hauptsächlich in der Nuklearmedizin eingesetzte Radionuklid I-131 (Halbwertszeit: 8 Tage) wurde nur in einem Teil der Abwasser- und Klärschlammproben nachgewiesen (Medianwert für Klärschlamm: 24 Bq/kg TM; Maximalwert: 1600 Bq/kg TM; Vorjahr 27 bzw. 750 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m (Tc-99m; Maximalwert Klärschlamm: 300 Bq/kg TM) in den Kläranlagen Hamburg-Köhlbrandhöft und Berlin-Ruhleben sowie Indium-111 in vereinzelt Kläranlagen (In-111; Maximalwert: 8,2 Bq/kg TM). In vier Proben der Kläranlage Hamburg-Köhlbrandhöft konnten sehr geringe Mengen von Plutonium nachgewiesen werden (Maximalwert Pu-238: 13 mBq/kg TM; Pu-239+240: 15 mBq/kg TM).

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). Seit 2012 wurde dagegen in keiner Klärschlammprobe mehr Cs-134 bestimmt.

Im Jahr 2016 lagen die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 im Abwasser ausschließlich unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen (2015: zwischen 0,0019 und 0,0028 Bq/l), der Median sämtlicher Werte bei <0,025 Bq/l. In 44 % der Proben konnte Sr-90 mit Werten zwischen 0,001 und 0,11 Bq/l nachgewiesen werden. Der Median aller Ergebnisse beträgt <0,006 Bq/l.

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

Die höchsten Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten im Jahr 2016 - wie seit bereits mehr als 15 Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 32 Bq/kg TM für Cs-137. Seit 2000 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittlere spezifische Aktivitäten: 140, 140, 110, 110, 98, 86, 71, 65, 56, 56, 47, 43, 46, 40, 31, 31 und 25 Bq/kg TM.

In [Abbildung B II 2.6-1](#) sind für alle Bundesländer die Cs-137-Gehalte der Klärschlämme der letzten Jahre dargestellt.

In den vorangegangenen Jahren war eine kontinuierliche Abnahme der Kontamination der Klärschlämme zu erkennen. Ergaben Messungen des Klärschlammes im südlichen Bayern im Jahr 1988 noch einen Jahresmittelwert an Cs-137 von

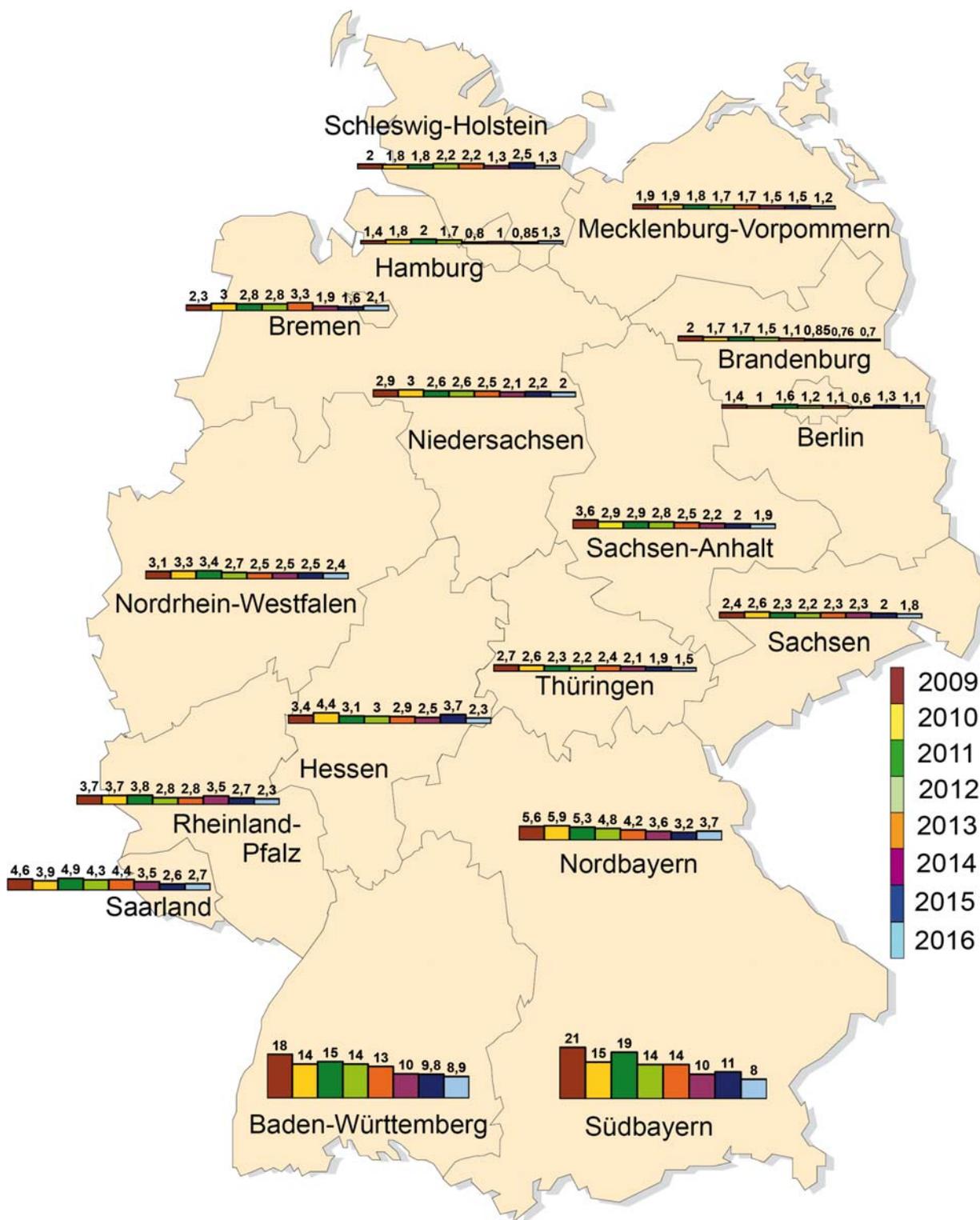


Abbildung B II 2.6-1 Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)
(Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal states)

970 Bq/kg TM, so schwanken die spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm seit 2007 zwischen 7 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 25 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. $15\,000 \text{ Bq/m}^2$ 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 (Waste)

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 Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) 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
- in den Handel gelangender Kompost aus Kompostierungsanlagen.

Die im Jahr 2016 von den amtlichen Messstellen der Bundesländer übermittelten und in der Leitstelle ausgewerteten Daten für 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 Strahlenschutzvorsorgegesetzes in der routinemäßigen Überwachung geforderten Nachweisgrenzen betragen für die gammaspektrometrische Untersuchung der festen Medien 5 Bq/kg TM und für die flüssigen Medien $0,1 \text{ Bq/l}$, jeweilig bezogen auf Co-60. Für das Sickerwasser und oberflächennahe Grundwasser von Hausmülldeponien wird zusätzlich die Bestimmung von H-3 mit einer Nachweisgrenze von 10 Bq/l gefordert.

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

Im **Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien** wurde in 34 % der untersuchten Proben Cs-137 nachgewiesen. Die Werte der Cs-137-Aktivitätskonzentration liegen zwischen $0,0066$ und $0,3 \text{ Bq/l}$ (2015: $0,0097$ und $0,24 \text{ Bq/l}$). Der Median aller Ergebnisse beträgt $0,045 \text{ Bq/l}$ (2015: $<0,053 \text{ Bq/l}$).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen $0,18 \text{ Bq/l}$ und 48 Bq/l gemessen und aus sämtlichen Ergebnissen ein Median von 12 Bq/l (2015: $0,35$ bis 120 Bq/l , Median: 14 Bq/l) berechnet.

H-3 wurde in 82 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen $1,9 \text{ Bq/l}$ und 220 Bq/l (2015: $3,1$ bis 230 Bq/l) nachgewiesen.

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

Der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche / Filterstaub** wurde in der Müllverbrennungsanlage Ingolstadt mit 140 Bq/kg TM (2015: 160 Bq/kg TM) gemessen. Der Median sämtlicher Ergebnisse wurde für Cs-137 mit 14 Bq/kg TM (2015: 14 Bq/kg TM) bestimmt. Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 100 Bq/kg TM bis 3100 Bq/kg TM , der Median aller mitgeteilten Ergebnisse bei 1400 Bq/kg TM (2015: 300 bis 3200 Bq/kg TM , Median: 1200 Bq/kg TM).

Die Aktivitätskonzentrationen für Co-60 sind wie im Vorjahr ausschließlich unterhalb der geforderten Nachweisgrenze, der Median beträgt $<0,48 \text{ Bq/kg TM}$ (2015: $<0,43 \text{ Bq/kg TM}$).

In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von $0,2 \text{ Bq/kg TM}$ bis 260 Bq/kg TM bestimmt werden. Ein höherer Maximalwert als dieser für das Berichtsjahr 2016 wurde letztmals 2010 mit 640 Bq/kg TM angegeben. Der Median aller I-131 Ergebnisse ist mit $<0,95 \text{ Bq/kg TM}$ (2015: $<0,77 \text{ Bq/kg TM}$) angegeben worden.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt die maximale bestimmte spezifische Aktivität von Cs-137 26 Bq/kg TM (2015: 32 Bq/kg TM). Der Median aller Ergebnisse liegt bei $1,2 \text{ Bq/kg TM}$ (2015: $1,3 \text{ Bq/kg TM}$).

In allen Proben konnte K-40 mit spezifischen Aktivitäten zwischen 110 Bq/kg TM und 1300 Bq/kg TM (2015: 140 bis 1500 Bq/kg TM) nachgewiesen werden. Für I-131 wurden für 8 von 63 Proben tatsächliche Messergebnisse im Bereich von 0,24 Bq/kg TM bis 31 Bq/kg TM (2015: 0,2 bis 25 Bq/kg TM) ausgewiesen.

Für den Berichtszeitraum sind wie im Vorjahr alle Co-60-Werte als kleiner Nachweisgrenze bewertet worden. Ein Median von <0,23 Bq/kg TM (2015: <0,24 Bq/kg TM) wurde für das Jahr 2016 berechnet.

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 42 Bq/kg TM (2015: 53 Bq/kg TM). Der Median sämtlicher Ergebnisse des Bundesgebietes beträgt 1,4 Bq/kg TM (2015: 1,9 Bq/kg TM).

Die spezifischen K-40-Aktivitäten liegen im Bereich von 1,3 Bq/kg TM bis 1500 Bq/kg TM (2015: 2,5 bis 1800 Bq/kg TM) mit einem Median sämtlicher Ergebnisse von 210 Bq/kg TM (2015: 230 Bq/kg TM). Für I-131 wurden in 66 % der Proben spezifische Aktivitäten von 0,66 Bq/kg TM bis 210 Bq/kg TM (2015: 0,18 bis 440 Bq/kg TM) bestimmt.

Bei den **flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** wurden Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 zwischen 0,051 Bq/l und 11 Bq/l (2015: 0,044 Bq/l bis 6,8 Bq/l) angegeben. Der Median aller Ergebnisse liegt bei <0,11 Bq/l (2015: <0,096 Bq/l).

I-131 wurde in 25 von 31 untersuchten Proben mit Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,31 Bq/l und 450 Bq/l (2015: 0,14 und 1600 Bq/l) bestimmt und es wurde ein Median von 1,9 Bq/l (2015: 1,3 Bq/l) über sämtliche Werte berechnet.

Die Untersuchung des **Kompostes** ergab für Cs-137 spezifische Aktivitäten zwischen 1,6 Bq/kg TM und 32 Bq/kg TM (2015: 0,21 bis 210 Bq/kg TM). Der Median aller Ergebnisse beträgt 4,8 Bq/kg TM (2015: 5,4 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 2,6 Bq/kg TM bis 790 Bq/kg TM, der Median aller erhobenen Daten bei 490 Bq/kg TM (2015: 15 bis 1000 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-37-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 145](#)) differenziert in diesem Zusammenhang nicht und gibt unabhängig von Bodentyp und Pflanze einen Transferfaktor von 0,05 an. Vorausgesetzt, eine Pflanze würde auf einen Boden nur bestehend aus dem maximal mit Cs-137 angereicherten Kompost von 32 Bq/kg TM angepflanzt werden, so würde das nach § 47 StrlSchV zu einer Aktivitätskonzentration in der Pflanze von bis zu 1,6 Bq/kg TM führen. Wäre die Pflanze als Importprodukt für den Handel in Deutschland vorgesehen, so würde dieses den für landwirtschaftliche Erzeugnisse (ausgenommen Milch und Kleinkindnahrung) in der EU-Verordnung (Nr. 733/2008 und Nr.1048/2009 [siehe [Seite 147](#)]) hinterlegten Grenzwert von 600 Bq/kg für Cs-137 bezogen auf die Frischmasse weit unterschreiten. Berechnete man die Dosis anhand der maximal aufgenommenen Aktivitätskonzentration von 1,6 Bq/kg TM in der Pflanze (Annahme: Wurzelgemüse, Kartoffel, Säfte) für die Altersgruppe <1 a und den Erwachsenen (>17 a), würde man Werte um die 3 µSv/a erhalten (siehe [Seite 145](#)), welche deutlich unterhalb des Dosisgrenzwertes von 1 mSv/a liegen. Somit würde die Nutzung des Kompostes bzw. der Verzehr des angebauten Produktes keine gesundheitliche Gefährdung für die Bevölkerung darstellen.

Literatur

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

2.9 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung (Monitoring of incorporation among the population)

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

In den Abbildungen B II 2.8-5 und B II 2.8-6 sind die bisher vorliegenden Ergebnisse von Referenzgruppenmessungen (getrennt für Frauen und Männer) an verschiedenen Orten in Deutschland zusammengefasst dargestellt. Es ist die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichte kumulierte Dosis aus inkorporiertem Cs-137 angegeben. Dieser Dosiswert ergibt sich aus der fortlaufenden Summierung der monatlichen effektiven Dosen. Allerdings liegen die Messergebnisse in den letzten Jahren überwiegend unterhalb der Erkennungsgrenze der Messanlagen, so dass die effektiven Dosen Maximalwerte darstellen. Für Männer aus dem Raum München z. B. beträgt diese kumulierte Dosis für die 25 Jahre seit dem Unfall in Tschernobyl maximal 0,23 mSv.

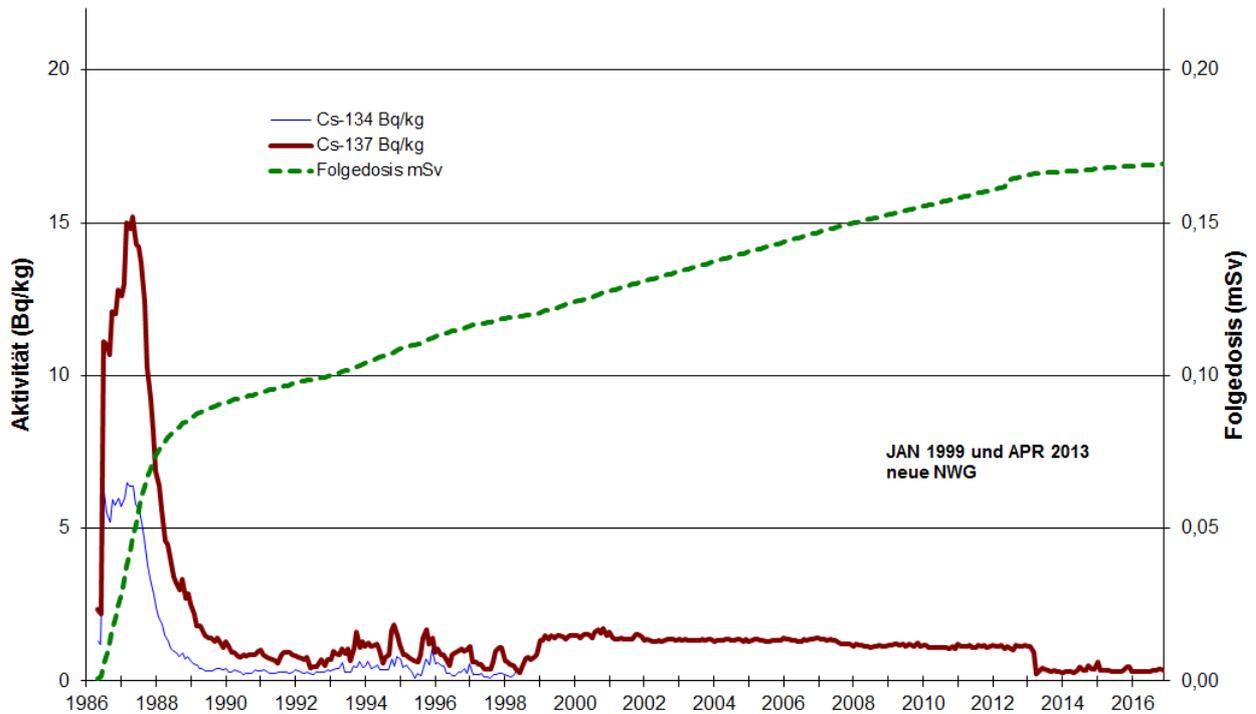


Abbildung B II 2.8-1 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: BfS-München, Frauen
(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: BfS Munich, women)

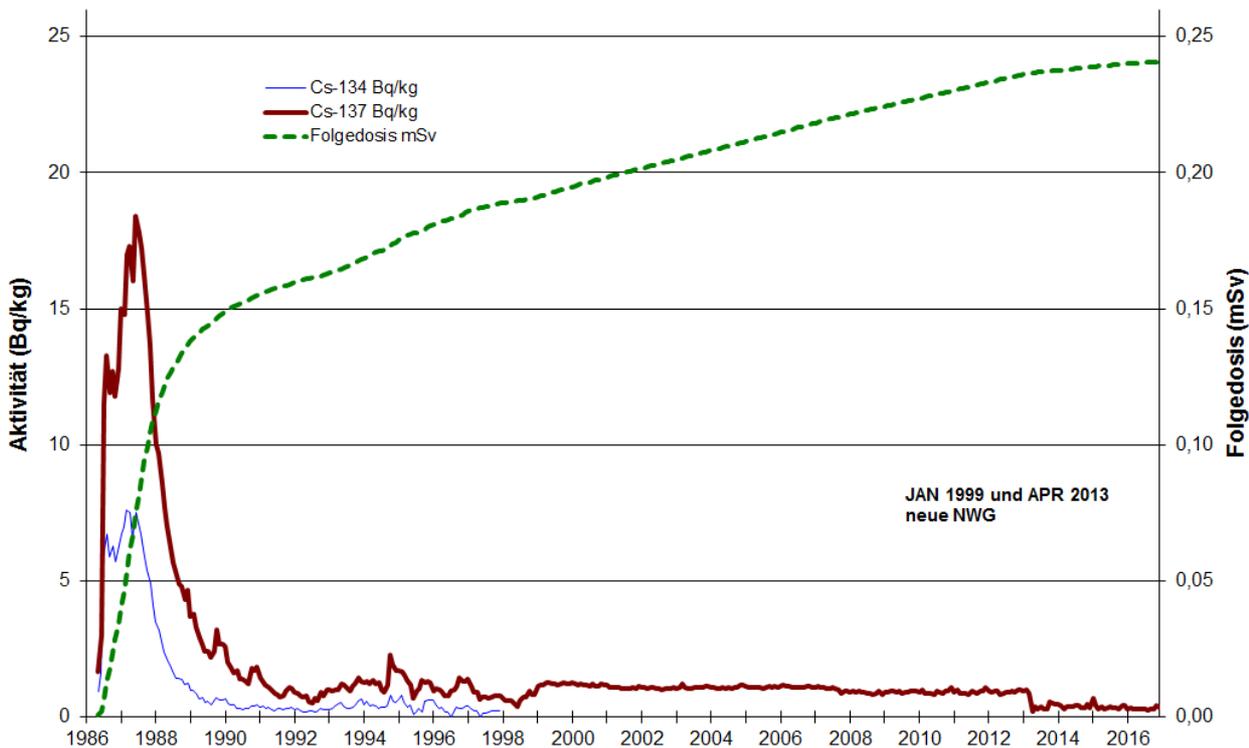


Abbildung B II 2.8-2 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: BfS-München, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: BfS Munich, men)*

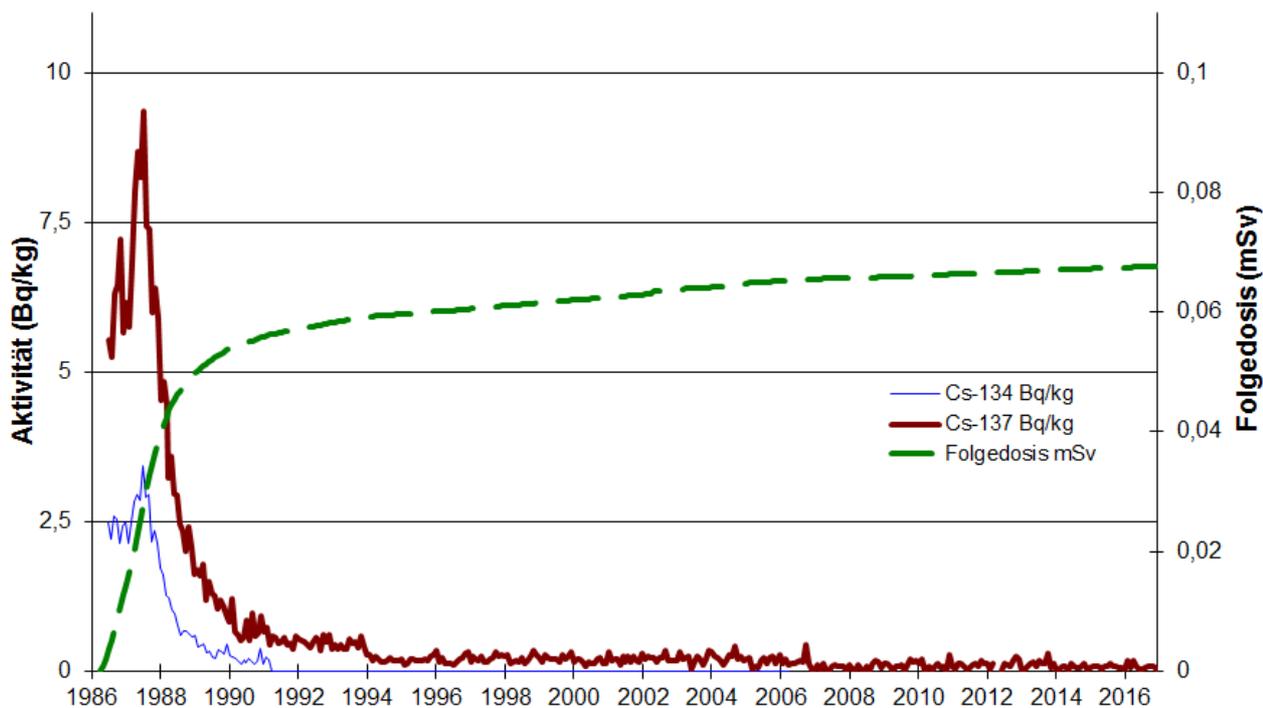


Abbildung B II 2.8-3 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: Karlsruhe, women)*

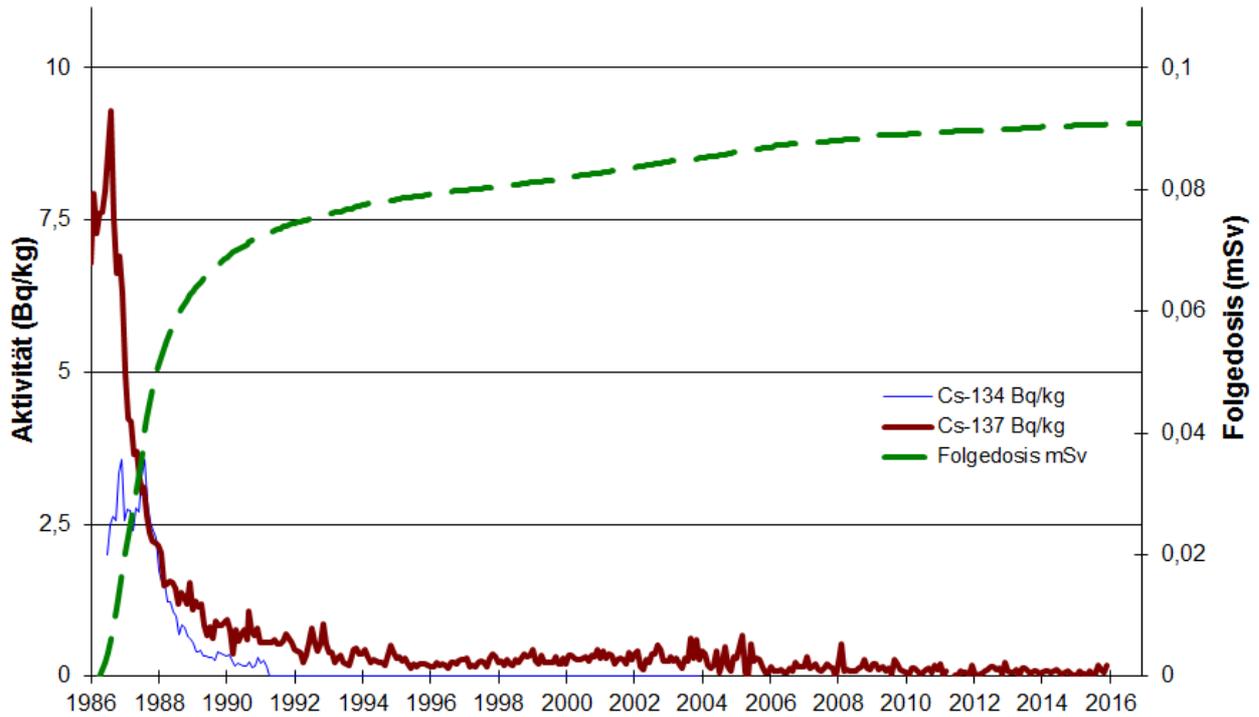


Abbildung B II 2.8-4 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: Karlsruhe, men)*

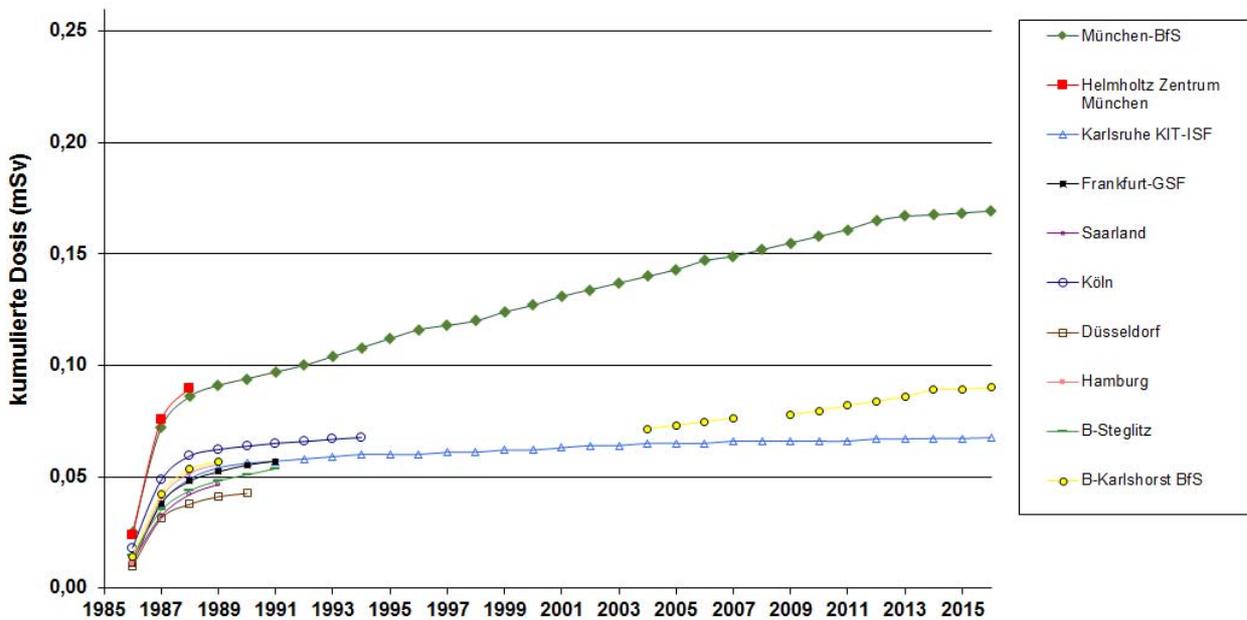


Abbildung B II 2.8-5 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
 Vergleich der Referenzgruppen: Frauen
*(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
 Comparison of reference groups: women)*

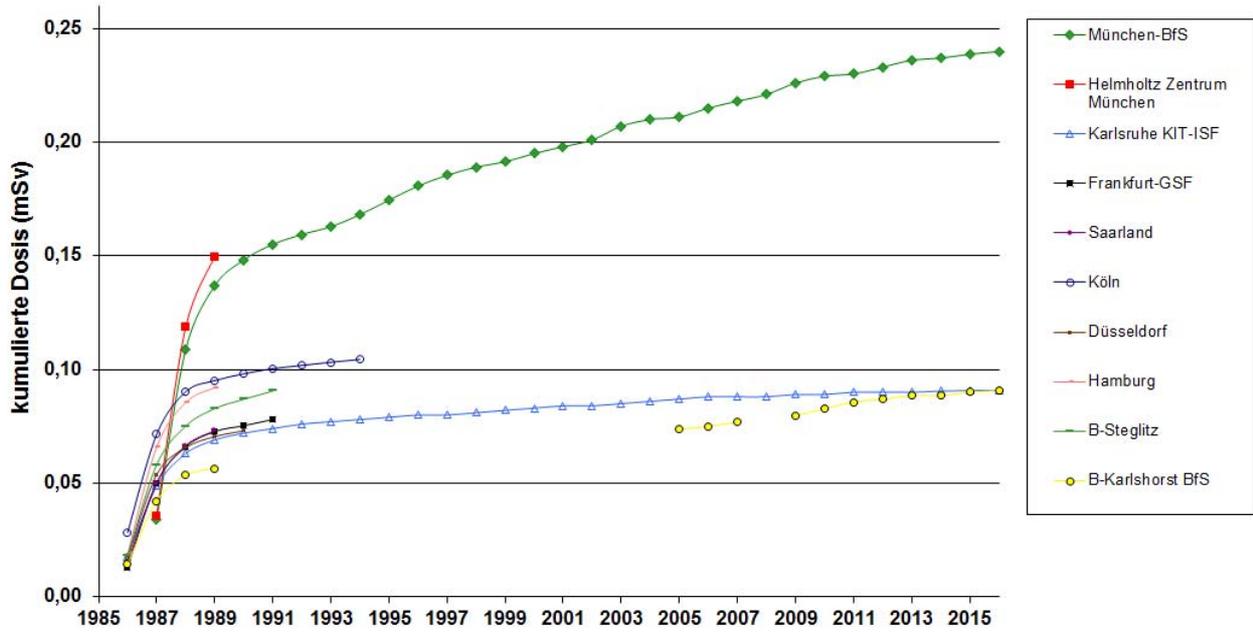


Abbildung B II 2.8-6 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Männer
(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
Comparison of reference groups: men)

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN (OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

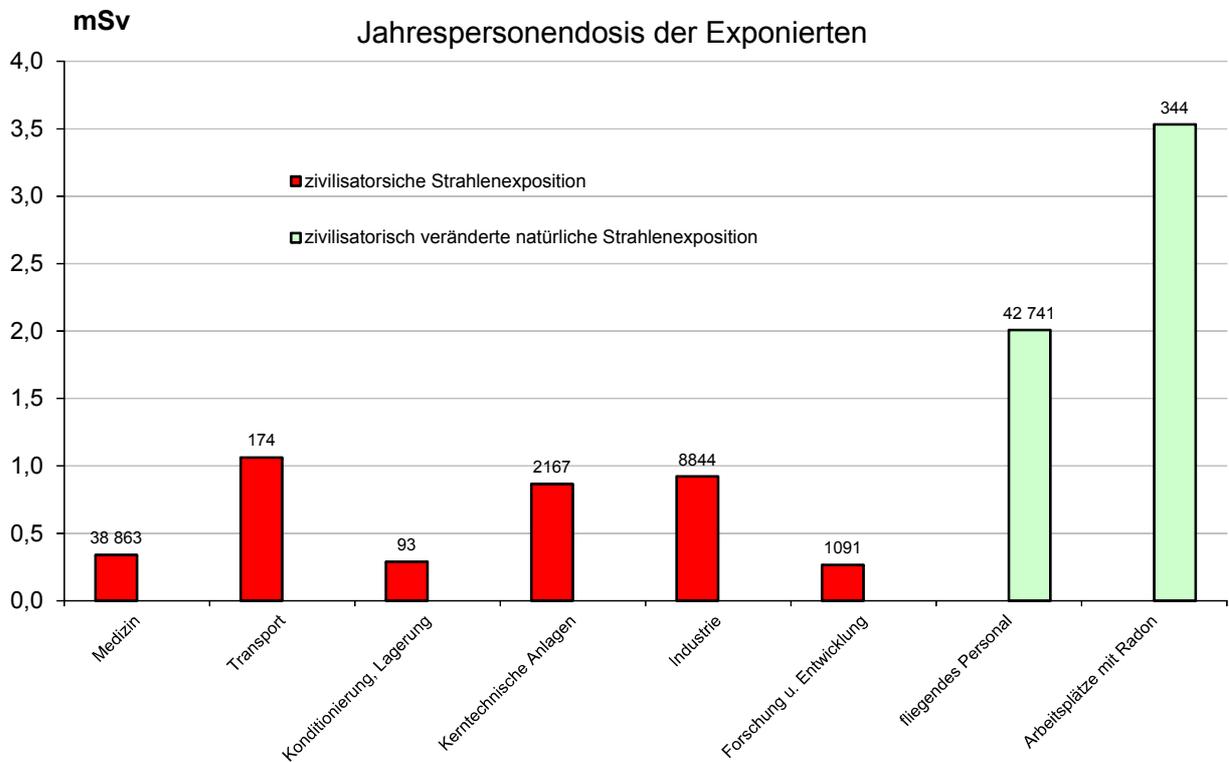
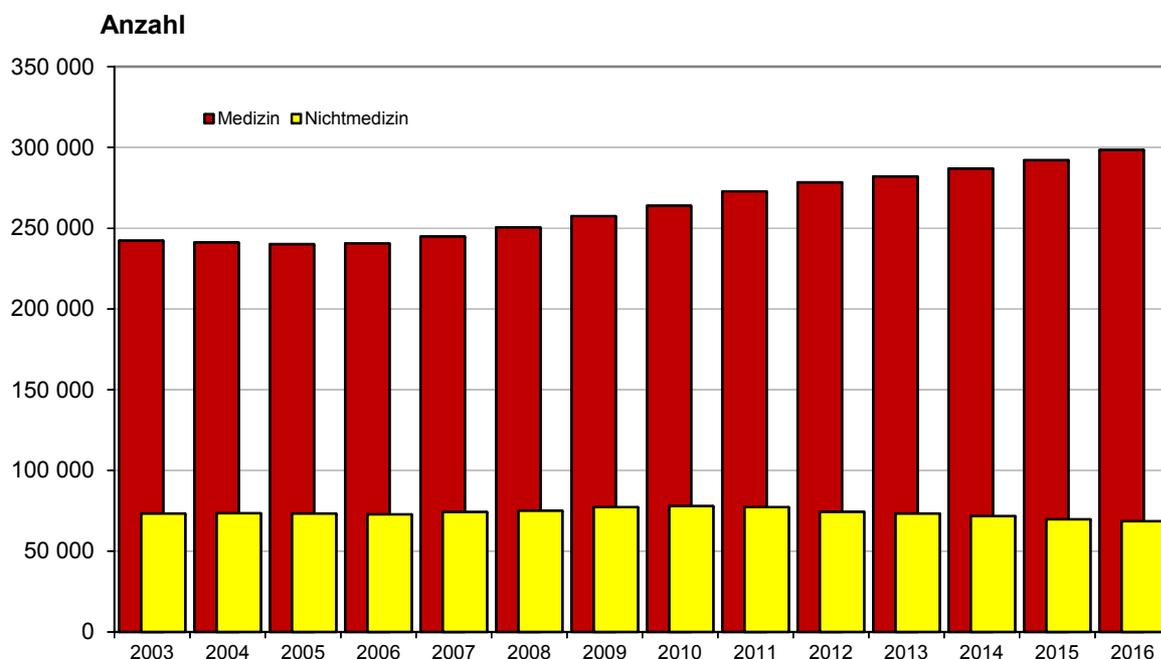


Abbildung B III-1 Mittlere Jahrespersonendosis und Anzahl der beruflich strahlenexponierten Personen mit Jahresdosen > 0 mSv in Deutschland im Jahr 2016 in ausgewählten Tätigkeitsbereichen (Zahlen auf den Balken: Anzahl der exponierten Personen)
(*Mean annual personal dose and number of occupationally exposed persons with annual personal doses exceeding 0 mSv in selected fields of activity in Germany during 2016 - numbers on the bar: number of persons*)

1. Personendosisüberwachung (Monitoring of personal dose)

1.1 Dosimeterüberwachte Personen (Monitoring with personal dosimeters)

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 6 mSv überschritten wurde (z. B.: Arbeitsmittel mit Dosimeter hing im Röntgenraum und sein Besitzer war im Urlaub, Dosimeter wurde absichtlich im Direktstrahl bestrahlt). Auch in diesen Fällen, in denen der festgestellte Dosiswert keine Personendosis sondern eine Ortsdosis ist, wird von der Aufsichtsbehörde eine Ersatzdosis festgesetzt. Sofern in solchen Fällen Ersatzdosiswerte festgesetzt und dem Strahlenschutzregister mitgeteilt wurden, sind diese zu berücksichtigen. 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 § 55 und 56 StrlSchV und § 31a und 31b RöV bei den beruflich strahlenschutzüberwachten Personen zu kontrollieren. Der Grenzwert der effektiven Dosis beträgt 20 mSv im Kalenderjahr und 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 2016 von zwei Personen überschritten. Bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten sind dies 0,0005 % ([Abbildung B III 1.1-2](#)). Beide Überschreitungen traten bei Tätigkeiten der Radiografie auf. Die Anzahl der Personen mit Jahresdosen über 20 mSv bei Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition zeigt [Abbildung B III-1](#).

Die Zusammenstellung der Fälle mit Jahrespersonendosen über 20 mSv gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. 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

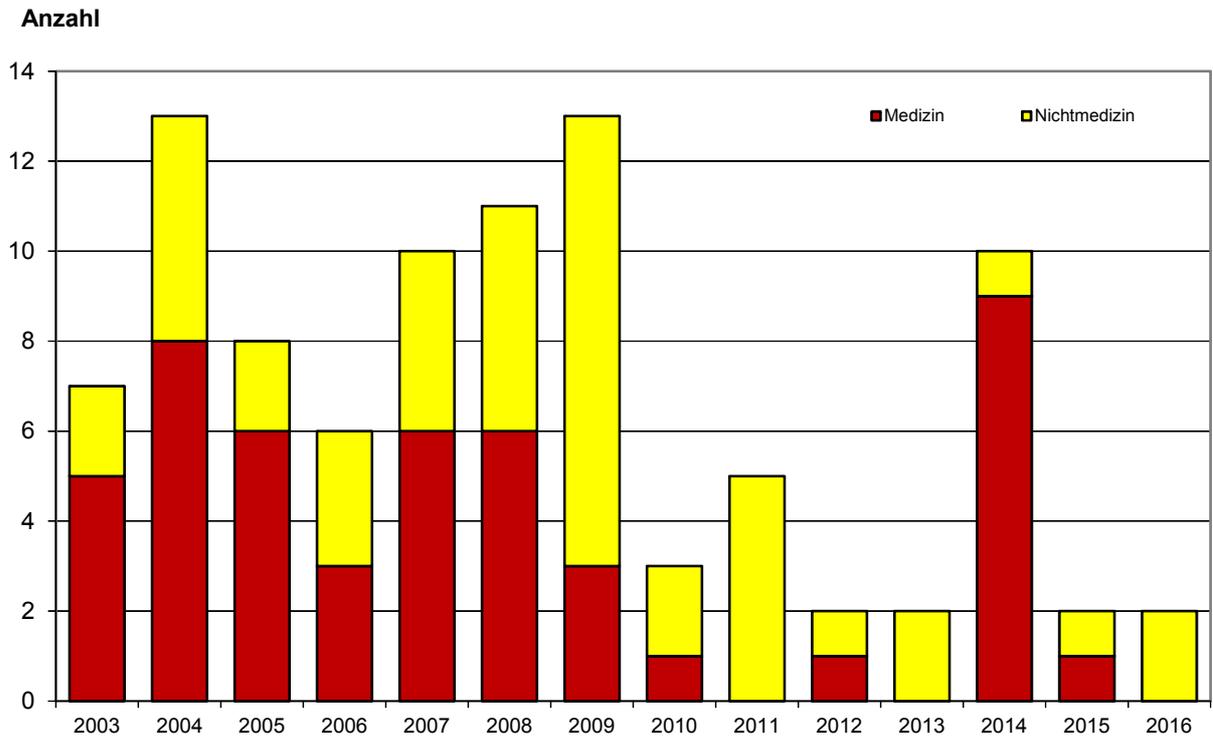


Abbildung B III 1.1-2 Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv
(Number of persons monitored using dosimeters exhibiting annual personal doses above 20 mSv)

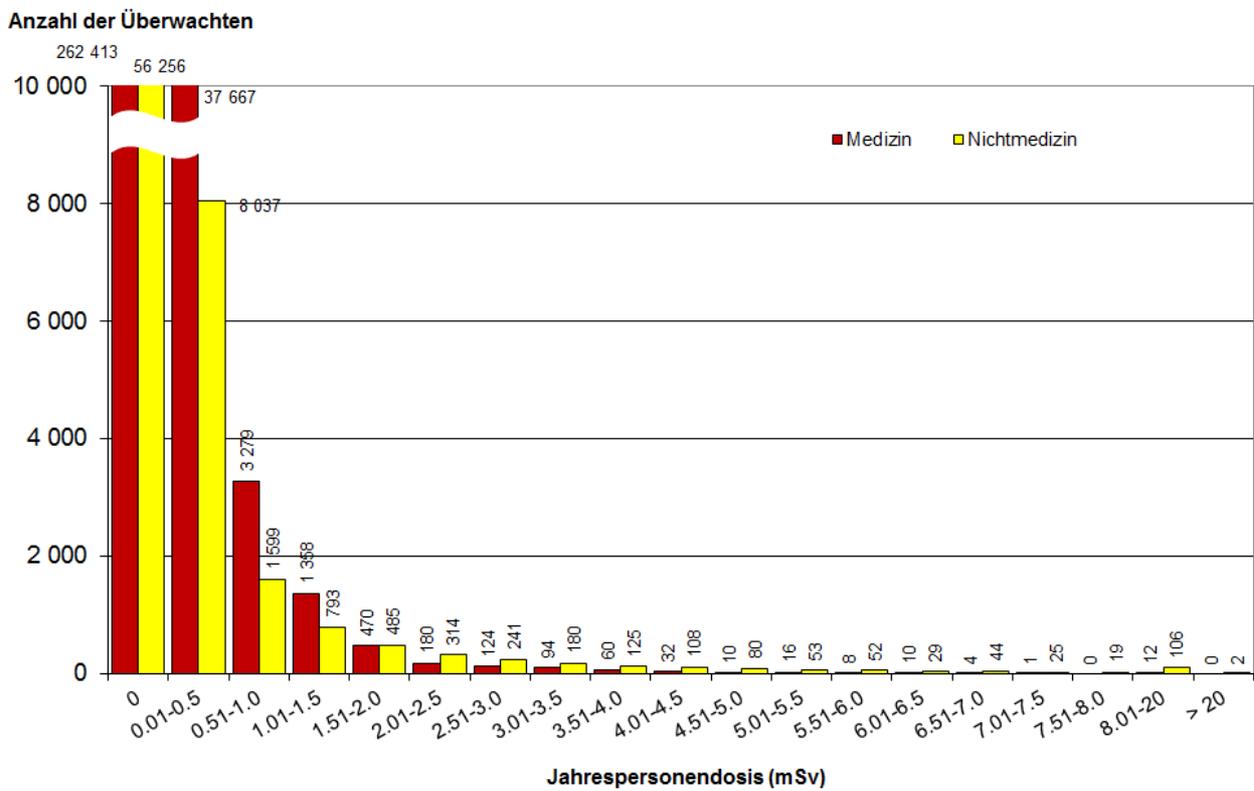


Abbildung B III 1.1-3 Verteilung der Jahrespersonendosen der mit Dosimetern überwachten Personen im Jahr 2016
(Distribution of annual personal doses of employees - monitored using dosimeters in 2016)

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. Dies traf für den größten Teil der überwachten Personen zu. Eine messbare berufliche Strahlenexposition erhielten deshalb nur 13 % 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 2016 betrug 0,06 mSv. Bildet man den Mittelwert über jene Personen, die einer messbaren Strahlenexposition ausgesetzt waren (ca. 48 000 Personen), so ergibt sich für diese Gruppe der Exponierten eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,47 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 2016 für die Hände bei ca. 23 300 Personen durchgeführt. Von diesen 23 300 Überwachten wiesen ca. 6900 Personen Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv auf (untere Erkennungsgrenze für Teilkörperdosimeter). Im Jahr 2016 kam es zu vier Überschreitungen des Grenzwertes für Hände: Drei während Tätigkeiten bei der Isotopenherstellung und eine bei der Anwendung radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin.

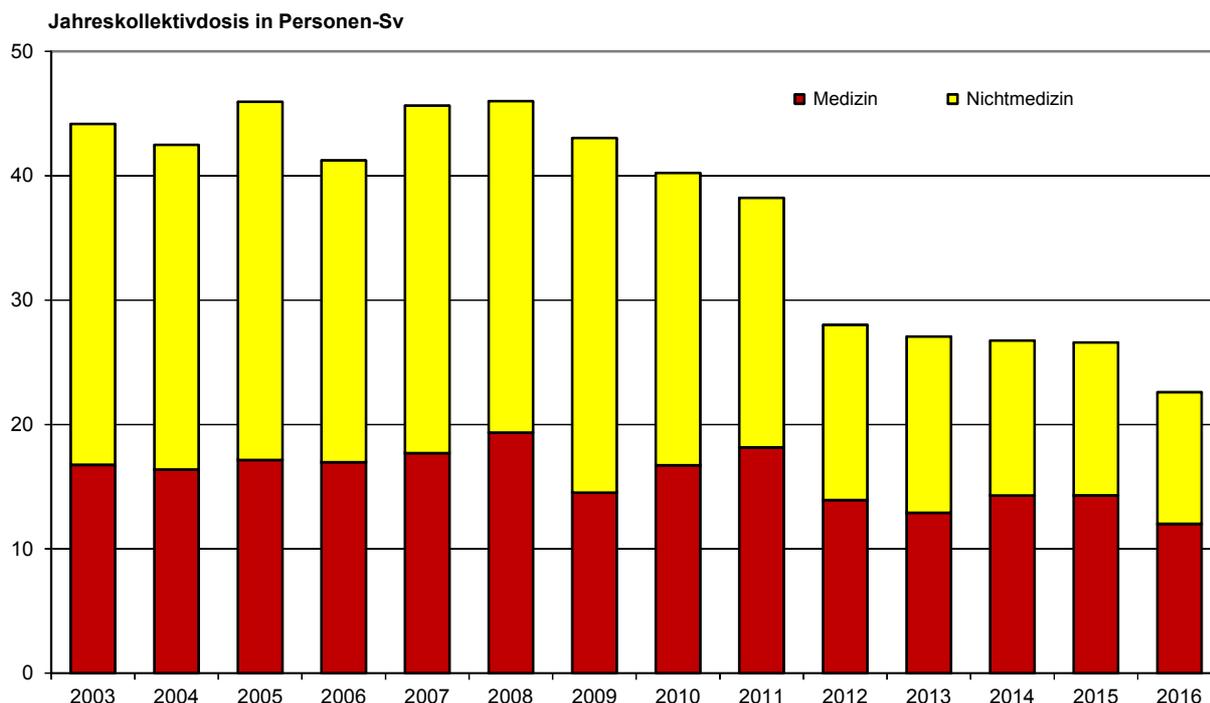


Abbildung B III 1.1-4 Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(*Annual collective dose of the persons monitored with personal doseimeters*)

1.2 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen

(*Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities*)

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 ab dem Jahr 2012 gegenüber den Vorjahren. Ursache des Rückgangs ist das Abschalten der 8 Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel im Jahr 2011 sowie Grafenrheinfeld im Jahr 2015. Jahrespersonendosen von mehr als 20 mSv traten 2016 bei Beschäftigten in Kernkraftwerken und sonstigen kerntechnischen Anlagen nicht auf. Die Daten für die letzten Jahre sind geschätzt, da eine Zuordnung des Personals zu den in Betrieb befindlichen Reaktoren erst nach Vorlage der o. g. GRS-Erhebung möglich ist. Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Kernkraftwerken sind in den Abbildungen [B III 1.2-1](#) und [B III 1.2-2](#) enthalten.

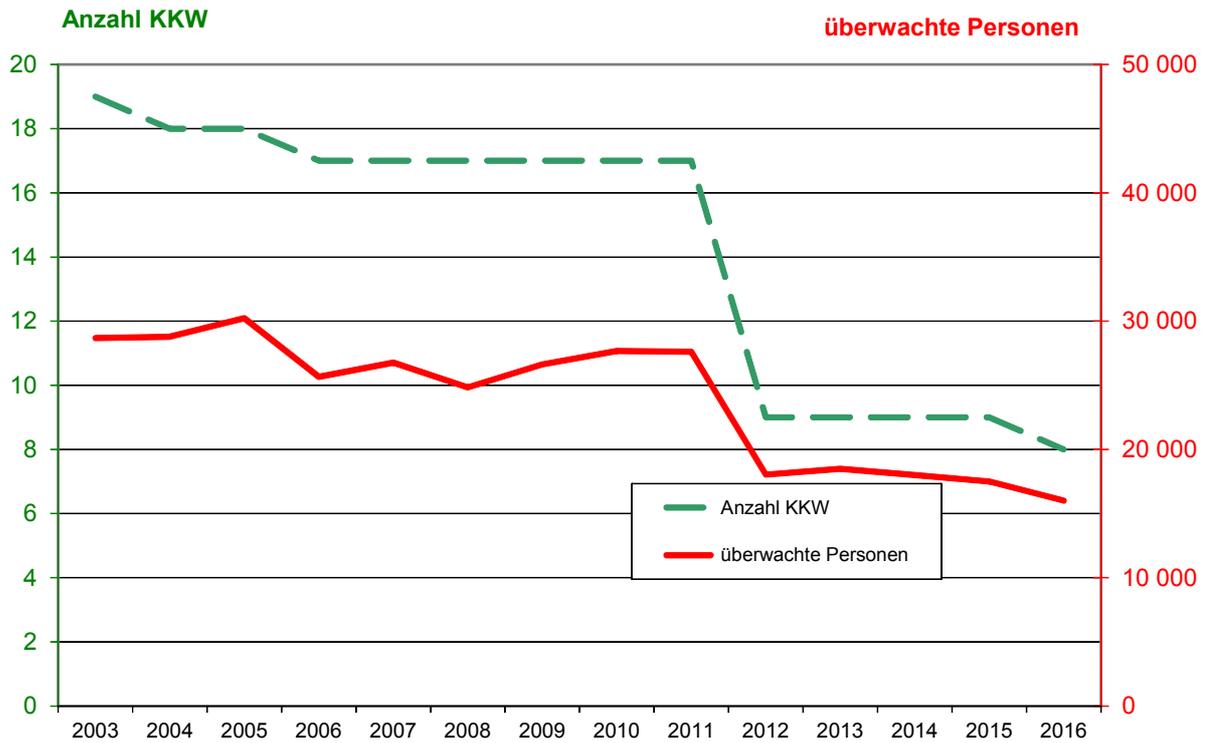


Abbildung B III 1.2-1 Anzahl Kernkraftwerke zur Stromerzeugung und überwachtes Personal
(Number of NPPs for power generation and occupationally exposed)

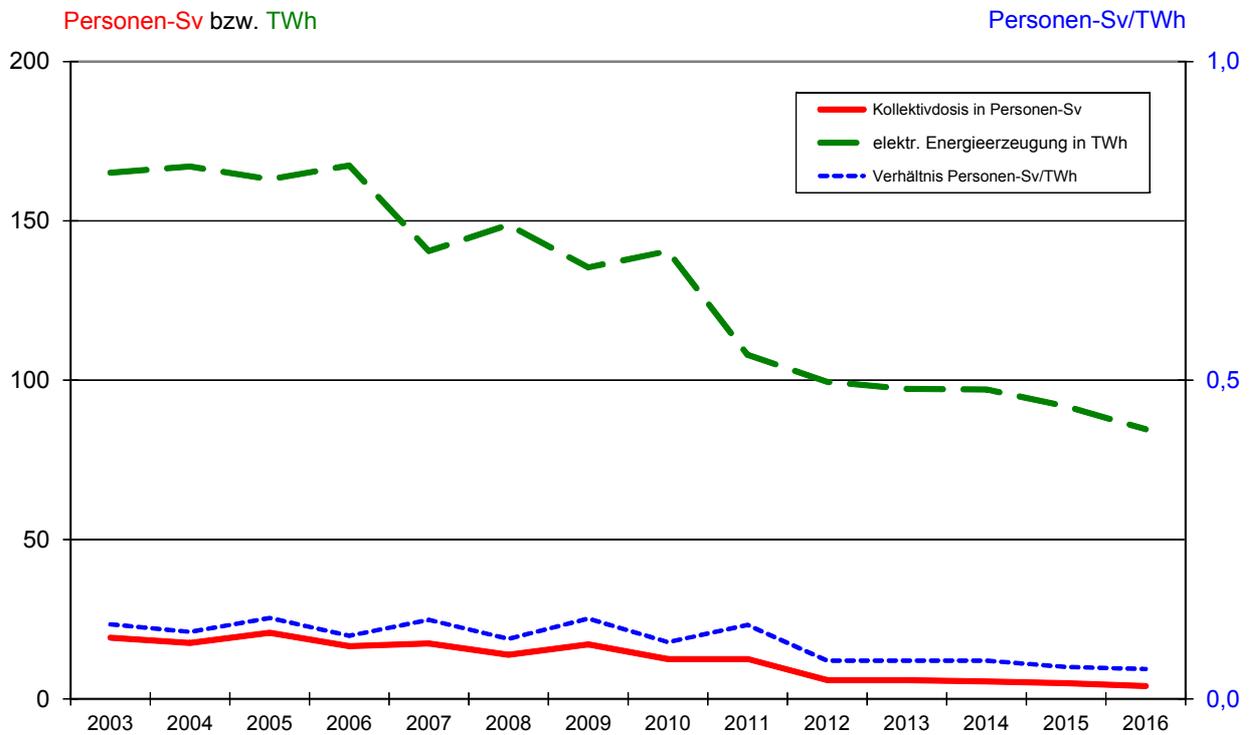
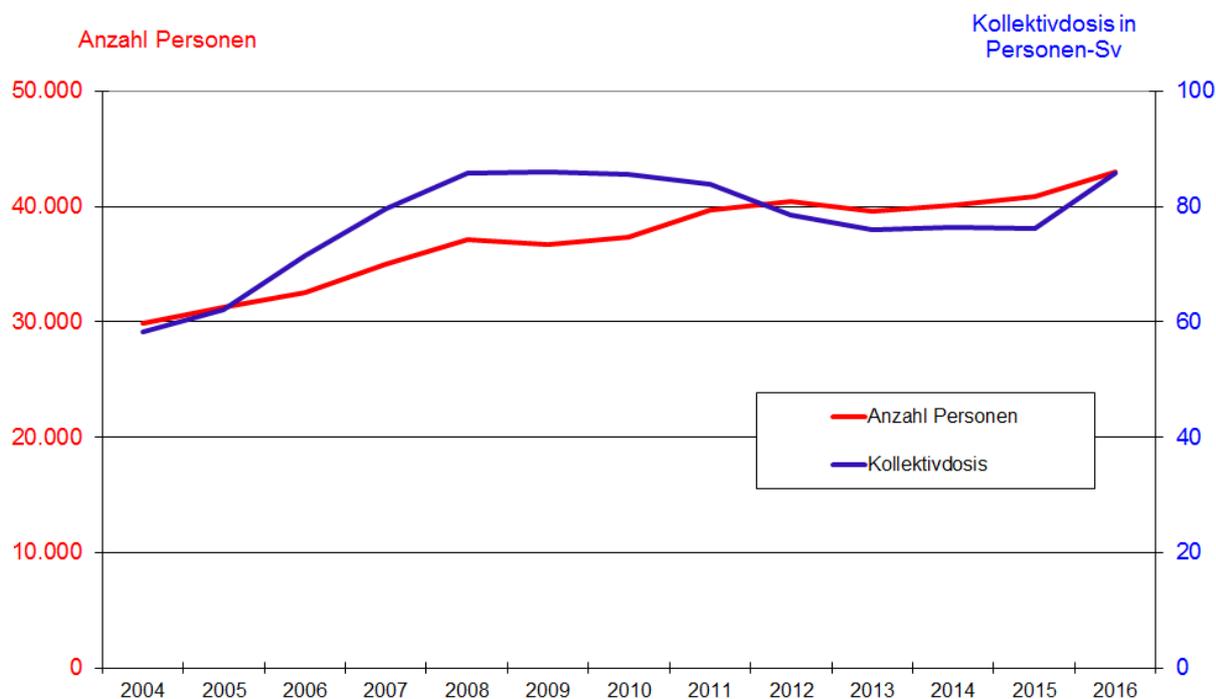


Abbildung B III 1.2-2 Erzeugte Energie, Kollektivdosis und Dosis pro Energie
(Produced energy, collective dose and dose/energy)

2. Überwachung des fliegenden Personals (*Aircraft crew monitoring*)

Mit der Strahlenschutzverordnung vom 20.07.2001 wurden die Anforderungen der EU-Richtlinie 96/29 Euratom in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist damit auch fliegendes Personal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann. Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit Computerprogrammen die Dosiswerte der kosmischen Strahlenexposition, ordnen diese personenbezogen ihrem Personal zu und geben diese über das Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter.



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

In Deutschland wurden im Jahr 2016 insgesamt 43 000 Personen (Vorjahr: 41 000) überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis betrug 2,0 mSv (Vorjahr: 1,9 mSv). Der höchste Jahrespersonendosiswert liegt bei 5,7 mSv. Die Verteilung ist in [Abbildung B III 2-2](#) wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2016 beträgt ca. 86 Personen-Sv. Damit zählt das fliegende Personal bezüglich der Kollektivdosis und der mittleren Jahresdosis zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen Deutschlands. Auch die Form der Dosisverteilung und ihre zeitliche Schwankung ([Abbildung B III 2-1](#)) ist nicht mit anderen Berufsgruppen vergleichbar. Wichtige Einflussgröße auf die Jahresdosis ist die zyklische Schwankung der Sonnenaktivität.

3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition (*Monitoring of radon enhanced workplaces*)

Für Personen, bei denen am Arbeitsplatz erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche Strahlungsquellen auftreten können, ist eine Überwachung durchzuführen. Dies betrifft z. B. untertägige Bergwerke, Schauhöhlen und Anlagen der Wassergewinnung. Nach § 95 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenbelastung durchzuführen (§ 95 Abs. 1). Wird dabei eine erhöhte Strahlenexposition festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2). Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausführen, ist die Körperdosis zu ermitteln. Für die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues ausführen, werden die Daten der Körperdosis auf der Grundlage der Regelungen des § 118 Abs. 2 Satz 1 ermittelt.

Für Beschäftigte der Wismut GmbH werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranerzfallsreihe und die durch Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Dazu werden Messungen mit personengetragenen Messgeräten durchgeführt. Diese Messgeräte erfassen die Strahlenexpositionen durch Radonzerfallsprodukte, durch langlebige Alphastrahler und durch externe Gammastrahlung. Für Beschäftigte, die Arbeiten in anderen Betrieben (nach Anlage XI

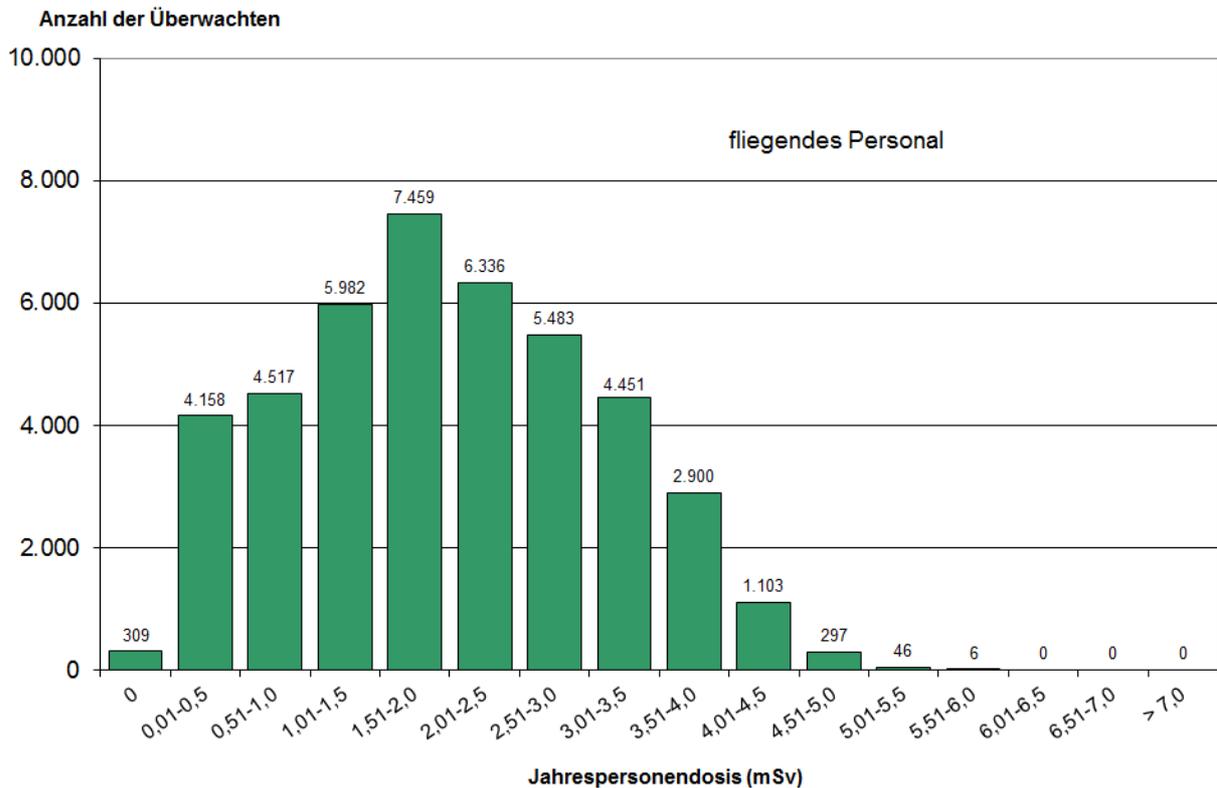


Abbildung B III 2-2 Verteilung der Jahrespersonendosis für fliegendes Personal 2016
(Distribution of the annual personal doses of aircraft crew personnel 2016)

der StrlSchV) ausführen, wird die durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten verursachte Körperdosis ermittelt. Hierzu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt. Für jeden Arbeitsplatz werden aus den Messergebnissen charakteristische Expositionsdaten abgeleitet, aus denen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten die Körperdosen der Beschäftigten berechnet werden.

Auf Grund dieser Regelungen wurden im Jahr 2016 dem Strahlenschutzregister im Bundesamt für Strahlenschutz für 374 Personen (Vorjahr: 300 Personen) Dosiswerte übermittelt. Von diesen 374 Personen führten 53 Personen (Vorjahr: 61 Personen) Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH aus. Die Kollektivdosis der 374 Beschäftigten betrug 1,2 Personen-Sv, die mittlere Jahrespersonendosis 3,2 mSv (Vorjahr: 3,7 mSv). Im Jahr 2016 gab es sechs Überschreitungen (2015: eine Überschreitung) des Grenzwertes von 20 mSv. Der höchste Wert der effektiven Jahresdosis betrug 30 mSv (Vorjahr: 25 mSv). Die Dosisverteilung zeigt [Abbildung B III 3-1](#).

4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen *(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)*

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 1215 Personen im Jahr 2016 (Vorjahr: 1411) überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,016 Personen-Sv. Die höchste Jahrespersonendosis infolge von Inkorporation lag bei 5,2 mSv. Von den 1215 Überwachten hatten 56 Personen Dosiswerte oberhalb der Nachweisgrenze.

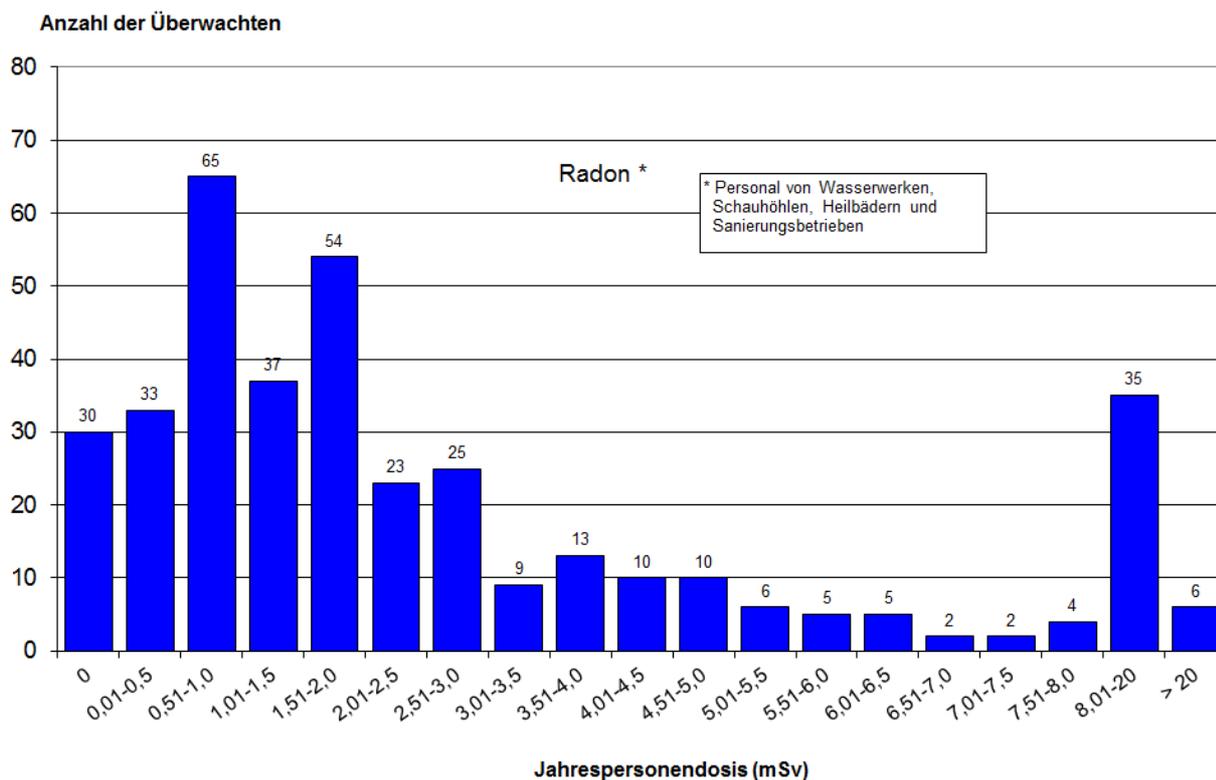


Abbildung B III 3-1 Verteilung der Jahrespersondosen durch natürlich erhöhte Radonexposition 2016
(Distribution of annual personal doses from naturally enhanced radon exposure 2016)

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Diagnostische Strahlenanwendungen (*Diagnostic applications of radiation*)

1.1 Röntgendiagnostik (*X-ray diagnostics*)

Bezüglich der Quellen für die Erfassung der Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen wird auf den Gundlagenteil [IV Grundlagen zur Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen](#) verwiesen. Im vorliegenden Bericht werden nochmals Daten der Jahre 2007 bis 2014 ausgewertet. Es wird darauf hingewiesen, dass Abweichungen zu Ergebnissen vorliegen, die in älteren Berichten präsentiert wurden. Diese beruhen im Wesentlichen auf veränderten Datenquellen für den stationären Bereich, siehe auch Jahresbericht 2015. Nach Vorliegen der Ergebnisse eines entsprechenden Forschungsvorhabens können auch die Häufigkeiten konventioneller Röntgenaufnahmen, für die keine Daten des statistischen Bundesamtes vorliegen, neu abgeschätzt werden.

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 AS an das BfS übermittelt wurden, jedoch auch auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen, auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMUB 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“.

Erneute Auswertung der Jahre 2007 bis 2014 – Häufigkeit von Röntgenanwendungen

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.

Für das Jahr 2014 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 140 Millionen Röntgenanwendungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 83 Mio. Röntgenuntersuchungen). Die mittlere Anzahl von Röntgenanwendungen in Deutschland lag während des betrachteten Zeitraums 2007 bis 2014 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 2014 von etwa 0,6 auf 0,7 Untersuchungen pro Einwohner zu, was etwa 40 % der Gesamtanzahl aller Röntgenanwendungen entspricht. Röntgenuntersuchungen des Kiefers machen inzwischen etwa 20 % der zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen aus. Über den Zeitraum 2007 bis 2014 hat die Häufigkeit dieser Untersuchungen um etwa 30 % zugenommen. 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 ca. 15 %, Thorax um ca. 20 %, Wirbelsäule um ca. 20 %, Verdauungs- und Urogenitaltrakt um ca. 30 %). Die Häufigkeit von Mammographien nahm infolge der Einführung des Mammographie-Screening-Programms zwischen 2007 und 2009 um 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 2014 um etwa 40 % 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 bildgebenden Untersuchungsverfahren, das keine ionisierende Strahlung verwendet (Zunahme um etwa 55 %, siehe Kapitel 1.4). Insgesamt werden immer noch mehr CT- als MRT-Untersuchungen durchgeführt (siehe 1.4). Welches der beiden Verfahren im Einzelfall anzuwenden ist, hängt von der diagnostischen Fragestellung, der klinischen Situation (Notfall) und natürlich auch der Verfügbarkeit ab.

Auswertung der Jahre 2007 bis 2014 – kollektive effektive Dosis

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2014 auf ca. 1,6 mSv. Über den Beobachtungszeitraum 2007 bis 2014 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 bedingt. 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. Demgegen-

über nahm die effektive Dosis pro Einwohner für die Summe der restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 2007 bis 2014 geringfügig ab (siehe [Abbildung B IV 1.1-2](#)).

Erwartungsgemäß ist der relative Anteil konventioneller Röntgenuntersuchungen an der kollektiven effektiven Dosis eher gering. Die CT und die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich interventioneller Maßnahmen) tragen dagegen zwar nur etwa 10 % zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2014 jedoch ca. 80 % (siehe [Abbildung B IV 1.1-3](#)) [1].

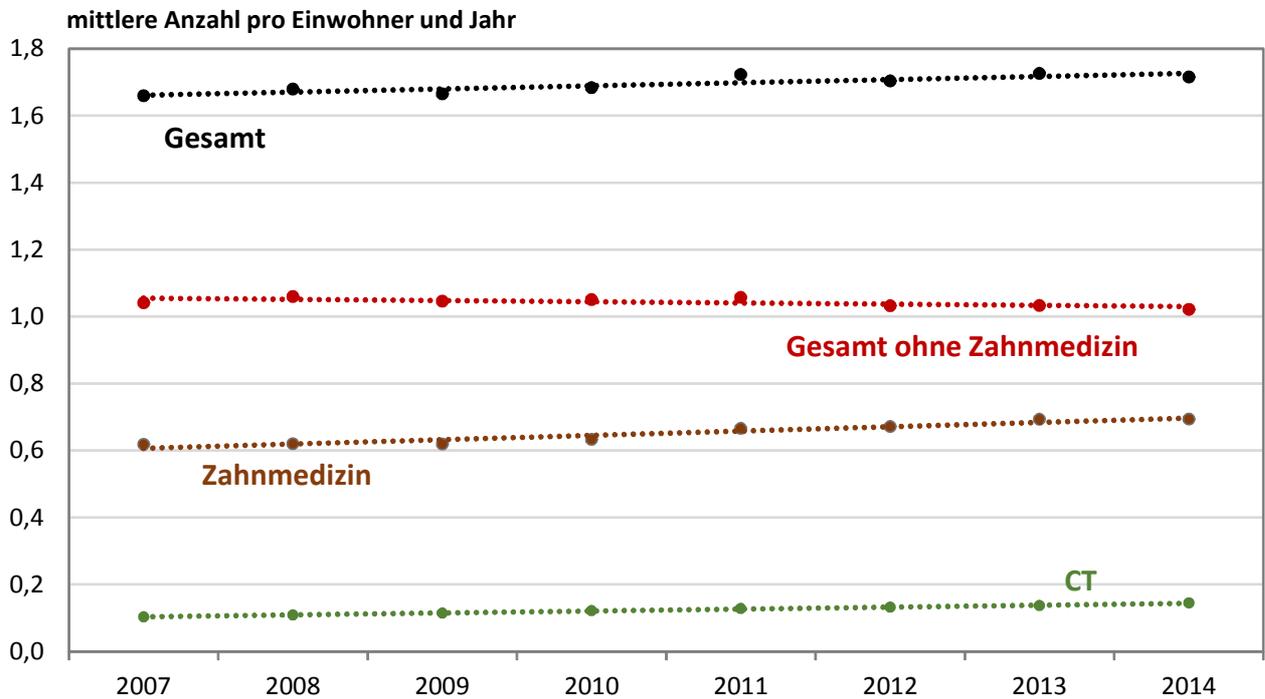


Abbildung B IV 1.1-1 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland
(*Frequency of x-ray examinations in Germany*)

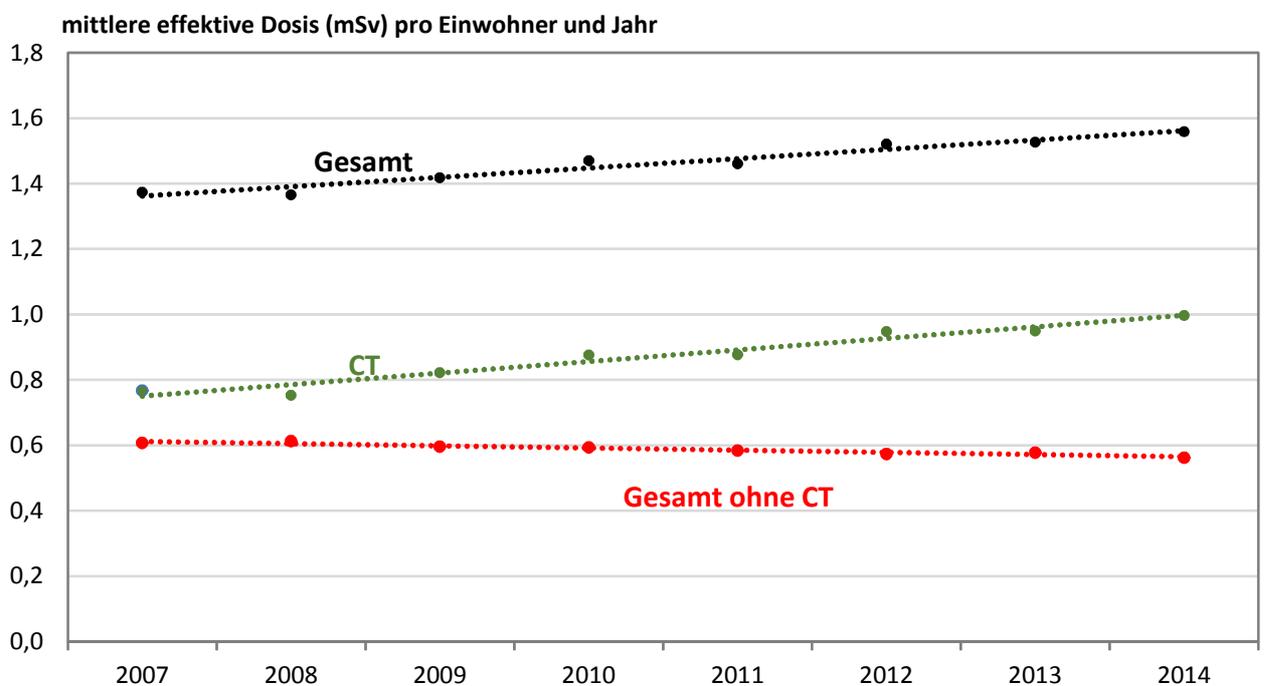


Abbildung B IV 1.1-2 Mittlere effektive Dosis (in mSv) pro Einwohner und Jahr durch Röntgen- und CT-Untersuchungen in Deutschland
(*Mean effective dose (mSv) per capita and year due to x-ray and CT diagnostics in Germany*)

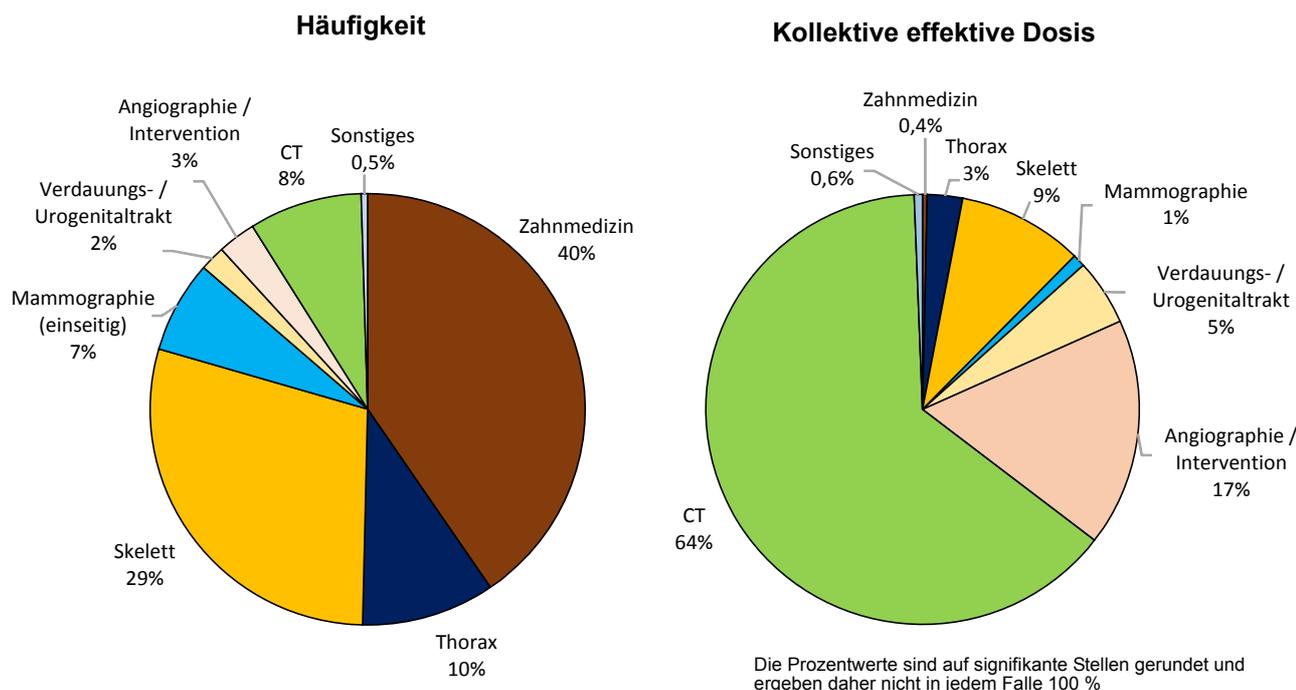


Abbildung B IV 1.1-3 Prozentualer Anteil der verschiedenen Röntgenmaßnahmen an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis 2014
(Contribution of various x-ray diagnostic procedures to total frequency and to collective effective dose in 2014)

Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Im Jahr 2014 wurde laut Robert-Koch-Institut („Krebs in Deutschland für 2013/2014“, S. 16, www.krebsdaten.de, abgerufen am 12.9.2018) bei 69 220 Frauen eine Brustkrebsdiagnose gestellt (mittleres Erkrankungsalter: 69 Jahre). Nach Angaben des Robert-Koch-Instituts verstarben im selben Jahr insgesamt 17 670 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Wird Brustkrebs frühzeitig erkannt, kann dies den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenschancen der Betroffenen erhöhen.

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

Zur schrittweisen Einführung des MSP wurde 2003 die Kooperationsgemeinschaft Mammographie (www.mammo-programm.de) gegründet. Im Jahr 2005 wurde die erste Screening-Einheit (SE) zertifiziert und konnte ihren Betrieb aufnehmen; 2009 ist die letzte der insgesamt 94 SE in Betrieb gegangen. Zielgruppe des MSP sind alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren. Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Anspruchsberechtigt sind etwa 10,5 Mio Frauen. Die Teilnehmerate lag laut „Jahresbericht Evaluation 2015“, S. 13 bei 52 % [2].

Würden die von den EU-Leitlinien geforderten 70 % der anspruchsberechtigten Frauen an der Screening-Maßnahme teilnehmen, beliefe sich unter der Annahme einer effektiven Dosis von 0,5 mSv pro Screening-Untersuchung die daraus resultierende kollektive effektive Jahresdosis auf etwa 1800 Personen-Sv pro Jahr. Dies entspricht weniger als 1,5 % der kollektiven effektiven Dosis der gesamten jährlichen Röntgendiagnostik in Deutschland. 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 BMUB in Kooperation mit dem BfS erste konkrete Schritte zur Evaluation der Brust-

krebsmortalität in die Wege geleitet. An der Finanzierung des seit Juli 2012 laufenden komplexen Vorhabens beteiligen sich das BMUB, das BMG sowie die Träger des Mammographie-Screening-Programms. Die Geldgeber sowie das BfS, das Robert-Koch-Institut, ein Vertreter der obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) und die Patientenvertretung bilden ein so genanntes Steuerungsgremium. Die Aufgaben des Steuerungsgremiums sind u. a. die Schaffung der organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abwicklung der Vorhaben zur Mortalitäts-evaluation sowie die Festlegung der Konzeption und des Inhalts der Evaluation des deutschen Mammographie-Screening-Programms. Das Steuerungsgremium wird hinsichtlich der Konzeption und Gestaltung der Inhalte des Forschungsvorhabens sowie der Projektbegleitung von einem Wissenschaftlichen Beirat unterstützt. Die administrative Abwicklung der Mortalitäts-evaluation erfolgt seitens des BMUB 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). Auf der Grundlage der Ergebnisse der beiden Machbarkeitsstudien wird derzeit der Einstieg in die eigentliche Hauptstudie vorbereitet.

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 2015. Deutsches Mammographie-Screening-Programm. Kooperationsgemeinschaft Mammographie, Berlin, September 2017, abgerufen am 12.9.2018 (fachservice.mammo-programm.de/publikationen-und-stellungnahmen)

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik (*Nuclear medicine diagnostics*)

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition ab dem Berichtsjahr 2016

Die im Grundlagenteil ([IV Grundlagen zur Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen](#)) beschriebene Vorgehensweise wurde ab diesem Bericht 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).

Die applizierten Aktivitäten pro nuklearmedizinischer Untersuchung werden mit Hilfe der Daten aus einem Ressortforschungsvorhaben abgeschätzt. In dieses Forschungsvorhaben gingen sämtliche nuklearmedizinischen Untersuchungen der Jahre 2007 und 2008 aus 48 nuklearmedizinischen Einrichtungen ein. Die daraus resultierende effektive Dosis pro Untersuchung wird mit den Dosiskoeffizienten aus der Publikation 128 der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2014 bestimmt. 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. Somit können die aktuell abgeschätzten effektiven Dosiswerte von den früheren Schätzwerten auf Basis der ICRP-Publikationen 80 und 106 abweichen. Dies ist bei den Ergebnissen des aktuellen Berichts bei Vergleich zu Ergebnissen früherer Berichte zu berücksichtigen.

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. In die Abschätzung fließen zudem die Resultate aktueller Literatur ein [1, 2]. Abweichungen zum Jahresbericht von 2015 ergeben sich auf Grund einer alternativen Datenquelle für den stationären Bereich und [1].

Auswertung der Jahre 2010 - 2014

Die Ergebnisse der aktuellen Auswertung zur Häufigkeit und Dosis von nuklearmedizinischen Untersuchungen beziehen sich auf den Fünfjahres-Zeitraum 2010 bis 2014. Pro Jahr wurden 2010 bis 2014 in Deutschland im Mittel ca. 2,5 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von etwa 31 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. [Abbildung B IV 1.2-1](#) gibt die Beiträge zur Gesamthäufigkeit für einzelne Untersuchungskategorien für das Jahr 2014 wieder. Am häufigsten wurden Szintigraphien bzw. Einzelphotonen-Emissionscomputertomographien (SPECT- Untersuchungen) der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt, gefolgt von Myokard(Herz)-Untersuchungen. Es 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.

Es wurde eine über den Zeitraum 2010 bis 2014 gemittelte effektive Dosis von etwa 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 Positronenemissionstomographien (PET) nahm über den betrachteten Zeitraum 2010 bis 2014 kontinuierlich zu. Die PET spielt daher auf Grund der relativ hohen Dosis pro Untersuchung bei der durch alle nuklearmedizinischen Untersuchungen verursachten kollektiven effektiven Dosis zunehmend eine Rolle. PET/CT-Untersuchungen ersetzen immer mehr reine PET-Untersuchungen. Im stationären Bereich wurden 2014 bereits rund 80 % 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 wäre der Beitrag der PET und PET/CT um rund 80 % höher.

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

Literatur

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

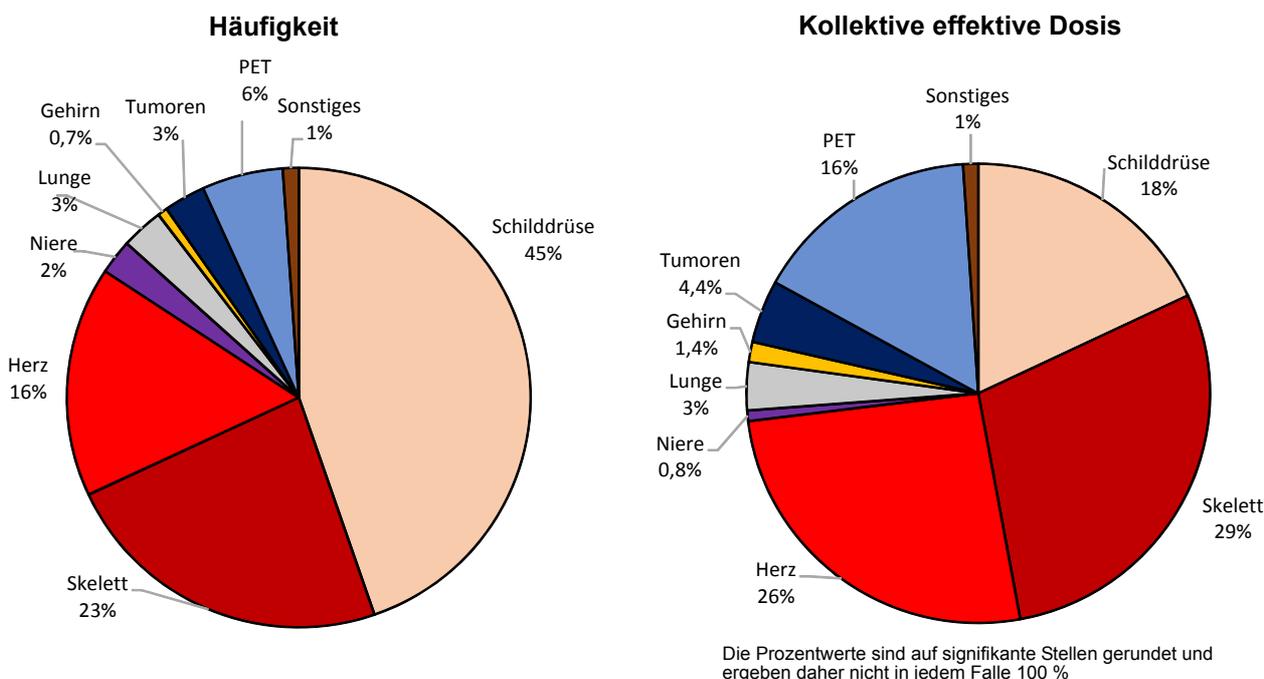


Abbildung B IV 1.2-1 Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 2014
(Contribution from the different nuclear medicine examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations in Germany 2014)

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen (Evaluation of radiation exposures resulting from diagnostic procedures)

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen betrug im Jahr 2014 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 2014. Verglichen damit ist die Exposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering (etwa 0,1 mSv).

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

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

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

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

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

Literatur

- [1] European Commission, Radiation Protection No.180, Part 1: Medical Radiation Exposure of the European Population; Part 2: Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. Directorate-General for Energy (Directorate D, Unit D 3) 2014, ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180.pdf; ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180%20part2.pdf

- [2] Brix G, Berton M, Nekolla E, Lechel U, Schegerer A, Süsselbeck 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

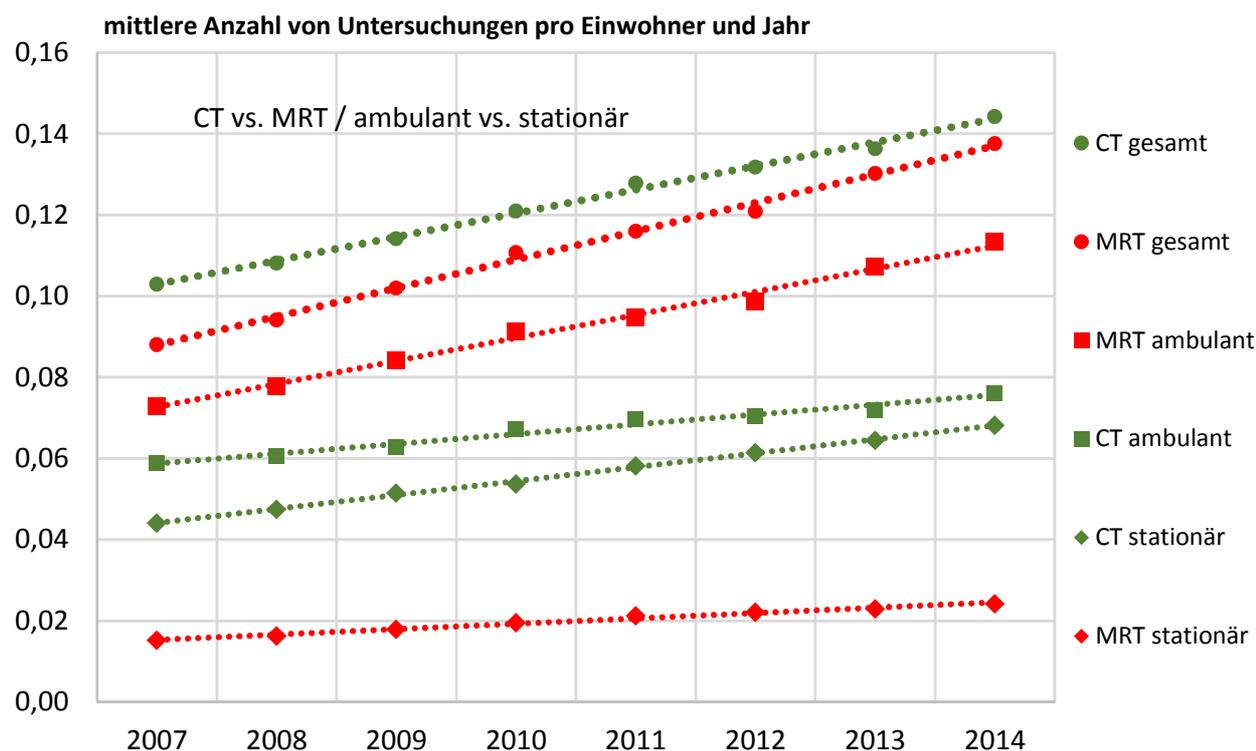
1.4 Magnetresonanztomographie als alternatives Untersuchungsverfahren (*Magnetic Resonance Imaging as an alternative examination procedure*)

Für die Jahre 2007 bis 2014 ist für MRT-Untersuchungen (siehe [Abbildung B IV 1.4-1](#)) eine stetige Zunahme der Häufigkeit zu verzeichnen (Anstieg der MRT-Untersuchungen von rund 7 Mio. im Jahr 2007 auf rund 11 Mio. im Jahr 2014). Bemerkenswert ist die gleichzeitige Zunahme von MRT- und CT-Untersuchungen, wobei insgesamt immer noch mehr CT- als MRT-Untersuchungen durchgeführt werden. Wird der stationäre Bereich getrennt betrachtet, so ist hier die Anzahl von CT-Untersuchungen sogar 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 2014 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 (*Therapeutic applications of radiation*)

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird für das Jahr 2013 auf ca. 250 000 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 230 000 bei Frauen geschätzt [1]. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer bei etwa 68 und für Frauen bei etwa 67 Jahren. Die Therapie einer Krebserkrankung erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat.

2.1 Therapie mit ionisierender Strahlung (*Radiation therapy*)

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 (17,2 Mio. Einwohner, ca. 21 % der bundesdeutschen Bevölkerung, geschätzt etwa 104 000 Krebserkrankungen im Jahr 2013) ca. 71 200 Patientinnen und Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Etwa 14 % dieser Patientinnen und Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung therapiert. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhielten im Jahr 2013 etwa 340 000 Patientinnen und Patienten eine Strahlentherapie, davon ca. 290 000 wegen einer bösartigen Erkrankung. 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 ist die Anzahl der Patienten um 50 % gestiegen. Ausgehend von dieser Steigerungsrate könnte im Jahr 2016 bei rund 390 000 Patientinnen und Patienten eine Strahlentherapie erfolgt sein. Das BfS plant ein Ressortforschungsvorhaben, um aktuelle und valide Zahlen für Gesamtdeutschland zu erhalten.

2.2 Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen (*Therapy with unsealed radioactive sources*)

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 mit dem Radionuklid Iod-131. Nach Daten der Krankenhausstatistik des statistischen Bundesamtes belief sich im stationären Bereich die Zahl der Radioiodtherapien im Jahr 2014 auf ca. 32 700; zu 70 % waren hiervon Frauen betroffen. Die Radiosynoviorthese, d. h. die Behandlung spezieller Gelenkerkrankungen, findet vorwiegend im ambulanten Bereich statt, wo sie im Jahr 2014 in ca. 62 000 Fällen durchgeführt wurde.

Literatur

- [1] Bericht zum Krebsgeschehen in Deutschland Robert Koch-Institut (Hrsg) Berlin, 2016; www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebsgeschehen/Krebsgeschehen_inhalt.html
- [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

3. Medizinische Forschung (*Medical research*)

Vom BfS wurden im Jahr 2016 nach § 23 StrlSchV und § 28 a RöV 347 Genehmigungen zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) am Menschen in der medizinischen Forschung erteilt (Vorjahr 333).

4. Herzschrittmacher (*Pacemakers*)

Seit dem Jahr 1977 werden keine Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien mehr implantiert. Auf derartige Batterien kann verzichtet werden, seitdem entsprechende konventionelle Batterien mit einer hohen Lebensdauer verfügbar sind. In [Tabelle T IV.2](#) ist - wie in früheren Jahresberichten - die Anzahl der seit 1971 gemeldeten Implantationen und Explantationen für Herzschrittmacher mit Plutonium-238 angegeben.

Gemäß der aktuellen Datenlage und unter Berücksichtigung von PTB-Angaben und Informationen der Entsorgungsfirmen wurden in Deutschland von 1971 bis 1976 insgesamt 284 Implantationen angezeigt, von denen die Explantation jetzt für alle 284 Fälle dokumentiert ist. Die letzten beiden seit einigen Jahren als fehlend gemeldeten Herzschrittmacher wurden den betroffenen Personen im Jahr 2017 explantiert (siehe Folgebericht).

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

(THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz und vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe (*Border-crossing transport of radioactive material*)

1.1 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe (*Overview of statistics on the import and export of radioactive material*)

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

Die Gesamteinfuhr an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) nach Spalte 5 ([Tabelle T V.1](#)) ist gegenüber dem Vorjahr auf ca. das Doppelte gestiegen, was in der erhöhten Einfuhr von Co-60 aus Kanada und der Russischen Föderation begründet ist (Spalte 4). Der Wert für die Gesamteinfuhr enthält zusätzlich die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische, wie z. B. kontaminierte Werkzeuge, die 2016 mit einer Gesamtaktivität von nur 11,8 GBq eingeführt wurden. Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“), wie z. B. aktivierte Anlagenteile, wurden 2016 in Höhe von 24,7 TBq eingeführt.

Die Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist im Rahmen üblicher Schwankungen auf etwa das Niveau des Jahres 2012 angestiegen.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq ([Tabelle T V.2](#)) zeigt im Jahr 2016 einen deutlichen Anstieg. Auch hier enthält die Summe in Spalte 5 die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische, wie z. B. kontaminierte Werkzeuge, mit 28,8 GBq.

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“), wie z. B. aktivierte Anlagenteile, wurden 2016 mit 29 GBq ausgeführt.

Bei den unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist eine Reduzierung festzustellen.

1.2 Einfuhrstatistik (*Import statistics*)

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

[Tabelle T V.3](#) (a-c) gibt die Aktivitäten der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab A1/100 und Aktivierungsprodukte sowie sonstige radioaktive Gemische. Der Wert für die Gesamteinfuhr enthält zusätzlich die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische, wie z.B. kontaminierte Werkzeuge (11,8 GBq).

Es zeigt sich in der Gesamtsumme fast eine Verdoppelung zum Vorjahr auf jetzt 3921 TBq ([Tabelle T V.1](#)). Diese Zunahme wird in der Hauptsache von Co-60-Lieferungen aus Kanada und der Russischen Föderation bestritten.

In Form von Tritiumgaslichtquellen sind im Berichtszeitraum 3158 GBq aus der Schweiz eingeführt worden (in den Werten für die Gesamteinfuhr von H-3 enthalten); H-3-Leuchtfarbe wurde abermals nicht bezogen.

Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100

[Tabelle T V.4](#) zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75, Cs-137, Ir-192, Am-241 und Cf-252 jeweils ab deren Werten für A1/100 gemäß Anlage III Spalte 3a StrlSchV.

Die Einfuhr ist hier auf knapp das Doppelte im Vergleich zum Vorjahr gestiegen. Es findet sich erwartungsgemäß der größte Posten wieder bei Co-60 mit diesmal sogar 96 % der in dieser Rubrik eingeführten Gesamtaktivität.

Co-60-Quellen kamen in der Hauptsache aus der Russischen Föderation und Kanada. Ein umfangreicherer Bezug neuer Quellen von dort ist hier zu erkennen.

Einfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

[Tabelle T V.5](#) zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2016 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Es ist ein Anstieg auf etwa das Niveau des Jahres 2009 zu verzeichnen.

Die Schwerpunkte liegen bei abgereichertem Uran und Natururan als größtem Posten, gefolgt von angereichertem Uran mit 3-10 % U-235.

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

1.3 Ausfuhrstatistik (Export statistics)

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

Die Gesamtausfuhr gemäß [Tabelle T V.6](#) (a-b) und [Tabelle T V.2](#) nahm von 95 633 GBq im Jahr 2015 auf 110 844 GBq zu. Das Nuklidspektrum ist gegenüber dem Vorjahr unverändert geblieben, lediglich Ba-131 ist hinzugekommen und Fe-55 entfallen. Der Wert für die Gesamtausfuhr enthält nicht die sonstigen radioaktiven Gemische, wie z. B. kontaminierte Werkzeuge (28,76 GBq).

2961 GBq H-3 waren im Berichtszeitraum in Gaslichtquellen enthalten. Ausfuhren von H-3-Leuchtfarbe wurden hingegen auch 2016 nicht registriert.

Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen ab A 1/100 ([Tabelle T V.7](#) und [Tabelle T V.2](#)) ist gegenüber dem Vorjahr um ca. 35 % gestiegen (1862 TBq im Jahr 2015; 2844 TBq im Jahr 2016). Auch hier findet sich der größte Posten der umschlossenen Strahlenquellen ab A1/100 bei Co-60 mit ca. 65 % der in dieser Rubrik ausgeführten Gesamtaktivität.

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

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

Die Ausfuhrmenge ist 2016 mit 885 891 kg gegenüber 1 187 779 kg (2015) um 25 % gesunken. Die größten Posten finden sich bei angereichertem Uran mit >3-10 %igem Anteil an U-235.

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

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

1.4 Genehmigungen und Anzeigen (Licenses and notifications)

[Tabelle T V.9](#) zeigt die Anzeigen und Genehmigungen im Jahr 2016. Diese Tabelle enthält seit dem Berichtsjahr 2006 die Rubrik „Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“. Hier sind die Genehmigungen zur Einfuhr für jene hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ) aufgeführt, deren grenzüberschreitende Verbringung auf Grund des HRQ-Gesetzes vom 12. August 2005 i. V. m. § 20 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) nicht im Anzeigeverfahren zulässig und daher genehmigungspflichtig ist.

Die Genehmigungen zur Ausfuhr solcher HRQ sind sinngemäß in der Rubrik „Ausfuhr § 19 Abs. 2 StrlSchV“ enthalten, wo sich vor dem Inkrafttreten des HRQ-Gesetzes lediglich Genehmigungen für diejenigen sonstigen radioaktiven Stoffe fanden, deren Aktivität das 10^8 -fache der Freigrenzen gemäß Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 StrlSchV pro Versandstück überschritt. Diese weiterhin bestehende Genehmigungspflicht richtet sich nur nach der Aktivität eines Versandstückes und zwar unabhängig davon, ob es sich um offene oder umschlossene radioaktive Stoffe handelt.

Ferner ist in der Tabelle seit dem Berichtsjahr 2002 die rechte Spalte „Genehmigungen nach § 108 StrlSchV“ für Konsumgüter gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 18 StrlSchV enthalten. Da nach § 108 StrlSchV genehmigte grenzüberschreitende Verbringungen derartiger Konsumgüter jedoch nicht von einem Meldeverfahren begleitet werden, wird in dieser Spalte lediglich die Anzahl der im Berichtszeitraum erteilten Genehmigungen angegeben, welche jeweils eine Gültigkeit von zwei Jahren haben. Im Berichtszeitraum waren dies 15 für die Einfuhr und ebenfalls 15 für die Ausfuhr.

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 21 Einfuhr- und 60 Ausfuhrgenehmigungen nach § 3 Abs. 1 AtG sowie 26 Einfuhr- und 54 Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe nach § 19 StrlSchV erteilt.

Mit der Neufassung der AtAV, seither „Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Bezirksverordnetenversammlung - AtAV)“ vom 30.04.2009 gilt diese zusätzlich auch für grenzüberschreitende Verbringungen bestrahlter Kernbrennstoffe. Daten über gemäß der AtAV erfolgte Verbringungen bestrahlter Kernbrennstoffe sind somit ebenfalls den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Im Jahr 2016 gingen 3245 (2015: 3455) Einfuhranzeigen sowie 4521 (2015: 4687) Ausfuhranzeigen nach § 20 StrlSchV ein. Die Zahl der bearbeiteten Belege ist damit im Vergleich zum Vorjahr geringfügig zurückgegangen.

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

2. Beförderung radioaktiver Stoffe (*Transport of radioactive material*)

Im Berichtszeitraum war bis einschließlich 29.07.2016 das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und ab 30.07.2016 das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) auf dem Gebiet der Beförderung radioaktiver Stoffe die zuständige Behörde für die gefahrgutrechtlichen Genehmigungs-, Zulassungs- und Anerkennungsverfahren gemäß Gefahrgutbeförderungsgesetz sowie den darauf beruhenden Verordnungen und für die Erteilung von Beförderungsgenehmigungen für alle Verkehrsträger gemäß § 4 Atomgesetz für Kernbrennstoffe und § 16 Strahlenschutzverordnung für Großquellen. Diese Änderung ergibt sich aus dem am 30.07.2016 in Kraft getretenen „Gesetz zur Neuordnung der Organisationsstruktur im Bereich des Strahlenschutzes und der Endlagerung“, aus der auch eine Übertragung der Genehmigungs- und Zulassungsbefugnisse bezüglich der Beförderung radioaktiver Stoffe vom BfS auf das BfE resultierte.

Weitere Voraussetzungen für die Entsorgung von Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren wurden im April und September 2016 mit Erteilung von Revisionen der Zulassungen für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR® V/52 für Siedewasserreaktor-Brennelemente und für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR® V/19 für Druckwasserreaktor-Brennelemente geschaffen.

Auf internationalem Gebiet wurde die Mitarbeit des BfS/BfE bei der Weiterentwicklung der Sicherheitsstandards zum Transport radioaktiver Stoffe bei der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) fortgesetzt.

Der 2015 begonnene Überarbeitungs-/Überprüfungsprozess der 2012 herausgegebenen IAEO-Empfehlungen zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe (Specific Safety Requirements No. SSR-6) sowie des erläuternden Materials dazu (SSG-26) wurde fortgesetzt. Die Arbeitsgruppe „Klasse 7“ des Gefahrgutverkehrsbeirats des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unter Leitung des BfS/BfE koordinierte dazu die Arbeiten in Deutschland; Vertreter des BfS/BfE arbeiteten im internationalen Rahmen bei der IAEO an der Erarbeitung der Änderungs- und Ergänzungsvorschläge mit. Inhaltliche Änderungen betreffen insbesondere den Transport von Großkomponenten (z. B. kontaminierte und aktivierte Reaktordruckbehälter und Dampferzeuger aus KKW) und die Einführung des Alterungsmanagements für Transportbehälter. Die IAEO-Mitgliedsländer und internationalen Organisationen haben 2016 entschieden, dass die Änderungen in einer neuen Ausgabe der IAEO-Transportempfehlungen SSR-6 (wahrscheinlich 2018) veröffentlicht werden. Diese bilden die Grundlage für die weltweite Implementierung in die Vorschriften zum Transport radioaktiver Stoffe für alle Verkehrsträger.

Im September 2016 nahmen Vertreter des BfE an der „18. Konferenz zur Verpackung und zum Transport von radioaktiven Stoffen (PATRAM 2016)“ in Kobe, Japan, teil. PATRAM ist die weltweit größte internationale Konferenz auf diesem Gebiet unter Teilnahme von Experten z. B. aus den Behörden, der Industrie sowie aus Forschungseinrichtungen. Die BfE-Teilnehmer berichteten über neue Untersuchungen zur Sicherheit von kontaminierten Gegenständen und radioaktiven Stoffen geringer spezifischer Aktivität und über die Implementierung der Richtlinie 2013/59/Euratom zum Strahlenschutz bezüglich der neuen Aspekte bei der Beförderung radioaktiver Stoffe in die deutsche Gesetzgebung (Strahlenschutzgesetz). Außerdem fand im Oktober 2016 in Paris, Frankreich, die „13. Internationale Konferenz über Strahlungsabschirmung (ICRS)“ statt. Dabei wurde von den BfE-Vertretern über die Validierung von Programmpaketen (SCALE) für Strahlungsabschirmungen an Transportbehältern vorgetragen.

2.1 Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe (*Overview of shipment approvals and transport of radioactive material*)

Im Jahr 2016 wurden vom BfS/BfE insgesamt 122 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt. Weitere Informationen über die vom BfS/BfE erteilten Beförderungsgenehmigungen nach § 4 AtG für Kernbrennstoffe sowie nach § 16 StlSchV für Großquellen und über die durchgeführten Kernbrennstofftransporte können der Homepage des BfS/BfE (www.bfs.de, www.bfe.bund.de) entnommen werden.

2016 wurden insgesamt 396 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. [Tabelle T V.10](#)) durchgeführt, davon entfallen 32 Transporte auf das Binnenland, 148 auf den Export, 53 auf den Import und 163 Transporte entfallen auf den Transitverkehr. Mit Großquellen wurden 15 Transporte durchgeführt.

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2016 vom BfS/BfE insgesamt 12 Zulassungen für Transportbehälter und drei deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen sowie neun verkehrsrechtliche Beförderungsgenehmigungen (davon sieben als Sondervereinbarung) erteilt.

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen (*Transport of radioactive material by the rail and shipping traffic*)

Daten des Eisenbahn-Bundesamtes

Das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) fungiert als Aufsichtsbehörde für die Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen (§ 24, Abs. 1, AtG) und als Genehmigungsbehörde für die Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen (§§ 16 StrlSchV) im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen.

Die gesamte Anzahl der im Jahr 2016 beförderten Wagenladungen mit radioaktiven Stoffen beläuft sich auf 327 Stück. Ein Vergleich zu den Vorjahren ist in [Tabelle T V.11](#) aufgeführt.

[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 des Jahres 2016 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 im Jahr 2016. Die Gesamtaktivität im Wagenladungsverkehr ist auf Grund der ausschließlichen Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen in TBq angegeben.

[Tabelle T V.15](#) listet den Anteil der überprüften Wagenladungen sowie die bei den Überprüfungen festgestellte Mängelquote auf.

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

3. Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler (*Handling of radioactive materials, operation of devices for the production of ionising radiation, X-ray devices and interfering radiation sources*)

Nach § 3 Abs. 2 Nr. 34 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) versteht man unter Umgang mit radioaktiven Stoffen deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung (im Sinne von § 2 AtG) soweit es sich nicht um Arbeiten (im Sinne von § 3 Abs. 1 Nr. 2 StrlSchV) handelt.

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe (*User of radioactive sources*)

Im Jahr 2016 waren in Deutschland 10 790 Genehmigungen zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen gemäß § 7 StrlSchV gültig. Die Zahl dieser Genehmigungen ist in [Tabelle T V.17](#) aufgelistet und betrug insgesamt 10 338, davon waren

- 26 % im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 15 % im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 51 % im Bereich Industrie, gewerblicher Wirtschaft und
- 8 % in sonstigen Bereichen (z. B. Behörden) registriert.

Die Zahl der von Genehmigungen von ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen gemäß § 7 betrug insgesamt 5608 und ist in [Tabelle T V.18](#) aufgelistet.

In [Tabelle T V.19](#) ist die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen nach § 11 StrlSchV im Jahr 2016 in einer Übersicht, aufgeschlüsselt auf die Bundesländer, wiedergegeben. Die Genehmigungen verteilen sich im Jahr 2016 zu 49,2 % auf den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Strahlern, zu 2,1 % auf die Genehmigung zur Errichtung solcher Anlagen, zu 37,4 % auf Anlagen zur Anwendung am Menschen, zu 5,0 % auf Anlagen in Forschung und Lehre, zu 5,8 % auf Anlagen in Industrie bzw. gewerblicher Wirtschaft und zu 0,5 % auf Anlagen in sonstigen Bereichen.

[Tabelle T V.20](#) ist eine Übersicht der gültigen Genehmigungen für die Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen nach § 15 StrlSchV, für die Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe nach § 16 StrlSchV, für den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern nach § 106 StrlSchV und für den Umgang mit Kernbrennstoffen nach § 9 AtG.

In [Tabelle T V.21](#) ist in einer Übersicht die Zahl der im Jahr 2016 erstatteten Anzeigen aufgeführt. Dies betrifft Anzeigen über Anlagen nach § 12 StrlSchV, Anzeigen über Arbeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen nach § 95 Absatz 2 i.V.m. Anlage XI Teil A StrlSchV und § 95 Absatz 1 Satz 3 StrlSchV, nach § 95 Absatz 2 i.V.m. Anlage XI Teil B StrlSchV sowie nach § 96 Absatz 5 StrlSchV und § 95 Absatz 1 Satz 3 StrlSchV und Anzeigen über Bauartzulassungen nach § 117 Absatz 7 Satz 2 StrlSchV.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfungen umschlossener radioaktiver Stoffe nach § 66 StrlSchV im Jahr 2016 kann der Übersicht in [Tabelle T V.22](#) entnommen werden. Bei den insgesamt 14 742 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 34 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. eine Ni-63-Quelle, zwei Ra-226-Quellen, vier Am-241-Quellen, sechs Cs-137-Quellen, zwei Sr-90-Quellen, eine Eu-152-Quelle, eine Na-22-Quelle, eine Fe-55-Quelle, drei H-3-Quellen, vier Co-60 Quellen, zwei Pu-239-Quellen und sieben Quellen ohne Angaben. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls der [Tabelle T V.22](#) zu entnehmen.

In den [Tabelle T V.23](#) und [Tabelle T V.24](#) ist eine Übersicht über die Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen nach RöV im Jahr 2016, unterteilt auf die Bereiche „Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin“ („Technik/Nichtmedizin“) für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler für die Bundesländer ist in [Tabelle T V.25](#) gesondert aufgeführt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1593. 23 % der nach § 3 Abs.1 RöV genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2016 wurden im technischen Bereich 11 125 Röntgeneinrichtungen gemäß § 4 Abs.1 RöV angezeigt.

3.2 Industrierzeugnisse und technische Strahlenquellen (*industrial products and radioactive sources*)

Radioaktive Stoffe unterschiedlicher Art und Aktivität können in Industrierzeugnissen, wie z. B. wissenschaftlichen Instrumenten, elektronischen Bauteilen, Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchmeldern, Gasglühstrümpfen, Schweißelektroden und keramischen Gegenständen, enthalten sein. Der Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang vorsieht, z. B. nach einer Bauartzulassung des Gerätes oder bei Unterschreiten gesetzlich festgelegter Aktivitätswerte.

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

Die StrlSchV regelt den Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen und die RöV den Einsatz von Röntengeräten, um sowohl die Arbeitnehmer als auch die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen. Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung, die aus der Verwendung dieser Industrieerzeugnisse bzw. Konsumgüter resultiert, lag bisher unter 0,01 mSv pro Jahr. Es spricht nichts dafür, dass sich dieser Wert geändert hat.

3.3 Hochradioaktive Quellen (HRQ) (*High-activity sealed sources (HASS)*)

Bis zum Ende des Jahres 2016 wurden insgesamt 693 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten in das Register für hochradioaktive Strahlenquellen aufgenommen. 73 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt.

In der Datenbank der hochradioaktiven Strahlenquellen wurden bis Ende 2016 170 000 Meldungen zu 42 000 registrierten Strahlenquellen gespeichert. Von diesen 42 000 registrierten Strahlenquellen waren nur knapp 30 % „hochradioaktive Strahlenquellen“ im Sinn der Strahlenschutzverordnung, da sich ein Großteil dieser Strahlenquellen nicht mehr im Geltungsbereich der deutschen Strahlenschutzverordnung befand 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 (*Source of stray radiation*)

Störstrahler sind Geräte, z. B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter, oder Einrichtungen, bei deren Betrieb Röntgenstrahlen entstehen, die nicht genutzt werden. Sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, falls keine Bauartzulassung vorliegt. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten wie z. B. in Fernsehgeräten älterer Bauart. Die Höchstwerte der Ortsdosisleistung der Störstrahler sind in § 5, Absatz 2, Satz 1 der RöV auf 1 $\mu\text{Sv/h}$ in 0,1 m Abstand festgelegt.

Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung beträgt auch 2016 weniger als 0,01 mSv.

3.5 Konsumgüter und sonstige Anwendungen (*Consumer goods and other applications*)

Die StrlSchV verbietet zum Schutz des Verbrauchers den Zusatz von radioaktiven Stoffen bzw. die Aktivierung bei der Herstellung bestimmter Produkte wie z. B. Spielwaren, Schmuck, Lebensmittel und Tabakerzeugnisse.

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

Die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in der StrlSchV und in der RöV geregelt. Die Genehmigung dieser Anwendungen ist beim Bundesamt für Strahlenschutz zu beantragen.

3.6 Bestand radioaktiver Abfälle (*Stock of radioactive waste*)

Nachfolgend ist der Bestand an radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen zum 31. Dezember 2016 aufgeführt. Die angegebenen Werte sind gerundet, so dass sich dadurch marginale Abweichungen ergeben können.

Abfälle werden nach dem Stand ihrer Bearbeitung untergliedert in Rohabfälle (RA), d. h. Abfälle in ihrer Entstehungsform, und in „vorbehandelte Abfälle“ (VA), die z. B. eine Vorkonditionierung zur besseren Handhabung erhalten haben. Für die Zwischenlagerung werden die Abfälle in der Regel konditioniert. Aus dem Konditionierungsprozess entstehen die Abfallprodukte, die meist in Fässern, die einen Innenbehälter darstellen (P1), oder auch schon in Konradbehältern (G1) lagern. Soll das Abfallprodukt bis zur Endlagerung nicht weiter behandelt werden, kann in der Produktkontrolle durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) festgestellt werden, dass dieses Abfallprodukt, bei Erfüllung der Endlagerungsbedingungen, für das Endlager Konrad geeignet ist. Aus dem Abfallprodukt der Kategorie P1 entsteht

so ein „produktkontrolliertes Abfallprodukt“ (P2). Die Abfallprodukte der Kategorie P2 werden dann für die Endlagerung noch in Konradbehälter eingestellt (G1). Wird das Abfallgebilde (G1) vom BfS als endlagerfähig bestätigt, liegt ein „produktkontrolliertes Abfallgebilde“ (G2) vor, welches vom Endlager zur Einlagerung abgerufen werden kann. Eine Übersicht über die Mengen vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Stoffe für das Jahr 2016 liefert [Tabelle T V.27](#).

Insgesamt existierte bei allen Abfallverursachern am 31. Dezember 2016 ein Bestand an Rohabfällen und vorbehandelten Abfällen - mit dem Endlagerziel Konrad oder einem anderen - von 20 999 t. Der Bestand an Abfallprodukten in Innenbehältern belief sich auf 17 106 m³, von denen 2439 m³ schon produktkontrolliert sind. Dies beinhaltet zum derzeitigen Zeitpunkt mindestens den radiologischen Teil der Produktkontrolle. Der größte Bestand entfällt auf die Abfallprodukte in Konradbehältern mit 103 216 m³, von denen 2936 m³ vollumfänglich produktkontrolliert sind und vom zukünftigen Endlager Konrad abgerufen werden könnten. Lediglich 145 m³ und 4553 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 2016 für die einzelnen Abfallverursacherguppen sind in [Tabelle T V.28](#) aufgeführt.

Zu den Wärme entwickelnden Abfällen zählen Abfälle aus der Forschung und vor allem der Wiederaufarbeitung. Zu den Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen, ohne bestrahlte Brennelemente, zählen die HAW (high active waste)-Kokillen aus der Wiederaufbereitung in Frankreich (544 m³), die im Zwischenlager in Gorleben, und zirka 25 m³ aus der Wiederaufarbeitung in Karlsruhe (WAK), die im Zwischenlager Nord gelagert werden. Eine Übersicht nach Verursacherguppen gibt [Tabelle T V.29](#).

Bis zum 31.12.2016 sind in Deutschland 15 158 Tonnen Schwermetall (tSM) in Form von bestrahlten Brennelementen aus Leistungsreaktoren angefallen (Vorjahr: 15 302 tSM). Die Reduktion ergibt sich auf Grund von Änderungen bei den Annahmen zur Umrechnung der Brennelementanzahl in die Schwermetallmasse. Wird nur die Brennelementdifferenz berücksichtigt und entsprechend umgerechnet, ergibt sich ein Zuwachs von ca. 60 tSM im Jahr 2016. Hierin enthalten sind bestrahlte Brennelemente aus den in Betrieb befindlichen und den stillgelegten Kernkraftwerken sowie aus den Kernkraftwerken, die keine Genehmigung zum Leistungsbetrieb mehr besitzen. Von der o. a. Gesamtmenge wurden ca. 6670 Tonnen Schwermetall an die Wiederaufarbeitungsanlage AREVA NC (vormals COGEMA) in Frankreich, an die Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield Ltd. (vormals BNFL) in Großbritannien und an die WAK in Karlsruhe abgegeben sowie in sonstigen Anlagen im europäischen Ausland entsorgt.

Zusätzlich sind in Deutschland insgesamt ca. 190 Tonnen Schwermetall in Form von bestrahlten Brennelementen aus Versuchs- und Demonstrationsreaktoren angefallen, von denen rund 180 Tonnen Schwermetall wiederaufgearbeitet wurden.

4. Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse (*Radiation accidents and unusual incidents*)

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Derartige Vorkommnisse werden jährlich in diesem Bericht zusammengefasst ([Tabelle T V.30](#)).

Ein Großteil der für das Jahr 2016 gemeldeten Vorkommnisse sind Funde von radioaktivem Material, die meist durch eine nicht ordnungsgemäße Entsorgung des radioaktiven Stoffes verursacht wurden. Dabei kam es in keinem Fall zu einer hohen radiologischen Gefährdung.

Ein Teil der gemeldeten Vorkommnisse trat im medizinischen Anwendungsbereich auf. Durch menschliche Fehler (z. B. falsche Einstellungen, Patientenverwechslungen, Übertragungsfehler) wurden im Jahr 2016 zwölf Vorkommnisse mit unbeabsichtigten Expositionen in der Medizin bekannt.

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG *(NON-IONISING RADIATION)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen (*Electromagnetic fields - research activities and current topics*)

1.1 Elektromagnetische Felder allgemein (*Electromagnetic fields in general*)

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 geregelt über gesetzliche Immissionsgrenzwerte, 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, der Sicherheitstechnik und der Elektrizitätsversorgung zu beobachten, aber auch bei Anwendungen elektromagnetischer Felder zu medizinischen oder kosmetischen Zwecken.

1.2 Statische elektrische und magnetische Felder (*Static electric and magnetic fields*)

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.

Personen, die als medizinisches Personal direkt in der Nähe von Magnetresonanztomographen (MRT) arbeiten, sowie Patienten sind starken statischen Magnetfeldern mit magnetischen Flussdichten von 1,5 bis 3 Tesla (T) ausgesetzt. In naher Zukunft ist mit der Einführung von 7-Tesla-Geräten in die klinische Praxis zu rechnen. Die Feldstärkewerte neuer Technologien (in der medizinischen Forschung) erreichen bereits Werte von mehr als 10 T. Ab einer Schwelle von etwa 2 - 4 T wird über vorübergehende Effekte wie Schwindel und Übelkeit berichtet. Mögliche gesundheitliche Risiken statischer Magnetfelder von 7-Tesla-Geräten wurden in drei Forschungsvorhaben des Umweltforschungsplans (UFOPLAN) im Zeitraum 2008 bis 2011 untersucht. Die Ergebnisse dieser Forschungsvorhaben deckten keine gesundheitlichen Risiken während der Schwangerschaft und für das medizinische Personal auf. Eine Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit von Medizinerinnen, die Eingriffe an offenen MRT-Systemen durchführen, aber nicht dem vollen Magnetfeld ausgesetzt sind, ist ebenfalls nicht zu erwarten.

Statische Magnetfelder treten auch in der Umgebung von Anlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) auf. Im Rahmen des Stromnetzausbaus ist der Neubau mehrerer HGÜ-Leitungsverbindungen in Deutschland vorgesehen. Die Anlagen müssen so errichtet und betrieben werden, dass an Orten, die zum vorübergehenden oder dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, ein Grenzwert von 500 μ T eingehalten wird. Dies dient dem Schutz der Träger von elektronischen Implantaten, wie z. B. Herzschrittmachern. Zudem sind bei der Errichtung und wesentlichen Änderung von Anlagen 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. Das BfS hat das BMUB 2015 bei der Erarbeitung einer konkretisierenden Verwaltungsvorschrift fachlich unterstützt.

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

In der Nähe von Gleichstromtrassen werden auch statische elektrische Felder auftreten, 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 (*Low-frequency electric and magnetic fields*)

Das Schutzkonzept zur Vermeidung gesundheitlicher Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder zielt auf die Begrenzung der im Körper hervorgerufenen elektrischen Felder, die neben den auf Grund natürlicher Vorgänge auftretenden Feldern wirksam werden können. Die im Körper induzierte elektrische Feldstärke stellt die Basisgröße für den Strahlenschutz dar. 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. In einem 2013 abgeschlossenen Forschungsvorhaben des BfS konnte im Tiermodell kein Zusammenhang zwischen einer Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern und den Mechanismen, die an der Entstehung und am Verlauf von Alzheimer-Demenz und ALS beteiligt sind, nachgewiesen werden. Diese Fragen sind ungeklärt und daher wurde ein neues Forschungsprogramm ins Leben gerufen (siehe unten).

Strahlenschutz beim Stromnetzausbau

Um den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu erhöhen, ist es notwendig, die bestehenden Stromnetze auszubauen und zu verstärken. 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, wird das BfS ein begleitendes Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ durchführen. In insgesamt acht Themenfeldern sollen 36 einzelne Forschungsvorhaben durchgeführt werden.

Vorhaben, die der Erhebung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes dienen und die zur Präzisierung der Fragestellungen für weitere Projekte beitragen können, wie z. B. Workshops und Literaturstudien, haben bereits begonnen, wurden durchgeführt oder sind zeitnah geplant.

1. Aufklärung eines möglichen Zusammenhangs zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und neurodegenerativen Erkrankungen

Neurodegenerative Erkrankungen sind Erkrankungen des zentralen oder des peripheren Nervensystems, bei denen es zur Degeneration und zum Absterben von Nervenzellen kommt. Dies führt zu Funktionsstörungen des Gehirns (z. B. Gedächtnisstörungen, Demenzen) und des Bewegungsapparates (z. B. Multiple Sklerose/MS, Parkinson-Krankheit, Amyotrophe Lateralsklerose/ALS).

Es wurden epidemiologische Studien (Beobachtungsstudien am Menschen) durchgeführt, die bei beruflich hoch exponierten Personengruppen einen Zusammenhang zwischen einer starken Magnetfeldexposition und ALS bzw. Alzheimer-Demenz gezeigt haben. Für die Alzheimer-Demenz liegt aus einer Studie ein zusätzlicher Hinweis zu einem

Zusammenhang mit Wohnortnähe und Wohndauer an Hochspannungsleitungen vor. Demgegenüber zeigen die Ergebnisse epidemiologischer Studien keinen Zusammenhang zwischen Magnetfeldexposition und der Parkinson-Krankheit bzw. MS. Tierexperimentelle Studien konnten die epidemiologischen Befunde bisher nicht bestätigen, auch ist ein Wirkmechanismus nicht bekannt.

Neue epidemiologische Daten und deren zusammenfassende Analysen sollen genutzt werden, um die Datenlage zu einem möglichen Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldern oder auch Stromschlägen zu aktualisieren. Sollten die bisherigen Erkenntnisse bestätigt werden, wird in Tierstudien und Studien an Zellkulturen der Zusammenhang überprüft und nach möglichen Wirkmechanismen gesucht.

2. Bestimmung von Wahrnehmungs- und Wirkungsschwellen

Elektrische und magnetische Felder, wie sie von Stromleitungen ausgehen, können unter Umständen wahrgenommen und als unangenehm empfunden werden. Niederfrequente Magnetfelder induzieren im Körper elektrische Ströme, die oberhalb der Grenzwerte zur Reizung von Nerven und Muskeln führen. Statische elektrische Felder von HGÜ-Freileitungen können bei hohen Feldstärken direkt wahrgenommen werden. Zudem können sich Metallgegenstände wie zum Beispiel Autos, die sich unterhalb von Stromleitungen befinden, elektrisch aufladen. Bei Berührung der Metalloberfläche des Autos durch Personen kann es zu Funkenentladungen und Kontaktströmen kommen.

3. Ursachenklärung von Leukämien im Kindesalter

Niederfrequente Magnetfelder wurden bereits 2001 von der mit der Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization/WHO) assoziierten Internationalen Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer/IARC) als „möglicherweise kanzerogen“ (Gruppe 2b) eingestuft. Die Klassifizierung basiert auf der relativ konstant beobachteten statistischen Assoziation zwischen schwachen niederfrequenten Feldern und einem leicht erhöhten Risiko für Leukämien im Kindesalter. Zu diesem Thema initiierte das BfS seit 2008 mehrere internationale Workshops, teilweise in Kooperation mit der WHO, der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection/ICNIRP) und anderen nationalen Strahlenschutzbehörden oder Gremien. Im Jahr 2010 wurde zusammen mit pädiatrischen Onkologen eine interdisziplinäre Forschungsagenda erarbeitet mit dem Ziel, die komplexen Ursachen von Leukämien im Kindesalter zu klären. Auf Basis der veröffentlichten Forschungsagenda wurden einige der Themenschwerpunkte aufgegriffen und entsprechende Pilotprojekte initiiert. Die Ergebnisse von 5 Pilotstudien sind veröffentlicht und legen als nächste Schritte die Folgeforschungsvorhaben nahe.

4. Untersuchung zur Ko-Kanzerogenität von Magnetfeldexposition und schwacher ionisierender Strahlung

Tierstudien zur Ko-Kanzerogenität werden von der WHO (2007) als hohe Priorität eingestuft. Eine aktuelle Studie von Soffritti et al. (2016) an Sprague-Dawley Ratten [1], die lebenslang (pränatal bis zum natürlichen Tod) 20 μ T oder 1 mT 50 Hz-Feldern und zusätzlich einmalig im Alter von 6 Wochen einer Dosis von 0,1 Gy ionisierender Strahlung ausgesetzt wurden, zeigte signifikant erhöhte Erkrankungsraten bei mehreren Tumorarten. Eine mögliche ko-karzinogene Wirkung von Magnetfeldern soll überprüft werden.

5. Untersuchung zu einem möglichen Zusammenhang von Magnetfeldexposition und Fehlgeburtenrate

Auf Grund einzelner Hinweise zu beruflicher und häuslicher Magnetfeldexposition (z. B. durch die Nutzung von Heizdecken) wurde dieser Endpunkt in die WHO-Forschungsagenda aufgenommen, auch wenn die Evidenz als sehr schwach eingestuft wird. Selbst eine schwache Assoziation wäre insgesamt von großer Tragweite, so dass eine Verbesserung der Datenlage angestrebt wird.

6. Untersuchungen zum Auftreten, zur Ausbreitung und zur Absorption von Korona-Ionen

Durch den bei Hochspannungsleitungen zu beobachtenden Korona-Effekt werden an Freileitungsseilen Luftmoleküle und Teilchen elektrisch aufgeladen und dann zum Beispiel bei Wind seitlich verfrachtet. 1996 wurde in England die Hypothese entwickelt, dass die geladenen Partikel das Risiko der Anwohner für Atemwegserkrankungen erhöhen. Wissenschaftliche Beweise für diese Vermutung gibt es nicht. Die britische Strahlenschutzbehörde (National Radiological Protection Board/NRPB) hat sich 2004 mit dieser Frage befasst. Ein zusätzlich erhöhtes Gesundheitsrisiko durch Luftschadstoffe auf Grund der Aufladung von Partikeln an herkömmlichen Hochspannungswechselstromleitungen wurde als unwahrscheinlich bzw. sehr gering eingeschätzt.

Da davon ausgegangen wird, dass die Ladungswolken bei HGÜ-Leitungen im Vergleich zu HWÜ-Leitungen (Hochspannungs-Wechselstrom-Leitungen) zeitlich stabiler sind bzw. sich weiter verbreiten, gewinnt die Hypothese eine neue Bedeutung. Die Frage, ob Luftschadstoffe aus dem Untergrund (z. B. Radon und seine Zerfallsprodukte) aus industriellen Prozessen oder aus dem Verkehr, in Abhängigkeit von ihrem elektrischen Ladungszustand, verstärkt vom Körper aufgenommen werden und somit ein höheres Gesundheitsrisiko darstellen, ist nicht abschließend geklärt.

7. Expositionsanalyse, Expositionsbewertung und aktuelle Daten zur Exposition der allgemeinen Bevölkerung

Die bei der Exposition mit niederfrequenten Feldern im Körper hervorgerufenen Feldgrößen können zum Teil nur mit großen Unsicherheiten angegeben werden. So weist der unabhängige Wissenschaftliche Ausschuss der Europäischen Union (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks/ SCENIHR) z. B. auf einen Mangel an Daten und systematischen Studien zu den dielektrischen Eigenschaften von Geweben bei niedrigen Frequenzen hin. Die WHO empfiehlt in ihrer Forschungsagenda zu niederfrequenten Feldern, dosimetrische Modelle für Gewebe

und Gewebestrukturen, die besonders sensitiv für induzierte elektrische Felder sind, zu verbessern. Auch Fachgesellschaften wie IEEE/ICES haben in dem Zusammenhang Forschungsbedarf identifiziert. Hierzu soll ein Beitrag geliefert werden.

Außerdem sind Anlagen für die elektrische Energieversorgung so zu betreiben, dass keine erheblichen Belästigungen durch Berührungsspannungen (Kontaktströme, Entladung beim Berühren aufgeladener, nicht geerdeter Gegenstände) und Funkenentladungen verursacht werden (Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, 2014). Das Auftreten dieser Effekte soll näher untersucht werden.

8. Risikowahrnehmung und Risikokommunikation

Neben Aspekten des Natur- und Umweltschutzes sowie der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes prägen Fragen zu den gesundheitlichen Risiken durch statische und niederfrequente Felder die Diskussionen und die Medienberichterstattung. Emotionen und Ängste in der Bevölkerung spielen dabei eine nicht unwesentliche Rolle.

Die Thematik ist, was die technische Ausgestaltung der Anlagen zur Stromversorgung aber auch die möglichen gesundheitlichen Risiken durch die elektrischen und magnetischen Felder betrifft, sehr komplex. Für Bürgerinnen und Bürger ist es daher schwierig, alle damit verbundenen Aspekte zu überblicken und zu bewerten. Auch BehördenmitarbeiterInnen und politische Mandatsträger verfügen oftmals nicht über ein ausreichendes Fachwissen, um alle Fragen kompetent beantworten zu können.

In diesem Teil des Forschungsprogramms werden die Kenntnisse und die Risikowahrnehmung der Bürgerinnen und Bürger und deren Informationsbedürfnisse ermittelt. Ausgehend davon wird geklärt, wie die Informationen aufbereitet werden müssen und von wem und wie sie vermittelt werden sollten, um eine möglichst breite Öffentlichkeit zu erreichen.

Außerdem wird untersucht, welche Faktoren für die Meinungsbildung in der Öffentlichkeit ausschlaggebend sind und wie die Glaubwürdigkeit der beteiligten Behörden und das Vertrauen in die handelnden Personen sichergestellt bzw. erhöht werden können.

Die Projekte im Forschungsschwerpunkt Risikokommunikation sollen der Verunsicherung der Bürgerinnen und Bürger bezüglich der gesundheitlichen Wirkungen von Stromleitungen entgegenwirken. Ziel ist es, einen Beitrag dafür zu leisten, dass sich jeder anhand der vorliegenden Informationen seine eigene fundierte Meinung bilden kann.

Laufende Forschungsvorhaben

Auf Grund konsistenter Ergebnisse epidemiologischer Studien wird ein erhöhtes Risiko für Leukämie im Kindesalter bei Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern diskutiert. Die Studien zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang bei einer erhöhten häuslichen Magnetfeldexposition von mehr als 0,3 - 0,4 Mikrottesla (μT). Deshalb hat die der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zugeordnete Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) niederfrequente Magnetfelder 2002 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). Die epidemiologischen Ergebnisse konnten jedoch durch tierexperimentelle Arbeiten und Untersuchungen an Zelllinien bisher nicht bestätigt werden. Sollte der beobachtete statistische Zusammenhang tatsächlich kausal sein, wären etwa 1 % der Leukämiefälle bei Kindern auf Magnetfeldexpositionen zurückführbar.

Epidemiologische Untersuchungen weisen auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition mit extrem niederfrequenten Magnetfeldern (ELF-MF), wie sie beispielsweise bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Verwendung von elektrischer Energie (Strom) auftreten und der Entstehung von Leukämien im Kindesalter hin. Es wurde Ende 2016 ein Forschungsvorhaben hierzu initiiert:

Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell)

(siehe Programmreport 2016, S 216 (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>))

Leukämien im Kindesalter sind komplexe und seltene Erkrankungen und einige offenen Fragen und Forschungsansätze können nur durch Zusammenführung von Daten und Probenmaterial aus mehreren Ländern angegangen werden. Das einjährige Vorhaben (ab 15.01.2016) ist eine Erweiterung des neu gegründeten, internationalen Netzwerkes GALnet (Global Acute Leukemia network) und baut auf den Ergebnissen eines BfS-Pilotprojektes zur „Ursachenklärung von Leukämien im Kindesalter“ auf.

Die wissenschaftliche Datenlage bezüglich Schwellenwerten für biologische Wirkungen und die Wahrnehmbarkeit von niederfrequenten und statischen elektrischen und magnetischen Feldern ist unzureichend. Der im Oktober 2016 stattgefundenen Workshop sollte eine Übersicht des aktuellen Forschungsstandes und die Diskussion von Kenntnislücken und möglichen Forschungsschwerpunkten ermöglichen.

Workshop „Action and perception thresholds of static and ELF magnetic and electric fields and contact currents in humans“

1.4 Hochfrequente elektromagnetische Felder (*High-frequency electromagnetic fields*)

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.

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder, vor allem des Mobilfunks, waren auch im Jahr 2016 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Dabei geht es um mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge so genannter nicht-thermischer Wirkungen. Nicht-thermische Effekte sind biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Derartige Wirkungen, wie zum Beispiel Kraftwirkungen auf einzelne Zellen, sind zum Teil gut untersucht. Sie treten im Mobilfunkfrequenzbereich aber erst bei wesentlich höheren Intensitäten auf als die thermischen Wirkungen. Gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge nicht-thermischer Wirkungen im Bereich niedriger Intensitäten hochfrequenter Felder konnten bisher - trotz jahrzehntelanger Forschung - wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden.

Auch das in den Jahren 2002 bis 2008 durchgeführte Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (www.emf-forschungsprogramm.de) konnte in Übereinstimmung mit weiteren nationalen und internationalen Forschungsergebnissen die früheren Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/schutz/grenzwerte/grenzwerte.htm, Abbildung G VI 4.1) nicht bestätigen.

Wissenschaftliche Unsicherheiten verbleiben jedoch hinsichtlich der Frage zu möglichen Langzeitriskien für Handynutzung von mehr als 13 Jahren und der Frage nach einer möglichen Alters- und Geschlechtsabhängigkeit bzw. der Existenz von empfindlicheren Bevölkerungsgruppen. Diese Unsicherheiten führten dazu, dass 2011 die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) auch hochfrequente elektromagnetische Felder in die Gruppe 2b („möglicherweise krebserregend“) eingestuft hat.

Eine weitere offene Frage ist die Alters- und Geschlechtsabhängigkeit der wiederholt beobachteten schwachen Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das EEG. Hierfür wurde auf Initiative des BfS das folgende Forschungsvorhaben 2014 initiiert, dieses Forschungsvorhaben ist seit Mitte 2016 abgeschlossen:

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen
(siehe Programmreport 2016, S.100 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>))

Ein weiteres Vorhaben zu dem Thema Alters- und Geschlechtsabhängigkeit wurde Mitte 2016 gestartet und wird bis Ende 2018 laufen:

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer
(siehe Programmreport 2016, S.201 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>))

Eine Pilotstudie des Fraunhofer Instituts aus dem Jahr 2010 fand bei Mäusen, die mit einer krebserregenden Substanz (ENU; Ethylnitrosoharnstoff) behandelt wurden, eine tumorfördernde Wirkung elektromagnetischer Felder des UMTS-Standards. Das BfS hat an der Jacobs University Bremen eine Folgestudie gefördert, die Ergebnisse der Pilotstudie wurden weitestgehend bestätigt. Ein möglicher Wirkmechanismus ist unbekannt und wird weiter untersucht.

Die folgenden Forschungsvorhaben wurden im Jahr 2015 durch das BfS initiiert. Das erste Forschungsvorhaben wird bis Mitte 2017 beendet sein, das zweite wurde Ende 2016 fertiggestellt:

Synergistische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokanzerogenität oder Tumorpromotion?
(siehe Programmreport 2016, S.198 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>))

Weiterführende Untersuchungen zur Dosimetrie einer tierexperimentellen Studie an Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern
(siehe Programmreport 2016, S.110 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>))

Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich

In diesem Forschungsvorhaben, das seit November 2016 für ein Jahr läuft, sollen die möglichen Quellen elektromagnetischer Felder im Zwischenfrequenzbereich (300 Hz bis 1 MHz) und die daraus resultierenden Expositionen ermittelt werden. Darauf aufbauend soll der wissenschaftliche Kenntnisstand zu den möglichen Wirkungen der Felder syste-

matisch aufbereitet und bewertet werden, um die Datenbasis für die Risikobewertung dieser Felder zukünftig zu verbessern.

Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich - systematischer Review

(siehe Programmreport 2016, S.215 (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>))

Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber - weiterführende Forschung

Die Mobilfunknetzbetreiber haben sich im Dezember 2001 gegenüber der Bundesregierung dazu verpflichtet, den Verbraucher- und Gesundheitsschutz im Bereich des Mobilfunks zu verbessern. Schwerpunkte der hierzu abgegebenen Selbstverpflichtung liegen unter anderem auf der Verbesserung der Kommunikation und der finanziellen Unterstützung von Forschung.

Die alle zwei Jahre erstellten Gutachten dienen der Bundesregierung als Grundlage für die mit den Mobilfunkbetreibern geführten Gespräche zum Umsetzungsstand der Selbstverpflichtung. Das Jahresgutachten 2015, das insgesamt Neunte seit Abgabe der Selbstverpflichtung im Jahr 2001, bestätigt für den Bereich der Kooperation mit den Kommunen bei der Standortwahl ein im Zeitablauf seit 2007 stabiles Niveau, auch wenn aktuell leichte Verschlechterungen zu attestieren sind. Deutlich verschlechtert hat sich der Bereich Verbraucherinformation. Die Gutachter bemängeln den Informations- und Kenntnisstand der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Handyshops zur Strahlenleistung von Handys, angegeben als SAR-Wert (Spezifische Absorptionsrate). Auch sei Informationsmaterial als Printmedien in den Shops zu dieser Thematik nicht mehr vorhanden. Das Gutachten bestätigte aber auch das gute bis sehr gute Niveau von Verbraucherinformationen in den Online-Shops, auf den Internetseiten der Mobilfunknetzbetreiber sowie des Informationszentrums Mobilfunk (IZMF). Das IZMF hat zum Ende des Jahres 2015 seine Arbeit eingestellt.

Die im Rahmen der Selbstverpflichtung durch die Mobilfunkbetreiber anteilig finanzierten und mittlerweile abgeschlossenen Forschungsarbeiten des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Design, Vergabe und Interpretation der Forschungsergebnisse lagen ausschließlich in der Hand des BfS und wurden transparent durch das BfS kommuniziert) bezogen sich auf die Erforschung der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder sowie auf die Ermittlung der Grundlagen für eine verbesserte Risikokommunikation. Der Schwerpunkt der fortführenden Forschung, die im Rahmen der freiwilligen Selbstverpflichtung durchgeführt wird, liegt nun in den Bereichen „Wissensmanagement“ und „Risikokommunikation“. In Anlehnung an das Verfahren, das sich bei der Umsetzung der Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms bewährt hat, wurden Forschungsvorhaben zu Wissensmanagement und Risikokommunikation speziell für den Bereich Mobilfunk gefördert.

Ein Großteil der Vorhaben ist beendet, zwei Vorhaben wurden 2015/2016 begonnen und werden 2016/2017 fertiggestellt. Die Ergebnisse fließen direkt in die Risikokommunikation des BMUB und des BfS mit ein:

Das erste Vorhaben beschäftigt sich mit dem EMF-Portal. Dieses Informationsportal zum Thema elektromagnetische Felder (EMF-Portal), das vom Forschungszentrum für Elektro- Magnetische Umweltverträglichkeit (FEMU) am Universitätsklinikum Aachen betrieben wird, stellt einen wichtigen Baustein der Risikokommunikation des BMUB dar. Um für die interessierten Benutzer die Qualität dieses Portals sicherzustellen, wurde das EMF-Portal über ein Vorhaben durch einen externen Auftragnehmer evaluiert.

Evaluierung des EMF-Portals und Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für dessen weitere Gestaltung

(siehe Programmreport 2016, S.118 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>))

Divergierende Risikobewertung im Bereich Mobilfunk

(siehe Programmreport 2016, S.130 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>))

Funkdienst für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk)

Der Ausbau des Funkdienstes für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk) ist weitestgehend abgeschlossen. Er basiert auf dem TETRA (Terrestrial Trunked Radio)-Standard, der im Vergleich zum Mobilfunk weniger untersucht ist.

Um beim Ausbau des BOS-Netzes die grundlegenden Anforderungen des Strahlenschutzes sowie der Information und Risikokommunikation angemessen zu berücksichtigen, hat das BfS mit der Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) eine Vereinbarung geschlossen. Darin ist festgelegt, dass die BDBOS und das BfS zur Klärung offener wissenschaftlicher Fragen zur Risikobewertung von Feldern des TETRA-Standards kooperieren. Es wurden mehrere Studien durchgeführt.

Beim typischen Einsatz von TETRA-Funkgeräten im BOS-Netz wurde keine Überschreitung der geltenden Grenzwerte gefunden. Eine Exposition mit TETRA bis zu 6 W/kg hatte keinen Einfluss auf Schlafqualität, die kognitive Leistungsfähigkeit, das Wohlbefinden und das Auftreten verschiedener Symptome. Es zeigten sich geringfügige Veränderungen im EEG, die bekannten Beobachtungen beim Mobilfunk ähneln. Eine umfangreiche Literaturstudie hat gezeigt, dass die Erwärmung durch Mobilfunk-Endgeräte, die mit unterschiedlichen Standards arbeiten (GSM, UMTS, TETRA) sehr gering ist. Die unterschiedlichen Frequenzbereiche sind gut untereinander vergleichbar und haben nach dem heutigen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine gesundheitsrelevanten Wirkungen.

Risikokommunikation

Speziell für den Bereich „Mobilfunk“ wurden bereits im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms Forschungsvorhaben mit dem Ziel durchgeführt, die Wahrnehmung möglicher Risiken des Mobilfunks in der Gesellschaft und die Risikowahrnehmung an sich zu erfassen sowie Möglichkeiten zur Verbesserung der Risikokommunikation zu diesem Thema aufzuzeigen.

Im Bereich der Niederfrequenz wurde die Risikowahrnehmung der Bevölkerung bereits in einem Forschungsvorhaben vor der Energiewende erfasst. Im geplanten Forschungsprogramm zum Stromnetzausbau wird dieses Thema wieder aufgenommen.

Die Risikokommunikation des BMUB und des BfS basiert auf den Ergebnissen aller anwendungsorientierten und im Bereich der Schwerpunkte „Wissensmanagement und Risikokommunikation“ der freiwilligen Selbstverpflichtung durchgeführten Forschungsvorhaben. Aktuell werden Maßnahmen ausgearbeitet, um die Information der Bevölkerung und ihr Verständnis über die Funktions- und Wirkungsweise der hochfrequenten und der niederfrequenten Felder - hier speziell im Bereich der Energieübertragung - zu verbessern. Ziel ist es unter anderem, die Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen über mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch HF und NF zielgruppengerecht und bevölkerungsnah zu vermitteln.

Im Bereich der Wirkungen der elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder besteht bei den Bürgerinnen und Bürgern nach wie vor ein erhebliches Informationsbedürfnis. Ein bedeutender Aspekt ist die Frage, auf welcher Grundlage gesundheitliche Risiken von Expositionen bewertet und Grenzwerte festgelegt werden. Um diese Grundlagen der Öffentlichkeit verständlich zu machen, ist ein möglichst umfassendes und ungefiltertes Informationsangebot notwendig. Dieses steht in Form des EMF-Portals, das maßgeblich im Rahmen von Forschungsvorhaben des UFOPLANs erstellt und verbessert wurde, im Internet frei zur Verfügung (www.emf-portal.de).

Runder Tisch Elektromagnetische Felder

Bereits im Jahr 2004 wurde unter Leitung des Bundesamtes für Strahlenschutz ein Runder Tisch eingerichtet. Der Runde Tisch ist ein unabhängiges Beratungs- und Diskussionsgremium, das mehr Transparenz bei der Vermittlung und Kommunikation von Erkenntnissen im Bereich Strahlenschutz schaffen soll. Ursprünglich wurde der Runde Tisch zum Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) eingerichtet mit dem Ziel, das BfS bei der Kommunikation des Programms, seiner Ziele und Ergebnisse zu unterstützen. Der Runde Tisch hat sich als Diskussions- und Beratungsgremium über das DMF hinaus bewährt. Nach Abschluss des DMF wurde er als „Runder Tisch Elektromagnetische Felder“ (RTEMF) fortgeführt. Das Themenspektrum wurde dabei auf den Bereich Niederfrequenz, speziell Stromnetzausbau, erweitert. Fragen, wie wissenschaftliche Forschungsergebnisse verständlich kommuniziert werden können, wie eine kritische Öffentlichkeit informiert und betroffene Bürgerinnen und Bürger rechtzeitig und angemessen in Entscheidungsprozesse eingebunden werden können, sind sowohl für den Mobilfunk als auch für den Stromnetzausbau zu betrachten. Der RTEMF hat sich als Forum etabliert, auf dem unterschiedliche Akteure ihre Sichtweisen und Erkenntnisse zu Fragen des Strahlenschutzes bei EMF diskutieren und austauschen können. Die aktuelle Mitgliederliste ist unter www.emf-forschungsprogramm.de/runder_tisch.html/rtemf.html 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 Handys gilt die Vergabegrundlage RAL-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, können ausgezeichnet werden.

Das BfS stellt die unter standardisierten Bedingungen 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 2730 klassische Mobiltelefone und Smartphones, wobei für 2434 Geräte ein SAR-Wert vorliegt. In [Tabelle T VI.1](#) erfolgt eine statistische Auswertung der Daten dieser 2434 Geräte aus der SAR-Liste (www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/schutz/vorsorge/blauer-engel.html).

Tendenziell nimmt das Angebot strahlungsarmer Geräte zu, wie der Vergleich mit früheren Erhebungen zeigt (Abbildung [B VI 1.4-1](#)).

Die für die Bewertung herangezogenen SAR-Werte beschreiben die 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 ist die Messposition zur Ermittlung des SAR-Wertes nicht exakt festgelegt. Die Messergebnisse für verschiedene Geräte sind daher nur eingeschränkt vergleichbar. Das BfS gibt die bei den Herstellern abgefragten Werte zusammen mit den Messpo-

Entwicklung der prozentualen Anteile erfasster Geräte mit SAR bis 0,6 W/kg

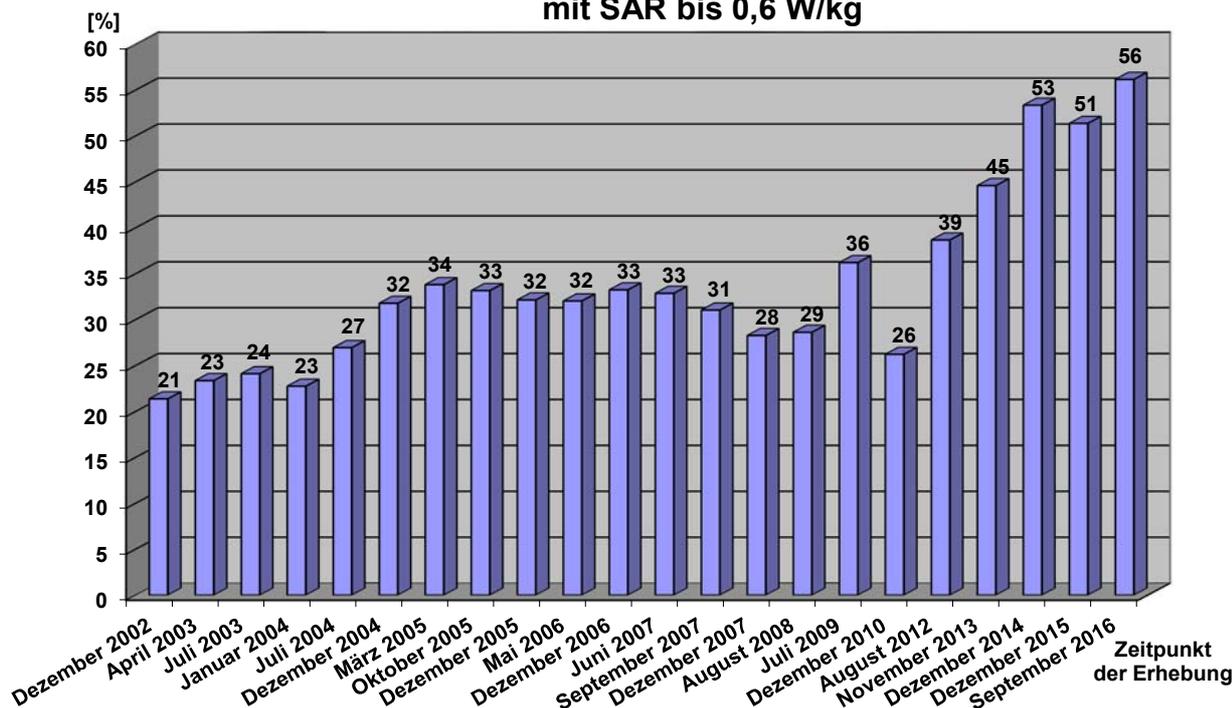


Abbildung B VI 1.4-1 Entwicklung des Anteils „strahlungsarmer“ Mobiltelefone (gemäß Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens „Blauer Engel“)
(Enhancement of the number of low-radiation mobile phones according to the radiation protection criterion of the ecolabel "Blue Angel")

sitionen auf seiner Internetseite an und weist darauf hin, dass die Exposition bei geringeren Gebrauchsabständen höher als angegeben sein kann. Das BfS befürwortet eine Anpassung der entsprechenden Prüfvorschrift, um die Messergebnisse vergleichbarer zu machen und Geräte vom Markt fernzuhalten, die den international empfohlenen SAR-Höchstwert unter den neuen Nutzungsbedingungen nicht einhalten.

Da in der Vergabegründung für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ noch keine spezielle Anforderung für den Betrieb am Körper enthalten ist, wird in [Tabelle T VI.1](#) der Anteil der Mobiltelefone aufgeführt, die analog zum Strahlenschutzkriterium des Blauen Engels einen SAR-Wert bis zu 0,6 Watt pro Kilogramm für den Anwendungsfall „body worn“ vorweisen.

Außer für Handys gibt es seit 2009 auch eine Vergabegründung für digitale Schnurlostelefone: Geräte, die im Standby das Sendesignal abschalten und weitere Kriterien zum vorsorglichen Strahlenschutz erfüllen, können ausgezeichnet werden. 2016 waren 10 Modelle eines deutschen Herstellers mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

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

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

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

Literatur

- [1] Soffritti M, Tibaldi E, Padovani M, Hoel DG, Giuliani L, Bua L, Lauriola M, Falcioni L, Manservigi M, Manservigi F, Panzacchi S, Belpoggi F: Life-span exposure to sinusoidal-50 Hz magnetic field and acute low-dose gamma radiation induce carcinogenic effects in Sprague-Dawley rats. *Int J. Radiat. Biol.* 92 (4): 202-214, 2016

2. Optische Strahlung (*Optical radiation*)

2.1 Solares UV-Monitoring (*Solar UV-Monitoring*)

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

Im Rahmen des deutschlandweiten solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html) wurde auch im Jahr 2016 an zehn repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich die bodennahe, solare UV-Strahlung spektral aufgelöst gemessen. Die Messdaten werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim dokumentiert, gesundheitlich bewertet und regelmäßig veröffentlicht.

Von den ermittelten Messwerten der bodennahen, solaren UV-Bestrahlungsstärke wird der so genannte UV-Index (UVI) abgeleitet. Der UVI beschreibt den am Erdboden auftretenden Tagesspitzenwert der sonnenbrandwirksamen (erythemwirksamen) UV-Bestrahlungsstärke und bezieht sich stets auf eine horizontale Fläche. Der UV-Index kann auch als eine über den Tag variierende Größe dargestellt sein. In diesem Fall wird die über den Tag ansteigende und fallende UV-Bestrahlungsstärke angezeigt. Je höher der UVI an einem Tag ist, desto schneller kann bei ungeschützter Haut ein Sonnenbrand auftreten und desto eher sind Sonnenschutzmaßnahmen zu ergreifen (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/schutz_node.html).

Neben den täglich an den zehn Standorten gemessenen UVI-Werten werden in den Sommermonaten 3-Tages-Prognosen der UVI-Werte vom BfS im Internet unter www.bfs.de/uv-prognose veröffentlicht. In den Wintermonaten von Oktober bis März werden 3-Monats-Prognosen veröffentlicht. In Abbildung [B VI 2.1-1](#) sind für das Jahr 2016 die maximalen, mittleren und minimalen UV-Index-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden, die Mitte und den Süden Deutschlands dargestellt.

Man erkennt die große Schwankungsbreite der UVI-Werte innerhalb eines Monats, die vor allem bewölkungsbedingt ist. Ein aus Sicht des Strahlenschutzes hervorzuhebendes Ereignis trat in der zweiten Junihälfte 2016 auf. Wie sich anhand der Abbildung [B VI 2.1-1](#) erkennen lässt, waren 2016 im Juni für Norden, Mitte und Süden Deutschlands die maximalen UVI-Werte sehr hoch. Grund hierfür war laut Auswertung der NASA-Satellitenmessungen (<https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/data/omi>) eine lokale, temporäre und reversible Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht über Deutschland. Dadurch traten im Süden Deutschlands im Minimum Ozon-Werte von etwa 280 Dobson Units (DU), im Nordosten sogar unterhalb von 270 DU auf. Dies bedeutet eine Reduzierung der sonst in diesem Zeitraum typischen Ozonwerte um etwa 20 -25 Prozent. Im Juni 2016 traten daher im Norden und im Süden Deutschlands maximale UVI-Werte von 10, in der Mitte Deutschlands von 9 auf.

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

Da solch hohe sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärken in den Sommermonaten in Deutschland regelmäßig auftreten können und der Mensch über keinen unmittelbaren Sensor zur Registrierung von UV-Strahlung verfügt, ist die Gefahr groß, dass sich Menschen unbewusst hohen UV-Belastungen zu lange aussetzen und Sonnenbrände erleiden. Um dem damit erhöhten Hautkrebsrisiko vorzubeugen (siehe S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, (<http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/032-052OL.html>)), sind zeitnahe und flächendeckende Messungen der bodennahen solaren UV-Strahlung und die Veröffentlichung der davon abgeleiteten UVI-Werte 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.

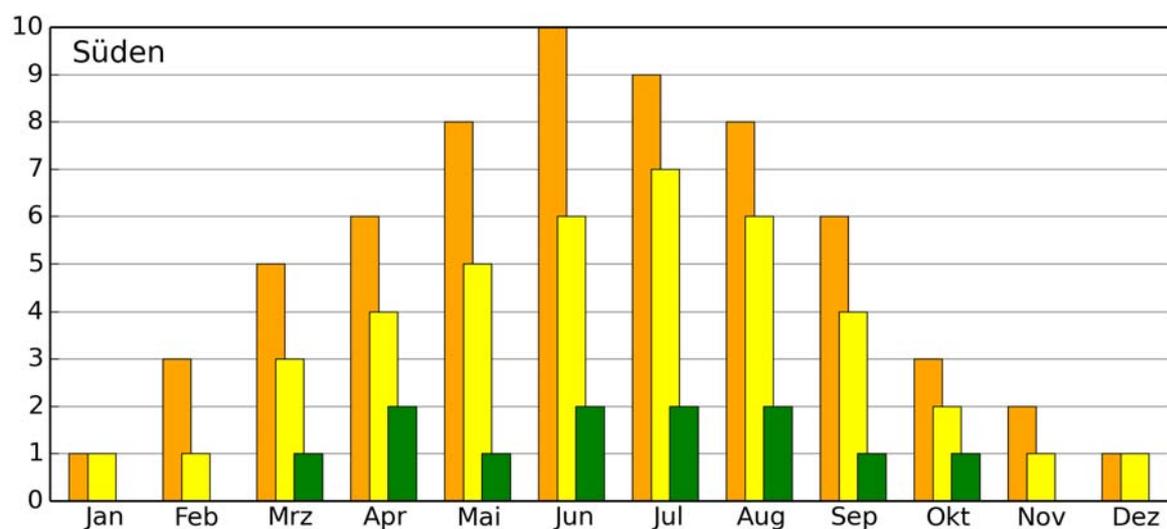
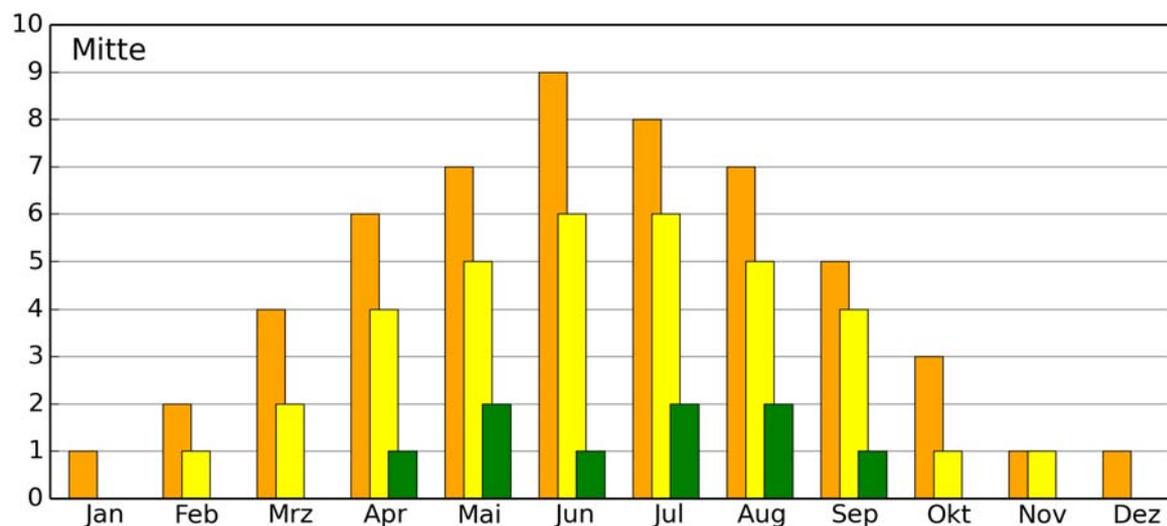
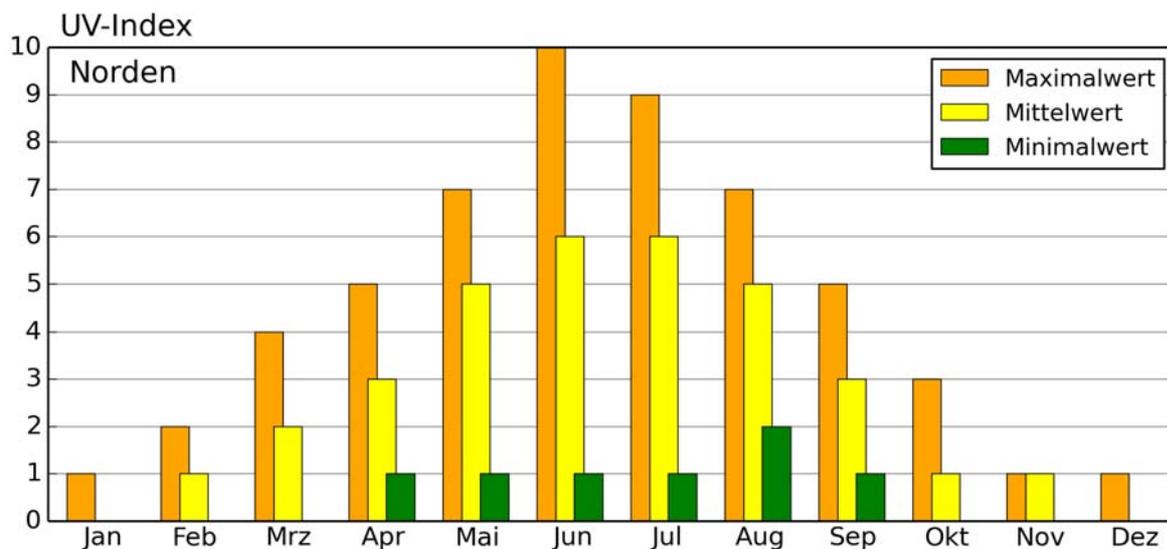


Abbildung B VI 2.1-1 Maximale, mittlere und minimale UVI-Werte der Monate im Jahr 2016
 (Maximum, medium and minimum UVI values per month in the year 2016)

2.2 Forschung (Research)

Optische Strahlenquellen außerhalb der Medizin

Zunehmend werden vielfältige Quellen optischer Strahlung (Emittenten von UV-Strahlung, sichtbarem Licht und Infrarot) außerhalb der Medizin zu kosmetischen Zwecken oder im Wellness-Bereich sowohl von kommerziellen Anbietern als auch für die häusliche Nutzung angeboten und verwendet. Es wurde darum 2015 ein Forschungsvorhaben initiiert, um im Rahmen einer Literatur- und Internetrecherche eine möglichst systematische Erfassung und Charakterisierung von Strahlenquellen und ihren Anwendungen zu erhalten. Zudem sollten gesundheitliche Risiken für Anwender und Kunden dargestellt und diskutiert werden. Das Forschungsvorhaben wurde 2016 abgeschlossen. Insgesamt wurden 226 Geräte unter anderem aus den Anwendungsbereichen Tageslichtlampen und Lichtduschen, UVC-Desinfektionslampen, Softlaser, Hautverjüngung, Lipolaser/Cellulitebehandlung, Tattoorentfernung und Epilation betrachtet und technische Daten, soweit verfügbar, zusammengestellt. Für eine Beurteilung des Wirkungs- und Gefährdungspotentials alltagsrelevanter Strahlenquellen waren die verfügbaren Hersteller-Informationen jedoch bei weitem nicht ausreichend. In dieser Hinsicht zeigt das Projekt deutlichen Verbesserungsbedarf auf.

Kosmetik, Wellness, Gesundheit – optische Strahlenquellen außerhalb der Medizin. Systematische Erfassung und Charakterisierung von Strahlenquellen und ihren Anwendungen im gewerblichen sowie im Heimbereich. (siehe Programmreport 2016, S.106 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>) sowie http://doris.bfs.de/js-pui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2016110814148/3/BfS_2016_3614S80007.pdf)

Mit dem Ziel, Informationen über die Verwendung optischer Strahlungsquellen zu kosmetischen Zwecken sowie über Komplikationen und unerwünschte Nebenwirkungen bei Anwendung von Quellen optischer Strahlung zu kosmetischen Zwecken zu erhalten, wurde 2016 eine repräsentative Telefonumfrage von Nutzerinnen und Nutzern dieser kosmetischen Anwendungen begonnen. Zusätzlich wird im Rahmen dieses Projekts auch eine nicht-repräsentative Stichprobe professioneller Anwender zum gleichen Thema befragt. Das Projekt wird 2017 abgeschlossen.

Nebenwirkungen bei der Anwendung optischer Strahlung in der Kosmetik (siehe Programmreport 2016, S. 204 ff (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426>))

Weiterführende molekularbiologische Untersuchung UV-bedingter DNA-Schäden

Im Rahmen des Ressortforschungsplans des BMUB wurde eine Untersuchung über Wechselwirkungen von UV-A- und UV-B-Strahlung bei aufeinander folgender (sequentieller) Exposition in menschlichen Hautzellen gefördert. Betrachtet wurden u. a. Wirkungen auf die DNA-Reparatur und auf die Genexpression. Ein Ergebnis des Projekts weist darauf hin, dass eine vorgeschaltete UV-A-Bestrahlung die Reparatur von UV-bedingten DNA-Schäden deutlich verlangsamt. Die im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Daten fließen in das auf 5 Jahre angelegte BMBF-Verbundprojekt „KAUVIR - Kombination statt Addition: UV bis Infrarot-Strahlung in der Krebsentstehung und Alterung“ ein. KAU VIR (Förderkennzeichen: 02NUK036C) startete im September 2014. Ausführende Stellen sind das Deutsche Krebsforschungszentrum, die Elbe Kliniken (Buxtehude), das IUF - Leibniz-Institut für umweltmedizinische Forschung (Düsseldorf) und die Technische Universität Darmstadt. Es werden kombinatorische Wirkungen optischer Strahlung untersucht. Das BfS wird über die Ergebnisse des Verbundprojektes „KAUVIR“ informiert.

2.3 Rechtliche Regelung von Solarienbetrieben (Legal restrictions of sunbeds)

Das Benutzungsverbot von Solarien durch Minderjährige (geregelt seit August 2009 im „Gesetz zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen“ (NiSG)) gilt nunmehr seit sieben Jahren, die gemäß NiSG erlassene „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher Ultravioletter Strahlung“ (UV-Schutz-Verordnung, UVSV) seit vier Jahren. Die Kontrolle der Einhaltung der rechtlichen Vorgaben obliegt den Bundesländern. Gemäß UV-Schutz-Verordnung ist das Angebot einer Beratung von Nutzerinnen und Nutzern in Solarien durch qualifiziertes Fachpersonal obligatorisch. Schulungen und Fortbildungen von Fachpersonal in Solarien dürfen ausschließlich Schulungsstätten durchführen, die hierfür eigens durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (www.dakks.de) akkreditiert wurden.

Durchgeführte Kontrollen zeigen, dass viele Betreiber unerlaubterweise immer noch mit alten Geräten arbeiten, das erforderliche Angebot einer qualifizierten Beratung nicht machen (angedeutet durch fehlende Dokumentationen über Hauttypenbestimmungen und hauttypbezogene Dosierungspläne) und einige von ihnen Minderjährigen die Nutzung der Solarien erlauben. In einigen Fällen hat die Gesetzgebung dazu geführt, dass mehrere Betreiber sich entschieden haben, aufzuhören.

Das BMUB und das BfS haben sich auch 2016 im Rahmen Ihrer Aufgabenbereiche für die Umsetzung der rechtlichen Regelungen zur Reduzierung der UV-Belastung für Nutzerinnen und Nutzer von Solarien eingesetzt. 2016 übernahm das BfS ebenso wie 2015 den Unterricht zum Thema „Überwachung von Solarien“ für den Lehrgang zum/r Hygiene-kontrollleur/in der Akademie für öffentliches Gesundheitswesen in Düsseldorf. Darüber hinaus unterstützen das BMUB

und das BfS bei Bedarf die Behördenvertreter bei der Klärung von Fragen zu Kontrollmaßnahmen. Auf Grund bestehender Nachfrage werden weitere Informationsveranstaltungen folgen.

2.4 Hautkrebspräventionsmaßnahmen (*Skin cancer prevention measure*)

UV-Aktion des BfS

Seit 2010 führt das Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen seiner Informationskampagne „Sonne – aber sicher“ (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/sonne/sonne_node.html) bundesweit Aktionen zum UV-Schutz durch. Dazu zählen neben einer mobilen UV-Ausstellung auch das Bereitstellen zielgruppenspezifischer Unterrichtsmaterialien für Kindergärten, Grundschulen und Schulen der Sekundarstufe I. Die Unterrichtsmaterialien können ebenso wie sämtliche Informationsmaterialien zum Thema „UV-Strahlung“ kostenlos in gewünschter Stückzahl über das BfS bezogen werden. Seit 2012 wird dieses Angebot durch Fortbildungen für Lehr- und Erziehungskräfte ergänzt.

Das UV-Schutz-Bündnis

2011 wurde auf Initiative des BfS das UV-Schutz-Bündnis (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/buendnis/buendnis.html) gegründet, in dem wichtige Partner auf dem Gebiet des UV-Schutzes zusammenwirken. Die Bündnispartner treten gemeinsam für einen verantwortlichen Umgang mit der Sonne und für einen gelebten UV-Schutz ein.

Seit 2014 fokussiert sich die Arbeit der UV-Schutz-Bündnispartner in Ergänzung zu verhaltenspräventiven Maßnahmen auf die Förderung verhältnispräventiver Hautkrebspräventionsmaßnahmen. 2016 arbeiteten alle 18 Partnerorganisationen gemeinsam an der Erstellung eines Grundsatzpapiers. Es dient dem Ziel, im Freien und in Außenanlagen öffentlicher Einrichtungen sowie in den unterschiedlichen Lebenswelten¹ der Bevölkerung verhältnispräventive Maßnahmen zum Schutz vor übermäßiger UV-Belastung und vor weiteren, durch den Klimawandel zunehmenden, gesundheitsschädigenden Belastungen der Sonne (z. B. Hitzebelastung)² flächendeckend zu etablieren. Die Maßnahmenentwicklung und -etablierung soll dabei unter Berücksichtigung der notwendigen Synergien von Verhaltens- und Verhältnisprävention und des Aspekts der Umweltgerechtigkeit erfolgen. Das UV-Schutz-Bündnis wird sich mit diesem Papier an politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger sowie Sozialversicherungsträger und Sozialpartner, Verantwortliche für öffentliche Einrichtungen, Ausbildungs- und Ausbildung koordinierende Organisationen und die Medien wenden und zu Fachgesprächen einladen. Es soll in einem gemeinsamen, kooperierenden Miteinander und unter Zuhilfenahme der den einzelnen Adressaten zur Verfügung stehenden Mittel und Möglichkeiten erreicht werden, dass Bürgerinnen und Bürger jeder Altersklasse Schutz vor übermäßiger UV-Belastung und - soweit dies mit UV-minimierenden Maßnahmen möglich ist - auch vor übermäßiger Hitzebelastung im Freien finden.

¹ Lebenswelten im Sinne des §20 Absatz4 Nr2 PräVG und Sozialgesetz Buch V sind für die Gesundheit bedeutsame, abgrenzbare soziale Systeme insbesondere des Wohnens, des Lernens, des Studierens, der medizinischen und pflegerischen Versorgung sowie der Freizeitgestaltung einschließlich des Sports

² Eis D, Helm D, Laußmann D, Stark K (2010) Klimawandel und Gesundheit - Ein Sachstandsbericht. Robert Koch-Institut, Berlin
(http://www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf?__blob=publicationFile)

GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANGABEN

(Überarbeitungsstand 2016)

(BASICS AND GENERAL INFORMATION)

GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND ERLÄUTERUNGEN

(LEGAL BASIS AND EXPLANATIONS)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

HISTORISCHE UND GESETZLICHE GRUNDLAGEN DER ÜBERWACHUNG

(HISTORICAL AND LEGAL BASIS OF SURVEILLANCE)

Die Auswirkungen der von 1945 bis 1980 durchgeführten oberirdischen Kernwaffentests sowie der großtechnische Einsatz der Kernenergie seit den 60er und 70er Jahren machten die Konzeption entsprechender Kontrollsysteme zur Umwelt- bzw. Umgebungsüberwachung notwendig. In der Bundesrepublik Deutschland regelt 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 geregelt.

Im Januar 2014 hat der Rat der Europäischen Union eine neue europäische Richtlinie veröffentlicht (siehe Nr. 79, Seite 147), die einen umfassenden Strahlenschutz gewährleisten soll. Diese sogenannten Euratom-Grundnormen müssen innerhalb von vier Jahren in nationales Recht umgesetzt werden. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit erarbeitet aus diesem Anlass einen Gesetzesentwurf, mit dem das deutsche Strahlenschutzrecht auch modernisiert und möglichst vollzugsfreundlich gestaltet werden soll.

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 ist 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.

Die §§ 2 und 3 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes grenzen die Aufgabenzuständigkeit zwischen Bund und Ländern ab. Die großräumige Überwachung der Medien Luft und Wasser sowie die Ermittlung der Gamma-Ortsdosisleistung ist gemäß § 2 dem Bund zugewiesen. Die Überwachung der anderen Umweltmedien wird dagegen in Bundesauftragsverwaltung nach § 3 StrVG von den Messstellen der Länder wahrgenommen ([Tabelle G 1](#)).

Auf dieser gesetzlichen Grundlage wurde in den nachfolgenden Jahren das Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) geschaffen, in dem die nach den §§ 2 und 3 StrVG ermittelten Daten bundeseinheitlich zusammengeführt werden. Die Einzelheiten wurden 1995 in einer Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV-IMIS) geregelt.

1988 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU, heute BMUB) 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 damaligen 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. Auf der Grundlage der §§ 2 und 3 StrVG werden hierin umfangreichere Aktivitätsmessungen in kürzeren zeitlichen Abständen vorgeschrieben, mit denen schnell die radiologische Lage erfasst und eventuell erforderliche Vorsorgemaßnahmen zur Minimierung der Strahlenexposition durch die jeweils zuständigen Bundes- bzw. Landesministerien empfohlen werden können.

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

Überwachungsmaßnahmen auf europäischer Ebene - Höchstwertverordnung

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

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

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

Am 15. Januar 2016 wurde eine Neufassung der Höchstwertverordnung erarbeitet und vom Rat der Europäischen Union beschlossen (siehe Verordnung (Euratom) 2016/52, siehe Nr. 75, Seite 147). Diese trat am 09.02.2016 in Kraft und ersetzt die o. g. Euratom-Verordnungen.

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 Höchstwerte für Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermitteln in Kraft setzen kann. Die Möglichkeit, unter Berücksichtigung der spezifischen Umstände des Unfalls ggf. niedrigere Höchstwerte als die maximal möglichen festzulegen, stellt eine wesentliche Verbesserung gegenüber der bestehenden Regelung dar.

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität erwuchs durch die Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1957 und 1958 und den späteren großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung zusätzlich die Aufgabe der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Emission und Immission). Die rechtlichen Verpflichtungen dazu leiten sich aus dem Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung ab und werden sowohl von den Betreibern der Anlage selbst als auch von unabhängigen Messstellen der Länder umgesetzt. Die Messaufgaben sind seit 1993 in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) festgesetzt (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 07. Dezember 2005, GMBI 2006, S. 254, zuletzt geändert am 23. März 2006, GMBI 14-17, S. 253).

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

In den neuen Bundesländern wurde gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radonzerfallsprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. Die Art der Überwachung änderte sich durch das Inkrafttreten der Novelle der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (siehe Nr. 14, Seite 144) nur unwesentlich.

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

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

In Abschnitt 2., "Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Stand 31.12.2016" werden gesetzliche Grundlagen, die für die in diesem Bericht vorgestellten Daten relevant sind, in Auswahl vorgestellt.

1. Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen (*Explanation of terms*)

1.1 Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung (*Measures for environmental radioactivity and radiation exposure*)

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 Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die Vermeidung bzw. größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes¹.

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

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

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

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

1.2 Strahlendosis und ihre Einheiten (*Radiation dose and related units*)

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

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

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

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

Molekulare Veränderungen durch Ionisations- und Anregungsprozesse können der Ausgangspunkt für die Entwicklung biologischer Strahlenwirkungen sein. Allerdings ist das Ausmaß einer biologischen Strahlenwirkung nicht alleine von

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

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 der Strahlenschutzverordnung von 2001 entsprechend [Tabelle G 1.1-1](#) festgelegt.

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

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

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

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

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

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

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

$$E = w_T \times H_T$$

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

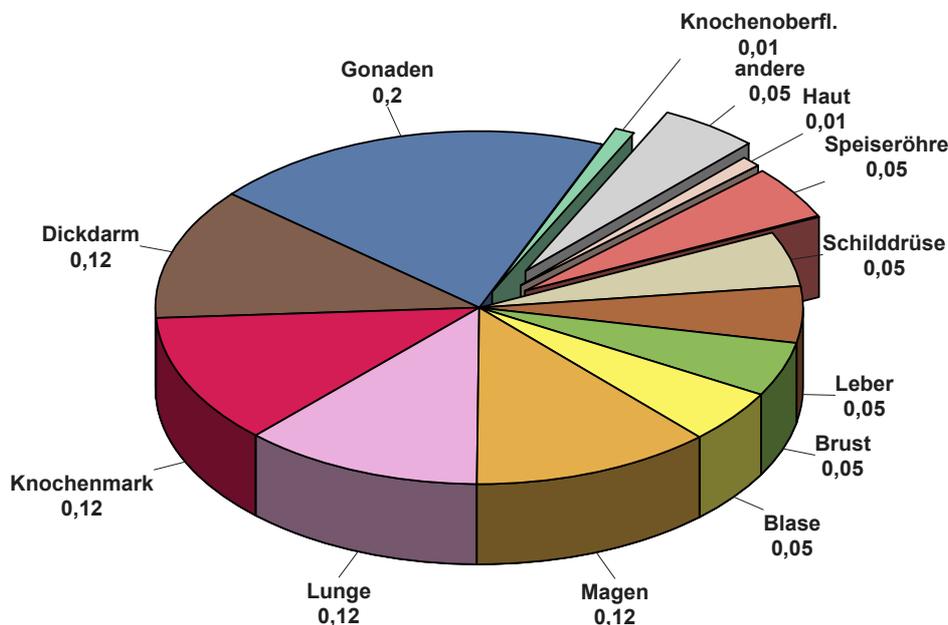


Abbildung G 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anl. VI, Teil C)
(Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Ge-

samtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

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

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

1.3 Die Messung der Strahlendosen (*Measurement of radiation dose*)

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 strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind Schutzgrößen. Nur in den allerseltensten Fällen kann eine Dosis direkt im Körper eines Menschen gemessen werden. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den Messgrößen überwacht. Diese sogenannten Äquivalentdosen sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzen, werden auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich liegen.

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

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

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

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

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

1.4 Äußere und innere Bestrahlung¹ (*External and internal radiation exposure*)

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 Betastrahlung 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 Alphastrahlung bereits außerhalb der Reich-

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

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

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

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

1.5 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung¹ (*Stochastic and deterministic radiation effects*)

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können. Oberhalb der Schwellendosis tritt der gesundheitliche Effekt auf und der Schweregrad dieses Effektes nimmt mit steigender Dosis zu. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multi-

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

zellulärer Mechanismus zu Grunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, wie Hautrötung (Erythem), Haarverlust oder verminderte Blutbildung.

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

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

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

1.6 Genetische Strahlenwirkungen (*Genetic radiation effects*)

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

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

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

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

1.7 Induktion bösartiger Neubildungen (*Induction of malignant neoplasms*)

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

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

1.8 Risikoabschätzung (*Risk assessment*)

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 Lebenszeitrisko an einem malignen Tumor zu sterben bei einer akuten Dosis von 1 Gray bei 4,3 bis 7,2 % und bei 100 Milligray bei 0,36 bis 0,77 %. Das heißt, es ist zu erwarten, dass von 100 Personen, die einer akuten Strahlendosis von 1 Gray ausgesetzt waren, etwa 4 bis 7 Personen auf Grund dieser Strahlenbelastung an einem bösartigen Tumor sterben, bei 100 Milligray wäre mit weniger als einem strahlenbedingten Krebstodesfall in dieser Gruppe zu rechnen. Das Risiko an Leukämie zu sterben liegt bei 1 Gray bei 0,6 bis 1,0 %. Im Gegensatz zu soliden Tumoren wird für Leukämien ein linear quadratischer anstelle eines linearen Zusammenhangs angenommen. Das Risiko bei 100 Milligray wird auf 0,03 bis 0,05 % geschätzt. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen zu unterscheiden. In Deutschland haben etwa 25 % aller Todesfälle Krebs als Ursache, d. h., dass normalerweise von 100 Menschen etwa 25 an einer Krebserkrankung sterben.

Literatur

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

1.9 Strahlenschutzmaßnahmen - Die Strahlenschutzverordnung (*Radiation protection measures - the Radiation Protection Ordinance*)

Der Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung von Personen durch die Wirkungen ionisierender Strahlung wird dadurch begegnet, dass beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, bei ihrer Beförderung, ihrer Einfuhr und Ausfuhr, bei der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen Schutzmaßnahmen vorgesehen sind, die die Strahlenexposition der Bevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen auf ein Minimum reduzieren. Für die Bundesrepublik Deutschland ist nach der Strahlenschutzverordnung (siehe Nr. 14, Seite 144) „jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden“ und „jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten“ (§ 6 Abs. 1 und 2 der StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte) für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen in dieser Verordnung festgelegt. § 95 regelt die Exposition durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen und § 103 den Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung.

§ 46 der StrlSchV begrenzt die Strahlenexposition der Bevölkerung wie folgt:

- Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 ein Millisievert im Kalenderjahr.
- Unbeschadet des Absatzes 1 beträgt der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und der Grenzwert der Organdosis für die Haut 50 Millisievert im Kalenderjahr.
- Bei Anlagen oder Einrichtungen gilt außerhalb des Betriebsgeländes der Grenzwert für die effektive Dosis nach

Absatz 1 für die Summe der Strahlenexposition aus Direktstrahlung und der Strahlenexposition aus Ableitungen. Die für die Strahlenexposition aus Direktstrahlung maßgebenden Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes; liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

Für die Strahlenexposition der Bevölkerung durch mit Fortluft oder Abwasser emittierte radioaktive Stoffe sind in § 47, Abs. 1 Strahlenschutzverordnung Dosisgrenzwerte festgelegt:

„Für die Planung, die Errichtung und den Betrieb von Anlagen oder Einrichtungen gelten folgende Grenzwerte der durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen jeweils bedingten Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr:

1. Effektive Dosis 0,3 Millisievert;
2. Organdosis für Keimdrüsen, Gebärmutter, Knochenmark (rot) 0,3 Millisievert;
3. Organdosis für Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse, andere Organe oder Gewebe gemäß Anlage VI Teil C Nr. 2 Fußnote 1, soweit nicht unter Nr. 2 genannt 0,9 Millisievert;
4. Organdosis für Knochenoberfläche, Haut 1,8 Millisievert.

Es ist dafür zu sorgen, dass radioaktive Stoffe nicht unkontrolliert in die Umwelt abgeleitet werden.“

1.10 Strahlenschutzmaßnahmen - Die Euratom-Grundnormen (*Radiation protection measures - Euratom Basic Safety Standards*)

Die Richtlinie 2013/59/Euratom des Europäischen Rates vom 5. Dezember 2013 ist am 17.1.2014 in Kraft getreten. In dieser Richtlinie werden einheitliche grundlegende Sicherheitsnormen für den Schutz von Personen, die beruflicher oder medizinischer Exposition oder der Exposition der Bevölkerung ausgesetzt sind, vor den Gefahren durch ionisierende Strahlung festgelegt.

Die Mitgliedstaaten verfügen über eine Frist von vier Jahren zur Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht.

Die neuen 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, beispielweise

- 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 werden intensiv an der Erarbeitung des Entwurfs des Strahlenschutzgesetzes, mit dem die Euratom-Grundnormen in deutsches Recht umgesetzt werden sollen, beteiligt.

2. Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Stand 31.12.2016
(*Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory text and other regulations concerning radiation protection - as at December 31, 2016*)

Die hier genannten Regelungen galten im Berichtsjahr 2016. Regelungsänderungen bis Redaktionsschluss wurden hier - sofern für den Berichtsinhalt relevant - in kursiver Schrift ergänzt.

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 Artikel 1 des Gesetzes vom 20. November 2015 (BGBl. I S. 2053)
Anm.: zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 2 des Gesetzes zur Modernisierung des Rechts der Umweltverträglichkeitsprüfung vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S.2808)
*Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – **StrlSchG**) vom 27. Juni 2017*
(verkündet als Art. 1 des Gesetzes vom 27.Juni 2017; Inkrafttreten gemäß Art. 32Abs. 1 Satz 3 dieses Gesetzes überwiegend am 31.12.2018; zum abweichenden Inkrafttreten einzelner Teile siehe Art. 32 Abs. 1 Satz 2 dieses Gesetzes)
Amtl. Anmerkung zum Mantelgesetz: Dieses Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom und 2003/122/Euratom (ABl. L 13 vom 17.1.2014, S. 1(geändert durch Art. 2 des Gesetzes zur Neuordnung des Rechts vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966)
2. 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 2 des Gesetzes vom 19. Oktober 2012 (BGBl. I S. 2192)
3. Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - **StrVG**) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 91 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)
Anm.: aufgehoben durch Artikel 4 des Gesetzes iVm Art. 32 Abs. 1 Satz 2 vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) mWv 1.10.2017.
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz (**BAStrlSchG**) vom 9. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1830), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 3. Mai 2000 (BGBl. I S. 636).
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes (**BAusfAmtG**) vom 28. Februar 1992, (BGBl. I S. 376), zuletzt geändert durch Artikel 129 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - **ENeuOG**) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, (1994, 2439)), zuletzt geändert durch Artikel 302 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
7. Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 12. August 2005 (BGBl. I 2005, S. 2365), eingeflossen in das Atomgesetz (**AtG**)
8. Gesetz über Krebsregister (**KRG**) vom 4. November 1994 (BGBl. I, S. 3351), gültig bis 31.12.1999, teilweise fortgeltend in entsprechenden Ländergesetzen bzw. Staatsvertrag.
9. Gesetz zur Neugestaltung des Umweltinformationsgesetzes und zur Änderung der Rechtsgrundlagen zum Emissionshandel (**UIG**) vom 22. Dezember 2004 (BGBl. I 2004, Nr. 73, S. 3704)
10. Gefahrgutbeförderungsgesetz (**GGBefG**) vom 7. Juli 2009 (BGBl. I S. 1774, 3975)
11. Fortgeltendes Recht der Deutschen Demokratischen Republik auf Grund von Artikel 9 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage II Kapitel XII Abschnitt III Nr. 2 und 3 des Einigungsvertrages (**EinigVtr**) vom 31. August 1990 (BGBl. II S. 885) in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag (**EinigVtrG**) vom 23. September 1990 (BGBl. II, S. 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind:
 - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (**VOAS**) vom 11. Oktober 1984 und Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBI DDR I 1984 Nr. 30, berichtigt GBI DDR I 1987 Nr. 18)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien (**HaldAO**) vom 17. November 1980 (GBI DDR 1980 Nr. 34, S. 347)

12. Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (**NiSG**) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2433), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie über Industrieemissionen vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734)

Verordnungen

13. Verordnung 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 2 der Verordnung vom 4. Oktober 2011 (BGBl. I S. 2000.)
14. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - **StrlSchV**) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)
- Anm.: geändert nach Maßgabe des Art. 10 durch Art. 6 G v. 27.1.2017 I 114, 1222.*
- Verordnung über die Zuständigkeit von Bundesbehörden im integrierten Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Umweltradioaktivität nach dem Strahlenschutzgesetz (IMIS-Zuständigkeitsverordnung - **IMIS-ZustV**) vom 5. Oktober 2017 (BGBl. I, S. 3536)*
15. Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (**GGVSEB**) vom 17. Juni 2009 (BGBl. I S. 1389), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. März 2011 (BGBl. I S. 347)
16. 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 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2819)
- Anm.: geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808), zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 20 des Gesetzes zur Modernisierung des Rechts der Umweltverträglichkeitsprüfung vom 20.7.2017 (BGBl. I S. 2808)*
17. Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - **AtDeckV**) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch Artikel 9 Abs. 12 des Gesetzes vom 23. November 2007 (BGBl. I S. 2631)
- Anm.: zuletzt geändert durch Art. 20 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966)*
18. Kostenverordnung zum Atomgesetz (**AtKostV**) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)
- Anm.: zuletzt geändert durch Art. 24 des Gesetze vom 27. Juni 2017 (#BGBl. I S 1966)*
19. 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 1 der Verordnung vom 6. Juli 2004 (BGBl. I S. 1476)
20. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittel-Bestrahlungsverordnung - **LMBestrV**) vom 14. Dezember 2000, (BGBl. I S. 1730), zuletzt geändert durch Artikel 359 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
21. 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 6 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) .
22. Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldungen von Störfällen und sonstigen Ereignissen (atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - **AtSMV**) vom 14. Oktober 1992 (BGBl. I S. 1766), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. Juni 2010 (BGBl. I S. 755)
23. Die Verordnungen zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG§11Abs7V) wurden ersetzt durch Art. 1 Abs. 13 des ersten Gesetzes zur Änderung des Strahlenschutzvorsorgegesetzes vom 8. April 2008 (BGBl I S. 686)
24. 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)
25. Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverordnung (AtAV) vom 30. April 2009 (BGBl. I S. 1000), zuletzt geändert durch Artikel 76 des Gesetzes vom 8. Juli 2016 (BGBl. I S. 1594)
26. Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (**BEMFV**) vom 20. August 2002 (BGBl 1, S. 3366), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl 1, Seite 1970)
27. UV-Schutz-Verordnung (**UVSV**) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412)
28. Durchführungsverordnung (EU) Nr. 284/2012 der Kommission vom 29. März 2012 mit Sondervorschriften für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln, deren Ursprung oder Herkunft Japan ist, nach dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima und zur Aufhebung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 961/2011

29. Trinkwasserverordnung (**TrinkwV 2001**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. August 2013 (BGBl I S. 2977), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. November 2015 (BGBl I S. 2076)

Allgemeine Verwaltungsvorschriften

30. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (**AVV-IMIS**) vom 13. Dezember 2006
 - Anhang 1: Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm)
 - Anhang 2: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm)
 - Anhang 3: Bundeseinheitliche Deskriptorenliste (BEDL)
31. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - **AVV-StrahLe**) vom 28. Juni 2000 (GMBI. 2000, Nr. 25, S. 490)
32. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen) vom 28. August 2012 (BAnz AT 05.09.2012B1)

Richtlinien

33. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor. Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge vom 10. Juli 1978 (GMBI. 1978, S. 418)
34. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen: Teil 2: Die Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung - IWRS II vom 17. Januar 2005 (GMBI. 2005, Nr. 13, S. 258)
35. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom 15. Februar 1992 (GMBI. 1992, S. 150)
36. Richtlinie zur Dichtheitsprüfungen von umschlossenen Strahlenquellen vom 04. April 2004 (GMBI. 2004, S. 410)
37. Richtlinie nach StrlSchV: „Strahlenschutz in der Medizin“ vom 24. Juni 2002 (GMBI. 2003, S. 227)
38. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 07. Dezember 2005 (GMBI. 2006, S. 254), zuletzt geändert am 23. März 2006 (GMBI 14-17, S. 253)
39. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Strahlenschutzverordnung) vom 21. Juni 2004 (GMBI. 2004, Nr. 40/41, S. 799), Änderung vom 19. April 2006 (GMBI. 2006, Nr. 38, S. 735)
40. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und Kenntnisse beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen zur technischen Anwendung und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Röntgenverordnung) vom 27. Mai 2003 (GMBI. 2003, Nr. 31, S. 638)
41. Richtlinie für die Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten in Kernkraftwerken und sonstigen Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen vom 10. Dezember 1990 (GMBI. 1991, Nr. 4, S. 56)
42. Richtlinie für die Fachkunde von verantwortlichen Personen in Anlagen zur Herstellung von Brennelementen für Kernkraftwerke vom 30. November 1995 (GMBI. 1996, Nr. 2, S. 29)
43. Durchführung der Röntgenverordnung; Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin vom 22. Dezember 2005 (GMBI. 2006, Nr. 22, S. 414)
44. Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung oder Behandlung von Menschen nach den §§ 16 und 17 der Röntgenverordnung - Qualitätssicherungs-Richtlinie (**QS-RL**) - vom 20. November 2003 (GMBI. 2003, S. 731), zuletzt geändert am 15.06.2010 (GMBI. 2010, S. 1242)
45. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Strahlenschutz in der Tierheilkunde“ vom 2. Februar 2005 (GMBI. 2005, S. 666)
46. Richtlinie zur Durchführung der RöV für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern (**SV-RL**) vom 27. August 2003 (GMBI. S. 783), zuletzt geändert am 09.02.2010 (GMBI. 2010, S. 711)
47. Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV); Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 66 Abs. 2 StrlSchV vom 11. Juni 2002 (GMBI. 2002, Nr. 30, S. 620)
48. Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV); Prüfungen nach § 66 Abs. 2 StrlSchV an Anlagen und Bestrahlungsvorrichtungen gemäß Nr. 3.3 und 4.1 der Rahmenrichtlinie zur Überprüfung nach § 66 Abs. 2 StrlSchV vom 11. Juni 2002 (GMBI. 2002, S.620) vom 13. Oktober 2004 (GMBI. 2004, Nr. 55-57, S. 1089)
49. Richtlinie für die Physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 1: Ermittlung der Körperdosis bei äußerer Strahlenexposition (§§ 40, 41, 42 StrlSchV; § 35 RöV) vom 8. Dezember 2003 (GMBI. 2004, Nr. 22, S. 410)

50. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV) vom 12. Januar 2007 (GMBI. 2007, Nr. 31/32, S. 623), Anhänge 1 bis 6, Anhang 7.1, Anhang 7.2, Anhang 7.3, Anhang 7.4
51. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte“ vom 18. Dezember 2003 (GMBI. 2004, S. 350), zuletzt geändert mit Wirkung vom 1. März 2004 durch Beschluß der Bund-Länderausschlüsse.
52. Richtlinie zur Begrenzung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen bei Arbeiten vom 15. Dezember 2003 (GMBI. 2004, Nr. 22, S. 418)
53. Richtlinie Ärztliche und zahnärztliche Stellen (Qualitätsmaßnahmen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung am Menschen) vom 1. März 2004
54. Richtlinie zur Durchführung der StrlSchV und der RöV über „Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung“ vom 10. Dezember 2001; (GMBI. 2002, S. 136)
55. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) vom 11. August 1997

Empfehlungen, Erläuterungen

56. Durchführung der StrlSchV: Merkposten zu Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 Abs. 1 und 2 StrlSchV (GMBI. 2004 S. 9)
57. 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)
58. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken vom 10. Mai 1978 (GMBI. 1978, S. 313) und vom 5. Februar 1996 (GMBI. 1996, S. 247)
59. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBI. 1980, S. 577)
60. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 163)
61. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
62. Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung: Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (GMBI. 1982, S. 61)
63. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 21. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
64. Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes vom 21. März 1983 (GMBI. 1983, S. 176)
65. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 71), Neufassung v. 19./20.02.2015 nach Empfehlung der SSK v. 19.02.2015 (BAnz AT 04.01.2016 B4)
66. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 94), Neufassung v.13.02.2014 (BAnz AT 18.11.2014 B5)
67. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBI 2/90, S. 137)

Sicherheitsregeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA-Regeln)

68. 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)
69. KTA-Regel 1504: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (Fassung 2015-11)
70. KTA-Regel 1507: Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren (Fassung 2017-11)
71. KTA Regel 1508: Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre ((Fassung 2017-11)

EU-Verordnungen, Richtlinien

72. 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)

73. 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
74. 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
75. 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
76. Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte, zuletzt geändert durch die Richtlinie 93/68/EWG vom 22. Juli 1993 (L 220 vom 30. August 1993)
77. 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)
78. 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 Entsch. 2009/240/EG der Kommission vom 4.3.2009 (ABl.Nr. L 7123)
79. 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)
80. Verordnung zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten, Verordnung (EU) Nr 305/2011 vom 03. März 2011
81. 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)

I GRUNDLAGEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(BASIC INFORMATION ON NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt (Natural radioactive substances in the environment)

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 Ausgangsradiationuklide 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.

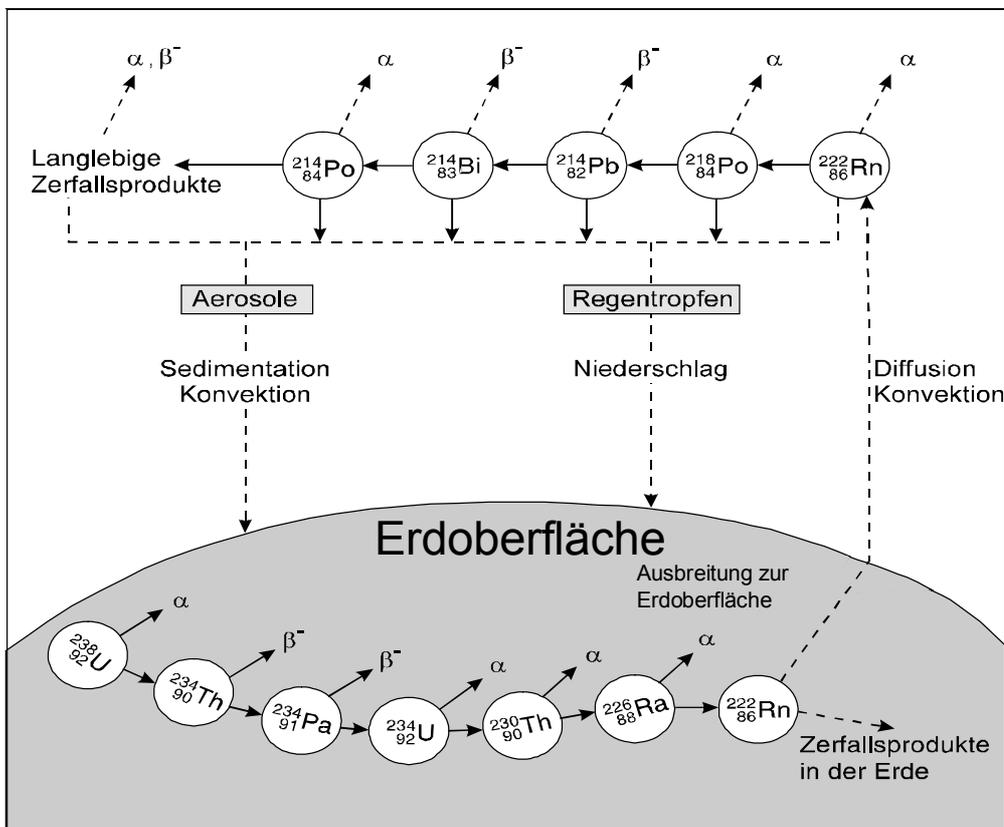


Abbildung G I 1-1 Entstehung des Rn-222 und seiner Zerfallsprodukte aus U-238
(Production of Rn-222 and its decay products from U-238)

1.1 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden (*Natural radioactive substances in soil*)

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

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

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

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

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

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

* Einzelwerte bis 300 Bq/kg

** Einzelwerte bis 400 Bq/kg

1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser (*Natural radioactive substances in water*)

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

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

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

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

* kosmogener Anteil

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

- [1] Beyermann M, Bünger T, Gehrcke K, Obrikat D (2009): Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland, BfS-SW-Bericht, BfS-SW-06/09, urn:nbn:de:0221-20100319945, Salzgitter, 2009
- [2] Riley JP, Tongudai M; Caesium and Rubidium in Sea Water, Chem Geol 1966,1:291-294
- [3] Owens SA, Buessler KO, Sims KWW: Re-evaluating the 238U-salinity relationship in seawater; Implications for the 238U-234Th disequilibrium method, Marine Chemistry 2011, 127:31-39

- [4] Hsieh YT, Henderson GM, Thomas AL: Combining seawater ²³²Th and ²³⁰Th concentrations to determine dust fluxes to the surface ocean, Earth and Planetary Science Letters (2011), 312:280–290 doi: 10.1016/j.epsl.2011.10.022
- [5] Gans I, Fusban, HU, Wollenhaupt H, Kiefer J, Glöbel B, Berlich J, Porstendörfer J (1987): Radium 226 und andere natürliche Radionuklide im Trinkwasser und in Getränken in der Bundesrepublik Deutschland, WaBoLu-Hefte 4/1987, Bundesgesundheitsamt, ISSN 0175-4211, ISBN 3-89254-020-9, Berlin, 1987
- [6] Bünge 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] Bünge 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, Bünge 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
(Natural radioactive substances in the atmosphere close to ground level)

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

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

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

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

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

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

U-238	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-232	Ra-228	Th-228
µBq/m³								
0,8 - 2,0	1,4 - 2,0	0,6 - 1,7	<1,3 - 6,3	200 - 670	26 - 48	0,4 - 1,2	0,6	1,0 - 1,2

1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung (Natural radioactive substances in foodstuff)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.5 Natürliche Strahlenexposition
(Natural radiation exposure)

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

Äußere Strahlenexposition

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

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

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

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

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

Innere Strahlenexposition

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

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

Die effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur $5 \mu\text{Sv/a}$ und wird vor allem durch Pb-210 verursacht. Für die Exposition durch Rn-220 wird im UNSCEAR Report 2000 eine jährliche effektive Dosis von $0,1 \text{ mSv}$ 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 $0,165 \text{ mSv}$. Eine entsprechende Berechnung für Kinder ergibt $0,185 \text{ mSv}$ pro Jahr. Dieser Wert ist wenig beeinflussbar, da er durch die biologischen und chemischen Prozesse sowie die natürliche relative Häufigkeit von K-40 bedingt ist.

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen liegen die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln in einem großen Wertebereich. Für die Radionuklidzufuhr ergibt sich deshalb auch ein großer Bereich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit Nahrung und Trinkwasser ein altersgewichteter Mittelwert für die jährliche effektive Dosis von $0,3 \text{ mSv}$ ergibt.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe ergibt sich im Mittel ein Wert von etwa $1,4 \text{ mSv}$ pro Jahr. Für die Summe aus äußerer und innerer Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide erhält man einen mittleren Wert von ca. $1,8 \text{ mSv}$ pro Jahr. Die externe kosmische Strahlung trägt zusätzlich mit $0,3 \text{ mSv}$ 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 $2,1 \text{ mSv}$. 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 $2,4 \text{ mSv}$ 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].

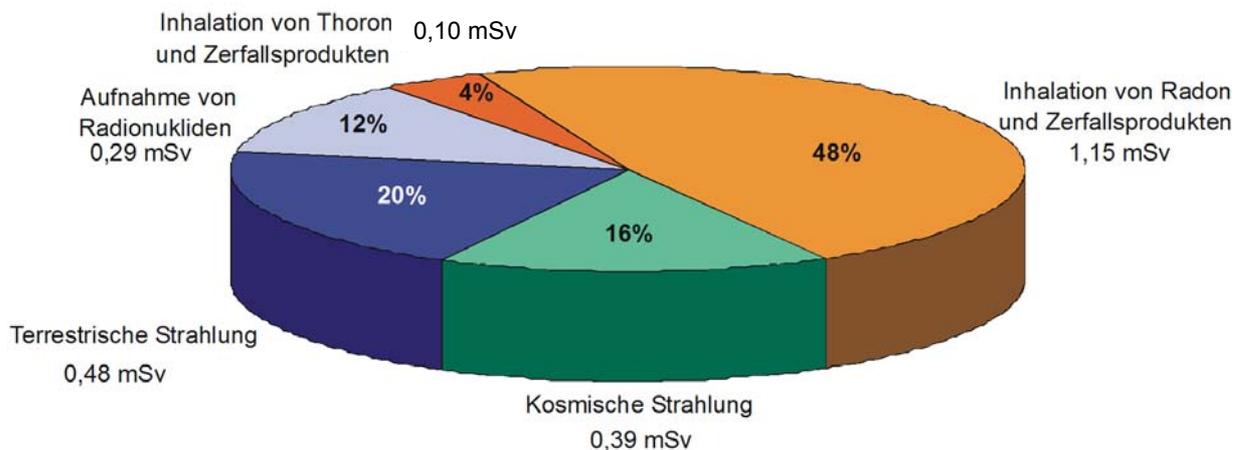


Abbildung G I 1.5-1 Mittlere jährliche effektive Dosis der Bevölkerung der nördlichen Hemisphäre durch natürliche Strahlenquellen (UNSCEAR 2008)
(*Mean annual effective dose of the population from natural radiation sources in the northern hemisphere - UNSCEAR 2008*)

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 (*Technologically enhanced natural environmental radioactivity*)

2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie (*Relics and residues of mining and industry*)

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, Pöhl, 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 im ostsächsischen Bergbaugesamt bei Königstein und im aufgefüllten ehemaligen Tagebau um Ronneburg in Anpassung an die witterungsbedingten Einflüsse ebenfalls in der letzten Phase. Die aufwändige Wasserbehandlung der austretenden Grubenwässer wird in den nächsten Jahrzehnten aber weiterhin notwendig sein.

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

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

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

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

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

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

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

Über die Emissions- und Immissionsüberwachung hinaus führt die Wismut GmbH ein umfangreiches Monitoring durch, das an den jeweiligen Stand der Sanierungsarbeiten angepasst wird. Aufgaben dieses Monitorings sind sowohl die Überwachung der Schutzgüter Boden, Wasser und Luft als auch die Überwachung geotechnischer, bergschadenskundlicher und seismischer Besonderheiten in den betroffenen Regionen.

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

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

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

Hinterlassenschaften aus der Industrie

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

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

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

¹Reinigungsschlämme und Ablagerungen an Pumpen, Rohren und Filtern

Zu den möglichen Mengen solcher Rückstände gibt es nur eine grobe Schätzung des BfS, die auf industriegeschichtlichen Recherchen aufbaut. Danach wird das Gesamtvolumen der in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung abgelagerten Rückstände von sechs Industriebereichen dominiert und kann eine Größenordnung von 100 Mio. m³ erreichen. Da nur wenige Standorte mit Ablagerungen solcher Rückstände bekannt und ausreichend untersucht sind, sind kaum zuverlässige Aussagen über deren radiologische Bedeutung möglich. [Tabelle G I 2.1-1](#) gibt einen Überblick über die Industriebereiche und die jeweils abgeschätzte Menge der deponierten Rückstände.

Aktuelle Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

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

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

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

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

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

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

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

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,
- eine signifikante Risikoerhöhung wurde ab einem Konzentrationsintervall von 100 – 199 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3) festgestellt,
- es wird von einer linearen Expositions-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert ausgegangen.

Radon gilt als einer der wichtigsten kanzerogenen Innenraumschadstoffe. Die Radonkonzentration in Gebäuden variiert in Deutschland in einem breiten Bereich. Der bundesweite Jahresmittelwert in Wohnräumen beträgt ungefähr 50 Bq/m^3 Raumluft. Während die Hälfte der Messwerte unter dem Median von rund 40 Bq/m^3 liegt, wurden in einigen Fällen auch Konzentrationen von einigen Tausend Becquerel pro Kubikmeter gemessen.

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

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

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 100 Bq/m^3 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 Zielwert von 100 Bq/m^3 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.

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.

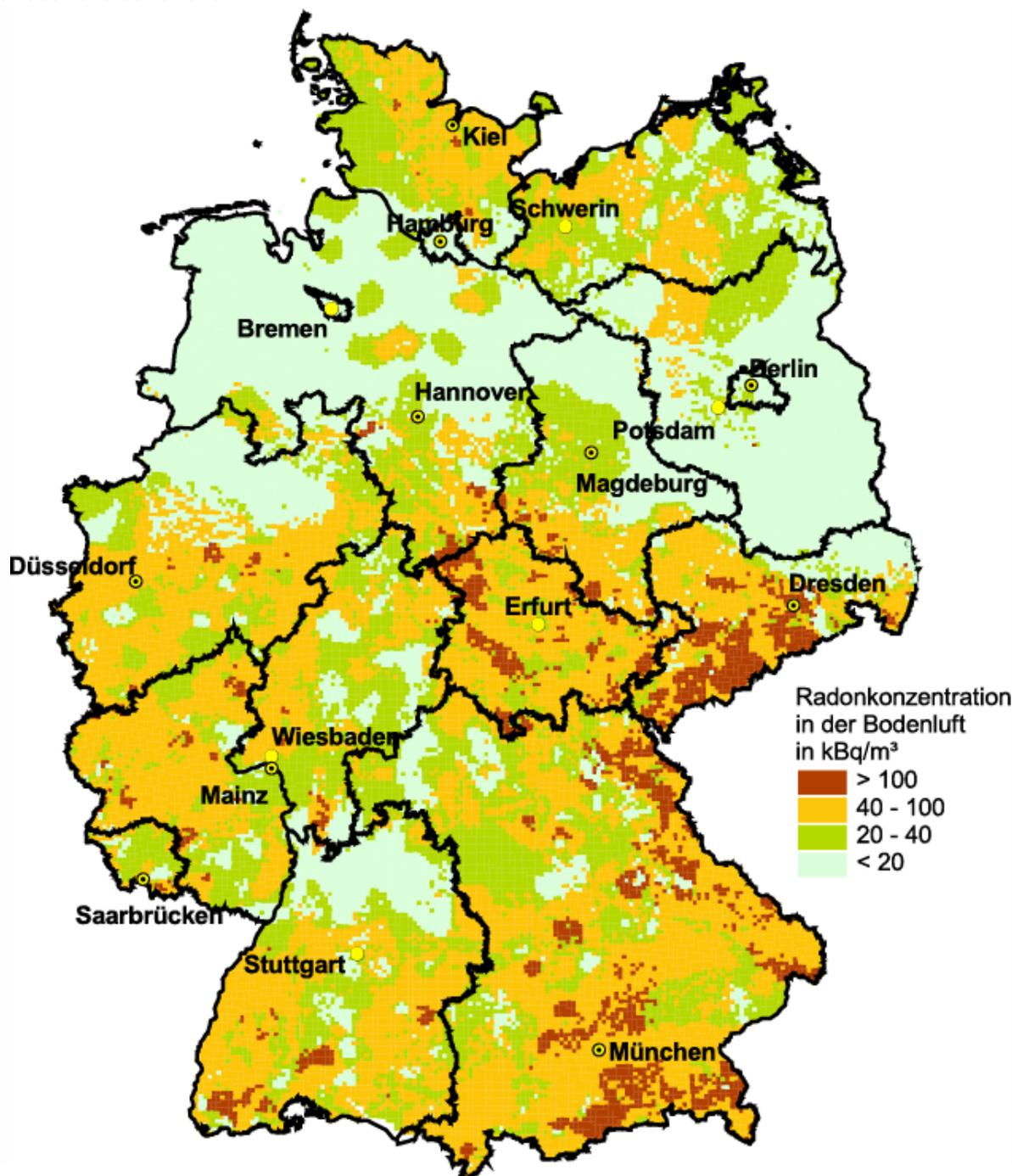


Abbildung G I 2.2-1 Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe (Daten von 2001)
(Overview of Radon concentration in soil air at 1 m depth - data from 2001)

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 Strahlenschutzkommission, Band 59, Bonn, 2007

2.3 Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten (Radioactive substances in building materials and industrial products)

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

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

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

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

Bestimmte Rückstände aus industriellen Verarbeitungsprozessen können jedoch erhöhte Gehalte natürlicher Radionuklide aufweisen. Bei Verwendung dieser Rückstände, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden im Teil A der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) (siehe [Seite 144](#)) die Rückstände genannt, bei deren Verwendung oder Deponierung Gesichtspunkte des Strahlenschutzes beachtet werden sollten. Durch die ebenfalls in Anlage XII der StrlSchV festgelegten Überwachungsgrenzen für die Verwertung dieser Materialien wird sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv/a hierdurch nicht überschritten wird.

Mit den Festlegungen der StrlSchV wird ein wichtiges Instrumentarium zum Vollzug des Strahlenschutzes im Rahmen der Baugesetzgebung zur Verfügung gestellt. Gemäß EU-Bauprodukteverordnung (siehe [Seite 147](#)) darf ein Bauprodukt in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die Grundanforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt. Auf der Grundlage der Landesbauordnungen ist die Verwendbarkeit der Bauprodukte geregelt. Mit dem Mandat M/366 [1] hat die Europäische Kommission die europäischen Normungsinstitute CEN und CENELEC mit der Entwicklung harmonisierter Untersuchungsmethoden von gefährlichen Substanzen im Sinne der oben genannten Richtlinie beauftragt.

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

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
spezifische Aktivität (Bq/kg TM)						
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Granit	100	(30 - 500)	120	(17 - 311)	1000	(600 - 4000)
Granodiorit	56	(40 - 73)	44	(37 - 104)	850	(380 - 990)
Syenit	30		31		670	
Dolerit	20	(10 - 29)	30	(8 - 44)	290	(22 - 380)
Gneis	75	(50 - 157)	43	(22 - 50)	900	(830 - 1500)
Diabas	16	(10 - 25)	8	(4 - 12)	170	(100 - 210)
Basalt	26	(6 - 36)	29	(9 - 37)	270	(190 - 380)
Granulit	10	(4 - 16)	6	(2 - 11)	360	(9 - 730)
Grauwacke	41	(26 - 51)	35	(13 - 46)	760	(700 - 780)
Phonolit	56		104		1270	
Amphibolit	8		9	(8 - 9)	260	(180 - 310)
Serpentinit	3		7		180	
Quarzporphyr	54	(15 - 86)	77	(53 - 98)	1300	(1000 - 2100)
Porphyrtuff	47	(44 - 52)	206	(130 - 240)	720	(22 - 1700)
Orthophyr	17		22		1300	
Lamprophyr	17	(6 - 30)	12	(7 - 21)	270	(130 - 330)
Augitporphyrit	55	(46 - 61)	67	(57 - 79)	1100	(1000 - 1300)
Hornblendeschiefer	13		14		380	

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
spezifische Aktivität (Bq/kg TM)						
Frucht-/Phycodenschiefer	38	(34 - 45)	59	(56 - 73)	780	(760 - 930)
Oolit	19		31		580	
Augit	65		51		970	
Kalkstein/Marmor	24	(4 - 41)	5	(2 - 20)	90	(< 40 - 240)
Travertin	4		19		20	
Sandstein, Quarzit	20	(13 - 70)	25	(15 - 70)	500	(< 40 - 1100)
Kies, Sand, Kiessand	15	(1 - 39)	16	(1 - 64)	380	(3 - 1200)
Gips, Anhydrit	10	(2 - 70)	7	(1 - 100)	70	(6 - 380)
Flintstein	6		1		1	
Kaolin	90	(30 - 200)	100	(70 - 200)	600	(200 - 1000)
Lava	42	(20 - 70)	42	(25 - 60)	720	(490 - 890)
Tuff, Bims	100	(<20 - 200)	100	(30 - 300)	1000	(500 - 2000)
Ton, Lehm	40	(<20 - 90)	60	(18 - 200)	1000	(300 - 2000)
Finalbaustoffe, Bindemittel						
Ziegel/Klinker	50	(10 - 200)	52	(12 - 200)	700	(100 - 2000)
Beton	30	(7 - 92)	23	(4 - 71)	450	(50 - 1300)
Kalksandstein, Porenbeton	15	(6 - 80)	10	(1 - 60)	200	(40 - 800)
Leichtbeton (nicht spezifiziert)	30	(<20 - 90)	30	(< 20 - 80)	1100	(700 - 1600)
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:						
Bims	80	(20 - 200)	90	(30 - 300)	900	(500 - 2000)
Blähton, Blähschiefer	30	(< 20 - 80)	30	(< 20 - 60)	400	(40 - 700)
Schlacke	100	(20 - 700)	100	(20 - 200)	500	(300 - 1000)
Ziegelsplitt	40	(30 - 70)	60	(30 - 100)	500	(400 - 600)
Hohlblocksteine	40	(15 - 59)	25	(4 - 52)	320	(60 - 800)
Holzwohle-Leichtbauplatten	21	(19 - 25)	12	(11 - 14)	210	(50 - 360)
Wandfliesen	50	(15 - 100)	55	(25 - 130)	560	(250 - 1000)
Asbestzement	20	(< 20 - 40)	20	(11 - 40)	100	(< 40 - 300)
Schamotte	60	(20 - 100)	70	(40 - 200)	400	(200 - 600)
Ofenkacheln	74		70		310	
Schlackenwolle	94		31		110	
Schlämme	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)

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
spezifische Aktivität (Bq/kg TM)						
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)
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)	-	

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226 Mittelwert (Bereich)		Th-232 Mittelwert (Bereich)		K-40 Mittelwert (Bereich)	
	spezifische Aktivität (Bq/kg TM)					
(USA) NPK-Dünger	115	(20 - 210)	39	(15 - 63)	-	
(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

(BASIC INFORMATION ON ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

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 (Sources of artificial radioactivity)

1.1 Kernwaffenversuche (Nuclear weapons tests)

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 Radionuklidaten der CTBTO auf nationaler Ebene zuständig. Es ist für den Betrieb der deutschen Radionuklidstation auf dem Schauinsland bei Freiburg verantwortlich und in Zusammenarbeit mit der Vertragsorganisation an der Weiterentwicklung der Messtechnik und Optimierung des Verifikationssystems beteiligt. Mit seinem Edelgaslabor unterstützt es die CTBTO bei dem Aufbau eines Qualitätssicherungsprogramms für das Edelgasmessnetz.

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

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

Zivile und wissenschaftliche Nutzung des internationalen Messnetzes

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

Tabelle G II 1.1-1 Anzahl der Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2016
(Number of nuclear weapons tests in the years 1945 - 2016)

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	-	-	-	-
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	-	0	-	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
Summe	197	908	219	750	21	24	45	160	22	22	6	6	5

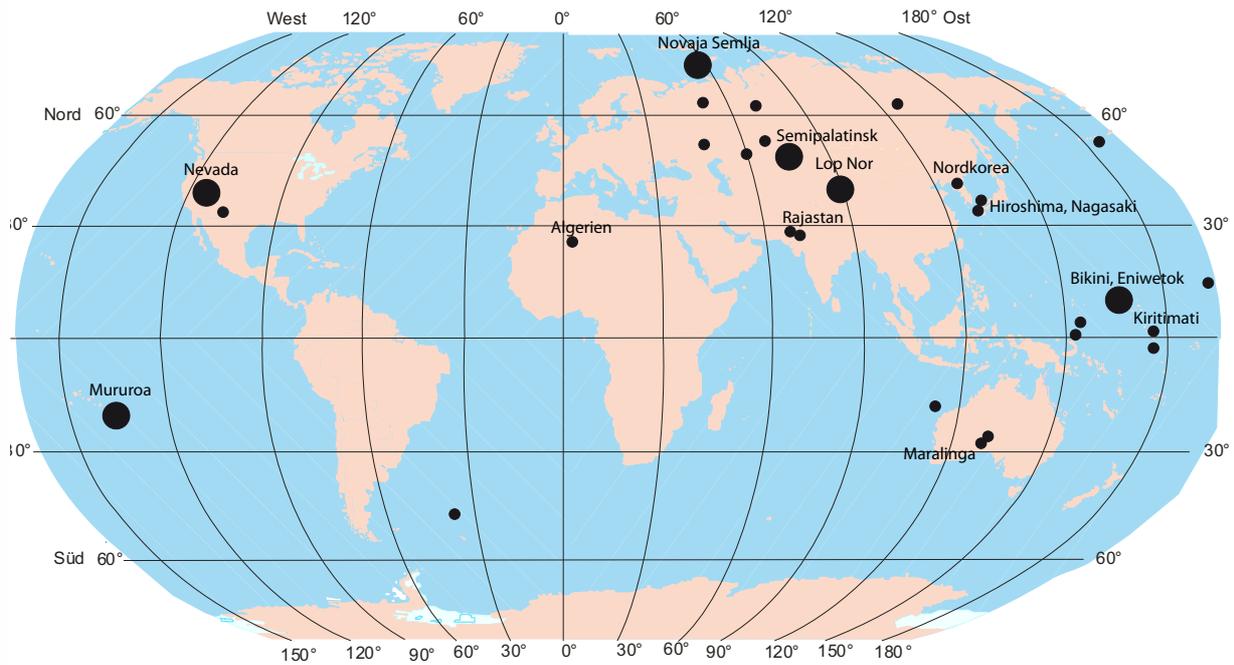


Abbildung G II 1.1-1Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (verändert nach UNSCEAR)
(Locations of nuclear explosions to date - modified according to data of UNSCEAR)

1.2 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall *(Chernobyl - radiation exposure from the accident)*

Tschernobyl

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

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland eine durch Radionuklide aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl verursachte mittlere effektive Dosis, die schon seit einigen Jahren unter $15 \mu\text{Sv}$ liegt. Diese Strahlenexposition wird zu mehr als 90 % durch die Bodenstrahlung von abgelagertem Cs-137 verursacht und wird entsprechend der Halbwertszeit dieses Radionuklids von ca. 30 Jahren in den folgenden Jahren um etwa 2,3 % pro Jahr zurückgehen. Im Vergleich zur mittleren effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von $2100 \mu\text{Sv}$ pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl in Deutschland sehr gering (siehe [Tabelle Seite 12](#)).

Literatur

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

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

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

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

1.3 Fukushima

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

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

Die Auswirkungen des Ereignisses waren in Deutschland mit Mitteln der Spurenanalytik kurzzeitig messbar, die Aktivitätswerte in Luft, Niederschlag und Nahrungsmitteln fielen aber schon im Laufe des Jahres 2011 wieder unter die Nachweisgrenzen. Die Kontamination durch den Unfall in Fukushima lag drei bis vier Größenordnungen (d. h. um den Faktor tausend bis zehntausend) unter den als Folge des Unfalls in Tschernobyl gemessenen Werten [2]. In Deutschland waren seit der zweiten Jahreshälfte 2011 keine erhöhten Radionuklidaktivitäten aus der Fukushima-Katastrophe mehr nachweisbar. In Zeitreihen ist der Einfluss des Fukushima-Ereignisses erkennbar, z. B. in [Abbildung B II 2.1-1](#) und [Abbildung B II 2.1-5](#). Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Spurenmessstellen im Rahmen der Ereignisse von Fukushima befindet sich in Teil III im „Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz“ [3] und [4]. Weiterführende aktuelle Informationen sind auf der Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz veröffentlicht (www.bfs.de/DE/themen/kt/unfaelle/fukushima/fukushima.html).

Radionuklide in der Luft

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

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

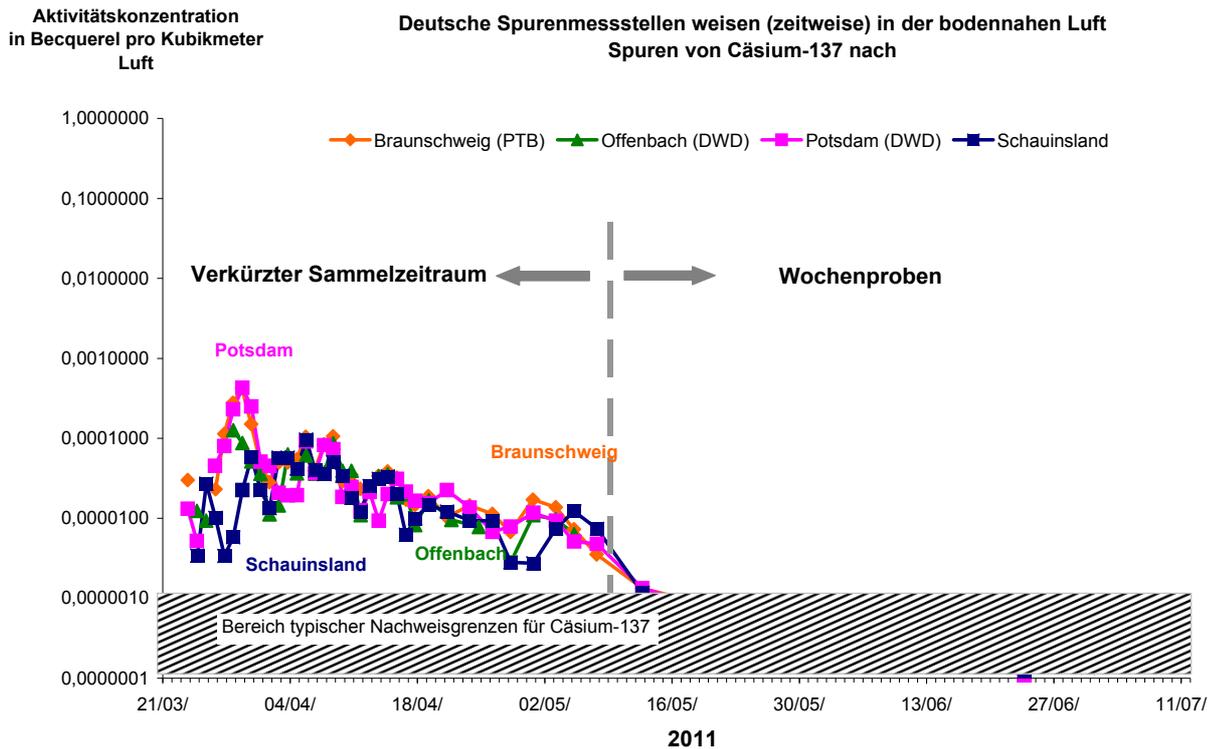
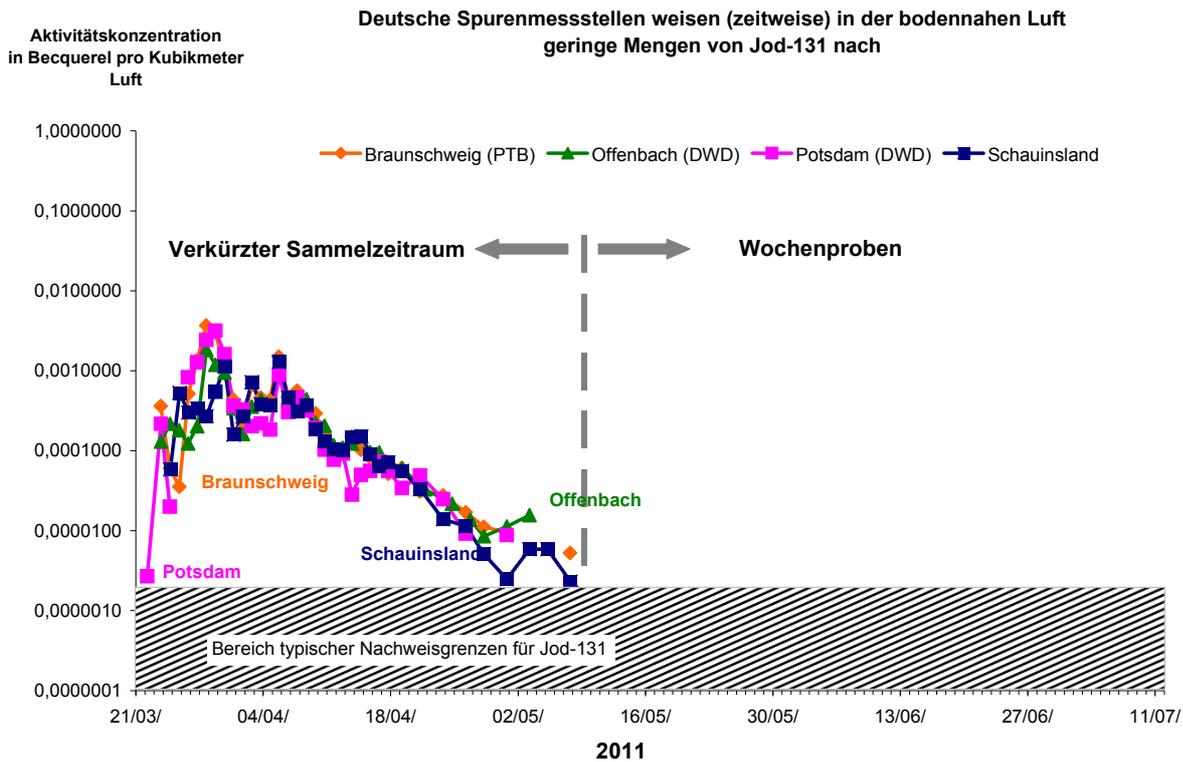


Abbildung G II 1.3-1 Aktivitätskonzentrationen von I-131 und Cs-137 an den deutschen Spurenmessstellen, die Bestandteil des EU-Sparse Network sind
(Activity concentrations of I-131 and Cs-137 in ground-level air at those German sampling sites, which are part of the EU-Sparse Network)

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

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

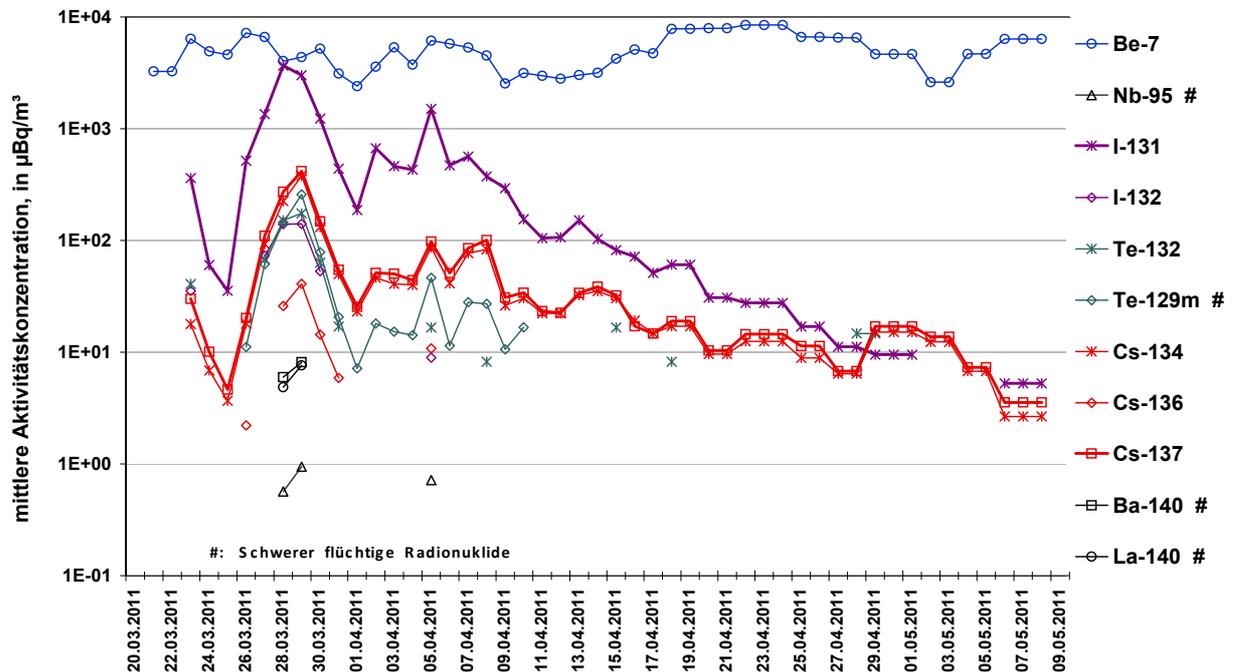


Abbildung G II 1.3-2 Aktivitätskonzentrationen verschiedener Radionuklide aus Fukushima in der bodennahen Luft im Zeitraum März 2011 bis Mai 2011 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations of several radionuclides from Fukushima in ground-level air at the sampling site Braunschweig in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

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

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

Radionuklide im Niederschlag

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

Radionuklide im Meerwasser

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

Radionuklide in Binnengewässern

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

Radionuklide in Blattgemüse, Milch und Weidenbewuchs

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

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

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

Radionuklide in importierten Fischereierzeugnissen

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

Bewertung des in Deutschland beobachteten Einflusses der Freisetzungen in Fukushima

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

Konsequenzen aus dem Reaktorunglück in Fukushima

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 wird in den nächsten Jahren einen wichtigen Meilenstein in der Neuordnung des Notfallschutzes darstellen.

Literatur

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

1.4 Anlagen nach Atomgesetz - Allgemeine Angaben *(Facilities according to the Atomic Energy Act - general data)*

Der aktuelle Bestand kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland ist in [Teil B - II -1.4](#) dargestellt. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und die daraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung gelten die Vorschriften der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe ist in § 47 StrlSchV geregelt. Für die Planung, die Errichtung, den Betrieb, die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau von Anlagen oder Einrichtungen sind hier jeweils Grenzwerte für die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen bedingte Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr festgelegt. Für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert jeweils 300 µSv über Luft bzw. Wasser, für die Schilddrüsendosis 900 µSv pro Jahr.

Bei kerntechnischen Anlagen werden von der zuständigen Genehmigungsbehörde im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zusätzlich Höchstwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser festgelegt. In einem radioökologischen Gutachten ist dabei nachzuweisen, dass auch bei voller Ausschöpfung dieser Genehmigungswerte

die Dosisgrenzwerte nach § 47 StrlSchV nicht überschritten werden. Darüber hinaus besteht nach § 6 StrlSchV die Verpflichtung, jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Die Ableitungen aus Anlagen oder Einrichtungen sind nach § 48 StrlSchV zu überwachen und nach Art und Aktivität spezifiziert der zuständigen Aufsichtsbehörde mindestens jährlich mitzuteilen. Die Anforderungen der Emissions- und Immissionsüberwachung sind in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) aufgeführt. Ziel dieser Richtlinie ist es, eine Beurteilung der aus der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen zu ermöglichen und die Kontrolle der Einhaltung der Emissions- und Dosisgrenzwerte zu gewährleisten.

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Aktivitätsmessungen und Messnetze (*Activity measurements and monitoring networks*)

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

Nach Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren und dem großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung in Deutschland in den 60er Jahren wurde zusätzlich zur Überwachung der Umweltradioaktivität die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen bezüglich Emissionen und Immissionen von Radionukliden erforderlich. Die einzelnen Messaufgaben für die Betreiber und die behördlichen Messstellen sind in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) festgesetzt. Diese im Jahr 1993 verabschiedete Richtlinie wurde nach der Novellierung der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 überarbeitet und gilt seit dem 01.01.2006 in der neuen Fassung.

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

Überwachung der Umweltradioaktivität

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

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

Die Länder ermitteln in ihren ca. 50 Messlabors die Radioaktivität

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

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

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

Die Emissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen nach der REI dient der Erfassung der aus Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen und einer Kontrolle der Einhaltung von maximal zulässigen Aktivitätsabgaben sowie von Dosisgrenzwerten. Die Emissionsüberwachung wird durch Messungen der Immissionsüberwachung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ergänzt. Die Messungen im Rahmen der

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

Nach § 48 Abs. 1 StrlSchV ist u. a. dafür zu sorgen, dass die Ableitung radioaktiver Stoffe überwacht und nach Art und Aktivität spezifiziert wird (Emissionsüberwachung). Zu diesem Zweck werden die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser erfasst. Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition in der Umgebung des Emittenten ermittelt. Die Überwachung von Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Spezifikation nach Art und Aktivität ist Grundlage für die Beurteilung der Einhaltung der maximal zulässigen Aktivitätsabgaben. Die Emissionsüberwachung muss sowohl für den bestimmungsgemäßen Betrieb (§ 47 Abs.1 StrlSchV) als auch für den Störfall/Unfall eine Beurteilung erlauben, ob die Dosisgrenzwerte oder Eingreifrichtwerte der Strahlenschutzvorsorge und des Katastrophenschutzes überschritten werden. Für eine schnelle Verfügbarkeit von Messwerten zur Abschätzung radiologischer Auswirkungen werden auch hier automatisch arbeitende Messeinrichtungen eingesetzt.

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

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

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

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

Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren

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

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

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

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

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

Literatur

- [1] Empfehlung der Kommission vom 08. Juni 2000 zur Anwendung des Artikels 36 Euratom-Vertrag betreffend die Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes der Umwelt zur Ermittlung der Exposition der Gesamtbevölkerung, Amtsblatt Nr. L 191 vom 27.07.2000, S.0037- 0040
- [2] Glossar der Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung; ISSN 1865-8725, www.bmub.bund.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/radioaktivitaet-in-der-umwelt/messanleitungen/

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung (*Air and precipitation, ambient gamma dose rate*)

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

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

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

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

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

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

Die Emissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen nach der REI dient der Erfassung der aus Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen und einer Kontrolle der Einhaltung von maximal zulässigen Aktivitätsabgaben sowie von Dosisgrenzwerten. Auf die Bestimmung der Strahlenexposition aus

Emissionsdaten muss deshalb zurückgegriffen werden, weil die Aktivitätskonzentrationen der aus kerntechnischen Anlagen abgeleiteten Radionuklide in den Umweltmedien Luft und Wasser sowie in den Nahrungsmitteln im Allgemeinen so gering sind, dass sie messtechnisch nicht nachgewiesen werden können. Die Aktivitätsableitungen sind dagegen genügend genau erfassbar.

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

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

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

2.2 Nord- und Ostsee (North Sea and Baltic Sea)

Meerwasser

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

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

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

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

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

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

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

Die Einleitungen aus den Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague und Sellafield lagen in den 70er Jahren um mehrere Größenordnungen höher als in den letzten Jahren. Erhebliche Anstrengungen der Betreiber auf internationalen Druck hin führten dazu, dass die Einleitungen beider Wiederaufarbeitungsanlagen für fast alle Radionuklide extrem stark reduziert wurden. Dies führt auch im Wasser der Nordsee zu deutlich geringeren Konzentrationen der meisten künstlichen Radionuklide. So nahm bis Ende der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der mittleren Nordsee

mit einer durch den Transport bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab und hat heutzutage nahezu die Hintergrundkonzentration des globalen Fallouts im Wasser des Nordatlantiks erreicht.

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch den Tschernobyl-Unfall eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegat ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen und den Ein- und Ausstromereignissen durch die Beltsee. Der zeitliche Verlauf schwankt weniger stark im Bereich der Arkonasee, wo der Ein- und Ausstrom weniger deutlich zum Ausdruck kommt. Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen. Inzwischen nimmt folglich auch in der Ostsee die Cs-137-Aktivitätskonzentration deutlich ab. Es wird geschätzt, dass der Vor-Tschernobylzustand in der zentralen Ostsee mit einer Aktivitätskonzentration von 15 Bq/m^3 frühestens im Jahr 2030 erreicht werden wird.

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

Sedimente

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

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

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

2.3 Binnengewässer (inland water)

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

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

Bei den Radionukliden in Binnengewässern handelt es sich zum einen um Radionuklide natürlichen, d. h. kosmogenen, primordialen und radiogenen Ursprungs: H-3, Be-7, K-40 sowie die Nuklide der Thorium- und Uran-Zerfallsreihen. Zum anderen werden künstliche Radionuklide nachgewiesen: H-3 stammt neben dem natürlichen Anteil aus dem Fallout der Kernwaffenversuche der 50er und 60er Jahre sowie aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen und Isotope verarbeitender Betriebe. Die langlebigen Spaltprodukte Sr-90 und Cs-137 wurden hauptsächlich durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffenversuche und als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl 1986 in die Gewässer eingetragen. Eine relevante Beeinflussung durch das Fukushima-Ereignis war nicht aufzeigbar. In geringem Ausmaß treten weiterhin die Aktivierungsprodukte Co-58 und Co-60 aus kerntechnischen Anlagen auf. Das vergleichsweise kurzlebige I-131 stammt meist aus nuklearmedizinischen Anwendungen.

Die Konzentration der natürlichen Radionuklide unterliegt im Allgemeinen keinen kurzfristigen Veränderungen und bedarf daher nicht der ständigen Überwachung, obwohl diese derzeit den Hauptanteil an der Strahlenexposition durch Radionuklide in der Umwelt beiträgt. Im Rahmen der o. g. Überwachungsaufgaben werden daher besonders die künstlichen Radionuklide regelmäßig überwacht, um ihre zeitlichen Veränderungen und ihre möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu verfolgen. Die diesbezüglichen Ergebnisse für die jährliche Berichterstattung sind in [Teil B - II - 2.2](#) dieses Berichts jeweils für Überwachung nach dem StrVG bzw. der REI zusammengefasst und erläutert.

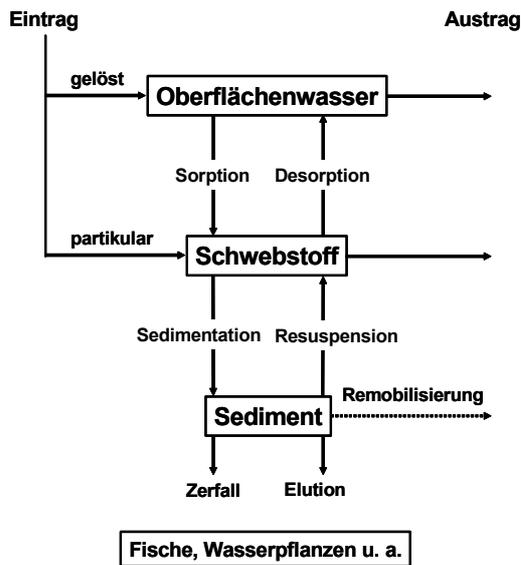


Abbildung G II 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten radioaktiver (und anderer) Stoffe in Fließgewässern
(Simplified model to evaluate the exchange and transport behavior of radioactive and other substances in rivers)

2.4 Böden (Soils)

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 (*Foodstuff, groundwater, and drinking water*)

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

Grundwasser und Trinkwasser

Gemäß dem Routinemessprogramm (RMP) zum StrVG 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 Nahrungsmitteln und im Boden.

Fische und Fischereiprodukte aus Meeren und Binnengewässern

Die Ermittlung der Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in aquatischen Organismen ist eine Gemeinschaftsaufgabe des Bundes und der Bundesländer. Die Messstellen der Bundesländer ermitteln unter dem Aspekt der Lebensmittelüberwachung im Rahmen des Routinemessprogramms (RMP) StrVG spezifische Aktivitäten in Fischen, Krustentieren 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 Meeresäugern angereichert. Die Quellen künstlicher Radionuklide in Fisch sind dabei dieselben wie für Meerwasser und Binnengewässer ([Teil - B - II - 2.2](#)). Die in den Fischen ermittelten Aktivitätskonzentrationen richten sich neben Eigenheiten der betrachteten Fische (z. B. nach deren Lebensgewohnheiten, Wachstumsstadium, etc.) auch nach den Eigenschaften des jeweiligen Gewässers (z. B. Eintragsmenge von Radionukliden, Größe, Wasseraustausch). So sind beispielsweise die höheren Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 in Fisch aus der Ostsee im Vergleich zu denen aus der Nordsee (siehe [Tabelle G II 2.4-1](#)) die Folge des höheren Eintrages durch die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl verbunden mit einem geringen Wasseraustausch. Durch Letztere reduziert sich die Kontamination des Wassers langsamer als in anderen Meeren ([Teil - B - II - 2.2](#)), was sich auch bei den Organismen widerspiegelt. Die Aktivitätskonzentrationen von Cs -137 in Fischen sind allerdings nicht über die ganze Ostsee konstant, sondern nehmen von West nach Ost zu. So liegen die aktuellen Messwerte von Fischen aus der Kieler Bucht im Bereich der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessenen Werte [1]

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

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

Gewässer	Region	Median der spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM			
		1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014
Binnenseen	Norddeutschland	5,55	2,92	2,13	1,72
	Mitteldeutschland	0,26	0,16	0,23	0,12
	Süddeutschland	7,48	2,13	0,96	1,65
Fischteiche	Norddeutschland	0,73	0,63	0,26	0,20
	Mitteldeutschland	0,40	0,21	0,15	0,14
	Süddeutschland	0,35	0,20	0,18	0,14
Fließgewässer	Norddeutschland	0,55	0,89	0,33	0,21
	Mitteldeutschland	0,27	0,24	0,15	0,09
	Süddeutschland	0,30	0,14	0,19	0,15
Meer	Nordsee	0,45	0,29	0,18	0,14
	Ostsee	6,58	4,16	4,13	3,86

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

Lebensmittel

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

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

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

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung werden in diesem Bericht nur in komprimierter Form wiedergegeben. Die aktuellen Daten hierzu finden Sie in [Teil B - II - 2.5.7](#).

Messwerte von Aktivitätskonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln in der Umgebung kerntechnischer Anlagen sind in [Teil B - II - 2.5.8](#) dargestellt.

Literatur

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

2.6 Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe (Commodities, medicinal products and their raw materials)

Die Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände ist nach § 11 Abs. 9 Nr. 15 StrVG unter anderem für die Zusammenfassung, Aufbereitung und Dokumentation der Radioaktivitätsmessdaten der genannten Produktgruppen zuständig. Die Leitstelle überwacht routinemäßig in größerem Umfang vor allem Arzneimittel-pflanzen 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

Radionuklide Cs-137 weisen je nach Art und lokalen Gegebenheiten, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaugebieten, erhebliche Variabilitäten auf. Hohe spezifische Aktivitäten werden etwa in Islandmoos aus den vom Tschernobyl-Fallout betroffenen Gebieten Europas gemessen. In der Regel werden in den gammaspektrometrisch untersuchten Pflanzenproben außer Cs-137 keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen, d. h. die Messwerte liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

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

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

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

2.7 Abwasser und Klärschlamm (*Waste water and sewage sludge*)

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

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

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

Literatur

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

2.8 Abfälle (*Waste*)

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 Stoffkreis-

lauf 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 StrVG 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 (*Monitoring of incorporation among the population*)

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

(BASIC INFORMATION ON OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE)

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 (*Monitoring with personal dosimeters*)

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 (*Aircraft crew monitoring*)

Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis des Flugpersonals und geben diese Werte über das Luftfahrt-Bundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. Das Strahlenschutzregister führt für fliegendes Personal regelmäßig detaillierte Auswertungen durch, die als separater Bericht des BfS veröffentlicht werden (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201108016029>).

Die aktuellen Daten zur Überwachung des fliegenden Personals sind in [Teil B - III - 2](#) dargestellt.

3. Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition (*Monitoring of radon enhanced workplaces*)

Nach § 95 der StrlSchV hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen (§ 95 Abs. 1). Wird dabei eine erhöhte Strahlenexposition festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2) und für die betroffenen Personen ist die Körperdosis zu ermitteln. Dazu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt und die Körperdosis der Beschäftigten berechnet.

Für die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues durchführen, werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Dazu werden Messungen mit personengetragenen Geräten durchgeführt.

Die aktuellen Daten zur Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition sind in [Teil B - III - 3](#) dargestellt.

4. Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen (*Incorporation monitoring of occupationally exposed persons*)

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

*(BASIC INFORMATION ON RADIATION EXPOSURES
FROM MEDICAL APPLICATIONS)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Diagnostische Strahlenanwendungen (*Diagnostic applications of radiation*)

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

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

Die aktuellen Daten zu Häufigkeit und Dosis von Röntgen- und nuklearmedizinischen Untersuchungen sind in [Teil B - IV - 1.1](#) bzw. [1.2](#) dargestellt. In [Teil B - IV - 1.3](#) erfolgt eine strahlenhygienische Bewertung der Daten. In [Teil B - IV - 1.4](#) wird abschließend eine Abschätzung der Häufigkeit alternativer bildgebender Diagnoseverfahren gegeben.

1.1 Röntgendiagnostik (*X-ray diagnostics*)

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 die Angiographie (d. h. die Darstellung von Gefäßen nach Gabe eines Röntgenkontrastmittels). Mit Angiographien können interventionelle Maßnahmen einhergehen, d. h. Verfahren, bei denen unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, wie z. B. die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass oftmals risikoreiche Operationen – insbesondere bei älteren Patienten – vermieden werden können. Bei Röntgendurchleuchtungen ist die Strahlendosis für den Patienten im Vergleich zu einer konventionellen Röntgenaufnahme zum Teil deutlich höher.

Die Computertomographie (CT) ist ein Schnittbildverfahren der Röntgendiagnostik, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten fahren und eine Vielzahl von Röntgenaufnahmen aus unterschiedlichen Richtungen (Projektionen) erzeugen. Aus diesen Projektionsbildern werden mit Hilfe eines Computerprogramms überlagerungsfreie Querschnittsbilder erzeugt. Mehrschicht- Computertomographen (MS-CT) erfassen gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit deutlich verkürzt werden konnte. Dies ist für den Patienten weniger belastend und es erlaubt zusätzlich, auch funktionelle Fragestellungen zu beantworten. Die CT hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit keinem anderen Röntgenverfahren erreicht wird. Auf Grund der vergleichsweise hohen Strahlenexposition ist jedoch eine besonders strenge Stellung der rechtfertigenden Indikation durch den anwendenden Arzt erforderlich. Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die komplexeren Verfahren sind in [Tabelle T IV.1](#) zusammengestellt.

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

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

Ärztliche Leistungen werden über spezielle Gebührensätze abgerechnet, die die ärztlichen Maßnahmen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschreiben. Da ca. 98 % der deutschen Bevölkerung gesetzlich oder privat krankenversichert sind, kann die Häufigkeit von radiologischen Untersuchungen gut mit Hilfe dieser Gebührensätze abgeschätzt werden. Diese werden dem BfS von der Kassenärztlichen und Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KBV, KZBV) und durch den Verband der privaten Krankenversicherung (PKV) zur Verfügung gestellt (KBV bzw. KZBV: Ziffern nach dem Einheitlichen Bewertungsmaßstab EBM, ab 2. Quartal 2005 EBM 2000plus, bzw. BEMA; PKV: Ziffern nach der Gebührenordnung für Ärzte GOÄ). Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer eingespielt. In Deutschland finden die weitaus meisten radiologischen Untersuchungen im ambulanten Bereich statt (ca. 80 %). Mithilfe der vollständigen Häufigkeitsstatistiken der KBV und KZBV kann somit bereits der größte Teil der Röntgendiagnostik abgeschätzt werden. Die PKV-Daten umfassen nur eine Stichprobe in der Größenordnung von etwa einem Promille aller in einem Jahr abgerechneten Röntgenleistungen. Schätzungen für den ambulanten Bereich sind für Privatversicherte daher mit größeren Unsicherheiten behaftet. Hochgerechnet entfällt etwa ein Achtel der insgesamt in Deutschland erbrachten ambulanten Röntgenleistungen auf die PKV.

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

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

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

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

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik (*Nuclear medicine, diagnostics*)

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.

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

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 und stationären Patienten werden aus den Abrechnungsstatistiken des Verbandes der privaten Krankenversicherung (PKV) bestimmt. Die Häufigkeit der Einzeluntersuchungen der privaten Patienten und die fehlenden Daten der stationären Kassenpatienten werden auf der Basis von relativen Häufigkeitsdaten der Untersuchungsarten abgeschätzt, die im Rahmen eines Ressortforschungsvorhabens ermittelt wurden. In dieses Forschungsvorhaben gingen sämtliche nuklearmedizinischen Untersuchungen der Jahre 2007 und 2008 aus 48 nuklearmedizinischen Einrichtungen (23 Praxen, 25 Krankenhäuser) ein.

Die kollektive effektive Dosis pro nuklearmedizinischer Radiotracer-Applikation und die effektive Dosis pro Kopf werden nach den ICRP-Publikationen 80 und 106 bestimmt. Mittlere effektive Dosiswerte für diese Untersuchungen wurden mit

Hilfe der Daten der 48 Einrichtungen des oben genannten Forschungsvorhabens bezüglich der verwendeten Radiopharmaka und applizierten Aktivitäten abgeschätzt.

Aktuelle Daten zur Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen sind in [Teil B - IV - 1.2](#) enthalten.

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen (*Evaluation of exposures resulting from radio-diagnostic procedures*)

Die strahlenhygienische Bewertung aktueller Daten ist in [Teil B - IV - 1.3](#) dargestellt.

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren (*Alternative examination procedures*)

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 Gewebeeinformationen 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 (*Quality assurance*)

Mit Inkrafttreten der StrlSchV im Jahr 2001 und den überarbeiteten Regelungen der RöV im Jahr 2002 wurde die rechtliche Basis für verschiedene Maßnahmen geschaffen, die das Ziel haben, die medizinische Strahlenexposition zu reduzieren und den Strahlenschutz der Patienten zu verbessern.

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

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

Durch die Pflicht, Patienten nach früheren radiologischen Untersuchungen zu befragen sowie radiologische Bilder an nachbehandelnde Ärzte weiterzugeben, sollen Wiederholungsuntersuchungen vermieden werden. Auch der Röntgenpass soll dazu beitragen, unnötige Röntgenuntersuchungen zu vermeiden. Leider haben sich die Erwartungen an die Einführung eines Röntgenpasses bisher noch nicht erfüllt, da sich die Pflicht, Röntgenpässe aktiv anzubieten, in der Praxis noch nicht ausreichend durchgesetzt hat.

Die Einführung dosissparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von Belichtungsautomatiken, gepulster Durchleuchtung, des „Last Image Hold“ bei Durchleuchtungen und interventionellen Eingriffen (d. h., das letzte Durchleuchtungsbild bleibt nach Abschaltung der Röntgenstrahlung auf dem Monitor erhalten), der Einsatz der Strom-

und Spannungsmodulation sowie iterativer Rekonstruktionsalgorithmen bei tomographischen Verfahren und digitaler Detektortechnik, insbesondere von digitalen Vollfelddetektorsystemen (DR-Systeme), trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei wie die vorgeschriebenen Qualitätssicherungsmaßnahmen in den Röntgeneinrichtungen.

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

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

2. Therapeutische Strahlenanwendungen (*Therapeutic applications of radiation*)

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 (*Radiotherapy*)

Im Vergleich zur radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik ist die Anwendung der Strahlentherapie, von wenigen Ausnahmen abgesehen, auf einen relativ kleinen, aber schwer erkrankten Teil der Bevölkerung (meist Patienten mit einer Krebserkrankung) beschränkt. Zur Behandlung des bösartigen Tumors wird eine hohe Strahlendosis in einem definierten Körperbereich („Zielvolumen“) appliziert. Gleichzeitig soll das benachbarte gesunde Gewebe so weit wie möglich geschont werden. Da in der Strahlentherapie diese hohen Dosen notwendig sind, um im erkrankten Bereich die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische Strahlenexposition zu charakterisieren.

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

Zu den wichtigen Techniken gehören u. a. die bildgeführte Radiotherapie (IGRT image guided radiotherapy), bei der beispielsweise vor jeder einzelnen strahlentherapeutischen Behandlung CT-ähnliche Kontrollen der korrekten Patientenpositionierung erfolgen können, sowie die intensitätsmodulierte Radiotherapie (IMRT), bei der die Strahlendosis innerhalb eines jeden Bestrahlungsfeldes verändert (moduliert) werden kann. Eine mit diesen Techniken erreichbare bessere Konzentration der Strahlentherapie-Dosis auf das Zielvolumen („Konformität“) kann für den behandelten Patienten bedeuten, dass sich seine Heilungschancen erhöhen, während unerwünschte Nebenwirkungen seltener auftreten.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Bestrahlungsart ist die in sog. Linearbeschleunigern erzeugte, von außen durch die Haut des Patienten applizierte Photonenstrahlung (perkutane Bestrahlung). In zunehmendem Maße kommt an neu errichteten Zentren auch Teilchenstrahlung (Protonen, Schwerionen) zum Einsatz, deren grundsätzlich vorteilhafte physikalische Eigenschaften eine bessere Schonung gesunden Körpergewebes erwarten lassen. Hinsichtlich des resultierenden Nutzen-Risiko-Verhältnisses wird sie derzeit noch im Rahmen klinischer Studien bewertet. Als weitere Alternative steht die sog. Brachytherapie zur Verfügung, bei der eine radioaktive Strahlenquelle in direkter räumlicher Nähe zum Zielvolumen platziert wird.

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

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

In den von der Deutschen Krebsgesellschaft herausgegebenen „Kurzgefassten interdisziplinären Leitlinien“ wird detaillierter auf die Prinzipien der Strahlentherapie sowie auf die einzelnen Bestrahlungsindikationen eingegangen.

Aktuelle Daten sind in [Teil B - IV - 2.1](#) dargestellt.

2.2 Nuklearmedizinische Therapie (*Therapy with radiopharmaceuticals*)

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

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

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

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

3. Medizinische Forschung (*Medical research*)

Sowohl für die Grundlagenforschung als auch die Erprobung neuer diagnostischer und therapeutischer Methoden bzw. Mittel sind Studien am Menschen unerlässlich. Studienteilnehmer, bei denen zum Zweck der medizinischen Forschung ionisierende Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) und radioaktive Stoffe angewendet werden sollen, werden in Deutschland in besonderer Weise, nämlich durch eine Genehmigungspflicht, geschützt. Für die Erteilung dieser Genehmigungen ist seit 2001 das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zuständig. Aktuelle Daten sind in [Teil B - IV - 3](#) dargestellt.

4. Herzschrittmacher (*Pacemakers*)

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.

Die gemeldeten Implantationen und Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen sind in [Teil B - IV - 4](#) zusammengefasst.

V GRUNDLAGEN ZUM UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

(BASIC INFORMATION ON THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe (*Border-crossing transport of radioactive material*)

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 Artikel 1 des Gesetzes vom 20. November 2015 (BGBl. I S. 2053), bedarf derjenige, der Kernbrennstoffe ein- oder ausführt, einer Genehmigung. § 19 Abs. 1 und 2 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist, regelt die Genehmigungspflicht der Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe einschließlich hochradioaktiver Strahlenquellen. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung der Ein- und Ausfuhr von Kernbrennstoffen bzw. sonstiger radioaktiver Stoffe sind in § 3 Abs. 2 und 3 AtG bzw. § 22 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegt. § 20 StrlSchV normiert die unter bestimmten Voraussetzungen mögliche genehmigungsfreie, jedoch anzeigepflichtige grenzüberschreitende Verbringung von sonstigen radioaktiven Stoffen oder kleinen Massen an Kernbrennstoffen. Ausnahmen von der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht werden in § 21 Abs. 1 StrlSchV geregelt. Zuständige Behörde für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhr genehmigungen und die Bearbeitung der Anzeigen nach deren zollamtlicher Abfertigung (Nicht-EU-Staaten) ist nach § 22 Abs. 1 AtG das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Für die Genehmigung der Beförderung von Kernbrennstoffen und Großquellen ist nach § 23 Abs. 1 Nr. 3 AtG das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig. Großquellen im Sinne des Gesetzes sind gemäß § 23 Abs. 2 AtG radioaktive Stoffe, deren Aktivität je Beförderungs- oder Versandstück den Aktivitätswert von 1000 Terabequerel (10^{15} Bq) übersteigt.

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

Verfahren

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

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

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Ausfuhr von Kernbrennstoffen gemäß § 3 Abs. 1 AtG immer genehmigungspflichtig. Die Einfuhr ist grundsätzlich genehmigungspflichtig, es sei denn, die Kernbrennstoffe werden nur in Kleinmengen (welche je nach Anteil des spaltbaren Materials gestaffelt sind) in das Bundesgebiet verbracht und es ist dafür Vorsorge getroffen, dass die zu verbringenden Kernbrennstoffe nach der Einfuhr erstmals an Personen/Institutionen abgegeben werden, denen eine Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG erteilt ist. In diesen Fällen besteht lediglich eine Anzeigepflicht (§ 20 Abs. 3 StrlSchV).

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

Aus § 19 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV ergibt sich die Genehmigungspflicht für die grenzüberschreitende Verbringung sonstiger radioaktiver Stoffe, deren Aktivität je Versandstück das 10^8 -fache der in dieser Norm festgeschriebenen Freigrenzen beträgt oder überschreitet und für Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG. Der Regelungsbereich von § 19 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV beschränkt sich auf die Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe und Kernbrennstoffe nach § 2 Abs. 3 AtG aus dem Geltungsbereich dieser Verordnung in einen Nicht-EU-Staat.

Aus § 20 Abs. 1 Nr. 2 StrlSchV lassen sich die Konstellationen entnehmen, in denen lediglich eine Anzeige der grenzüberschreitenden Verbringung erforderlich ist. So bedarf insbesondere die Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe oder von Kernbrennstoffen gemäß § 2 Abs. 3 AtG, die nicht von dem Genehmigungsvorbehalt von § 19 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV erfasst sind, in einen Staat, der nicht Mitgliedstaat der Europäischen Union ist, einer Anzeige gegenüber dem BAFA. Ferner ist die Einfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe oder von Kernbrennstoffen nach § 2 Abs. 3 AtG aus einem Nicht-EU-Staat grundsätzlich anzeigepflichtig, siehe § 20 Abs. 1 Nr. 1 StrlSchV.

§ 21 Abs. 1 StrlSchV fasst die Fälle zusammen, in denen weder eine Genehmigungspflicht noch eine Anzeigepflicht für die grenzüberschreitende Verbringung von radioaktiven Stoffen besteht. So gelten die dargestellten Genehmigungs- und Anzeigevorbehalte nicht für Stoffe, die in der Anlage I (genehmigungsfreie Tätigkeiten) Teil B Nr. 1 bis 6 genannt sind, siehe § 21 Abs. 1 Nr. 1 StrlSchV. Ferner ist eine zollamtlich überwachte Durchfuhr von sonstigen radioaktiven Stoffen und Kernbrennstoffen nach § 2 Abs. 3 AtG anzeige- und genehmigungsfrei, siehe § 21 Abs. 1 Nr. 2 StrlSchV. Zudem entfällt die Genehmigungs- und Anzeigepflicht insbesondere dann, wenn sonstige radioaktive Stoffe oder Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG lediglich zur eigenen Nutzung im Rahmen eines genehmigten Umgangs vorübergehend grenzüberschreitend verbracht werden, siehe § 21 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchV. Schließlich ist die grenzüberschreitende Verbringung von Konsumgütern, denen radioaktive Stoffe zugesetzt oder die aktiviert worden sind, unter den in § 108 S. 2 StrlSchV genannten Voraussetzungen genehmigungs- und anzeigefrei, § 21 Abs. 1 Nr. 4 StrlSchV.

Hochradioaktive Strahlenquellen

Seit der Änderung der Strahlenschutzverordnung durch das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 18./19. August 2005 (BGBl. I S. 2365) werden bei den umschlossenen radioaktiven Stoffen zusätzlich solche unterschieden, die hochradioaktiv sind. Die Grenze für die Unterscheidung ist vom entsprechenden Radionuklid abhängig und wird in der neu eingeführten Spalte 3a in Tabelle 1 in Anlage III zur Strahlenschutzverordnung angegeben. Beispielsweise gilt eine Cobalt-60-Strahlenquelle ab einer Aktivität von 4 GBq als hochradioaktiv. Brennelemente und verfestigte hochradioaktive Spaltproduktlösungen aus der Aufarbeitung von Kernbrennstoffen sind keine hochradioaktiven Strahlenquellen, siehe § 3 Abs. 2 Nr. 29 b) bb) StrlSchV. § 19 Abs. 1 und 2 StrlSchV regelt eine Genehmigungspflicht für die Einfuhr und die Ausfuhr hochradioaktiver Strahlenquellen aus bzw. in Staaten, die nicht Mitgliedsstaat der EU sind, sofern die Strahlenquelle die in § 19 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegte Aktivität überschreitet, der Schutzbehälter der Strahlenquelle nicht die nach § 68 Abs. 1a StrlSchV erforderliche Kennzeichnung aufweist oder die nach § 69 Abs. 2 S. 4 StrlSchV vorgeschriebene Dokumentation nicht beigefügt ist.

Die, auch nur vorübergehende, Verbringung hochradioaktiver Strahlenquellen mit einer Aktivität unterhalb der in § 19 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegten bedarf stets einer Anzeige, § 20 Abs. 1 S. 1 StrlSchV.

Anzeigeverfahren

Die nach § 20 Abs. 1 StrlSchV einer Anzeigepflicht unterliegende grenzüberschreitende Verbringung ist gegenüber dem BAFA anzuzeigen. Dabei ist für die Anzeige das vom BAFA vorgegebene Formular zu verwenden. Die Anzeige ist beim BAFA auf der dazu vorgesehenen Internetseite und spätestens im Zusammenhang mit der Zollabfertigung bei den zuständigen Zolldienststellen abzugeben. Die zuständige Zolldienststelle vergleicht die Anzeige mit den Frachtpapieren und bestätigt ggf. die Übereinstimmung der Angaben. Werden grobe Unregelmäßigkeiten festgestellt, wird die Sendung zurückgewiesen. In allen Fällen werden Unregelmäßigkeiten auf der Anzeige vermerkt, die dem BAFA auf elektronischem Wege übersandt wird.

Genehmigungsverfahren

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

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

Das BAFA überprüft bei Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen sowohl Anzeigen als auch Genehmigungen im Nachhinein auf Übereinstimmung mit den Bestandsänderungsberichten, die gemäß Euratom-Verordnung Nr. 3227/76 monatlich von den Betreibern für die Europäische Union (EU) zu erstellen und dem BAFA in Kopie zuzuleiten sind. Darüber hinaus gehen vom BAFA monatlich Ausdrucke mit den wesentlichen Angaben zu allen Ein- und 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 § 19 Abs. 1 S. 1 StrlSchV für die Einfuhr hochradioaktiver Strahlenquellen aus einem Staat, der nicht Mitgliedstaat der EU ist, unverzüglich dem vom BfS zu führenden Register über hochradioaktive Strahlenquellen.

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

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht:

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

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

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

Diese Verordnung ist direkt geltendes Gemeinschaftsrecht, das keiner Umsetzung in nationales Recht bedurfte. Der Rat beabsichtigte damit, den Wegfall der Grenzkontrollen innerhalb der EU zu kompensieren und die Aufsichtsmöglichkeiten der 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 angemessenes 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, Besitzerschaft, Einsatzort etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, deren Aktivität größer oder gleich den Aktivitätswerten der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3a der StrlSchV ist, zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

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

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

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

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

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

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

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

Für die formelle Umsetzung in eine nationale Rechtsverordnung war eine Änderung des Atomgesetzes erforderlich. Im Rahmen der am 1. Mai 1998 in Kraft getretenen Atomgesetznovelle wurde eine entsprechende Ermächtigungsvorschrift für die formelle Umsetzung dieser Richtlinie durch die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) in das Atomgesetz aufgenommen. Mit Inkrafttreten der AtAV entfällt für die nach dieser Verordnung abzuwickelnden Verbringungen die Anwendung der Strahlenschutzverordnung (§ 19) für radioaktive Abfälle. Dieser Umstand ist nunmehr nach Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 in den §§ 19-22 StrlSchV berücksichtigt worden, indem die radioaktiven Abfälle aus dem Regelungsbereich ausgenommen wurden.

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

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

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

Jahresstatistik der Ein- und Ausfuhr radioaktiver Stoffe

Die vom BAFA erstellten Ein- und Ausfuhrstatistiken radioaktiver Stoffe sind in [Teil B - V - 1](#) dieses Berichtes tabellarisch dargestellt und kommentiert.

2. Beförderung radioaktiver Stoffe (*Transport of radioactive material*)

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 (*Handling of radioactive material, operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices*)

Als Umgang mit radioaktiven Stoffen wird nach § 3 Abs. 2 Nr. 34 Strahlenschutzverordnung deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung, soweit es sich nicht um Arbeiten im Sinne der StrlSchV § 3 Abs. 1 Nr. 2 handelt, bezeichnet.

Die Strahlenschutzverordnung trifft gemäß § 2 Abs. 1 Regelungen für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen mit einer Teilchen- oder Photonengrenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronenvolt.

Die Röntgenverordnung (RöV) gilt gemäß § 1 RöV für Röntgeneinrichtungen und Störstrahler, in denen Röntgenstrahlung mit einer Grenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronenvolt erzeugt werden kann und bei denen die Beschleunigung der Elektronen auf eine Energie von 1 Megaelektronenvolt begrenzt ist.

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe (*User of radioactive sources*)

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 (*Radioactive substances in consumer goods and industrial products*)

Zum Schutz des Verbrauchers ist nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) bei einigen Produkten der Zusatz radioaktiver Stoffe unzulässig bzw. deren Aktivierung nur unter stark eingeschränkten Bedingungen (§ 105 StrlSchV) 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 der StrlSchV 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) und
- bestimmte Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung.

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

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtemessungen

Nach der StrlSchV 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 praktisch kein Kontrollbereich entsteht. 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 und Störstrahlern

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) (*High-activity sealed sources (HASS)*)

Seit 17. August 2005 ist in Deutschland das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen in Kraft (BGBl I S. 2365). Das Gesetz setzt die Richtlinie 2003/122/Euratom um, in der für die Mitgliedstaaten der EU einheitliche Vorgaben zur Kontrolle dieser Strahlenquellen verbindlich festgelegt sind. Kern des deutschen Gesetzes ist die Einrichtung eines bundesweiten Registers für hochradioaktive umschlossene Strahlenquellen. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft, Standort etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ- Register) wird vom BfS betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland im Verkehr sind und deren Aktivität die jeweils durch die Strahlenschutzverordnung vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A_1 -Wertes gemäß StrlSchV, Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3a: z. B. Ir-192 > 10 GBq, Co-60 > 4 GBq) zentral erfasst. 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 (*Operation of devices for the production of ionising radiation, X-ray devices and parasitic X-ray emitters*)

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 Aufsichtsbehörde 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, bei deren Betrieb Röntgenstrahlen entstehen, ohne dass diese zu diesem Zweck betrieben werden.

Zu diesen gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyatronen, 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 Röntgenverordnung.

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 (*Stock of radioactive waste*)

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 schwach radioaktiver Stoffe (*Clearance of low level radioactive materials*)

Beim Rückbau von Kernkraftwerken fallen große Materialmengen an, von denen der überwiegende Teil während des Betriebs und der Stilllegung nicht oder nur schwach 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. Nach StrlSchV ist Freigabe sinngemäß 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 schwach 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 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. Gleichzeitig konnten einige Unklarheiten der Freigaberegulungen beseitigt und Erfahrungen aus dem Vollzug positiv eingebracht werden. Hinsichtlich der Ausbreitung der Radionuklide über den Wasserpfad wurde der Einfluss der Oberflächen- und der Basisabdichtung der Deponie ausdrücklich im Modell berücksichtigt. Derartige Verbesserungen fanden im Jahr 2011 Eingang in die Änderungsverordnung zur StrlSchV. Die aktuellen Änderungen und Ergänzungen der Freigaberegulierung passen das bestehende Konzept den neuen Erfordernissen an und verbessern das Schutzniveau.

Die neue EU-Richtlinie 2013/59/Euratom enthält u. a. Aktivitätskonzentrationswerte für die Freistellung oder Freigabe von Materialien, die für jede Menge und jede Art von Feststoff als Standardwerte dienen können. Sie basieren auf den von der IAEA in der „Safety Reports Series No.44“ [2] 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.

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

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

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse (*Exceptional events subject to reporting*)

Die besonderen Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgengeräten werden jährlich im [Teil B - V - 4](#) dieses Berichtes zusammengestellt.

VI GRUNDLAGEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG *(BASIC INFORMATION ON NON-IONISING RADIATION)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung (Physical characteristics and effects of non-ionising radiation)

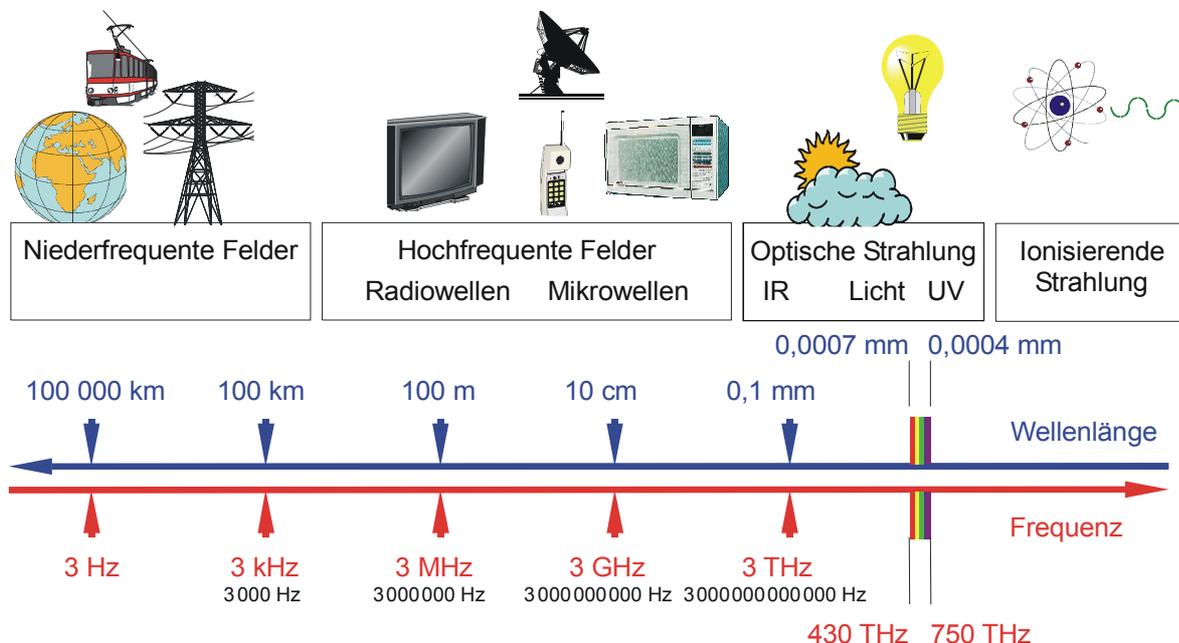
Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung zunehmend nichtionisierender Strahlung ausgesetzt. Dies sind vor allem niederfrequente elektrische und magnetische Felder, die durch die Elektrizitätsversorgung und –nutzung entstehen, sowie hochfrequente elektromagnetische Felder der 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 (*Static fields*)

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

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

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände, z. B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind, und andererseits die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilen (z. B. Blutströmung). An der Aorta führt dieser Mechanismus z. B. zu einer Potenzialdifferenz von bis zu 16 Millivolt (mV) bei einem statischen Magnetfeld von 1 Tesla (T). Es ist auch abgeschätzt worden, dass die magnetohydrodynamische Interaktion in einem 5 T-Feld die Flussrate in der Aorta um bis zu 7 % verringern kann. Akute 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), Magnetschwebbahnen, Lautsprecheranlagen, Heizdecken, Dauermagneten wie z. B. an Namensschildern, und auch die sog. „Magnetheilmittel“ wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

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

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie - MRT, englisch: nuclear magnetic resonance – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Bis heute sind keine Schwellen für eine gesundheitliche Schädigung durch statische Magnetfelder bekannt. Bei 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 (*Low-frequency fields*)

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hertz (Hz) bis 100 Kilohertz (kHz). Niederfrequente Felder der Stromversorgung werden derzeit im Zusammenhang mit dem im Rahmen der Energiewende notwendigen Aus- und Umbau der Stromnetze verstärkt diskutiert. An der Körperoberfläche bewirken hohe elektrische Feldstärken eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der Körperbehaarung, die einen relativ hohen elektrischen Widerstand hat. Dadurch wird bei entsprechend hohen elektrischen Feldstärken eine Vibration des Haarschafts angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Durch elektrische Aus-

gleichvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung von bestimmten Schwellenwerten Nerven- und Muskelzellen erregen können.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ebenfalls diskutiert wird ein möglicher Zusammenhang von niederfrequenten Magnetfeldern und neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer und amyotrophe Lateralsklerose (ALS, eine Erkrankung des motorischen Nervensystems, die zu einer fortschreitenden Schädigung der Nervenzellen führt, die für die Muskelbewegungen verantwortlich sind). Einige epidemiologische Studien deuten auf ein erhöhtes Erkrankungsrisiko bei einer relativ hohen, überwiegend beruflich bedingten Exposition mit niederfrequenten magnetischen Feldern hin. Eine epidemiologische Studie an der all-

Kilovolt pro Meter bzw.
Mikrotesla

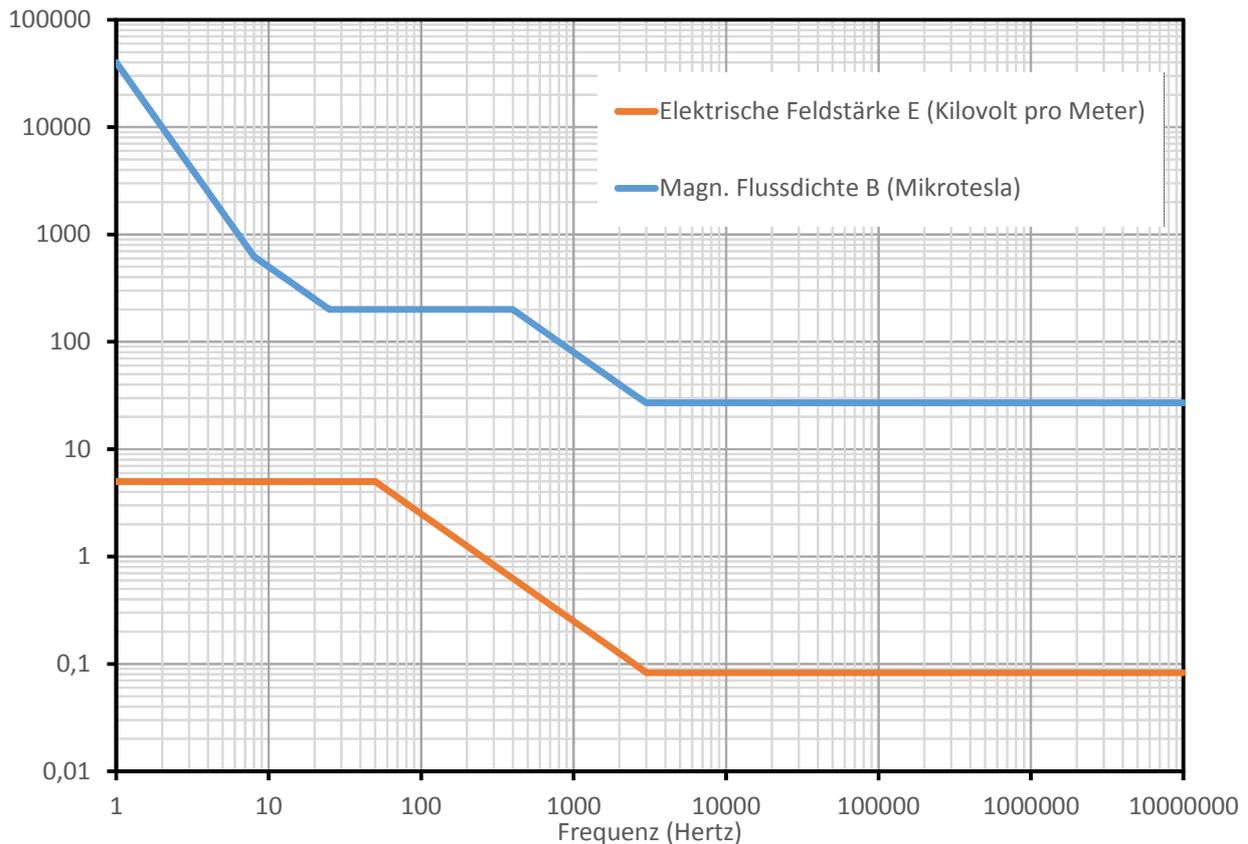


Abbildung G VI 3.1 Grenzwerte für feststehende Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (26. BImSchV)
(Limit values for fixed low-frequency and DC installations - 26th BImSchV)

gemeinen 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 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 erklärungsweise wissenschaftlich untermauern könnte.

Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich aufgrund 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 (High-frequency fields)

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

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

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

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

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

Volt pro Meter bzw.
Ampere pro Meter

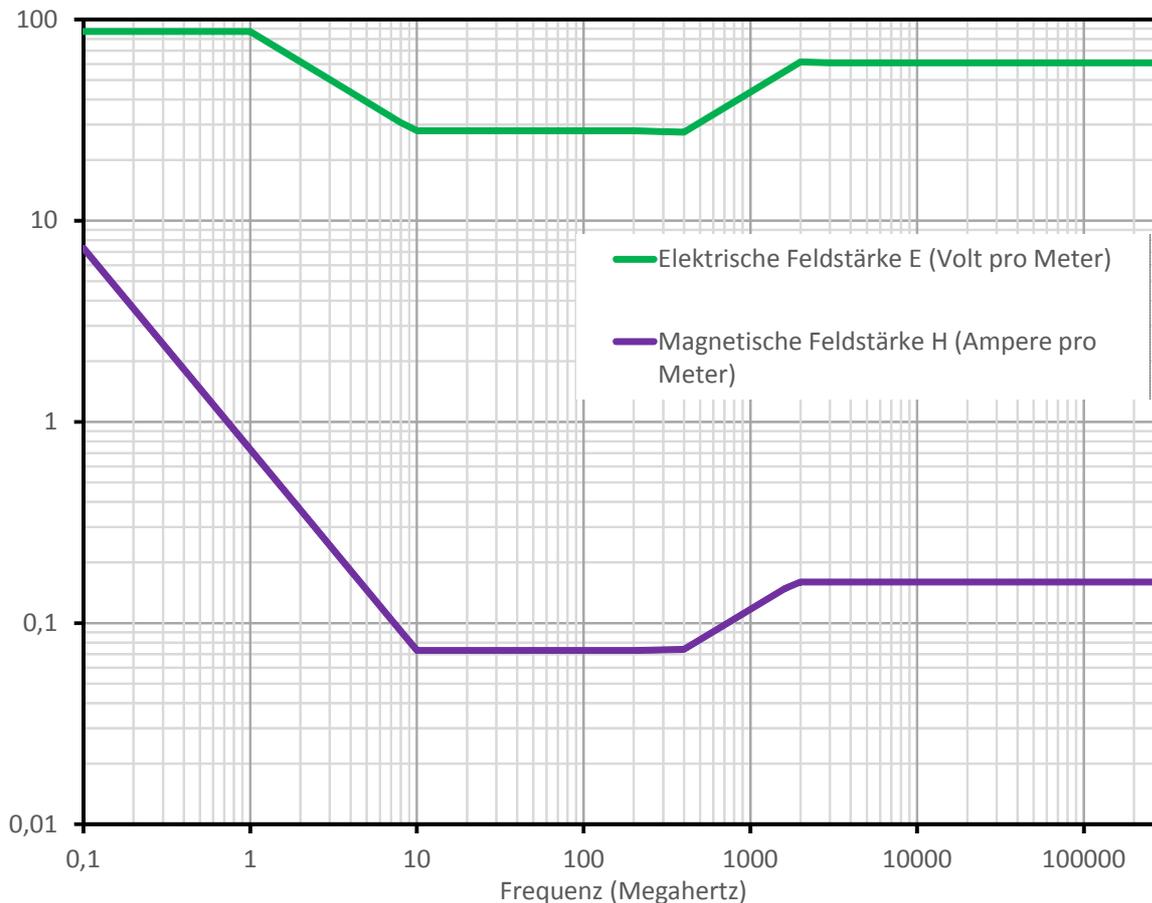


Abbildung G VI 4.1 Grenzwerte der 26. BImSchV für hochfrequente Felder von ortsfesten Anlagen
((Limit values of the 26th BImSchV for high-frequency fields of fixed installations))

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

Frequenz f (MHz)	elektrische Feldstärke E (V/m) *	magnetische Feldstärke H (A/m)*
0,1 - 1	87	0,73/f
1 - 10	87/√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.

5. Optische Strahlung *(Optical radiation)*

Als optische Strahlung bezeichnet man einen Teilbereich des elektromagnetischen Spektrums mit Wellenlängen zwischen 100 nm und 1 mm. Dabei umfasst die optische Strahlung die Bereiche:

- Ultraviolette Strahlung (UV)
- sichtbares Licht (VIS)
- Infrarot-Strahlung (IR)

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 dabei von 400 bis 780 nm. Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) wird auch als Wärmestrahlung bezeichnet. Sie schließt sich in Richtung größerer Wellenlängen – von 780 nm bis 1 mm - an das sichtbare Licht an.

Optische Strahlung wirkt auf Mensch und Natur positiv und negativ. Hauptzielorgane optischer Strahlung sind die Augen und die Haut. Ein wichtiger Faktor für die Wirkung optischer Strahlung ist die Wellenlänge. Sie bestimmt die Eindringtiefe im Gewebe und die Wechselwirkungen mit den relevanten Zielmolekülen.

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 (UV-radiation)

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 Gesamt ozonegehalt 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 die spektrale UV-Bestrahlungsstärke an der Erdoberfläche selbst im Sommer in unseren Breitengraden nicht mehr nachweisbar. Durch eine Verringerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre erhöht sich zum einen der Betrag der spektralen Bestrahlungsstärke. Zum anderen verschiebt sich die UV-B-Kante zu kürzeren Wellenlängen hin, das heißt, dass zusätzliche sehr energiereiche UV-Strahlung den Erdboden erreicht. Da die biologische Wirkung dieses Strahlungsanteils sehr groß ist, können auch kleine Änderungen des Ozongehaltes in der Stratosphäre ein durchaus ernst zu nehmendes Gefährdungspotenzial haben.

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 geworden, 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 aus zehn Stationen bestehendes Messnetz zur Erfassung der solaren UV-Strahlung. In der BfS-Station in München-Neuherberg befindet sich die Messnetzzentrale, in der die gesamten Messdaten des Messnetzes gespeichert, die Daten qualitätsgesichert und gesundheitlich bewertet werden. Das UBA betreibt drei Stationen in Zingst (Ostsee), Langen (Rheingraben bei Frankfurt) und Schauenland (Schwarzwald). Weitere, dem UV-Messverbund assoziierte Institutionen sind: Deutscher Wetterdienst (DWD) mit einer Station in Lindenberg (Brandenburg), das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) in Kulmbach, die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) in Dortmund, die Christian-Albrechts-Universität Kiel (CAU) mit einer Messstation in Westerland auf Sylt sowie das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (GAA-Hi) mit Stationen in Rinteln und auf Norderney. Bei der Auswahl der Messstationen wurden insbesondere die in Deutschland vorhandenen Unterschiede hinsichtlich der geografischen Breite, der Höhenlagen, des Klimas und der Lufttrübung berücksichtigt.

Ziel des Messnetzes ist es, die sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärke an der Erdoberfläche kontinuierlich und spektral aufgelöst 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.

Die Messung der solaren UV-Strahlung erfolgt an allen Stationen das ganze Jahr über zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang in sechsminütigem Zeitabstand. Aus den gemessenen Spektren wird der UV-Index (UVI) als Tageshöchstwert der sonnenbrandwirksamen Bestrahlungsstärke gemittelt über 30 Minuten errechnet. Für die tägliche Berichterstattung werden in der Messnetzzentrale in München-Neuherberg jeweils zur Mittagszeit die UV-Daten aller Stationen ausgewertet und in Form der aktuellen UV-Index-Werte unter www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/aktuell/aktuell_node.htm der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus werden von April bis September montags,

mittwochs und freitags für zehn Vorhersagegebiete in Deutschland 3-Tages-UV-Prognosen erstellt und unter www.bfs.de/uv-prognose präsentiert. Diese 3-Tages-Prognosen sind auch über einen auf derselben Internetseite angebotenen Newsletter erhältlich. Im Winter werden von Oktober bis März nur die maximal möglichen UV-Index-Werte bei wolkenlosen Bedingungen eines Monats veröffentlicht, da die UV-Belastung in dieser Zeit in Deutschland gering ist.

Anwendungen

UV-Strahlung findet in zahlreichen Verfahren Anwendung. In der Medizin wird künstlich erzeugte 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.

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 Stoffwechsellvorgänge an lebenden Zellen zu beobachten oder um Bestandteile von Zellen, wie zum Beispiel das Erbgut, während biologischer Arbeitsschritte in der Forschung sichtbar zu machen.

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

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

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

Wirkungen

Natürliche wie künstlich erzeugte UV-Strahlung wirkt auf unseren Körper ein und ruft die gleichen akuten und langfristigen Wirkungen an Augen und Haut hervor. Daher wird die Verwendung von UV-Strahlung zu kosmetischen Zwecken, zum Beispiel in Solarien, aus Sicht des Strahlenschutzes als sehr bedenklich eingestuft. In Deutschland gelten für den gewerblichen Betrieb von Solarien gesetzliche Regelungen (<http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/solarien/recht/rege-lung.html?nn=6056076>).

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-A mit Wellenlängen von 315 nm bis 400 nm dringt tiefer ein als die kurzwelligere UV-B-Strahlung mit Wellenlängen von 280 nm bis 315 nm. UV-B-Strahlung dringt bis in die Oberschicht der Haut ein, UV-A 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 ist für UV-Strahlung auch noch 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. Entsprechend kann das kindliche Auge gegenüber UV-Strahlung empfindlicher sein als das Erwachsenenauge (**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 UV-induziert ist, zeigt sich darin, dass in Hautkrebszellen UV-spezifische DNS-Mutationen wie Cyclobutylthymindimere (CPD) nachgewiesen werden können. Die IARC hat im Jahr 2009 die UV-Strahlung der Sonne und künstlich erzeugte UV-Strahlung in Solarien in die höchste Risikogruppe 1 "krebserregend für den Menschen" eingestuft (**Abbildung G VI 5.1-2**).

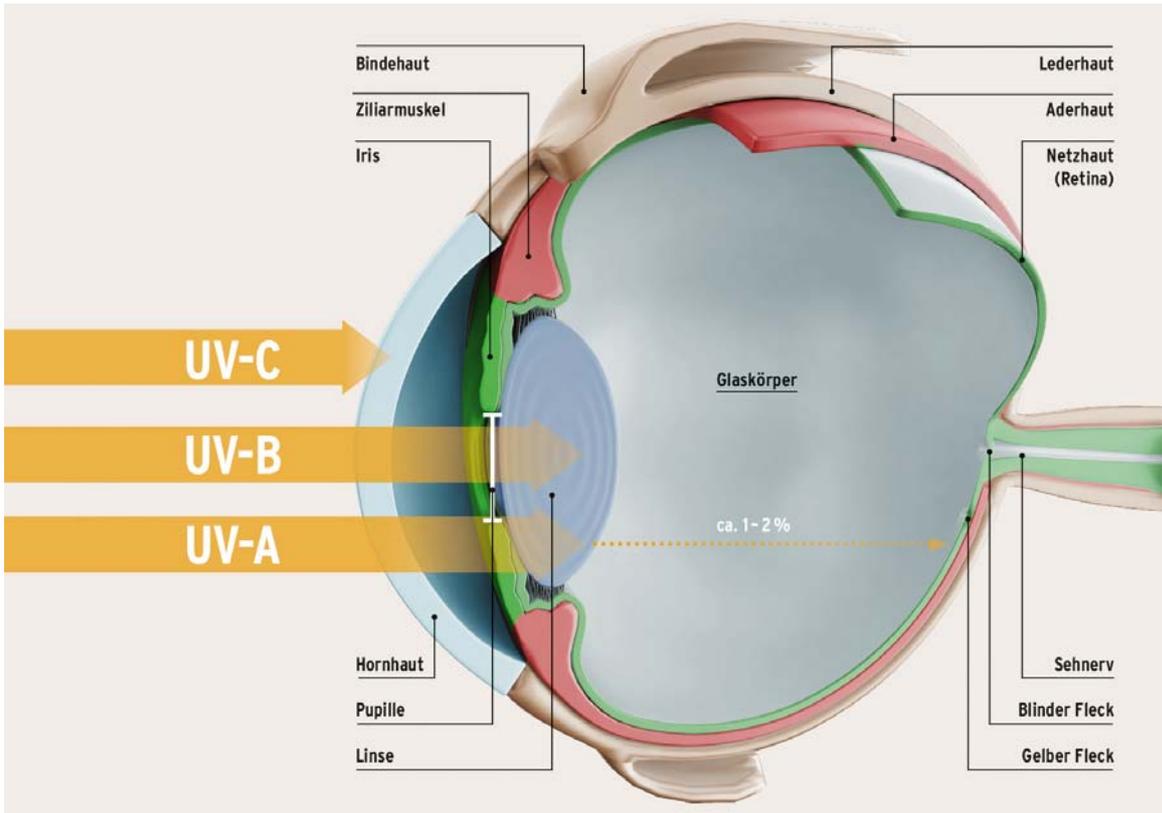


Abbildung G VI 5.1-1 Eindringtiefe von UV-Strahlung im menschlichen Auge
(Penetration depth of UV in the human eye)

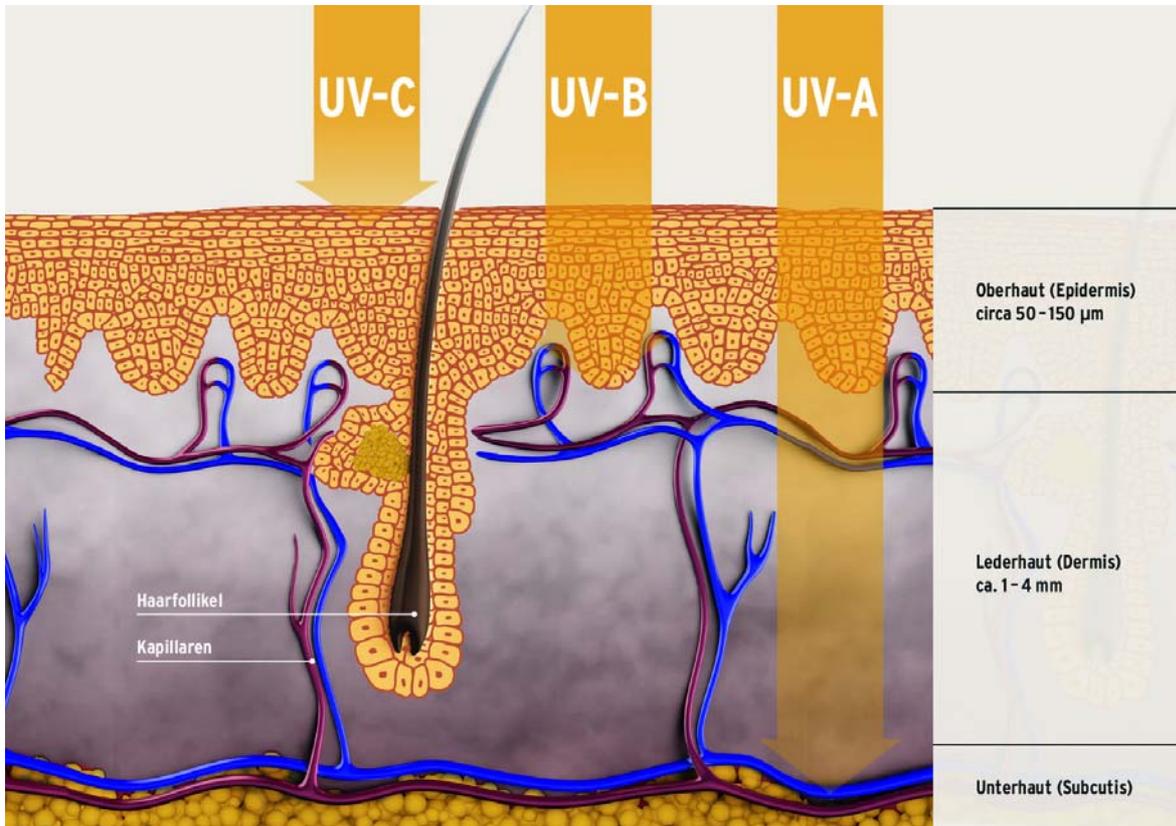


Abbildung G VI 5.1-2 Eindringtiefe von UV-Strahlung in der menschlichen Haut
(Penetration depth of UV radiation in the human skin)

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

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

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

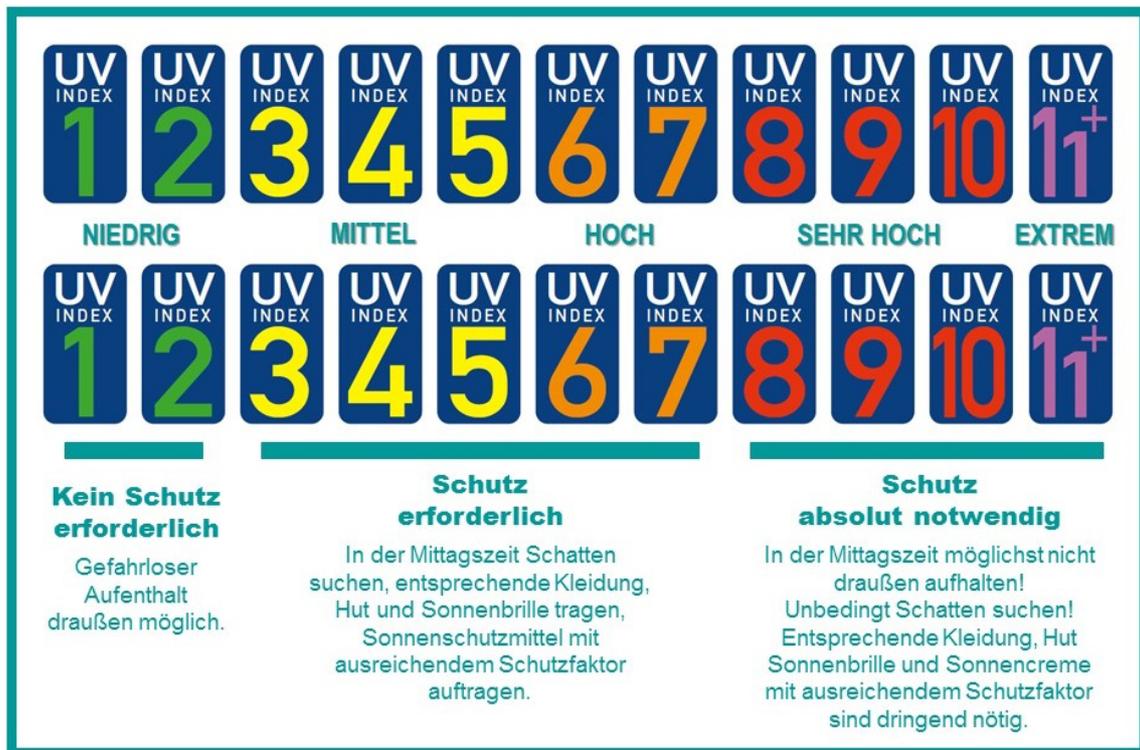


Abbildung G VI 5.1-3 Der UV-Index (The UV index)

Ob ein Sonnenbrand auftritt, hängt zum einen von der UV-Dosis und zum anderen von der Empfindlichkeit der Haut gegenüber UV-Strahlung ab. Die Empfindlichkeit wiederum hängt in hohem Maße von der Bräunungsfähigkeit und der daraus resultierenden Pigmentierung der Haut ab. Weltweit werden entsprechend 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 Definition der Hauttypen
(*Definition of skin type*)

Hauttypen	Phänotyp	Bräunung	Sonnenbrandcharakteristik
Hauttyp I	sehr helle, extrem empfindliche Haut, helle Augen, rotblondes Haar, sehr häufig Sommersprossen	bräunt nie	bekommt sehr schnell Sonnenbrand - bei einem UV-Index von 8 bereits nach etwa 15 Minuten
Hauttyp II	helle, empfindliche Haut, blaue, graue, grüne oder braune Augen, blonde bis braune Haare, häufig Sommersprossen	bräunt kaum bis mäßig	bekommt oft einen Sonnenbrand - bei einem UV-Index von 8 bereits nach etwa 20 Minuten
Hauttyp III	helle bis hellbraune Haut, graue oder braune Augen und dunkelblonde bis braune Haare, Sommersprossen selten	bräunt mäßig	Sonnenbrand kann bei einem UV-Index von 8 nach etwa 30 Minuten auftreten
Hauttyp IV	hellbraune, olivfarbene Haut, braune bis dunkelbraune Augen und dunkelbraunes Haar	bräunt schnell	Sonnenbrand kann bei einem UV-Index von 8 nach etwa 40 Minuten auftreten
Hauttyp V	dunkelbraune Haut, dunkelbraune Augen, dunkelbraunes bis schwarzes Haar	-	Sonnenbrand kann bei einem UV-Index von 8 nach etwa 60 Minuten auftreten
Hauttyp VI	dunkelbraune bis schwarze Haut, dunkelbraune Augen und schwarze Haare	-	Sonnenbrand kann bei einem UV-Index von 8 nach etwa 80 Minuten auftreten

Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale sonnenbrandwirksame (erythemwirksame) Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt beispielsweise für den Hauttyp II etwa 250 J/m². Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle MED.

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 okuläre Melanome.

Bei der Haut kann übermäßige UV-Bestrahlung vorzeitige Hautalterung und im schlimmsten Fall Hautkrebs zur Folge haben. Im Fall der vorzeitigen Hautalterung verursacht UV-A-Strahlung unter anderem die Bildung sogenannter "freier Radikale", die wiederum unter anderem eine Schädigung des Kollagens im Bindegewebe bewirken. Gleichzeitig wird die Neubildung von Kollagen verhindert. In der Folge nimmt die Straffheit der Haut ab. Gleichzeitig quellen elastische

Fasern auf, was zu einem Verlust der Dehnbarkeit der Haut führt. Es kommt zu dauerhaften Bindegewebsschädigungen und Faltenbildung. Ein Risikofaktor für vorzeitige Hautalterung sind unter anderem Sonnenbäder.

Die schwerwiegendste Spätfolge übermäßiger UV-Bestrahlung ist Hautkrebs. Unter dem Begriff "Hautkrebs" wird eine Vielzahl verschiedener Krebserkrankungen, die an der Haut entstehen oder sichtbar sind, zusammengefasst. Man unterscheidet zwischen dem "hellen" und dem "schwarzen" Hautkrebs. Helle Hautkrebsarten sind das Basalzellkarzinom und das Plattenepithelkarzinom sowie dessen Vorstufen. 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 die Therapie häufig ein großes 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. Hautkrebsarten haben in der hellhäutigen Bevölkerung weltweit stärkere Zuwachsraten als alle anderen Krebserkrankungen. In Deutschland erkrankt jeder siebte Mann und jede neunte Frau bis zum Alter von 75 Jahren an Hautkrebs (helle Hautkrebsarten und schwarzer Hautkrebs) - Tendenz steigend: Alleine in Deutschland verdoppelt sich die Neuerkrankungsrate (Inzidenz) alle 10 bis 15 Jahre. Für den "schwarzen Hautkrebs" (malignes Melanom) nimmt die Inzidenz stärker zu als für alle anderen Krebsarten – und immer mehr jüngere Menschen, vor allem Frauen, erkranken daran. Am malignen Melanom versterben pro Jahr in Deutschland über 2500 Menschen [1].

Bei den Risikofaktoren wird für alle Hautkrebsarten zwischen konstitutionellen (angeborenen), erworbenen und Expositions-Risikofaktoren unterschieden. Der angeborene Risikofaktor für die hellen Hautkrebsarten ist der Hauttyp. Zu den erworbenen Risikofaktoren zählen die chronisch UV-geschädigte Haut, das Vorhandensein aktinischer Keratosen (rötliche, auch hautfarbene, fest haftende Rauigkeiten der Hautoberfläche; Vorstufen des Plattenepithelkarzinoms), die Erkrankung an einem hellen Hautkrebs in der eigenen Krankheitsvorgeschichte, Unterdrückung des Immunsystems zum Beispiel in Folge einer Organtransplantation oder eine durch Strahlentherapie geschädigte Haut. Expositions-Risikofaktor für das Basalzellkarzinom ist in erster Linie die intermittierende (wiederkehrende) UV-Belastung nicht an UV gewöhnter Haut. Für das Plattenepithelkarzinom ist es die lebenslang erworbene UV-Dosis (kumulative Dosis). Angeborene Risikofaktoren für den schwarzen Hautkrebs (malignes Melanom) sind der Hauttyp und die Anzahl angeborener, insbesondere großer und sehr großer Pigmentmale. Zu den wichtigsten erworbenen Risikofaktoren für das maligne Melanom zählen die Anzahl erworbener Pigmentmale, die Anzahl klinisch atypischer Pigmentmale, eine vorangegangene Erkrankung an einem malignen Melanom und malignes Melanom bei Verwandten 1. Grades (Eltern, Kinder). Als Expositions-Risikofaktoren für das maligne Melanom gelten intermittierende UV-Expositionen (z. B. Urlaube mit hoher Sonnenexposition) und Sonnenbrände. Auch die Exposition im Sonnenstudio ist ein Risikofaktor. So erhöht sich das Risiko, an einem malignen Melanom zu erkranken, um ca. 2 % mit jeder Nutzung und mit dem erstmaligen Nutzen in jungen Jahren (vor dem 35. Lebensjahr) gegenüber Niemals-Nutzung um 60 % [2].

Durch einen vernünftigen Umgang mit der Sonne kann das Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, vermindert werden. Geeignete Schutzmaßnahmen (http://www.bfs.de/DE/themen/opti/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.

Literatur:

- [1] Bericht zum Krebsgeschehen in Deutschland. Zentrum für Krebsregisterdaten im Robert Koch-Institut, November 2016, www.krebsdaten.de, abgerufen am 12.9.2018
- [2] Boniol M, Autier P, Boyle P, Gandini S. Cutaneous melanoma attributable to sunbed use: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2012;345:e4757 and [Correction] *BMJ* 2012; 345:e8503

5.2 Sichtbares Licht (Visible light)

Als „Licht“ wird der vom Menschen visuell wahrnehmbare Teil des elektromagnetischen Spektrums bezeichnet. Er liegt zwischen UV-Strahlung und Infrarot und macht etwa 45-50 % der eingestrahnten Sonnenenergie aus. Die Pflanzen nutzen Wellenlängen des Lichts für die Photosynthese. Die meisten Menschen können Wellenlängen zwischen ca. 400 und ca.780 nm sehen, wobei die Grenzen nicht scharf zu ziehen sind. Insbesondere für den kurzwelligen Teil des sichtbaren Spektrums (Blauviolet) 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 Kompaktleuchtstofflampen und Licht emittierende Dioden (LED) zunehmend Glühlampen und Halogenlampen. Auch in Medizin und Kosmetik wird mit Licht emittierenden Lasern, „Blitzlampen“ oder LEDs gearbeitet.

Laser (Abkürzung für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission) liefern kohärente, monochromatische Strahlung mit großer Energie- und Leistungsdichte sowie ausgeprägter Richtungscharakteristik. Laserstrahlen können circa 100-mal besser fokussiert werden als die Strahlung anderer Strahlungsquellen. Das menschliche Auge fokussiert diesen Strahl zusätzlich um mehrere Größenordnungen. Es trifft also sehr viel Energie auf eine kleine Fläche.

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

Licht emittierende Dioden (LED) wandeln elektrische Energie in optische Strahlung um. Je nach verwendetem Halbleiter-Material wird UV, sichtbares Licht unterschiedlicher Farbe oder Infrarot abgestrahlt. Die Abstrahlung erfolgt gerichtet, allerdings nicht so fokussiert wie beim Laser.

Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) gehören zur Gruppe der (Gas-)Entladungslampen. Wenn Strom fließt, ionisiert sich das Füllgas im Inneren der Lampe und erzeugt UV-Strahlung. Die UV-Strahlung regt einen Leuchtstoff an der Innenseite der Röhre an, so dass sichtbares Licht entsteht.

Bei Glühlampen und Halogenlampen wird ein Glühdraht erhitzt, der Licht, vor allem aber Wärme abstrahlt. Letzteres ist der Grund für die vergleichsweise schlechte Energiebilanz. Anders als Leuchtstofflampen und LEDs geben Glühlampen und Halogenlampen („Vollspektrum-Strahler“) ein kontinuierliches Strahlungsspektrum ab, mit dem Schwerpunkt im langwelligeren (roten) Bereich. 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).

Anwendung

Das Hauptanwendungsgebiet künstlicher Lichtquellen ist die Beleuchtung von Räumen. Die Innenbeleuchtung umfasst Wohnräume, Arbeitsstätten aller Art sowie öffentliche Räume. Zur Außenbeleuchtung gehören im Wesentlichen die Straßenbeleuchtung und die Beleuchtung von Sportstätten. Verschiedene Normen, die zum größten Teil auf europäischer Ebene harmonisiert sind, regeln die einzelnen Anwendungsgebiete und legen quantitative und qualitative Anforderungen für Beleuchtungsanlagen fest. Mit Hilfe so genannter Tageslichtlampen sollen negative Folgen von Lichtmangel gemildert werden, z.B. die so genannte „Winterdepression“.

Einen 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 oder Faltenreduktion sind typische Anwendungen, die häufig 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, die derzeit nicht rechtlich verbindlich geregelt sind.

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 Strahlenquellen liegt in der Hand von Laien. Eine gerätespezifische Norm wird derzeit erarbeitet.

Das Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSG) ermächtigt die Bundesregierung die Rahmenbedingungen festzulegen, unter denen Anlagen, die nichtionisierende Strahlung aussenden können, zu kosmetischen oder sonstigen Anwendungen außerhalb der Heil- oder Zahnheilkunde betrieben werden dürfen. Desweiteren kann sie Anforderungen an die erforderliche Fachkunde von Anwenderinnen und Anwendern festlegen.

Wirkungen

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

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 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](#)).

Blendung kommt durch eine Überforderung der Anpassungsmöglichkeiten des Auges bei zu hoher Lichtintensität zustande. Die Sehfähigkeit wird für eine gewisse Zeit eingeschränkt. Hinzu kommen in gewissem Maße Schutzreaktionen wie Abwend- und Lidschlussreflexe. 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 (*Infrared Radiation*)

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.

IR-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 Heizwecke 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.

Wirkung von Infrarotstrahlung

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

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

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

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

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

6. Grenzwerte (Limit values)

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

Sowohl im niederfrequenten wie im hochfrequenten Bereich liegt die Exposition der Bevölkerung im Mittel weit unter den zum Schutz der Gesundheit empfohlenen Grenzwerten. Vergleichsweise hohe Expositionen können beim Betrieb von Geräten nahe am oder mit Kontakt zum Körper auftreten. Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern unterhalb der empfohlenen Grenzwerte wurden in einigen epidemiologischen Studien mit einem leicht erhöhten Risiko für kindliche Leukämien in Verbindung gebracht. Im Hochfrequenzbereich bestehen noch Bewertungsunsicherheiten vor allem bei Langzeitwirkungen über einen Zeithorizont von mehr als fünfzehn Jahren hinaus. Nationale und internationale Organisationen, wie z. B. die SSK, empfehlen deshalb, dass weiterhin Forschung betrieben werden muss, um mögliche biologische Wirkungen zu untersuchen und deren gesundheitliche Relevanz abschätzen zu können. Aus Vorsorgegründen sollten unnötige Expositionen zudem vermieden und unvermeidbare Expositionen möglichst gering gehalten werden.

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

Tabelle G VI 6.1 Schwellenwerte für die minimalen erythemwirksame Dosis (MED) für verschiedene Hauttypen in J/m^2
(Thresholds of the minimal erythema dose (MED) for different skin types in J / m^2)

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

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

Aktuelle Themen im Bereich Nichtionisierende Strahlung finden Sie in [Teil B - VI](#).

TABELLEN

(Überarbeitungsstand 2016)

(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 2016 (Messwerte der Wismut GmbH)

(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2016 – Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Fortluftmengen in $10^9 \text{ m}^3/\text{a}$	gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Rn-222 in TBq/a *		langlebige α -Strahler in MBq/a *	
1998	22,1	664,7	(1201,1)	31,3	(137,1)
1999	20,8	491,3	(926,2)	30,3	(107,4)
2000	18,3	380,4	(798,2)	10,0	(99,9)
2001	14,2	316,4	(557,4)	5,3	(101,1)
2002	11,8	260,5	(447,4)	13,9	(101,1)
2003	8,6	168,4	(298,4)	13,2	(83,1)
2004	8,3	147,3	(268,1)	14,0	(82,9)
2005	7,9	105,3	(298,1)	14,7	(79,9)
2006	6,2	80,3	(268,0)	6,53	(78,3)
2007	5,0	65,2	(269,0)	5,4	(78,4)
2008	3,6	92,9	(267,6)	4,9	(77,8)
2009	3,1	98,8	(267,6)	3,1	(77,8)
2010	2,6	101,2	(267,6)	4,55	(77,8)
2011	2,1	98,6	(267,6)	2,85	(77,8)
2012	2,0	97,3	(287,6)	2,67	(74,5)
2013	1,5	89,1	(121,6)	1,44	(4,0)
2014	1,5	91,1	(121,6)	1,7	(3,6)
2015	1,5	98,1	(121,6)	1,8	(3,6)
2016	1,5	104,1	(121,6)	1,25	(3,6)

* Genehmigungswerte in Klammern



Tabelle T I.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre 2015 und 2016 (Messwerte der Wismut GmbH)

(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2015 and 2016 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	Anzahl der Abwet- terschächte und Wetterbohr- löcher		Abwetter- bzw. Abluftmengen in $10^9 \text{ m}^3/\text{a}$		Ableitung radioaktiver Stoffe			
					Rn-222 in TBq/a *		langlebige α -Strahler in MBq/a *	
					2016	2015	2016	2015
Schlema/Alberoda	1	1	1,30	1,27	104 (120)	98 (120)	1,2 (2,0)	1,8 (2,0)
Dresden-Gittersee	1	1	0,14	0,20	0,14 (1,6)	0,12 (1,6)	0,05 (1,6)	0** (1,6)

* Genehmigungswerte in Klammern
** Die Emissionen wurden nicht bilanziert, da die Konzentrationswerte unterhalb der Nachweisgrenze lagen.

Tabelle T I.3 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2016 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2016 – 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)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabellen

Tabelle T I.4 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2015 und 2016
(Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2015 and 2016
- Values measured by the Wismut GmbH)

VORFLUTER Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	Abwassermenge in 10 ⁶ m ³ /a *		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran in t/a *		Ra-226 in GBq/a *	
	2016	2015	2016	2015	2016	2015
ZWICKAUER MULDE (SACHSEN)	6,853 (-)	6,307 (-)	1,182 (6,975)	1,362 (7,205)	0,1851 (4,316)	0,1705 (4,352)
Schlema/Alberoda	6,346 (-)	5,808 (-)	1,106 (6,949)	1,289 (7,179)	0,176 (4,277)	0,161 (4,313)
Crossen	0,400 (-)	0,385 (-)	0,076 (-)	0,073 (-)	0,0024 (-)	0,0026 (-)
Pöhl	0,107 (-)	0,114 (-)	0,0003 (0,026)	0,0005 (0,026)	0,0067 (0,039)	0,0069 (0,039)
ELBE (SACHSEN)	2,663 (5,885)	2,680 (5,869)	0,218 (1,713)	0,200 (1,708)	0,031 (2,284)	0,024 (2,278)
Königstein	2,663 (5,885)	2,680 (5,869)	0,218 (1,713)	0,200 (1,708)	0,031 (2,284)	0,024 (2,278)
PLEISSE (THÜRINGEN)	0,050 (0,250)	0,052 (0,250)	0,002 (0,025)	0,004 (0,025)	0,0005 (0,030)	0,0003 (0,030)
Ronneburg	0,050 (0,250)	0,052 (0,250)	0,002 (0,025)	0,004 (0,025)	0,0005 (0,030)	0,0003 (0,030)
WEISSE ELSTER (THÜRINGEN)	8,916 (13,000)	8,966 (12,965)	0,362 (2,450)	0,501 (2,444)	0,211 (2,600)	0,200 (2,593)
Ronneburg (WBA)	7,244 (9,662)	7,201 (9,636)	0,243 (1,449)	0,343 (1,445)	0,209 (1,932)	0,196 (1,927)
Seelingstädt	1,672 (3,338)	1,765 (3,329)	0,119 (1,001)	0,158 (0,999)	0,002 (0,668)	0,004 (0,666)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle T I.5 Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen
(Calculation of authorised limits for liquid discharges)

Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	genehmigte Wasser- menge in m ³ /h		genehmigte max. Konzentration	genehmigter Jahres- mittelwert der Konzentration
Pöhl	20	multipliziert mit	0,2 mg/l Uran, 0,3 Bq/l Radium-226	
Königstein	650		0,3 mg/l Uran, 0,4 Bq/l Radium-226	
WBA Ronneburg	1100		0,15 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226	
Seelingstädt	380		0,3 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226	
WBA Schlema	1200		0,5 mg/l Uran, 0,4 Bq/l Radium-226	
Crossen	-		0,5 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226	

Tabelle T I.6 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2015/2016 und Sommer 2016; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - winter 2015/2016 and summer 2016 - Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messstellen	Anzahl der Messstellen mit Rn-222-Konzentrationen			Maximum Bq/m ³
		≤ 30 Bq/m ³	31 - 80 Bq/m ³	> 80 Bq/m ³	
Winter 2015/2016					
Schlema/Alberoda	71	22	42	7	306
Pöhla	5	5	0	0	29
Seelingstädt	23	20	3	0	63
Crossen	28	24	4	0	37
Königstein	8	8	0	0	26
Gittersee	6	6	0	0	30
Ronneburg	26	26	0	0	26
Sommer 2016					
Schlema/Alberoda	72	19	37	16	281
Pöhla	5	4	1	0	67
Seelingstädt	23	16	5	2	90
Crossen	27	21	6	0	59
Königstein	8	7	1	0	46
Gittersee	6	5	1	0	47
Ronneburg	25	16	9	0	39

Tabellen

Tabelle T I.7 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2016 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 - 2016 and range of variation of the mean values for the individual years - Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Winter (Rn-222-Konzentrationen in Bq/m ³)			Sommer (Rn-222-Konzentrationen in Bq/m ³)		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2016	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2016
Schlema/Alberoda	20	40	26	22	39	31
Pöhla *	14	35	21	18	29	24
Seelingstädt	11	39	21	15	37	24
Crossen	13	35	22	17	37	25
Königstein	11	31	17	13	36	21
Gittersee	15	34	24	22	47	32
Ronneburg	11	40	21	16	37	26

* Im Gebiet Pöhla wurden mit Abschluss der wesentlichen Sanierungsarbeiten die Messungen an bergbaulich unbeeinflussten Messstellen im Winterhalbjahr 2005/06 eingestellt.

Tabelle T I.8 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbauggebiete 2015 und 2016 (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 2015 and 2016 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenentnahmestelle	Messpunkt	Uran in mg/l		Ra-226 in mBq/l	
			2016	2015	2016	2015
Sächsische Bergbauggebiete						
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,014	0,021	<10	<10
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	0,018	0,017	<10	<10
	Elbe Rathen	k-0028	0,001	0,001	<10	<10
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,016	0,016	14	14
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,033	0,033	14	14
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,002	0,002	14	13
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,006	0,007	11	<10
Pöhla	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	0,000	0,001	<10	<10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165A	0,016	0,016	18	17
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,005	0,004	12	12
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,006	0,007	12	11
	Oberrothenbacher Bach	M-204	0,290	0,330	13	12
	Zinnborn	M-232	0,220	0,190	92	113
Thüringische Bergbauggebiete						
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,002	0,002	<10	<10
	Weißer Elster nach Einmündung Pölschbach	E-314	0,004	0,006	<10	<10
	Lerchenbach (Culmitzsch)	E-369	0,096	0,100	<11	10
	Fuchsbach vor Mündung	E-383	0,038	0,035	<10	10
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,003	0,005	<10	<10
Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,021	0,021	16	12
	Vereinigte Sprotte	s-609	0,004	0,004	<10	<10
	Wipse	e-437	0,022	0,027	29	22
	Weißer Elster	e-419	0,003	0,005	<10	<10

Tabelle T I.9 Geschätzte Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser mit Radonkonzentrationen über verschiedenen Schwellenwerten in Aufenthaltsräumen
(Estimated number of one- and two-family houses with radon concentration above various threshold values in living rooms)

Radonkonzentration Bq/m ³	relative Häufigkeit in %	tausend Häuser
> 100	10 – 12	1300 – 1600
> 200	1,6 – 3,1	220 – 420
> 400	0,3 – 0,9	40 – 140
> 1000	0,03 – 0,2	4 – 25

Tabelle T I.10 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 2016* (MWa)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Karlsruhe	MZFR	D ₂ O-DWR	58	0	1965/1984	Rhein
Rheinsberg	KKR	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Gundremmingen A	KGG-A	SWR	252	0	1966/1977	Donau
Jülich	AVR	HTR	15	0	1966/1988	Rur/Maas
Lingen	KWL	SWR	268	0	1968/1977	Ems
Obrigheim	KWO	DWR	357	0	1968/2005	Neckar
Karlsruhe	KNK II	NaR	20	0	1971/1991	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	1225	0	1974/2011	Rhein
Biblis B	KWB B	DWR	1300	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	1410	0	1978/2011	Weser
Philippsburg 1	KKP 1	SWR	926	0	1979/2011	Rhein
Grafenrheinfeld	KKG	DWR	1345	0	1981/6-2015	Main
Krümmel	KKK	SWR	1402	0	1983/2011	Elbe
Hamm-Uentrop	THTR-300	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Gundremmingen B	KGG-B	SWR	1344	1143	1984	Donau
Grohnde	KWG	DWR	1430	1016	1984	Weser
Gundremmingen C	KGG-C	SWR	1344	1073	1984	Donau
Philippsburg 2	KKP 2	DWR	1468	1178	1984	Rhein
Mülheim-Kärlich	KMK	DWR	1302	0	1986/1988	Rhein
Brokdorf	KBR	DWR	1480	1313	1986	Elbe
Isar 2	KKI 2	DWR	1485	1369	1988	Isar
Emsland	KKE	DWR	1406	1269	1988	Ems
Neckarwestheim 2	GKN II	DWR	1400	1300	1988	Neckar

a SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D₂O-DWR = Schwerwasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart

* Daten aus Atomwirtschaft, atw 2017-Mai, Kernkraftwerke in Deutschland Betriebsergebnisse 2016

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, Forschungs-Neutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz	FRM I	4	1957/2000
		FRM II	20	2004
Rossendorf	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf (VKTA)	RFR	10	1957/1991
Geesthacht	GKSS-Forschungszentrum	FRG 1	5	1958/2010
		FRG 2	15	1963/1993
Karlsruhe	Forschungszentrum Karlsruhe (KIT)	FR 2	44	1961/1981
Jülich	Forschungszentrum Jülich	FRJ 1	10	1962/1985
		FRJ 2	23	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
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 2016 belegt)	Stellplätze gesamt (Ende 2015 belegt)
SZL Biblis	22.09.2003	18.05.2006	135 (74)	135 (52)
SZL Brokdorf	28.11.2003	05.03.2007	100 (29)	100 (29)
SZL Brunsbüttel	28.11.2003 ^a	05.02.2006	80 (11)	80 (9)
SZL Grafenrheinfeld	12.02.2003	27.02.2006	88 (21)	88 (21)
SZL Grohnde	20.12.2002	27.04.2006	100 (30)	100 (27)
SZL Gundremmingen	19.12.2003	25.08.2006	192 (48)	192 (42)
SZL Isar	22.09.2003	12.03.2007	152 (36)	152 (35)
SZL Krümmel	19.12.2003	14.11.2006	80 (29)	80 (21)
SZL Lingen	06.11.2002	10.12.2002	125 (38)	125 (38)
SZL Neckarwestheim	22.09.2003	06.12.2006	151 (53)	151 (53)
SZL Philippsburg	19.12.2003	19.03.2007	152 (58)	152 (40)
SZL Unterweser	22.09.2003	18.06.2007	80 (27)	80 (27)
AVR-Behälterlager Jülich (SZL)	17.06.1993 ^b	23.08.1993	158 (152)	158 (152)
Nasslager Obrigheim	26.10.1998	Mitte 1999	980 (342) ^c	980 (342) ^c
TBL Ahaus (ZL)	10.04.1987	25.06.1992	420 (56) ^d	420 (56) ^d
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)
SZL Obrigheim (beantragt)	beantragt	-	15	15

a Genehmigung aufgehoben, Aufbewahrungsanordng der Aufsichtsbehörde bis 2018
b Genehmigung inzwischen ausgelaufen, siehe: Bredberg I, Hutter J, Kühn K, Niedzwiedz, K, Philippczyk F, Thömmes A: Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2016. BFS-SK-Bericht BfE-KE-01/17, urn:nbn:de:0221-2017070714281, Salzgitter, August 2017
c Positionen für Brennelemente, Transfer nach Neckarwestheim geplant
d Im Transportbehälterlager Ahaus waren im Berichtsjahr wie auch im Vorjahr 329 Behälter auf 56 Stellplätzen deponiert, siehe: Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2015 (a. a. O.)

SZL Standort-Zwischenlager
TBL Transportbehälterlager
ZLN Zwischenlager Nord
AVR Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich
ZL Zwischenlager

Tabelle T II.4 Schachanlage 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 31.12.2016)	Inventar (Stand 31.12.2015)
Morsleben	Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1971	37 145 m ³ / 8,4 E13 Bq	37 130 m ³ / 9,1 E13 Bq
Remlingen	Bundesamt für Strahlenschutz (bis 2009 Helmholtz Zentrum München)	Schachanlage Asse II	1967	2,3 E15 Bq**	2,4 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 (ca.) 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 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	
	2016	2015	2016	2015	2016	2015
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	0,4	0,4	0,7	0,6	0,6	0,6
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	0,3	0,1	0,6	0,2	0,6	0,2
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	0,2	0,4	0,4	0,7	0,4	0,6
KKU Unterweser	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKP Philippsburg 1, 2	0,3	0,2	0,5	0,4	0,5	0,4
KKG Grafenrheinfeld	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4
KKK Krümmel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KGG Gundremmingen A, B, C	0,6	2	1	3	1	3
KWG Grohnde	1	0,7	2	1	2	1
THTR-300 Hamm-Uentrop	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KMK Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KBR Brokdorf	0,8	0,7	1	1	1	1
KKE Emsland	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6

* berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
** unvollständige Berechnung für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, da Werte für die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

Tabellen

Tabelle T II.7 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	
	2016	2015	2016	2015
	GGG Gundremmingen A, B und C	0,3	0,3	0,3
KWO Obrigheim	<0,1	0,2	0,1	0,3
KKS Stade	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWB Biblis A und B	0,3	0,2	0,7	0,4
GKN Neckarwestheim 1 und 2	0,3	0,5	0,6	0,8
KKB Brunsbüttel	0,3	0,2	0,1	<0,1
KKI Isar 1 und 2	0,1	0,2	0,2	0,3
KKU Unterweser	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKP Philippsburg 1 und 2	0,2	0,3	0,4	0,6
KKG Grafenrheinfeld	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
KKK Krümmel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWG Grohnde	<0,1	0,1	0,2	0,2
KMK Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KBR Brokdorf	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKE Emsland	0,5	0,9	0,8	1,5
KKR Rheinsberg *	0,1	0,2	0,2	0,2
KGR Greifswald *	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

* Bei der Berechnung der Strahlenexposition wurden 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.

Tabelle T II.8 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	
	2016	2015	2016	2015	2016	2015
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) früher Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) *	4	6	5	5	11	16**
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	1	2	2	4	2	4
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) Gesamtstandort *	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
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)*	a)	0,1	a)	0,2	a)	0,3
Garching, FRM I und FRM II	0,6	0,6	1	1	1	1

* entnommen aus den Jahresberichten 2016 der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin
 ** gegenüber dem letzten Bericht korrigierter Wert a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.9 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 für Erwachsene in µSv	
	2016	2015
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	<0,1	<0,1
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	1,8	1,3
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	<0,1	<0,1

* nach Angaben der Forschungszentren

Tabelle T II.10 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 oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder in µSv	
	der effektiven Dosis in µSv				der Knochenoberflächendosis in µSv		2016	2015
	für Erwachsene		für Kleinkinder		für Kleinkinder			
	2016	2015	2016	2015	2016	2015		
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.11 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	
	2016	2015	2016	2015
ANF GmbH (Lingen)	0,62 (MP4)	0,64 (MP4)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)
URENCO (Gronau)	0,96 (MP5)	0,93 (MP5)	<0,05 (alle MP, I.HJ) 0,08 (MP9, II.HJ)	<0,05 (alle MP, I.HJ) 0,05 (MP9, II.HJ)

* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrunds
 MP = Messpunkt HJ = Halbjahr <= kleiner Nachweisgrenze

Tabelle T II.12 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*		2016	2015
	2016	2015	2016	2015		
Endlager Morsleben						
Erwachsene	0,2	0,2	5	6	<0,1	<0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) mit Muttermilch ernährte Säuglinge	0,5	0,6	5	5	<0,1	<0,1
	1	1	10	10	<0,1	<0,1
Schachtanlage Asse II**						
Erwachsene	0,05	0,1	1	2	-	-
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,1	0,2	1	2	-	-
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	0,2	0,4	2	4	-	-

* Knochenoberfläche
** keine Ableitungen mit dem Abwasser

Tabelle T II.13 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	
	2016	2015	2016	2015
Transportbehälterlager Ahaus	0,47 (MP9)	0,45 (MP3,9)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)
Zentrales Zwischenlager Nord (Rubenow)	0,99 (MP15)	0,94 (MP15)	0,11 (MP14)	0,099 (MP17)
Transportbehälterlager Gorleben	0,82 (MP6)	0,86 (MP6)	0,30 (MP14)**	0,30 (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 - Messwerte lagen in IMIS nicht vor

Tabelle T II.14 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 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin/Potsdam **		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
2007 *	3021	<3,3	3684	0,3	3312	0,6	3711	<2,9
2008 *	2900	<1,2	3950	0,3	3580	0,4	3890	<2,5
2009 *	2710	<0,9	3830	0,5	3730	0,6	3320	2,6
2010 *	2570	<1,4	3530	<0,4	2580	3,7	3490	<2,7
2011 *	2618	<10,45	3592	5,72	3299	11	3374	<5,56
2012 *	2461	<1,5	3261	<0,3	3149	<0,4	3108	<0,9
2013 *	2430	<2,4	3130	<0,5	2510	<2,2	2960	<0,9
2014 *	2728	<1,2	3151	<0,6	2677	2,3	3137	<1,1
2015 *	2410	<1,0	3344	<0,3	3061	0,4	2625	<0,9
2016 *	2653	<0,9	3378	0,45	3028	0,36	2572	<1,1
Januar	2020	<0,8	2350	0,34	2140	0,55	1830	<0,7
Februar	1570	<0,9	2050	0,20	1800	0,21	1600	<0,8
März	2220	<1,1	2730	0,23	2560	0,30	2310	<0,9
April	2470	<1,0	3850	1,86	3400	0,31	2570	<1,0
Mai	3820	<1,0	4530	<0,84	4320	0,63	3620	<1,1
Juni	3660	<1,0	3440	<0,16	4250	0,28	2790	<1,0
Juli	2460	<0,8	3930	<0,17	3350	0,35	2880	<1,4
August	2490	<1,0	4890	<0,18	3560	0,24	3070	<1,2
September	3900	<1,0	4670	<0,29	4630	0,56	3450	<1,7
Oktober	2260	<0,8	2120	0,24	1880	0,38	2010	<1,6
November	2390	<1,0	3000	0,33	2000	0,28	2010	<1,0
Dezember	2570	<0,9	2980	0,62	2440	0,27	2720	<1,1
* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet								
** Im Mai 2010 wurde die DWD-Station Berlin nach Potsdam verlegt < Messwert kleiner Nachweisgrenze								

Tabellen

b) Messungen des Helmholtz Zentrums München, Probenentnahmestelle: München-Neuherberg

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
2007 *	3010	<0,32	k. A.	0,93	357
2008 *	3050	<0,28	k. A.	0,87	328
2009 *	3180	0,28	k. A.	0,97	373
2010 *	3640	<0,34	k. A.	1,30	499
2011 *	3940	<0,38	k. A.	3,02	676
2012 *	3470	<0,33	k. A.	0,94	441
2013 *	2800	<0,28	<0,1	0,97	451
2014 *	3200	<0,29	<0,08	0,86	474
2015 *	3520	<0,29	<0,08	0,99	528
2016 *	3360	<0,27	<0,07	0,76	388
Januar	2590	0,19	<0,07	1,22	463
Februar	1880	<0,20	<0,07	0,72	217
März	2860	0,23	<0,07	0,87	310
April	3980	0,39	<0,07	0,47	284
Mai	4010	0,37	<0,07	0,55	326
Juni	3490	0,29	<0,08	0,23	269
Juli	4410	0,40	<0,08	0,31	377
August	4330	0,40	<0,07	0,25	416
September	4310	<0,29	<0,08	0,63	340
Oktober	2210	<0,18	<0,07	0,74	440
November	2690	<0,14	<0,07	0,97	421
Dezember	3510	<0,22	<0,07	2,17	795

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet
k. A. keine Angaben <Messwert kleiner Nachweisgrenze



c) Messungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Probenentnahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
2007 *	3641	0,4	9,1	0,40	309
2008 *	3604	0,4	9	0,32	280
2009 *	3270	0,3	8,6	0,34	287
2010 *	3347	0,3	9,1	0,43	338
2011 *	3556	0,4	10	5,27	416
2012 *	3182	0,3	7,8	0,30	325
2013 *	3065	0,3	8,6	0,40	327
2014 *	3116	0,3	9,7	0,37	487
2015 *	3010	0,3	9,4	0,2	401
2016 *	2905	0,3	10,1	0,30	352
Januar	2363	0,2	7,7	0,50	476
Februar	1757	0,2	4,7	0,20	187
März	2746	0,3	6,3	0,28	252
April	3065	0,4	7,0	0,20	204
Mai	3917	0,5	11,0	0,37	343
Juni	3854	0,5	11,2	0,14	283
Juli	3143	0,4	12,2	0,12	267
August	3013	0,3	12,8	0,16	284
September	4150	0,4	25,5	0,77	622
Oktober	1824	0,1	6,1	0,26	459
November	2395	0,2	5,6	0,24	367
Dezember	2636	0,2	11,6	0,35	478

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, Probenentnahmestelle: Messstation Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$			
	Be-7	Na-22	Cs-137	Pb-210
2007 *	4770		0,34	
2009 *	5080		0,35	
2010 *	4350		<0,30	
2011 *	5310	0,47	2,7**	555
2012 *	4660	0,43	0,26	428
2013 *	4020	0,34	0,24	504
2014 *	4480	0,36	0,25	521
2015 *	4490	0,35	0,18	589
2016 *	4620	0,35	0,15	397
Januar	3010	0,21	<0,10	251
Februar	1980	0,15	0,14	213
März	3500	0,26	0,26	426
April	4620	0,44	0,12	315
Mai	6130	0,64	0,27	399
Juni	3180	0,27	<0,1	335
Juli	5760	0,47	0,12	577
August	6550	0,53	0,15	712
September	7120	0,51	0,21	137
Oktober	3370	0,19	0,13	491
November	3580	0,18	0,11	413
Dezember	6580	0,35	<0,12	491

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet
 ** durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst < Messwert kleiner Nachweisgrenze



e) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, Probenentnahmestellen: Freiburg, Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m^3			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
2007 *	1590	9,3	1550	6,6
2008 *	1610	5,5	1570	5,0
2009 *	1760	3,9	1650	4,2
2010 *	1610	3,3	1600	3,1
2011 *	1610	42,7**	1620	39,7**
2012 *	1620	2,5	1490	3,2
2013 *	1752	2,4	1720	5,0
2014 *	1761	2,4	1727	3,5
2015 *	1701	2,5	1715	3,4
2016 *	1920	2,2	1928	2,9
Januar	1600	1,8	1620	2,1
Februar	1730	2,1	1730	3,6
März	1700	1,7	1720	3,4
April	2060	2,6	2200	4,1
Mai	2010	1,7	2010	3,1
Juni	1960	2,7	1970	<3,0
Juli	2890	2,0	2410	3,7
August	2910	2,0	3210	2,0
September	1700	1,9	1710	2,9
Oktober	1530	2,8	1550	3,0
November	1480	3,5	1500	2,3
Dezember	1500	2,0	1500	2,0

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet
 ** durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst < Messwert kleiner Nachweisgrenze

Tabelle T II.15 Deposition von Einzelnucliden mit dem Niederschlag
(Deposition of individual nuclides with precipitation)

Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Offenbach am Main			Potsdam		
	l/m ²	Deposition in Bq/m ²		l/m ²	Deposition in Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2007	677,3	458	<0,57	846,5	191,95	<1,45
2008	557,5	369	<0,83	568,0	83,4	<1,38
2009	782,5	190	<0,85	631,2	175	<1,30
2010	807,2	365	<0,91	623,5	68,3	<1,26
2011	584,0	<468,2	<1,0	606,7	<101,9	<1,5
2012	667,7	718	<0,71	605,6	376,4	<1,15
2013	703,7	616,7	<0,77	680,6	349,3	<1,12
2014	729,5	761,4	<0,82	540,9	257,4	<1,01
2015	427,0	389,4	<0,80	566,1	254,7	<1,01
2016	853,7	567	<0,89	502,2	286	<1,19
Januar	70,1	44,2	<0,05	41,8	45,6	<0,10
Februar	88,1	51,7	<0,07	49,8	18,9	<0,08
März	56,6	53,9	<0,06	31,5	18,3	<0,07
April	56,3	31,9	<0,06	29,3	11,6	<0,11
Mai	109,6	113	<0,10	34,7	27,7	<0,11
Juni	179,0	74,3	<0,06	55,4	20,2	<0,11
Juli	124,8	73,3	<0,12	58,4	18,0	<0,11
August	34,9	31,7	<0,08	42,4	34,6	<0,11
September	21,1	22,8	<0,05	10,4	17,0	<0,10
Oktober	46,3	35,2	<0,10	51,6	27,8	<0,10
November	53,9	27,0	<0,08	40,0	28,9	<0,10
Dezember	13,0	8,33	<0,07	56,9	16,9	<0,10

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m ²	Deposition in Bq/m ²		l/m ²	Deposition in Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2007	950,1	735	<0,9	1004,7	319	<0,99
2008	909,2	442	<0,76	952,7	155,4	<0,88
2009	578,9	632	<0,74	822,9	331	<0,9
2010	780,0	313	<0,84	930,1	412,3	<0,97
2011	715,9	<375,6	<0,9	1071,8	<192,0	<0,8
2012	840,0	1032,2	<0,83	935,6	484,6	<0,88
2013	695,1	721,3	<0,85	811,3	378,4	<0,96
2014	818,4	686,3	<0,86	962,2	377,6	<0,91
2015	759,1	510,8	<0,76	566,1	254,7	<1,01
2016	827,8	598	<0,91	821,3	289,2	<0,85
Januar	67,3	35,4	<0,08	91,4	57,2	<0,07
Februar	128,3	56,7	<0,08	93,7	19,5	<0,07
März	59,3	39,5	<0,08	40,7	10,7	<0,07
April	75,0	40,9	<0,07	67,2	21,0	<0,07
Mai	72,9	79,5	<0,07	32,2	15,6	<0,07
Juni	152,8	185	<0,07	125	33,3	<0,07
Juli	48,9	27,0	<0,07	89,4	27,0	<0,07
August	48,3	30,2	<0,08	71,2	31,8	<0,07
September	24,3	18,6	<0,08	44,1	15,3	<0,07
Oktober	52,9	28,6	<0,07	61,1	21,9	<0,06
November	78,1	41,0	<0,08	45,1	12,0	<0,07
Dezember	19,7	15,2	<0,08	60,2	23,9	<0,08

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Tabelle T II.16 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131)
(in mBq/m³, Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	I-131 (mBq/m ³)						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
BER Berlin	2	<0,38	<0,38	<0,39	<0,44	<0,64	<0,62	<0,68
KKB Brunsbüttel	2	<0,29	<0,3	<0,31	<0,32	<0,31	<0,28	<0,28
KBR Brokdorf	2	<0,35	<0,7	<0,59	<0,37	<0,24	<0,18	<0,16
KKK Krümmel	3	<0,27	<0,26	<0,28	<0,28	<0,33	<0,35	<0,37
GKSS Geesthacht	1	<0,19	<0,19	<0,19	<0,19	<0,17	<0,16	*
KKS Stade	1	*	*	*	*	*	*	*
KKU Unterweser	2	<2,0	-	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
KWG Grohnde	3	<1,4	-	<1,1	<1,1	<1,4	<1,6	<1,6
KKE Emsland	2	<0,32	-	<0,33	<0,34	<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	<0,61	<0,58	<0,52	<0,43	<0,36	<0,34	<0,37
KKP Philippsburg	4	<0,48	<0,53	<0,5	<0,50	<0,61	<0,57	<0,61
KWO Obrigheim	3	*	*	*	*	*	*	*
GKN Neckarwestheim	2	<0,72	<0,64	<0,56	<0,59	<0,57	<0,57	<0,58
FZ Karlsruhe		-	*	*	<0,18	<0,19	<0,23	<0,14
KKI Isar	3	<0,27	<0,26	<0,25	<0,25	<0,24	<0,26	<0,25
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,45	<0,61	<0,49	<0,50	<0,34	<0,31	<0,27
KGK Gundremmingen B	3	<0,37	<0,36	<0,29	<0,24	<0,21	<0,17	<0,16
KGR Greifswald	2	*	*	*	*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	-	*	0,034	<0,034	<0,062	<0,072	<0,11
KKR Rheinsberg		*	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	*	*	*	*	*	*	*

N Zahl der Messstationen - keine Messwerte
* Messungen eingestellt

Tabelle T II.17 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60)

 (in mBq/m³, Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	Co-60 (mBq/m ³)						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
BER Berlin	2	<0,28	<0,27	<0,3	<0,25	<0,27	<0,24	<0,35
KKB Brunsbüttel	2	<0,06	<0,08	<0,23	<0,06	<0,059	<0,063	<0,062
KBR Brokdorf	2	<0,18	<0,24	<0,24	<0,15	<0,079	<0,054	<0,062
KKK Krümmel	3	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,038	<0,037	<0,041
GKSS Geesthacht	1	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,037	<0,035	<0,028
KKS Stade	1	<0,21	-	<0,2	<0,24	-	-	-
KKU Unterweser	2	<0,4	-	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
KWG Grohnde	3	<0,13	-	<0,11	<0,12	<0,14	<0,15	<0,15
KKE Emsland	2	<0,18	-	<0,21	<0,23	<0,21	<0,24	<0,29
KWW Würgassen	2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	*	*
FZ Jülich	3	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	3	<0,19	<0,17	<0,16	<0,13	<0,11	<0,11	<0,12
KKP Philippsburg	4	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,032	<0,028	<0,031
KWO Obrigheim	3	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,053	<0,052
GKN Neckarwestheim	2	<0,14	<0,11	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,13
FZ Karlsruhe	3	<0,006	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
KKI Isar	3	<0,23	<0,21	<0,21	<0,21	<0,2	<0,27	<0,28
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,058	<0,066	<0,069	<0,07	<0,068	<0,1	<0,062
KGG Gundremmingen B	3	<0,2	<0,19	<0,16	<0,13	<0,10	<0,21	<0,26
KGR Greifswald	2	<0,0007	[<0,0008] ⁹	<0,001	[<0,00095] ⁹	<0,00095	<0,12	<0,26
VKTA Rossendorf	3	<0,015	<0,011	<0,006	<0,006	<0,01	<0,011	<0,018
KKR Rheinsberg	2	<0,1 +	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	<0,19	<0,21	<0,21		<0,17	<0,14	<0,13

N Zahl der Messstationen - keine Messwerte
 []ⁱ unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate) * Messungen eingestellt + ab Q2 eingestellt

Tabelle T II.18 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						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
BER Berlin	2	70	70	69	69	69	68	[69] ⁶
KKB Brunsbüttel	2	91	88	89	86	94 ^{MT}	93	93
KBR Brokdorf	2	56	74 ^{MT}	85	86	89	88	90
KKK Krümmel	3	54	64 ^{MT}	74	74	74	77	77
GKSS Geesthacht	1	84	84	84	85	83	84	83
KKS Stade	1	104	a	105	[105] ¹¹	a	*	*
KKU Unterweser	2	101	a	95	96	[99] ⁹	91	103
KWG Grohnde	3	92 ^{MT}	a	97	97	93	93	97
KKE Emsland	2	74	a	72	73	72	71	71
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	12	109	111	111	109	107	106	105
THTR Hamm-Uentrop	2	101 ^l	99 ^l	98 ^l	97 ^l	90 ^l	80 ^r	81 ^r
KWB Biblis	3	105	105	105	103 ^m	106 ^m	106 ^m	104 ^m
KKP Philippsburg	4	98	95	105	100	106	105	104
KWO Obrigheim	2	119	120	120	120	119	118	120
GKN Neckarwestheim	2	126	130	130	130	131	125	127
FZ Karlsruhe	6	102 ^{MT}	104	105	105	108	107	93 ^{MTv}
KKI Isar	3	92	93	93	92	93	92	93
KKG Grafenrheinfeld	3	102	105	103	102	102	101	101
KGK Gundremmingen B	3	65	78 ^{MT}	89	92	92	89	91
KGR Greifswald	20	81 ^j	[82] ^{9j}	84 ^j	[82] ^{6j}	83 ^j	83 ^j	[83] ^{9j}
VKTA Rossendorf	3	111 ^k	112 ^k	117 ^k	116 ^k	118	114	115
KKR Rheinsberg	4	98 ^z	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	114	[113] ³	114	114	115	116	117

N Zahl der Messstationen * Messungen eingestellt
 [j] unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate) MT Austausch des Messsystems
 a Daten liegen nicht vor
 j Anzahl der Messstationen auf 6 reduziert, gemäß überarbeitetem Umgebungsüberwachungsprogramm
 k Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert, gemäß überarbeitetem Immissionsüberwachungsprogramm
 z Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert (Bedingungen des Restbetriebes)
 l leicht erhöhte ODL-Messwerte an einer Messstelle durch Bodenbearbeitung im Umfeld der Messstelle (Einbringung von Kalksteinschotter)
 m Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert; Messstation Ibersheim ab 01.04.2013 ersatzlos entfallen
 r Rückbau der 2008 eingebrachten Kalksteinschotterfläche im Umfeld einer Messstelle im Juli 2014
 v Verlegung von Messstationen innerhalb der Ortschaften



Tabelle T II.19 Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60
(Deposition of radioactivity related to Co-60)

Probenentnahmestelle	N	Aktivität in Bq/m ² oder in Bq/l							
		2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016	2016
		(Bq/l)	(Bq/m ²)	(Bq/l)	(Bq/m ²)	(Bq/l)	(Bq/m ²)	(Bq/l)	(Bq/m ²)
BER Berlin	1		<0,41		<0,4		<0,42		<0,56
KKB Brunsbüttel	2		<0,70		<0,69		<0,80		<0,68
KBR Brokdorf	2		<1,1		<0,86		<0,93		<0,76
KKK Krümmel	4	0,005	<0,54		<0,45		<0,70		<0,56
GKSS Geesthacht	2		<1,3		<1,2		<1,3		<1,3
KKS Stade	1		<1,8		*		*		*
KKU Unterweser	2		[<0,49] ⁹		<0,34		<0,41		<0,28
KWG Grohnde	2		<1,7		<2,4		<2,3		<0,21
KKE Emsland	2		<0,72		<0,65		<0,76		<0,72
KWW Würgassen	2			<0,0059					
FZ Jülich	1	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
THTR Hamm-Uentrop	*		*		*		*		*
KWB Biblis	2		<1,1		<0,94		<2,1		<1,3
KKP Philippsburg	4		<1,5		<1,4		<0,99		<1,6
KWO Obrigheim	2		<2,5		<2,3		<2,6		<3,4
GKN Neckarwestheim	2		<2,1		<2,2		<2,8		<2,1
FZ Karlsruhe	3		<2,6		<2,6		<2,7		<2,5
KKI Isar	3		<2,4		<2,1		<1,8		<2,5
KKG Grafenrheinfeld	2		<0,75		<0,72		<0,82		<0,34
KGG Gundremmingen B	2		<1,9		<1,7		<1,4		<1,8
KGR Greifswald	2		[<1,6] ⁶		<2,4		<1,7		<1,5
VKTA Rossendorf	2		<0,34		<0,6		<0,55		<1,2
KKR Rheinsberg	2		<0,18		<0,18		<0,17		<0,16
KMK Mülheim-Kärlich	2		[<0,94] ⁶		<0,72		<0,44		<0,57

[]ⁱ unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate) N Zahl der Messstationen
* Messungen eingestellt - keine Messwerte

Tabelle T II.21 Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2016
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2016)

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	-	-	-	-	-	-	6,2 E09	6,5 E10
Kr-87	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-88	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-89	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-131m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-133m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-133	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-135m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-135	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-137	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-138	-	-	-	-	-	-	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Neckar-westheim 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterwe-ser	Philippsburg 1	Grafen-rheinfeld	Krümmel	Gundrem-mingen B, C
Ar-41	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	2,5 E11
Kr-85m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	5,0 E09
Kr-85	nn	nn	nn	nn	2,4 E10	nn	2,0 E09	1,5 E11
Kr-87	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	4,1 E09
Kr-88	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	4,7 E11
Kr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	3,4 E11
Xe-131m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	2,9 E10
Xe-133m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	1,0 E10
Xe-133	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	7,1 E11
Xe-135m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	5,4 E11
Xe-135	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	5,3 E11
Xe-137	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	1,0 E12
Xe-138	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	4,9 E11

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philipps-burg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Ar-41	1,0 E09	-	1,3 E11	-	1,9 E11	9,3 E10	1,6 E11	9,1 E10
Kr-85m	nn	-	2,1 E08	-	1,2 E09	4,7 E07	nn	nn
Kr-85	nn	-	3,5 E10	-	nn	2,0 E11	nn	1,0 E10
Kr-87	nn	-	2,8 E08	-	2,0 E09	1,8 E07	nn	1,0 E08
Kr-88	nn	-	7,7 E08	-	3,4 E09	7,5 E07	nn	5,4 E08
Kr-89	nn	-	1,0 E09	-	nn	2,8 E08	nn	nn
Xe-131m	nn	-	2,3 E11	-	nn	4,2 E09	nn	3,2 E09
Xe-133m	2,6 E09	-	3,7 E09	-	nn	5,1 E08	nn	1,3 E09
Xe-133	1,1 E11	-	1,8 E09	-	2,0 E10	4,3 E08	nn	5,7 E08
Xe-135m	nn	-	1,2 E08	-	nn	5,7 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	3,3 E10	-	7,1 E07	-	3,0 E10	8,7 E08	nn	1,3 E08
Xe-137	nn	-	4,4 E08	-	nn	1,5 E08	nn	1,8 E08
Xe-138	nn	-	5,4 E08	-	nn	1,4 E08	nn	nn
- Messung/Angabe nicht erforderlich nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)								

Tabelle T II.22 Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2016 (I-131: Tabelle T II.20)
(Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2016 - I-131: Table T II.20)

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	1,3 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	4,2 E03	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	1,7 E05	nn	nn	5,7 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	6,3 E04	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

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq								
	Bibilis B	Neckar-westheim 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unter-weser	Philipps-burg 1	Grafen-rheinfeld	Krüm-mel	Gundrem-mingen B, C
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	3,2 E04	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	3,7 E03	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	nn	1,9 E07	nn	nn	6,9 E05	5,7 E05	3,4 E05	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	2,0 E05
Sr-90	nn	nn	3,8 E04	nn	nn	nn	nn	nn	3,0 E04
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	5,3 E03	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	1,6 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	nn	6,2 E04	2,5 E07	nn	nn	8,5 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	6,6 E03	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	5,9 E03	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	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	6,8 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.23 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 2006 bis 2016
(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 2006 to 2016)

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostromerzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	
2006	1,7 E13	2,3 E08	1,3 E08	19 105*
2007	2,2 E13	1,9 E08	8,7 E07	16 043*
2008	1,6 E13	5,7 E07	1,1 E08	21 497*
2009	1,3 E13	6,6 E07	6,8 E07	21 507*
2010	2,3 E13	8,7 E07	4,6 E07	16 045*
2011	1,9 E13	3,9 E07	3,3 E07	12 325*
2012	9,1 E12	2,3 E07	1,5 E07	11 354*
2013	9,9 E12	4,0 E07	6,6 E06	11 106*
2014	1,2 E13	3,6 E07	5,0 E06	11 087*
2015	4,8 E12	3,0 E07	1,3 E07	10 478*
2016	6,0 E12	4,0 E07	4,7 E07	9 661*

* Quelle: atw, International Journal for Nuclear Power, Betriebsergebnisse, Berlin

Tabelle T II.24 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren und Forschungsreaktoren von Universitäten im Jahr 2016
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2016)

Forschungszentrum	Aktivitätsableitung in Bq					
	radioaktive Edelgase	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide ^{a)}	I-131	I-129	C-14	H-3
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	1,9 E11	1,3 E06 ^{b)}	nn	8,3 E05	3,5 E09	7,4 E11
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	1,6 E09	2,2 E06	nn	nn	2,6 E10	2,5 E12
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	7,9 E10	7,1 E03	nn	nn	1,7 E08	7,9 E10
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)	nn	3,3 E03	nn	-	5,1 E07	5,9 E09
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI, einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	4,3 E11	7,6 E02	5,0 E05	-	9,6 E08	8,0 E09
Garching, FRM I	-	nn	nn	-	nn	4,6 E08
Garching, FRM II	2,7 E11	1,0 E04	nn	-	6,1 E09	5,9 E11
Forschungsreaktor Mainz	1,2 E11	nn	nn	-	-	2,6 E06

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler
b) davon Alphastrahler: 4,4 E04 Bq - Messung/Angabe nicht erforderlich
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle T II.25 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	
	2016	2015
ANF GmbH (Lingen)	<1,5 E04	<1,5 E04
URENCO D (Gronau)	2,9 E04	3,2 E04
< Messwert kleiner Erkennungsgrenze; der angegebene Wert entspricht der Erkennungsgrenze		

Tabelle T II.26 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachanlage Asse II und dem Endlager Morsleben
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine II and the radioactive waste repository Morsleben)

Radionuklid	Aktivitätsableitung in Bq	
	2016	2015
Morsleben		
H-3	1,2 E10	1,4 E10
C-14	1,0 E09	1,1 E09
Rn-222 ^{a)}	2,6 E10	2,2 E10
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	2,3 E06	2,8 E06
Schachanlage Asse II		
H-3	1,5 E10	1,3 E10
C-14	9,3 E08	8,8 E08
Rn-222 (Gas)	7,8 E10	8,3 E10
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	7,8 E05	6,2 E05
a) gleichgewichtsäquivalente Radon-222-Aktivitätskonzentration		

Tabelle T II.27 Übersicht über die für 2016 insgesamt ausgewerteten Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG 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 2016, in accordance with the StrVG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times)

Kompartiment Nuklid	Anzahl der Messungen	maximaler Einzelmesswert	Gewässer	Entnahmeort bzw. KT-Anlage	Datum/ Zeitraum	Überwa- chungspro- gramm
Oberflächenwasser (Bq/l)						
Gα	221	0,52	Ems	Terborg, km 24,65	Juli	StrVG
Gβ	110	5,3	Salzbach	ERAM Morsleben	Januar	REI
H-3	1646	3100	Ems	KKE Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
Co-60	1602	0,017	Isar	Forschungsneutro- nenquelle FRM II	IV. Quartal	REI
Sr-90	312	0,023	Unterweser	Blexen, km 430,0	Juni	StrVG
I-131	894	0,09	Weschnitz	Biblis, KWB Biblis	21.06.	REI
Cs-137	1540	0,048	Arendsee	Arendsee	03.05.	StrVG
Pu-(239+240)	109	0,000017	Elbe	Hamburg Bunthaus, km 609,80	April	StrVG
Schwebstoff (Bq/kg TM)						
Co-58	69	3,6	Mosel	Palzem, km 239,87	Dezember	StrVG
Co-60	520	4,6	Mosel	Perl, km 241,96	Oktober	StrVG
I-131	263	24	Mosel	Perl, km 241,96	Januar	StrVG
Cs-137	530	213	Steinhuder Meer	Wunstorf	IV. Quartal	StrVG
Sediment (Bq/kg TM)						
Gα	4	587	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	III. Quartal	REI
Gβ	4	1610	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	IV. Quartal	REI
Co-60	940	900	Hauptentwäs- serung	FZ Jülich	26.09.	REI
Sr-90	10	2,3	Steinbach Talsp.	Kempfeld	14.04.	StrVG
I-131	450	190	Ahauser Aa	TBL Ahaus	02.09.	REI
Cs-137	940	390	Hauptentwäs- serung	FZ Jülich	26.09.	REI
Pu-(239+240)	2	0,15	Isar	Forschungsneutro- nenquelle FRM II	2016	REI
Am-241	27	18	Hauptentwäs- serung	FZ Jülich	26.09.	REI

Tabelle T II.28 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrVG

(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrVG)

Tabellen

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2016	2015
RHEIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	10	0	0,88	3,40	1,47	1,84
		Koblenz, km 590,3	12	0	1,46	3,41	2,20	3,46
		Wesel, km 814,0	12	0	2,06	4,21	3,20	3,71
	Sr-90	Weil, km 172,97	3	0	0,0035	0,0047	0,0039	0,0036
		Koblenz, km 590,3	2	0	0,0021	0,0055	0,0038	<0,0042
		Wesel, km 814,0	3	0	0,0030	0,0044	0,0039	0,0037
	Cs-137	Weil, km 172,97	10	8	<0,0014	0,0067	<0,0028	<0,0018
		Koblenz, km 590,3	12	6	0,0014	0,0065	0,0035	<0,0027
		Wesel, km 814,0	12	8	0,0010	0,0098	<0,0025	0,0013
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 172,97	10	10	<0,44	<2,63	nn	<0,85
		Koblenz, km 590,3	11	11	<0,41	<1,04	nn	nn
		Wesel, km 814,0	11	11	<0,42	<8,56	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	10	0	4,23	9,62	7,14	7,41
		Koblenz, km 590,3	11	0	4,63	9,23	6,79	6,84
		Wesel, km 814,0	11	0	8,56	17,1	11,6	9,0
	I-131	Weil, km 172,97	9	4	2,80	<114	7,3	7,3
		Koblenz, km 590,3	11	5	2,37	<30,1	6,7	5,0
	Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 170,3	7	7	<0,26	<0,46	nn
Worms, km 444,50-446,60			10	10	<0,13	<0,64	nn	nn
Koblenz, km 591,3			3	3	<0,45	<0,70	nn	nn
Düsseldorf, km 740,3-748,9			13	13	<0,24	<3,07	nn	nn
Cs-137		Weil, km 170,3	7	0	2,21	3,90	3,13	3,25
		Worms, km 444,50-446,60	10	0	0,29	8,30	4,04	4,9
		Koblenz, km 591,3	3	0	6,46	7,83	7,23	6,19
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	13	0	0,68	13,3	6,4	8,8
NECKAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	0	1,29	9,93	4,07	10,1
		Rockenau, km 61,4	12	0	0,94	8,39	4,83	7,9
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	0	0,0028	0,0066	0,0040	0,0028
		Rockenau, km 61,4	3	0	0,0026	0,0046	0,0036	0,0040
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	12	9	<0,0011	<0,0031	<0,0020	<0,0018
		Rockenau, km 61,4	11	3	0,0007	0,0045	0,0018	<0,0018
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Rockenau, km 61,4	5	5	<0,65	<3,24	nn	nn
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	1	0	7,78	7,78	7,78	nn
		Rockenau, km 61,4	5	0	7,40	12,0	10,1	7,36
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Guttenbach, km 72,0-77,2	16	16	<0,15	<0,94	nn	nn
	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	22	0	2,35	9,14	5,28	4,85
		Neckarzimmern, km 85,8-86,2	3	0	9,60	10,2	9,9	6,48
		Guttenbach, km 72,0-77,2	16	0	0,27	8,42	5,21	4,89
MAIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12	0	0,63	3,73	1,30	2,81
		Eddersheim, km 15,3	12	0	0,72	2,70	1,17	1,88
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	2	0	0,0030	0,0031	0,0031	0,0044
		Eddersheim, km 15,3	4	0	0,0023	0,0055	0,0033	0,0036
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	12	9	0,0008	0,0051	<0,0019	<0,0021
		Eddersheim, km 15,3	12	8	0,0009	0,0081	<0,0024	0,0012
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 323,7	4	4	<0,60	<1,60	nn	nn
	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	4	0	11,1	19,4	14,7	17,8
		Garstadt, km 323,7	4	0	8,46	16,9	13,4	15,1
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 316,2-324,8	5	5	<0,34	<0,57	nn	nn
	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	7,20	16,0	11,1	9,7
		Garstadt, km 316,2-324,8	5	0	4,69	14,9	9,5	11,9

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2016	2015
MOSEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	0	13,3	40,9	31,4	31,1
		Koblenz, km 2,0	12	0	7,07	20,5	13,4	12,6
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	3	0	0,0032	0,0045	0,0038	0,0036
		Koblenz, km 2,0	4	0	0,0016	0,0053	0,0035	0,0028
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	6	0,0013	0,0032	0,0021	0,0021
Koblenz, km 2,0		11	5	<0,0008	0,013	0,0047	<0,0017	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	5	0	0,067	2,85	1,42	2,76
		Co-60	10	3	<0,37	4,57	1,79	3,98
	Cs-137	Koblenz, km 2,0	12	12	<0,57	<3,71	nn	nn
		Perl, km 241,96	10	0	8,72	18,6	12,3	11,9
	I-131	Koblenz, km 2,0	12	0	7,01	17,7	11,4	12,2
		Perl, km 241,96	10	5	6,02	<55	12,1	11,6
Koblenz, km 2,0	12	8	2,79	<40,1	<11,3	<13,3		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	15	10	<0,13	1,06	<0,58	<0,66
		Trier, km 184,1-196,1	9	8	0,47	<1,18	<0,74	nn
		Koblenz/Güls km 4,05	3	3	<0,40	<0,61	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	15	0	1,28	13,3	6,9	7,1
		Trier, km 184,1-196,1	9	0	7,63	14,7	12,1	9,1
		Koblenz/Güls, km 4,05	3	0	8,29	11,6	9,6	15,0
SAAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schoden, km 7,70	12	0	0,68	1,15	0,80	0,95
		Sr-90	3	0	0,0013	0,0046	0,0034	0,0025
	Cs-137	12	7	0,0007	<0,0050	<0,0020	0,0014	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schoden, km 7,70	12	0	10,6	25,2	18,1	16,2
	I-131	12	7	2,24	<61	<24	<19,3	
DONAU								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<5,3	<5,3	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	12	0	0,77	1,27	1,05	1,20
		Vilshofen, km 2249,0	10	0	1,06	2,74	1,57	2,21
	Sr-90	Regensburg, km 2381,3	4	1	0,0024	<0,0058	0,0039	0,0044
		Vilshofen, km 2249,0	4	1	0,0039	<0,0091	0,0043	0,0051
	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<0,0023	<0,010	nn	nn
Regensburg, km 2381,3		12	4	0,0009	0,0037	0,0017	0,0018	
Vilshofen, km 2249,0		11	5	0,0006	0,0028	0,0013	0,0021	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	1	0	64,0	64,0	64,0	57,9
		Regensburg, km 2381,3	4	0	35,2	76,0	50,2	40,5
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	21,0	48,4	31,0	24,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	0	56,5	62,2	59,2	57,4
		Regensburg, km 2379,1-2381,4	6	0	5,22	39,3	20,7	15,3
		Straubing, km 2326,7	4	0	35,9	42,4	39,1	38,1
		Grünau, km 2205,5	2	0	23,7	23,9	23,8	21,0
ISAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
		Plattling, km 9,1	4	3	<5,2	12,1	<6,9	nn
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0065	<0,0087	nn	nn
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,0053	<0,0091	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	14,5	18,2	16,3	13,6
		Plattling, km 9,1	4	0	19,9	42,1	29,6	22,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	11,6	20,9	16,2	18,5
		Plattling, km 9,1	4	0	1,98	30,6	9,9	9,5

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2016	2015
EMS								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	0	1,54	53,0	14,7	15,2
		Terborg, km 24,64	12	0	1,16	16,2	4,4	6,1
	Co-60	Terborg, km 24,64	11	11	<0,0012	<0,0019	nn	nn
		Sr-90	Geeste, km 106,3	3	0	0,0019	0,0044	0,0029
	Cs-137	Terborg, km 24,64	3	0	0,0018	0,0029	0,0024	0,0038
		Geeste, km 106,3	12	7	0,0009	0,0035	<0,0017	<0,0019
		Terborg, km 24,64	11	0	0,0039	0,017	0,009	0,012
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Terborg, km 24,64	4	4	<0,54	<0,86	nn	nn
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	0	9,06	14,7	12,1	16,0
		Terborg, km 24,64	4	0	5,37	6,31	5,89	5,85
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Herbrum, km 212,75	2	0	5,78	6,98	6,38	5,12
WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	1,21	8,55	3,27	3,40
		Langwedel, km 329,4	12	0	0,78	4,95	1,94	2,13
		Blexen, km 430,00	11	0	1,17	3,10	2,01	2,14
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	3	0	0,0010	0,0035	0,0026	0,0031
		Langwedel, km 329,4	4	0	0,0036	0,0058	0,0045	0,0029
		Blexen, km 430,0	4	0	0,0016	0,023	0,0084	0,0037
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	12	7	0,0014	<0,0023	<0,0019	0,0021
		Langwedel, km 329,4	12	6	0,0010	0,0030	0,0018	<0,0017
		Blexen, km 430,0	12	1	0,0014	0,0055	0,0029	0,0032
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Wilhelmshaven/Jadebusen	4	3	0,28	<0,73	<0,51	nn
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	5,58	6,92	6,18	7,07
		Langwedel, km 329,4	12	0	2,56	20,6	13,4	8,6
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	0	2,14	3,55	2,77	4,66
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Bremen (Insel), km 422,9	3	3	<0,39	<0,67	nn	-
	Cs-137	Minden, km 204,40	4	0	9,19	11,9	10,3	54
		Bremen (Insel), km 422,9	3	0	7,11	9,12	8,23	-
ELBE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	12	0	4,89	14,3	7,5	5,23
		Tangermünde, km 389,10	12	0	3,21	8,47	5,09	4,10
		HH (Bunthaus), km 609,8	5	0	2,64	6,67	3,99	3,09
		Cuxhaven, km 724,5	11	0	2,29	3,79	3,32	3,61
	Sr-90	Dresden, km 58,0	3	0	0,0021	0,0035	0,0030	0,0032
		Tangermünde, km 389,10	4	1	0,0025	<0,0067	0,0031	0,0036
		HH (Bunthaus), km 609,8	5	0	0,0010	0,0068	0,0037	<0,0026
		Cuxhaven, km 724,5	3	0	0,0030	0,0054	0,0040	0,0047
	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	6	0,0006	0,0022	0,0013	0,0018
		Tangermünde, km 389,10	11	2	0,0008	0,0052	0,0017	0,0026
		HH (Bunthaus), km 609,8	5	1	0,0011	0,0024	0,0018	0,0018
		Cuxhaven, km 724,5	11	1	0,0009	0,0033	0,0019	0,0019
	Pu-(239+240)	HH (Bunthaus), km 609,8	5	0	0,000004	0,000017	0,00001	0,000012
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	9	0	9,21	33,4	20,1	20,0
		Geesthacht, km 586,0	4	0	10,8	17,3	14,0	14,0
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	6,61	14,9	11,4	10,6
		Cuxhaven, km 724,5	4	0	0,27	0,56	0,43	0,33
	I-131	HH (Bunthaus), km 609,8	4	4	<1,20	<5,28	nn	<1,61
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	3	0	13,0	17,9	15,4	14,8
		Arneburg, km 403,5	4	0	4,47	15,0	8,3	7,2
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	10,8	15,2	12,9	15,5
		Cuxhaven, km 726,3	3	0	2,16	5,24	3,80	3,51

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2016	2015
ODER								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	12	0	0,63	1,02	0,80	0,81
		Schwedt, km 690,55	12	0	0,52	0,89	0,69	0,77
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	3	0	0,0042	0,0047	0,0044	0,0044
		Schwedt, km 690,55	3	0	0,0022	0,0046	0,0032	0,0033
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	12	7	0,0007	<0,0025	<0,0016	0,0033
Schwedt, km 690,55		11	0	0,0012	0,0065	0,0036	0,0042	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	0	5,23	13,9	10,3	15,4
		Schwedt, km 690,55	-	-	-	-	-	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	-	-	-	-	-	17,9
		Hohensaaten, km 667,5	3	0	13,4	15,8	14,9	11,9
SPREE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,6	4	4	<1,14	<1,52	nn	nn
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	9	0	0,55	0,94	0,74	0,73
	Sr-90	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	2	0	0,0037	0,0038	0,0038	0,0030
		Berlin-Sophienwerder, km 0,6	4	2	0,0009	<0,0028	0,0010	0,0008
	Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	9	6	0,0010	<0,0031	<0,0017	0,0039
Schwebstoff (Bq/kg TM)		Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	2	0	19,4	29,9	24,7
	Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)		4	0	2,97	9,09	6,77	5,9
	I-131	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	-	-	-	-	-	nn
Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)		4	2	1,97	<3,64	2,18	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Fürstenwalde, km 74,7	-	-	-	-	-	-
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	17,7	20,3	18,5	16,9
HAVEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	0	0,54	0,80	0,71	0,73
	Sr-90		3	0	0,0033	0,0055	0,0043	0,0042
	Cs-137		12	5	0,0009	0,0024	0,0014	0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	30,0	38,5	34,8	33,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	6	0	12,4	27,1	20,6	17,5
SAALE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Halle/Planena, km 104,5	12	0	0,65	0,93	0,78	0,80
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,08	<3,27	nn	nn
	Sr-90	Halle/Planena, km 104,5	2	0	0,0038	0,0048	0,0043	0,0032
		Camburg, km 187,0	4	3	0,0036	<0,0059	<0,0048	<0,0050
	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	12	9	0,0005	<0,0022	<0,0017	<0,0017
Camburg, km 187,0		4	4	<0,018	<0,023	nn	nn	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	3	0	13,9	20,3	16,2	10,5
		Camburg, km 187,0	4	0	34,9	38,9	36,8	32,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 105,5	3	0	10,4	11,3	11,0	11,4
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	13,0	14,5	13,7	14,7
PEENE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	12	0	0,44	0,99	0,70	0,77
	Sr-90		2	0	0,0030	0,0031	0,0031	0,0029
	Cs-137		12	7	0,0008	<0,0037	<0,0017	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	22,1	38,3	29,5	27,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	6	0	22,5	29,0	26,8	27,7

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2016	2015
TRAVE/UNTERTRAVE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	10	0	0,82	1,10	0,93	1,05
	Sr-90		4	0	0,0027	0,011	0,005	0,0030
	Cs-137		11	0	0,0021	0,011	0,005	0,006
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	3	0	32,0	54,8	41,5	15,2
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	11	0	0,93	1,34	1,09	1,14
	Sr-90		2	0	0,0041	0,0043	0,0042	0,0064
	Cs-137		11	0	0,0015	0,011	0,005	0,0051
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	3	0	30,0	38,3	32,9	22,9
nn nicht nachweisbar/nachgewiesen - Messung/Angabe nicht erforderlich								

Tabelle T II.29 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrVG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrVG)

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2016	2015
BADEN-WÜRTTEMBERG / BAYERN / Bodensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<5,3	<5,3	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Cs-137	Langenargen	8	8	<0,0023	<0,0098	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<0,0069	<0,0089	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	3,70	8,35	6,20	7,18
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	7,00	12,3	9,1	10,5
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0033	0,0041	0,0037	0,0045
	Cs-137		4	4	<0,0084	<0,011	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	30,7	42,2	35,6	37,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	5,28	9,53	6,76	9,4
Starnberger See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0067	0,011	0,0084	0,0071
	Cs-137		4	4	<0,0070	<0,0098	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	114	125	120	113
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle 41035	4	4	<1,14	<1,52	nn	nn
	Sr-90		3	0	0,0020	0,0030	0,0026	0,0044
	Cs-137		4	4	<0,0010	<0,0059	nn	<0,0025
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	1	1,17	35,2	13,5	2,49
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	0	16,2	24,6	22,1	29,7

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2016	2015
Stößensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<1,18	<1,52	nn	nn
	Sr-90		3	0	0,0026	0,0030	0,0027	0,0034
	Cs-137		4	3	<0,0016	<0,0029	<0,0023	0,0019
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	2	<3,04	11,0	7,6	4,76
	I-131		4	3	<3,98	12,7	<6,9	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	27,7	41,0	32,9	36,8
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<5,09	<6,74	nn	nn
	Sr-90		3	0	0,003	0,010	0,008	0,012
	Cs-137		4	4	<0,0054	<0,0089	nn	<0,011
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	9,8	11,0	10,7	11,4
Neuendorfer See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	4	4	<8,58	<8,80	nn	nn
	Sr-90		3	0	0,002	0,004	0,003	0,003
	Cs-137		4	4	<0,011	<0,023	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	14	22	19	14
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	0,70	0,80	0,75	0,75
HESEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<5,56	<5,75	nn	nn
	Sr-90		3	1	0,0047	0,0087	0,0067	0,005
	Cs-137		4	4	<0,007	<0,016	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	18,0	24,1	22,0	26,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	2,45	12,7	6,2	7,6
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	4	<5,48	<6,58	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,011	<0,018	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	2,46	12,9	7,5	8,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	4,63	8,31	5,90	5,88
Schweriner See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<5,43	<6,22	nn	nn
	Sr-90		4	2	<0,0011	0,010	0,0064	0,0025
	Cs-137		4	4	<0,0036	<0,018	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	32,7	78,0	58,4	56,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	27,2	33,7	30,5	26,2
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	1	1,23	<1,43	1,32	1,31
	Sr-90		4	0	0,0013	0,0018	0,0016	0,0016
	Cs-137		4	4	<0,0007	<0,0012	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	22,7	30,0	26,2	36,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	17,9	37,2	30,5	48,2

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2016	2015
Steinhuder Meer								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	1	1,16	1,55	1,34	1,07
	Cs-137		4	1	<0,0013	0,0054	0,0049	0,0063
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	3	0	186	213	195	201
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	23,0	107	57	83
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<2,92	<3,40	nn	nn
	Sr-90		1	0	0,0089	0,0089	0,0089	0,0035
	Cs-137		4	4	<0,0056	<0,011	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<5,0	<10	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0002	<0,0005	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	0	4,28	6,64	5,52	5,39
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	4	<2,2	<2,5	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,020	0,023	0,022	0,022
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	21	60	43	52
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	4	<5,3	<6,7	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,066	<0,0075	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	1	13,7	28,1	18,8	21,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	34,0	49,2	39,9	44,3
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,030	0,048	0,036	0,045
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	37,6	55,5	44,9	59,6
Schollener See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	1	<0,008	0,018	0,015	<0,014
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	163	235	208	217
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<10	<10	nn	nn
	Sr-90		3	3	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,013	<0,027	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	99,9	145	118	122
Wittensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Groß Wittensee	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,013	<0,025	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Groß Wittensee	4	0	80,0	183	116	163
THÜRINGEN / Talsperre Ohra								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Luisenthal	4	4	<3,10	<3,22	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,017	<0,020	nn	nn
nn nicht nachweisbar/nachgewiesen								

Tabelle T II.30 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI
(Monitoring of bodies of water in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI)

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2016	2015
RHEIN / KKW Beznau und KKW Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	4	4	<5,3	<5,3	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<5,3	<5,3	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<5,3	<5,3	nn	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0043	<0,011	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,0046	<0,0096	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0056	<0,011	nn	nn
Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0033	<0,0096	nn	nn	
	vor KKW Leibstadt	4	4	<0,0042	<0,0081	nn	nn	
	nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0051	<0,012	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,20	<0,29	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	2	2	<0,22	<0,47	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,18	<0,20	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	0	2,09	3,71	2,90	3,18
		vor KKW Leibstadt	2	0	3,01	3,48	3,25	3,62
		nach KKW Leibstadt	2	0	2,36	2,41	2,39	2,47
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil	12	12	<5,32	<5,32	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<5,32	<5,32	nn	nn
	Co-60	Weil	12	12	<0,0085	<0,021	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0066	<0,022	nn	nn
	Cs-137	Weil	12	12	<0,0075	<0,020	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0068	<0,019	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Neuenburg/Grißheim, km 206,5	2	2	<0,20	<0,35	nn	nn
		Breisach, km 232,0	2	2	<0,23	<0,29	nn	nn
	Cs-137	Neuenburg/Grißheim km 206,5	2	0	1,14	2,97	2,05	1,33
		Breisach, km 232,0	2	0	2,48	3,07	2,77	3,28
RHEIN / HIRSCHKANAL / KIT Karlsruhe								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Hirschkanal	52	0	0,011	0,051	0,029	0,028
	Gβ		52	4	0,059	0,196	0,124	0,120
	H-3		64	55	1,57	<5,32	<3,01	<3,12
	Co-60		4	4	<0,0043	<0,0071	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0041	<0,0066	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Gα	Hirschkanal	4	0	473	587	529	505
	Gβ		4	0	1500	1610	1570	1428
	Co-60		8	8	<0,36	<2,20	nn	nn
	Cs-137		8	0	46,1	159	73	84
	Am-241		8	4	3,08	14,9	7,9	10,1
RHEIN / KKP Philippsburg								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	15	12	<1,40	<5,32	<4,47	3,6
		Auslaufbauwerke I u. II	30	2	<5,32	105	26	29
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0044	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	14	14	<0,0036	<0,034	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0047	<0,032	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	14	14	<0,0037	<0,035	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,41	<0,81	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	0	0,40	1,57	0,89	1,06
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	8,51	10,3	9,2	8,9
		Auslaufbauwerk	4	0	6,83	8,11	7,34	8,27

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2016	2015
RHEIN / KWB Biblis (außer Betrieb) und BE-Zwischenlager								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	4	2,95	<6,2	3,4	<5,85
		Auslaufbauwerke A u. B	16	2	2,52	29,8	12,4	12,0
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,020	<0,034	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,017	<0,039	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,019	<0,032	nn	nn	
	Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,015	<0,039	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,30	<0,40	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,40	<0,40	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	6,2	7,6	6,9	7,9
		nach Auslaufbauwerk	2	0	11,0	12,0	11,5	12,0
RHEIN / KMK Mühlheim-Kärlich (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<8,7	<8,7	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	0	4,4	6,2	5,3	4,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,011	<0,015	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,008	<0,015	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,012	<0,013	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	4	4	<0,008	<0,015	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,42	<0,43	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	1	<0,50	0,61	0,61	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	10	12	11	11
		nach Auslaufbauwerk	2	0	10	14	12	10
NECKAR / GKN Neckarwestheim								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	12	<4,6	<5,3	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	3	<4,6	430	209	229
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0052	<0,044	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	12	<0,0104	<0,049	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0044	<0,047	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	12	12	<0,0093	<0,058	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,28	<0,38	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,39	<0,61	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	1,20	1,28	1,24	2,57
		nach Auslaufbauwerk	2	0	3,87	7,21	5,54	4,30
NECKAR / KKO Obrigheim (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Guttenbach	21	7	3,5	19,4	7,9	8,1
	Co-60	Guttenbach	21	21	<0,0030	<0,035	nn	nn
		Guttenbach	21	21	<0,0026	<0,041	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,31	<0,53	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	1,51
		nach Auslaufbauwerk	3	0	4,60	5,98	5,30	4,53
MAIN / KKG Grafenrheinfeld (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<7,7	<10	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	3	<7,9	21,1	20,3	45,0
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,029	<0,039	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,031	<0,041	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,028	<0,040	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	4	4	<0,028	<0,040	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,1	<1,4	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<1,2	<1,5	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	19	23	21	20
		nach Auslaufbauwerk	4	0	19	22	21	21

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität				
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte		
					min. Wert	max. Wert	2016	2015	
MAIN / Siemens GmbH Karlstein									
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	oberhalb Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,83	<0,83	nn	nn	
		unterh. Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,78	<0,78	nn	nn	
	Cs-137	oberhalb Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,94	<0,94	nn	0,70	
		unterh. Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,78	<0,78	nn	0,30	
MOSEL / KKW Cattenom (Frankreich)									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Palzem, km 230	12	0	15	45	33	31	
	Co-60		12	12	<0,0093	<0,024	nn	nn	
	Cs-137		12	12	<0,0085	<0,027	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Palzem, km 230	2	2	<0,33	<0,43	nn	nn	
	Cs-137		2	0	10	15	13	7,9	
DONAU / KGG Gundremmingen									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<2,96	<5,98	nn	nn	
		Auslaufbauwerk I	8	0	70	140	100	99	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0029	<0,033	nn	nn	
		Auslaufbauwerk I	8	4	0,0059	<0,034	0,0073	0,0052	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0029	<0,034	nn	nn	
		Auslaufbauwerk I	8	4	0,0037	<0,036	0,0042	0,0058	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,17	<0,37	nn	nn	
		nach Auslaufbauwerk	4	1	<0,31	4,61	2,42	2,17	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	15,3	41,5	28,1	35,5	
		nach Auslaufbauwerk	4	0	22,8	59,8	36,3	27,8	
ISAR / KKI Isar 1 und 2									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<2,95	<6,0	nn	nn	
		Auslaufbauwerke	16	8	<2,95	260	130	146	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0031	<0,043	nn	nn	
		Auslaufbauwerke	16	16	<0,0020	<0,042	nn	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0032	<0,0042	nn	nn	
Auslaufbauwerke		8	8	<0,0021	<0,0042	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,25	<0,41	nn	nn	
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,17	<0,43	nn	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	30,5	40,7	34,4	34,4	
nach Auslaufbauwerk		4	0	24,3	36,5	28,7	30,7		
ISAR / FRM II Forschungsneutronenquelle HML München									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	nach FRM II, km 130,3	8	0	13,3	153	69	48	
	C-14		8	8	<0,11	<4,7	nn	nn	
	Co-60		8	6	<0,0056	<0,046	<0,025	<0,029	
	Cs-137		8	8	<0,0049	<0,053	nn	nn	
	U-235		2	0	0,0046	0,0053	0,0049	0,0030	
	Pu-238		2	2	<0,0002	<0,0014	nn	nn	
	Am-241		2	2	<0,0008	<0,0013	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	nach FRM II, km 124,6	4	4	<0,10	<0,17	nn	nn	
	Cs-137		4	0	8,61	18,0	14,0	17,3	
	U-235		1	0	2,24	2,24	2,24	1,14	
	Pu-(239 +240)		1	0	0,15	0,15	0,15	nn	
	Am-241		1	1	<0,16	<0,16	nn	nn	
EMS / KKE Emsland									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	5	1,26	<7,0	<4,2	<4,1	
		Auslaufbauwerk	8	1	<1,38	3100	1350	2860	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0057	<0,031	nn	nn	
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0049	<0,032	nn	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0046	<0,0086	nn	nn	
Auslaufbauwerk		4	4	<0,0041	<0,0063	nn	nn		

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2016	2015
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	4	<0,41	<0,81	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,42	<0,66	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	0	9,93	25,3	18,2	24,3
		nach Auslaufbauwerk, km 106	4	0	25,7	29,1	27,2	25,5
WESER / KWW Würzgassen (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Auslaufbauwerk	-					
	Co-60	Auslaufbauwerk	-					
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Regenwassersammelleitung	6	3	0,39	<1,40	0,67	1,03
	Cs-137		2	0	31	38	35	38
WESER / KWG Grohnde								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	5	1,01	<5,60	<3,30	<3,48
		Auslaufbauwerk	8	0	11,2	54,7	28,1	23,3
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0003	<0,045	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0073	<0,047	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0042	<0,042	nn	nn
Auslaufbauwerk		8	8	<0,0054	<0,040	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,31	<0,98	nn	nn
		Hess. Oldendorf, km 147	4	4	<0,34	<0,52	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	0	10,8	16,1	13,1	9,5
		Hess. Oldendorf, km 147	4	0	3,57	7,37	5,55	7,68
UNTERWESER / KKU Unterweser (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	4	1,30	<10,0	2,18	1,98
		Auslaufbauwerk	8	2	1,50	24,7	11,9	3,40
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0090	<0,050	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0066	<0,050	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0084	<0,0095	nn	<0,0063
Auslaufbauwerk		4	4	<0,0057	<0,015	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	4	<0,29	<0,67	nn	<0,41
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	4	<0,35	<0,53	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	0	4,19	6,53	5,49	5,99
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	2,49	4,86	4,00	4,23
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Selhausen	8	8	<10	<10	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<10	<10	nn	nn
	Co-60	Selhausen	8	8	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<0,05	<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	<1,2	<1,6	nn	nn
		Jülich-Süd	2	2	<1,4	<1,6	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	0	9,4	15	12	10
		Jülich-Süd	2	0	12	12	12	11
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Hauptentwässerungs- leitungen	4	5	<0,038	0,42	<0,22	0,17
		Retentionsanlage	7	4	<0,125	0,35	<0,23	<0,17
		Goorbach, unterhalb der Straßenkreuzung	4	4	<0,20	<0,20	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Ra-226	Dinkel, nach Kläranlage	2	0	71	500	286	54
	Ra-228	Gronau	2	0	39	410	225	35

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2016	2015
AHAUSER AA / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächenwasser (Bq/l)	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,70	<0,70	nn	nn
	Rβ		4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
	H-3		4	4	<10	<10	nn	nn
	Co-60		4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Einleitung Moorbach	3	3	<1,6	<2,8	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<1,1	<1,8	nn	nn
	Cs-137	Einleitung Moorbach	3	0	14	20	18	19
		Ahauser Aa	4	0	16	25	20	17
		Retentionsbecken	4	0	2,23	3,66	2,91	4,86
	Ra-226	Retentionsbecken	4	0	8,92	11,6	9,9	9,4
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<5,6	<10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<5,6	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,012	<0,026	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,013	<0,033	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,011	<0,029	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,013	<0,038	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<0,32	<0,89	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<0,32	<0,86	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	2	0,24	<0,85	0,43	<1,05
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	1	0,40	2,80	1,22	<0,57
ELBE / KKK Krümmel (außer Betrieb)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	12	<5,6	<6,5	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	12	<5,6	<6,5	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	18	18	<0,0070	<0,036	nn	nn
		Auslaufbauwerk	18	18	<0,0070	<0,041	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	18	18	<0,0075	<0,041	nn	nn
Auslaufbauwerk		18	18	<0,0079	<0,043	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,17	<0,80	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,16	<0,90	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	6	0	0,53	1,60	0,97	0,45
		Auslaufbauwerk	6	4	0,20	<0,90	<0,59	0,23
ELBE / KBR Brokdorf								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	10	<3,13	8,64	<4,30	<7,0
		Auslaufbauwerk	12	0	5,18	23,7	14,1	22,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0079	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	12	<0,0067	<0,033	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0080	<0,044	nn	nn
Auslaufbauwerk		12	12	<0,0087	<0,035	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,70	<1,00	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,70	<0,81	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	1	0,52	2,0	1,3	<0,9
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,62	<0,80	nn	1,7

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2016	2015
ELBE / KKS Stade (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	16	0	1,03	7,01	3,56	2,31
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	0	2,43	5,20	3,81	2,90
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	16	16	<0,0011	<0,0071	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	4	<0,0008	<0,0017	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	16	5	0,0007	<0,0061	0,0018	<0,0030
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	1	0,0010	0,0021	0,0014	0,0013
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	4	<0,35	<0,44	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	4	<0,23	<0,49	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	0	3,52	6,54	4,69	5,86
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	0	3,71	4,98	4,35	4,55
ELBE / KKB Brunsbüttel (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	18	18	<4,04	<5,80	nn	nn
		Auslaufbauwerk	18	18	<4,02	<5,70	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	18	18	<0,0095	<0,021	nn	nn
		Auslaufbauwerk	18	18	<0,011	<0,024	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	9	0	0,0022	0,0037	0,0031	0,0025
		Auslaufbauwerk	9	0	0,0026	0,0042	0,0031	0,0025
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	18	18	<0,0095	<0,025	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	18	18	<0,0090	<0,026	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,63	<0,99	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,84	<0,95	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	1	<0,81	2,5	2,5	3,1
		nach Auslaufbauwerk	3	2	<0,86	1,9	<1,2	1,8
ELBE / GNS Gorleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schnackenburg, km 474,6	3	0	4,00	4,99	4,46	4,39
		Dömitz, km 504,4	3	0	3,24	4,93	4,04	3,75
	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	3	3	<0,0008	<0,0015	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	3	3	<0,0008	<0,0023	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	6	1	0,0003	<0,0013	0,0006	0,0007
		Dömitz, km 504,4	6	1	0,0004	<0,0020	0,0007	0,0006
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	1	1	<0,0005	<0,0005	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	1	1	<0,0005	<0,0005	nn	nn
	Pu-239	Schnackenburg, km 474,6	1	1	<0,0005	<0,0005	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	1	1	<0,0005	<0,0005	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	3	3	<0,22	<0,32	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	3	3	<0,23	<1,03	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	3	0	4,20	9,50	6,55	5,11
		Dömitz, km 504,4	3	0	2,31	18,5	12,8	3,49
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,10	<0,11	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,09	<0,12	nn	nn
	Pu-239	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,10	<0,11	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,09	<0,12	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität				
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte		
					min. Wert	max. Wert	2016	2015	
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungsstandort Rossendorf									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Kalter Bach	8	8	<5,2	<9,9	nn	<6,7	
		Wesenitz	2	2	<5,4	<6,4	nn	nn	
	Co-60	Kalter Bach	8	8	<0,0032	<0,14	nn	nn	
		Wesenitz	2	2	<0,0077	<0,0080	nn	nn	
		Cs-137	Kalter Bach	4	4	<0,015	<0,018	nn	nn
			Wesenitz	2	2	<0,0068	<0,0076	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	4	2	<0,44	0,88	0,81	0,57	
		Wesenitz	2	2	<0,34	<0,69	nn	nn	
	Cs-137	Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	2	<0,42	<0,50	nn	nn	
		Kalter Bach	4	0	5,3	16	10	15	
		Wesenitz	2	0	3,2	6,1	4,7	7	
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	0	0,61	1,30	0,96	0,76	
ALLER / Endlager Morsleben									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Salzbach	3	3	<5,0	<5,0	nn	nn	
		nach Salzbach	3	3	<5,0	<5,0	nn	nn	
	Co-60	vor Salzbach	3	3	<0,006	<0,007	nn	nn	
		nach Salzbach	3	3	<0,006	<0,007	nn	nn	
	Cs-137	vor Salzbach	3	3	<0,006	<0,007	nn	nn	
		nach Salzbach	3	3	<0,005	<0,006	nn	nn	
	Gß	vor Salzbach	9	0	0,32	0,53	0,40	0,41	
		nach Salzbach	9	0	0,35	0,45	0,39	0,46	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Belsdorf	1	1	<0,24	<0,24	nn	nn	
		Schwanefeld	1	1	<0,33	<0,33	nn	nn	
	Cs-137	Belsdorf	1	0	2,9	2,9	2,9	3,7	
		Schwanefeld	1	0	2,6	2,6	2,6	2,6	
diverse Vorfluter / Schachanlage Asse II									
Oberflächenwasser (Bq/l)	Co-60	Vorfluter b. Vahlberg	4	4	<0,0073	<0,096	nn	nn	
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,061	<0,095	nn	nn	
		Vorfluter b. Remlingen	-	-	-	-	-	nn	
	Cs-137	Vorfluter b. Vahlberg	4	4	<0,031	<0,084	nn	nn	
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,059	<0,079	nn	nn	
	Pb-210	Vorfluter b. Remlingen	-	-	-	-	-	nn	
		Vorfluter b. Vahlberg	4	4	<0,41	<1,0	nn	nn	
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,96	<1,1	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Altenau, Kuckucksmühle	1	1	<1,06	<1,06	nn	nn	
		Altenau, Wendesser Mühle	1	1	<1,04	<1,04	nn	nn	
	Cs-137	Altenau, Kuckucksmühle	1	0	1,85	1,85	1,85	1,76	
		Altenau, Wendesser Mühle	1	1	<1,26	<1,26	nn	nn	
	Pb-210	Altenau, Kuckucksmühle	1	1	<74,9	<74,9	nn	nn	
		Altenau, Wendesser Mühle	1	1	<110	<110	nn	nn	
HAVEL / KKR Rheinsberg (stillgelegt)									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	50 m vor Auslauf	5	5	<5,4	<9,0	nn	nn	
		50 m nach Auslauf	5	5	<5,4	<9,0	nn	nn	
	Co-60	50 m vor Auslauf	16	16	<0,0029	<0,016	nn	nn	
		50 m nach Auslauf	16	16	<0,0028	<0,016	nn	nn	
	Cs-137	50 m vor Auslauf	16	16	<0,0028	<0,014	nn	<0,007	
		50 m nach Auslauf	16	15	<0,0031	<0,015	<0,008	<0,007	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	50 m vor Auslauf	2	2	<0,16	<0,12	nn	nn	
		50 m nach Auslauf	2	2	<0,17	<1,5	nn	nn	
	Cs-137	50 m vor Auslauf	2	0	11	13	12	12	
		50 m nach Auslauf	2	0	1,3	1,0	1,2	1,5	

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2016		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2016		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2016	2015
GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslauf	11	11	<5,59	<10	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	11	11	<5,63	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslauf	11	11	<0,011	<0,049	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	11	11	<0,013	<0,049	nn	nn
		Cs-137	vor Auslauf	11	8	0,0093	<0,077	<0,041
	nach Auslauf (Hafenbecken)	11	10	<0,017	<0,063	<0,043	<0,037	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslauf	2	2	<0,30	<0,35	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	2	<0,33	<0,45	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	2	0	2,38	4,84	3,61	4,85
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	0	51,6	71,6	61,6	57,4
nn nicht nachgewiesen/nachweisbar - Messung/Angabe nicht erforderlich								

Tabelle T II.31 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in Deutschland im Jahr 2016 (Summenwerte, H-3 und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2016 - 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	2,7 E05	1,0 E06	2,3 E04
KKB Brunsbüttel ^b	1,0 E07	4,3 E08	nn
KKI Isar 1 ^b	2,9 E07	5,8 E10	nn
KKP Philippsburg 1 ^b	7,6 E06	6,1 E10	nn
KKK Krümmel ^b	5,6 E05	1,1 E09	nn
KGK Gundremmingen	6,0 E08	2,6 E12	nn
Druckwasserreaktoren			
KWO Obrigheim ^a	8,9 E07	1,2 E09	1,4 E05
KKS Stade ^a	7,9 E04	1,1 E07	6,7 E02
KWB Biblis Block A ^b	7,8 E07	4,3 E11	nn
KWB Biblis Block B ^b	5,9 E05	4,5 E11	nn
GKN Neckar 1 ^a	nn	1,3 E10	nn
KKU Unterweser ^b	2,9 E06	1,4 E12	nn
KKG Grafenrheinfeld ^b	8,2 E07	1,0 E12	nn
KWG Grohnde	3,3 E05	7,0 E12	nn
KKP Philippsburg 2	2,7 E07	1,1 E13	nn
KMK Mülheim-Kärlich ^a	7,6 E05	5,9 E07	nn
KBR Brokdorf	nn	1,2 E13	nn
KKI Isar 2	2,8 E05	1,1 E13	nn
KKE Emsland	nn	1,1 E13	nn
GKN Neckar 2	nn	1,5 E13	nn
KGR Greifswald Block 1 bis 5 ^a	nn	nn	nn
KKR Rheinsberg ^a	3,0 E06	nn	4,9 E05
^a Anlage im Rückbau ^b Anlage im Nichtleistungsbetrieb nn nicht nachgewiesen (sämtliche Aktivitätskonzentrationen liegen unterhalb der Erkennungsgrenzen)			

Tabelle T II.32 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	
	2016	2015	2016	2015	2016	2015
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	3,4 E06	3,1 E06	3,3 E11	4,0 E11	nn	9,9 E05
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	1,2 E08	2,0 E08	5,2 E11	1,2 E11	nn	nn
GKSS Forschungszentrum Geesthacht	4,9 E07	7,4 E06	1,2 E09	4,2 E08	2,2 E04	7,1 E02
Helmholtz-Zentrum Berlin (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	3,5 E04	4,0 E04	2,5 E08	2,5 E08	nn	nn
Garching FRM I	-	-	-	-	-	-
Garching FRM II	5,9 E07	4,8 E07	1,8 E10	5,2 E10	nn	nn
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	2,6 E06	1,9 E06	6,2 E07	3,3 E07	1,9 E04	9,6 E03

nn nicht nachgewiesen (sämtliche Aktivitätskonzentrationen liegen unterhalb der Erkennungsgrenzen)
- keine Ableitung von Abwasser

Tabelle T II.33 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	
	2016	2015
ANF GmbH (Lingen)	nn	nn
URENCO (Gronau)	5,9 E03	3,9 E03

nn nicht nachgewiesen (sämtliche Aktivitätskonzentrationen liegen unterhalb der Erkennungsgrenzen)

Tabelle T II.34 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	
	2016	2015
H-3	3,20 E04	1,5 E04
Nuklidgemisch (außer H-3)	nn	8,2 E01

nn nicht nachgewiesen (sämtliche Aktivitätskonzentrationen liegen unterhalb der Erkennungsgrenzen)

Tabelle T II.35 Radioaktive Kontamination von Weideböden
(Radioactive contamination of pasture soil)

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	2014	0 - 10	7	19,9	57,9	1	0,9	0,9
	2015	0 - 10	12	19,2	46,4	4	2,0	3,3
	2016	0 - 10	11	20,1	50,7	6	3,0	5,7
Bayern	2014	0 - 10	18	79,8	354,4	17	3,0	5,7
	2015	0 - 10	20	73,6	320,0	17	3,2	5,6
	2016	0 - 10	20	68,7	278,3	17	2,8	4,9
Berlin	2014	0 - 10	3	8,6	11,7	1	0,5	
	2015	0 - 10	3	6,6	7,2	1	0,5	
	2016	0 - 10	3	6,4	7,8	1	0,6	
Brandenburg	2014	0 - 10	11	14,4	30,0	6	0,9	2,0
	2015	0 - 10	10	15,4	64,0	5	0,7	1,0
	2016	0 - 10	10	13,1	31,0	6	1,1	2,0
Bremen	2014	0 - 10	2	14,9	25,1	-	-	-
	2015	0 - 10	2	9,2	14,4	-	-	-
	2016	0 - 10	2	13,3	18,3	-	-	-
Hamburg	2014	0 - 10	1	4,5		-	-	-
	2015	0 - 10	1	3,7		-	-	-
	2016	0 - 10	1	3,8		-	-	-
Hessen	2014	0 - 10	2	13,7	17,1	-	-	-
	2015	0 - 10	2	18,0	22,6	-	-	-
	2016	0 - 10	2	12,1	14,8	-	-	-
Mecklenburg-Vorpommern	2014	0 - 10	10	11,1	41,6	3	0,4	0,5
	2015	0 - 10	10	11,3	45,3	3	0,9	1,4
	2016	0 - 10	11	14,9	58,6	3	0,6	0,8
Niedersachsen	2014	0 - 10	15	20,1	42,3	11	<2,8	5,8
	2015	0 - 10	15	15,2	50,3	10	<2,3	6,5
	2016	0 - 10	14	18,4	39,7	12	3,1	9,5
Nordrhein-Westfalen	2014	0 - 10	14	10,1	18,0	4	<0,5	0,5
	2015	0 - 10	15	9,8	18,8	4	1,0	2,7
	2016	0 - 10	15	10,3	18,4	4	2,6	7,7
Rheinland-Pfalz	2014	0 - 10	7	14,3	24,3	3	1,0	1,1
	2015	0 - 10	7	15,9	25,3	3	0,7	1,0
	2016	0 - 10	7	13,1	20,4	3	0,8	0,9
Saarland	2014	0 - 10	4	38,0	98,0	2	1,3	1,6
	2015	0 - 10	4	19,5	28,0	2	1,0	1,0
	2016	0 - 10	4	14,2	21,0	2	2,6	2,7
Sachsen	2014	0 - 10	8	12,5	44,4	5	0,7	1,4
	2015	0 - 10	8	10,4	33,6	5	0,7	1,2
	2016	0 - 10	8	8,5	24,4	5	0,7	1,1



Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Sachsen-Anhalt	2014	0 - 10	14	49,6	111,3	a)	a)	a)
	2015	0 - 10	13	52,8	213,2	a)	a)	a)
	2016	0 - 10	12	41,7	77,7	a)	a)	a)
Schleswig-Holstein	2014	0 - 10	8	8,5	12,6	6	0,8	1,2
	2015	0 - 10	8	8,1	12,7	6	1,5	2,3
	2016	0 - 10	8	7,5	12,5	6	0,9	1,3
Thüringen	2014	0 - 10	7	16,8	25,2	3	1,0	1,2
	2015	0 - 10	7	14,9	25,2	3	0,7	1,1
	2016	0 - 10	7	15,8	23,0	3	0,8	1,0

a) Messwerte lagen nicht vor - Messung/Angabe nicht erforderlich

Tabelle T II.36 Radioaktive Kontamination von Ackerböden
(Radioactive contamination of arable soil)

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	2014	0 - 30	5	17,8	36,3	a)	a)	a)
	2015	0 - 30	9	23,5	67,1	a)	a)	a)
	2016	0 - 30	9	17,2	60,6	a)	a)	a)
Bayern	2014	0 - 30	29	19,0	64,7	3	<3,9	8,4
	2015	0 - 30	30	23,7	160,1	3	<4,2	6,4
	2016	0 - 30	30	23,3	159,6	3	3,5	8,1
Berlin	2014	0 - 30	2	7,1	8,5	1	0,7	
	2015	0 - 30	2	5,8	6,5	1	0,6	
	2016	0 - 30	2	5,4	6,0	1	0,2	
Brandenburg	2014	0 - 30	9	6,7	23,0	3	1,5	4,0
	2015	0 - 30	8	4,7	6,9	2	<0,2	0,3
	2016	0 - 30	9	6,6	23,0	2	1,3	2,0
Bremen	2014	0 - 30	3	9,4	11,3	2	0,9	1,0
	2015	0 - 30	3	5,6	6,1	2	0,8	1,1
	2016	0 - 30	3	7,3	8,3	2	0,9	1,0
Hamburg	2014	0 - 30	1	5,5		a)	a)	
	2015	0 - 30	1	5,3		1	0,4	
	2016	0 - 30	1	5,1		1	0,8	
Hessen	2014	0 - 30	6	7,4	15,4	2	0,4	0,6
	2015	0 - 30	6	7,7	13,7	2	0,6	1,0
	2016	0 - 30	6	7,7	13,5	1	0,3	
Mecklenburg-Vorpommern	2014	0 - 30	7	7,2	13,4	2	0,4	0,4
	2015	0 - 30	7	6,7	12,3	2	<0,2	0,25
	2016	0 - 30	7	7,5	15,2	2	0,4	0,8
Niedersachsen	2014	0 - (25/30)	24	10,5	48,3	6	<2,1	6,2
	2015	0 - (25/30)	22	9,1	34,3	6	2,5	4,9
	2016	0 - (25/30)	23	7,6	23,9	4	1,1	1,6

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Nordrhein-Westfalen	2014	0 - 30	9	6,4	11,1	4	<2,4	8,0
	2015	0 - 30	10	6,0	10,8	5	<1,2	5,0
	2016	0 - 30	10	6,1	11,1	5	1,6	4,2
Rheinland-Pfalz	2014	0 - (25/30)	8	6,6	15,1	2	0,7	0,9
	2015	0 - (25/30)	8	5,4	11,0	2	0,5	0,6
	2016	0 - (25/30)	8	5,7	12,5	2	0,6	0,7
Saarland	2014	0 - 30	1	9,1		a)	a)	a)
	2015	0 - 30	1	8,8		a)	a)	a)
	2016	0 - 30	1	8,7		a)	a)	a)
Sachsen	2014	0 - 30	7	6,5	14,4	a)	a)	a)
	2015	0 - 30	7	6,2	14,2	a)	a)	a)
	2016	0 - 30	7	5,0	12,8	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	2014	0 - 30	11	10,4	29,8	5	<0,4	<0,5
	2015	0 - 30	15	8,3	26,0	5	<0,7	1,2
	2016	0 - 30	15	9,0	34,8	5	<0,5	0,6
Schleswig-Holstein	2014	0 - 30	5	5,1	7,0	a)	a)	a)
	2015	0 - 30	5	5,2	5,7	a)	a)	a)
	2016	0 - 30	5	5,7	7,8	a)	a)	a)
Thüringen	2014	0 - 30	6	8,5	14,6	2	1,0	1,0
	2015	0 - 30	6	7,8	13,3	2	0,9	1,0
	2016	0 - 30	6	7,6	13,9	2	0,8	0,8

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.37 Radioaktive Kontamination von Waldböden
(Radioactive contamination of forest soil)

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	2014	0 - 10	4	43,4	90,3	2	2,9	5,2
	2015	0 - 10	4	50,4	116,5	1	1,1	
	2016	0 - 10	4	30,1	65,7	2	1,0	1,3
Niedersachsen	2014	0 - 10	2	24,4	37,6	a)	a)	a)
	2015	0 - 10	2	113,1*	206,0**	a)	a)	a)
	2016	0 - 10	2	88,5	116,0	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	2014	0 - 10	6	27,2	90,3	-	-	-
	2015	0 - 10	2	24,7	24,7	-	-	-
	2016	0 - 10	2	37,3	53,9	-	-	-

a) Messwerte lagen nicht vor * Der Wert ist nicht repräsentativ. Mittelwert ohne den höchsten Wert: 20,1
- Messung/Angabe nicht erforderlich ** Der Wert ist nicht repräsentativ

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	2014	12	<0,1	0,6	a)	a)	a)
	2015	28	<0,2	0,6	a)	a)	a)
	2016	29	<0,7	14,5	4	0,7	1,1
Bayern	2014	57	<0,6	6,2	29	0,4	1,3
	2015	56	<0,5	3,0	29	0,3	0,9
	2016	55	<0,5	3,3	28	0,4	1,1
Berlin	2014	3	0,5	0,8	1	0,5	
	2015	2	0,5	0,8	1	1,2	
	2016	3	0,4	0,9	1	0,2	
Brandenburg	2014	16	<0,9	3,7	8	0,2	0,8
	2015	14	<1,3	5,8	8	0,5	1,1
	2016	16	<0,8	3,5	8	0,3*	<3,1*
Bremen	2014	2	0,7	0,7	1	1,0	
	2015	2	0,3	0,4	1	1,7	
	2016	2	0,5	0,7	1	0,3	
Hamburg	2014	2	<0,1	<0,1	a)	a)	a)
	2015	3	0,2	0,5	1	0,2	
	2016	3	0,1	0,2	a)	a)	a)
Hessen	2014	15	<0,2	0,8	8	0,2	0,7
	2015	15	<0,4	1,3	8	0,3	0,5
	2016	15	<0,2	0,32	8	0,2*	<3,3*
Mecklenburg-Vorpommern	2014	20	<0,8	13,0	8	<0,2	0,5
	2015	20	<0,6	8,2	8	<0,1	0,3
	2016	20	<0,2	0,9	8	<0,2	0,4
Niedersachsen	2014	42	<1,0	17,2	22	0,3	0,8
	2015	42	<0,7	6,2	21	0,2	0,6
	2016	42	<0,6	4,9	21	0,2	0,9
Nordrhein-Westfalen	2014	25	<0,3	<0,5	11	<0,3	1,5
	2015	24	<0,3	<0,5	11	<0,3	0,8
	2016	23	<0,3	1,2	11	0,97*	6,7
Rheinland-Pfalz	2014	14	<0,1	0,2	7	0,4	0,9
	2015	14	<0,1	0,5	7	0,4	1,1
	2016	14	<0,1	0,4	7	0,3	0,6
Saarland	2014	4	<0,5	<0,5	2	0,2	0,2
	2015	5	<0,5	<0,5	1	0,5	
	2016	4	<0,2	<0,3	2	0,4	0,5
Sachsen-Anhalt	2014	24	<6,7	78,9**	5	0,1	0,2
	2015	23	<7,0	66,2**	5	<0,1	0,2



Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Sachsen	2016	22	<5,3	54,5**	5	0,1	0,2
	2014	14	<0,4	2,3	6	0,2	0,3
	2015	14	<0,8	9,0	6	0,1	0,2
	2016	14	<0,8	9,0	6	0,18*	<11,7*
Schleswig-Holstein	2014	22	<0,4	1,9	12	0,3	0,4
	2015	21	<0,2	0,6	11	0,3	0,7
	2016	22	<0,2	0,5	12	0,2	0,5
Thüringen	2014	17	<0,1	0,5	5	0,2	0,3
	2015	17	<0,1	0,5	5	0,2	0,2
	2016	17	<0,1	<0,2	9	0,14*	<9,3*

a) Messwerte lagen nicht vor **Der Wert ist nicht repräsentativ
* Die Nachweisgrenzen aus der Schnellmethode für Sr-90 wurden aus der Mittelwertbildung herausgenommen, da sie einer anderen statistischen Grundgesamtheit angehören

Tabelle T II.39 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)
(Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production)

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Mais u. Maissilagen	2014	239	<0,5	9,2	-	-	-
	2015	249	<0,5	14,1	-	-	-
	2016	250	17,6	14,1	-	-	-
Futterrüben	2014	22	<0,4	1,3	-	-	-
	2015	13	<0,4	1,3	-	-	-
	2016	13	<0,3	0,6	-	-	-
Futtergetreide	2014	144	<0,2	<0,5	-	-	-
	2015	150	<0,2	0,8	-	-	-
	2016	154	<0,2	0,7	1	0,1	-
Grünfütterpflanzen (ohne Mais)	2014	6	<0,3	0,5	-	-	-
	2015	6	<0,3	0,5	-	-	-
	2016	6	<0,6	1,0	-	-	-
Futterkartoffeln	2014	77	<0,4	1,4	-	-	-
	2015	78	<0,4	1,9	-	-	-
	2016	70	<0,4	1,0	-	-	-
Erbsen	2014	3	<0,2	<0,2	-	-	-
	2015	6	<0,4	1,1	-	-	-
	2016	6	<0,2	<0,3	-	-	-
Raps	2014	37	<0,2	1,7	-	-	-
	2015	42	<0,3	0,8	-	-	-
	2016	44	<0,3	0,7	-	-	-

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Ölkuchen/ Ölschrote	2014	7	<0,2	0,3	-	-	-
	2015	8	<0,2	<0,3	-	-	-
	2016	-	-	-	-	-	-
Sonnenblumen	2014	1	<0,3		-	-	-
	2015	1	0,3		-	-	-
	2016	1	0,4		-	-	-
Krafftutter- mischung	2014	a)	a)	a)			
	2015	1	<0,2				
	2016	1	<0,2				
Silage	2014	a)	a)	a)			
	2015	a)	a)	a)			
	2016	1	0,3				

a) Messwerte lagen nicht vor - Messung/Angabe nicht erforderlich

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	2014	10	<0,4	2,0
	2015	11	<0,2	0,7
	2016	12	<0,3	1,6
Mais, Maisprodukte	2014	15	<0,2	0,3
	2015	12	<0,2	<0,3
	2016	9	<0,2	0,7
Maniok, Tapioka	2014	1	<0,2	
	2015	2	<0,1	<0,1
	2016	1	0,6	
Ölkuchen, Ölschrote	2014	19	<0,2	0,4
	2015	11	<0,2	0,4
	2016	9	<0,2	0,5
Sonnenblumen	2014	6	<0,3	0,4
	2015	5	<0,3	<0,4
	2016	2	0,2	0,3
Sojabohnen	2014	21	<0,2	0,4
	2015	27	<0,3	0,8
	2016	30	<0,3	0,6

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	2014	106	<4,9	58,5
	2015	105	4,5	59,6
	2016	104	<4,8	73,1
Nadeln	2014	55	<26,9*	673,7**
	2015	56	<30,6*	901,8**
	2016	54	<28,7*	683,6**
Gras	2014	105	<10,5	280,0
	2015	105	<5,6	144,4
	2016	105	<6,9	166,0
Farne (Thüringen)	2014	2	30,8	59,3
	2015	2	47,6	93,4
	2016	2	20,2	38,4

* Der Wert ist nicht repräsentativ.
Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Nadeln: <14,9 im Jahr 2014; <14,8 im Jahr 2015; <16,4 im Jahr 2016

** Der Wert ist nicht repräsentativ

Tabellen

Tabelle T II.42 Spezifische Aktivität des Bodens in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz
(Specific activity of the soil in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert		Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	12	10,7	13	9,83	9	10,98 (4,02 - 28,8)
	Pu-238	6	<1,27	7	<1,36	7	<0,93 (<0,01 - <1,84)
	Pu-(239+240)	6	<0,72	7	<0,72	7	<0,46 (0,10 - <0,79)
	Sr-90	2	0,3; 2,5	3	1,05	3	1,13 (0,30 - 2,72)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	5,1	4	4,31	4	3,66 (2,31 - 5,17)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	2,6	4	2,52	6	5,24 (2,33 - 10,00)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	10,1	6	8,92	6	9,85 (4,68 - 16,00)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	13,8	6	23,10	6	14,21 (9,40 - 22,35)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	14,8	2	14,80	2	13,01 (11,06 - 14,96)
Bayern							
KGK Gundremmingen	Cs-137	10	32,4	10	34,66	10	32,28 (19,60 - 43,60)
KKI Isar	Cs-137	12	30,1	12	31,96	12	30,36 (12,20 - 47,00)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	4,9	10	4,80	10	6,13 (3,38 - 25,50)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	55,2	4	31,30	4	117,03 (30,50 - 210,00)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert		Mittelwert (Bereich)
AREVA GmbH Standort Erlangen	Cs-137	4	18,7	4	15,77	4	16,42 (4,96 - 37,40)
	Pu-238	4	<0,08	4	<0,09	4	<0,29 (<0,09 - <0,39)
	Pu-(239+240)	4	<0,19	4	<0,38	4	<0,21 (<0,13 - <0,31)
	U-235	4	0,47	4	0,36	4	0,86 (0,25 - 2,47)
	U-238	4	8,7	4	8,09	4	16,40 (4,80 - 48,20)
	Am-241	4	<0,10	4	<0,17	4	<0,16 (<0,07 - <0,40)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	2	<4,5	2	7,70	2	10,20 (6,40 - 14,00)
	Pu-238	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	
	Am-241	1	<0,14	1	<0,16	1	<0,17
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	4	6,6	3	7,06	2	7,45 (6,90 - 8,00)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	2	9,5	4	7,05	4	7,78 (7,10 - 8,50)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	6	5,6	6	5,63	6	5,35 (4,51 - 5,89)
	Pu-(239+240) Asche	a)		a)		a)	
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	6	13,0	4	6,27	4	5,41 (2,19 - 8,40)
	U-235	2	0,36; 0,57	2	0,60	2	0,46 (0,44 - 0,48)
Zwischenlager Nord	Cs-137	6	6,4	6	7,84	6	6,52 (2,96 - 8,70)
	U-235	6	0,54	6	0,66	6	0,54 (0,39 - 0,79)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	2	5,3	4	12,73	4	7,21 (5,61 - 8,54)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	8	10,4	10	9,66	10	8,67 (2,96 - 15,30)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	6	12,5	7	9,89	6	11,62 (7,10 - 16,80)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKE Emsland	Cs-137	6	6,0	10	7,78	10	7,29 (3,10 - 10,90)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	20	17,4	26	20,96	22	19,28 (10,10 - 47,90)
	Sr-90	3	0,6	4	3,21	2	1,36 (0,82 - 1,89)
	Pu-238	1	<0,13	2	<0,09	2	<0,15 (<0,10 - <0,19)
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
Schacht Konrad II ^{b)}	Cs-137	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert		Mittelwert (Bereich)
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Sr-90	a)		a)		a)	
	Cs-137	a)		a)		a)	
	U-234	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	8	6,9	8	6,76	2	8,16 (7,93 - 8,39)
	Sr-90	1	0,8	a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	8	7,9	2	17,95	2	13,05 (10,50 - 15,60)
	Sr-90	6	0,5	a)		a)	
KWW Würgassen ^{c)}	Cs-137	18	10,1	14	11,72	10	11,93 (6,35 - 25,20)
THTR Uentrop ^{c)}	Cs-137	4	20,6	4	13,28	4	12,56 (5,90 - 21,00)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	5	7,7	5	6,21	5	7,32 (5,88 - 9,45)
	Sr-90	5	0,9	5	0,51	5	1,50 (0,45 - 3,79)
UAG Gronau	U-238	a)		10	<0,3	a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	6,2	4	8,72	4	9,07 (6,94 - 14,00)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	11	7,6	11	8,11	11	7,25 (3,74 - 9,79)
Sachsen							
VKTA Rossendorff	Cs-137	9	4,6	10	4,61	10	4,30 (1,20 - 8,00)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	8	6,1	10	5,73	9	5,93 (3,70 - 9,00)
	Sr-90	4	0,2	2	0,23	2	0,17 (0,16 - 0,17)
	Gesamt-β	4	590	4	605	4	643 (540 - 730)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	6	6,4	6	6,49	6	5,96 (4,40 - 8,40)
	Sr-90	2	0,2	2	0,22	2	0,27 (0,21 - 0,32)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	17,4	6	17,68	5	12,68 (4,60 - 28,00)
	Sr-90	1	2,2	1	3,1	a)	
KKK Krümmel	Cs-137	8	5,0	8	4,76	8	4,43 (3,60 - 5,60)
	Sr-90	4	0,3	4	0,46	4	0,43 (0,31 - 0,60)
KBR Brokdorf	Cs-137	6	9,4	6	8,75	8	7,06 (1,34 - 17,00)
	Sr-90	2	1,6	2	1,40	4	1,13 (0,85 - 1,60)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert		Mittelwert (Bereich)
Zwischenlager	Cs-137	4	9,7	4	8,88	4	7,58 (3,65 - 12,00)
Brokdorf	Sr-90	2	1,7	2	1,45	2	1,25 (1,10 - 1,40)

a) Messwerte lagen nicht vor
b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.
c) im Betrieb des sicheren Einschlusses

Tabelle T II.43 Spezifische Aktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz
(Specific activity of vegetation in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	8	<0,15	10	<0,14	10	<0,12 (0,03 - <0,23)
	Pu-238	4	<0,07	4	<0,10	4	<0,04 (<0,04 - <0,06)
	Pu-(239+240)	4	<0,03	4	<0,03	4	<0,02 (<0,01 - <0,02)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,19	4	<0,31	4	<0,26 (<0,04 - <0,49)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,22	6	<0,24	6	<0,25 (<0,05 - <0,41)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	<0,45	6	<0,37	6	<0,40 (0,03 - 0,97)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	0,23	6	0,24	6	<0,17 (0,03 - 0,31)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	0,22	2	0,16	2	0,15 (0,10 - 0,19)
Bayern							
KGK Gundremmingen	Cs-137	10	<0,54	10	0,15	10	<0,32 (0,05 - 1,54)
KKI Isar	Cs-137	12	0,43	12	0,42	12	0,37 (0,03 - 1,54)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	<0,14	10	<0,14	10	<0,20 (<0,09 - <0,30)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	1,46	4	<0,61	4	<0,22 (0,09 - <0,39)
AREVA GmbH Standort Erlangen	Cs-137	4	<0,16	4	<0,37	4	<0,20 (<0,03 - <0,29)
	Pu-238	4	<0,01	4	<0,01	4	<0,16 (<0,00 - <0,41)
	Pu-(239+240)	4	<0,015	4	<0,02	4	<0,12 (<0,00 - <0,26)
	U-235	4	<0,007	4	<0,01	4	<0,10 (<0,00 - <0,31)
	U-238	4	0,06	4	0,19	4	0,22 (0,02 - 0,56)
	Am-241	4	<0,016	4	<0,01	4	<0,09 (<0,00 - <0,28)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	2	<0,21	2	<0,19	2	<0,19 (<0,17 - <0,20)
	Pu-238	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Berlin Forschungsreaktor BERII	U-238	a)		a)		a)	
	Am-241	1	<0,38	1	<0,3	1	<0,20
	Cs-137	4	0,67	3	0,56	2	0,49 (0,48 - 0,50)
Brandenburg KKR Rheinsberg	Sr-90	a)		a)		a)	
	Cs-137	2	4,56	4	1,70	4	1,08 (0,50 - 2,20)
Hessen KWB Biblis	Cs-137	6	<0,12	6	<0,14	6	<0,17 (<0,05 - <0,43)
	Cs-137	6	<0,12	6	<0,14	6	<0,17 (<0,05 - <0,43)
Mecklenburg-Vorp. KGR Greifswald Zwischenlager Nord	Cs-137	6	<0,21	8	<0,20	4	<0,36 (0,11 - 0,99)
	Cs-137	6	<0,11	6	0,23	6	<0,24 (<0,10 - 0,47)
	Cs-137	6	<0,11	6	0,23	6	<0,24 (<0,10 - 0,47)
Niedersachsen KKS Stade KKU Unterweser	Cs-137	2	<0,04	6	<1,79	4	<0,12 (<0,08 - 0,19)
	Cs-137	7	<0,10	10	<0,14	10	<0,13 (<0,05 - 0,33)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde Zwischenlager Grohnde	Cs-137	6	<0,09	7	<0,16	6	<0,09 (<0,06 - <0,11)
	Cs-137	a)		a)		a)	
	Cs-137	6	<0,86	8	0,34	8	<0,18 (<0,07 - 0,33)
KKE Emsland Zwischenlager Lingen Zwischenlager Gorleben	Cs-137	a)		a)		a)	
	Cs-137	17	5,5	20	5,33	16	<13,74 (<0,06 - 99,14)
	Sr-90	3	2,1	4	1,98	2	2,59 (2,23 - 2,95)
Schacht Konrad II ^{b)}	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
	Gesamt- α	a)		a)		a)	
	Cs-137	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	8	<0,25	8	<0,22	2	<0,26 (<0,18 - <0,35)
Nordrhein-Westfalen FZ Jülich	Cs-137	8	<0,3	2	<0,05	2	<0,09 (<0,04 - 0,13)
	Sr-90	a)		a)		a)	
	Cs-137	10	<0,17	10	<0,11	6	0,23 (0,07 - 0,50)
KWW Würgassen ^{c)}	Cs-137	10	<0,17	10	<0,11	6	0,23 (0,07 - 0,50)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
THTR Uentrop ^{c)}	Sr-90	a)		a)		a)	
	Cs-137	4	0,3*	4	<0,20	4	<3,38 (0,20 - <7,50)
	Sr-90			a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	10	0,12	10	<0,17	10	<0,17 (<0,04 - 0,34)
	Sr-90	10	1,2	10	1,25	10	0,93 (0,46 - 2,13)
UAG Gronau	U-238	a)		17	<0,26	a)	
	Uran (Bq/kgTM)	12	<0,27	a)		a)	
	Fluor (mg/kg TM)	12	<1,7	a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	<0,23	4	<0,16	4	<0,24 (<0,14 - <0,34)
Cattenom (Frankreich)	Cs-137	6	<0,08	6	<0,10	6	<0,09 (<0,04 - <0,21)
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	10	<0,3*	8	0,11	10	<0,14 (0,04 - 0,32)
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	8	<0,23	6	<0,83	9	<0,29 (<0,10 - <0,49)
	Gesamt-β	4	200	a)		4	233 (170 - 260)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,15	4	<0,13	4	<0,16 (0,06 - <0,23)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	<0,08	6	<0,09	5	<0,10 (0,06 - <0,13)
	Sr-90					a)	
KKK Krümmel	Cs-137	4	0,22	4	<0,12	4	<0,10 (0,07 - <0,14)
	Sr-90	4	0,26	4	0,27	4	0,32 (0,24 - 0,43)
KBR Brokdorf	Cs-137	6	<0,26	6	<0,29	6	<0,20 (<0,12 - 0,33)
	Sr-90			a)		a)	
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	4	<0,17	4	<0,12	4	<0,14 (<0,08 - 0,24)

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
* 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	2016						2015
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^a	Maximal- wert ^a	Mittel- wert ^a	Median ^b	Median ^b
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	100	53	38	1000		<210	<180
	Cs-137	100	100				<7,7	<7,6
	Sr-90	56	41	0,2	17		4,5	<3,8
	H-3	59	54	720	5100		<5000	<5000
	U-234	52	18	0,05	160	21	3,0	<3,7
	U-235	53	46	0,003	8,6		<0,7	<1,0
	U-238	52	20	0,02	140	11	<2,6	<2,8
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser								
	K-40	88	60	30	320		<170	<130
	Cs-137	96	93	2,3	3,1		<7,6	<6,7
	Sr-90	47	15	0,65	15	3,7	3,3	< 3,8
	H-3	53	48	700	3300		<4500	<4900
	U-234	43	15	0,11	82	13	<1,7	2,5
	U-235	43	37	0,23	2,7		<1,0	<1,0
	U-238	43	21	0,07	74	13	<1,2	<1,4
Reinwasser								
	K-40	244	181	10	600		<160	160
	Cs-137	244	244				<8,0	<7,3
	Sr-90	70	36	0,71	30		3,5	3,0
	H-3	67	62	590	4800		<5000	<5000
	U-234	71	29	0,05	81	9,3	<1,8	<2,5
	U-235	71	60	0,007	0,89		0,62	<0,8
	U-238	71	29	0,03	71	7,7	1,6	2,2
<p>a Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.</p> <p>b Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.</p>								

**Tabelle T II.45 Umgebungsüberwachung von Anlagen nach Atomgesetz in Deutschland
(Grundwasser und Trinkwasser)**
(*Surveillance of the surroundings of facilities - according to the Atomic Energy Act
groundwater and drinking water*)

	Nuklid	2016						2015
		Anzahl gesamt ^a	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^b	Maximal- wert ^b	Mittel- wert ^b	Median ^c	Median ^c
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	291	192	12	23 000		<500	540
	Co-60	408	407		4,9		<30	<30
	Cs-137	282	281		50		<30	<30
	Sr-90	26	11	0,17	16	3,2	2,7	2,8
	H-3	416	385	980	85 000		<5700	6000
	R-Beta	24	24				<100	<100
	G-Alpha	48	25	22	170		<50	43
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	58	37	25	350		<170	<150
	Co-60	58	58				<9,5	<9,4
	Cs-137	56	56				<8,4	<7,1
	Sr-90	10	6	0,12	3,6		<1,0	<20
	H-3	63	50	1000	8600		<2500	<2500
	G-Alpha	6	0	45	60	54	55	41
Reinwasser	K-40	97	65	9,4	170		110	110
	Co-60	109	109				<7,9	<7,4
	Cs-137	97	97				<6,9	<6,6
	Sr-90	36	27	0,12	3,0		<7,0	<2,0
	H-3	108	103	1200	11 000		<5300	<5300
<p>a Gemäß REI-Messprogramm ist bei der γ-Spektrometrie die Einhaltung der NWG nur für das Radionuklid Co-60 vorgeschrieben, d. h. für andere γ-strahlende Radionuklide müssen die NWG von der Messstelle nicht angegeben werden. Da nicht alle Messstellen die NWG für Cs-137 und K-40 mitteilen, kann für diese Nuklide die Anzahl der gemeldeten Werte kleiner als für Co-60 sein.</p> <p>b Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.</p> <p>c Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.</p>								

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	2014	19	0,04	66	<0,11
	2015	13	<0,04	66	<0,12
	2016	11	0,06 (0,02 - 0,19)	62	<0,15 (<0,02 – 0,96)
Bayern	2014	32	0,06	220	<0,14
	2015	25	0,07	217	<0,14
	2016	24	0,04 (0,02 – 0,08)	218	<0,14 (<0,07 – 0,31)
Berlin	2014	12	0,01	24	<0,09
	2015	12	0,02	24	<0,27
	2016	13	<0,02 (0,01 – <0,05)	24	<1,22 (<0,11 – 4,14)
Brandenburg	2014	24	0,05	62	<0,17
	2015	24	0,02	61	<0,19
	2016	24	<0,29 (0,01 – <3,20)	62	<0,29 (<0,06 – 2,4)
Bremen	2014	12	<0,03	12	<0,28
	2015	12	<0,02	12	<0,53
	2016	12	<0,03 (0,01 – 0,06)	12	<0,32 (<0,07 – 1,6)
Hamburg	2014	12	0,01	12	<0,07
	2015	12	0,01	12	<0,12
	2016	12	0,01 (0,01 – 0,01)	12	<0,10 (<0,04 – <0,19)
Hessen	2014	22	0,03	53	<0,05
	2015	16	0,03	48	<0,05
	2016	16	0,03 (0,02 – <0,06)	48	<0,07 (<0,03 – <0,13)
Mecklenburg- Vorpommern	2014	15	<0,02	51	<0,15
	2015	15	<0,02	51	<0,16
	2016	12	<0,02 (0,01 – 0,05)	48	<0,18 (<0,10 – 1,04)
Niedersachsen	2014	65	0,03	192	<0,16
	2015	28	0,03	153	<0,17
	2016	26	<0,02 (0,01 – 0,05)	153	<0,17 (<0,01 – 0,58)
Nordrhein-Westfalen	2014	24	<0,02	107	<0,11
	2015	11	<0,02	100	<0,14
	2016	13	<0,05 (<0,01 – 0,25)	102	<0,12 (<0,04 – 0,28)
Rheinland-Pfalz	2014	25	0,03	51	<0,04
	2015	11	0,03	38	<0,06 (
	2016	12	0,02 (0,02 – 0,02)	38	<0,06 (<0,02 – <0,09)
Saarland	2014	12	0,11	15	<0,20
	2015	10	<0,05	13	<0,20
	2016	12	0,02 (0,01 – 0,05)	15	<0,04 (<0,02 – 0,09)
Sachsen	2014	12	0,02	60	<0,08
	2015	12	0,02	60	<0,09
	2016	12	<0,47 (0,02 – <3,9)	60	<0,09 (0,02 – <0,13)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	2014	13	<0,02	72	<0,32
	2015	12	<0,02	72	<0,35
	2016	12	<0,66 (<0,02 - <1,0)	72	<0,39 (<0,09 - 3,6)
Schleswig-Holstein	2014	29	<0,02	101	<0,12
	2015	12	<0,03	84	<0,13
	2016	14	<0,04 (<0,02 - 0,07)	86	<0,13 (<0,07 - <0,19)
Thüringen	2014	12	0,02	36	<0,11
	2015	12	0,02 (36	<0,10
	2016	16	0,69 (0,01 - <3,81)	36	<0,10 (<0,09 - <0,13)
Bundesrepublik (gesamt)	2014	340	<0,03	1134	<0,13
	2015	237	<0,03	1047	<0,16
	2016	241	<0,15 (0,01 - <3,9)	1048	<0,18 (<0,01 - 4,14)

Tabelle T II.47 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2016
(Range of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2016)

Produkt	N	Cs-134 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1048	<0,27	<0,00	4,26	<0,01
Käse	3	<0,15	<0,03	<0,19	<0,14
Importe					
Käse	76	<0,23	<0,03	0,31	<0,04
Frischkäse	5	<0,16	<0,03	0,31	<0,04
Schafskäse	3	<0,12	<0,06	<0,15	<0,06

Tabelle T II.48 Radioaktive Kontamination der Milch in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz
(Radioactive contamination of milk in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg Anlagen auf dem Gelände des KIT	Cs-137	2	<0,02	2	<0,03 (<0,03 - <0,03)
	Sr-90	2	0,02	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	I-131	2	<0,052 - <0,082	1	<0,069
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,05	4	<0,03 (<0,03 - <0,03)
	Sr-90	4	0,02	4	<0,02 (<0,01 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,005 - <0,009	10	<0,006 - <0,009
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,04	4	<0,02 (<0,01 - <0,03)
	Sr-90	4	0,02	4	<0,02 (<0,01 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,005 - <0,009	10	<0,005 - <0,006
KKP Philippsburg	Cs-137	4	<0,03	4	<0,02 (<0,01 - <0,03)
	Sr-90	4	0,02	4	<0,02 (<0,01 - <0,02)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l				
		2015		2016		
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	I-131 (nur Bereich)	11	<0,004 - <0,009	10	<0,005 - <0,006	
	Cs-137	5	<0,02	5	<0,04 (<0,02 - <0,07)	
	Sr-90	5	0,03	5	<0,02 (<0,01 - <0,04)	
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,005 - <0,009	11	<0,006 - <0,009	
	KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	<0,03	4	<0,02 (<0,02 - <0,03)
		Sr-90	4	0,03	4	<0,03 (<0,02 - <0,04)
I-131 (nur Bereich)		12	<0,004 - <0,258	10	<0,005 - <0,008	
Bayern						
KGG Gundremmingen	Cs-137	6	<0,02	6	<0,02 (<0,01 - <0,07)	
	Sr-90	6	<0,01	6	<0,01 (<0,01 - <0,01)	
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,004 - <0,007	18	<0,006 - <0,008	
KKI Isar	Cs-137	4	0,05	4	<0,08 (0,05 - <0,11)	
	Sr-90	4	<0,01	4	<0,01 (<0,01 - <0,03)	
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,007	12	<0,006 - <0,008	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	6	<0,09	6	<0,09 (<0,09 - <0,10)	
	Sr-90	6	<0,02	6	<0,02 (<0,02 - <0,02)	
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,003 - <0,008	18	<0,006 - <0,008	
FRM II	Cs-137	2	0,05	a)		
	Sr-90	2	<0,01	a)		
Brandenburg						
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	<0,10	4	<0,10 (<0,09 - <0,11)	
	Sr-90	4	0,06	4	<0,02 (<0,01 - <0,02)	
	I-131 (nur Bereich)	a)		4	<0,078 - <0,112	
Hessen						
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,06	10	<0,06 (<0,02 - <0,11)	
	Sr-90	7	0,02	10	<0,02 (<0,01 - <0,04)	
	I-131 (nur Bereich)	30	<0,003 - <0,009	30	<0,004 - <0,009)	
Mecklenburg-Vorpommern						
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,22	2	<0,16 (<0,12 - <0,20)	
	Sr-90	4	0,01	2	<0,01 (<0,01 - <0,01)	
	I-131 (nur Bereich)	4	<0,14 - <0,17	2	<0,15 - <0,16	
Niedersachsen						
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		
	Sr-90	a)		a)		
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)		
KKU Unterweser	Cs-137	4	<0,10	4	<0,08 (<0,05 - <0,13)	
	Sr-90	4	0,02	4	<0,01 (<0,01 - 0,02)	
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,01	12	<0,005 - <0,010	
KWG Grohnde	Cs-137	2	<0,08	4	<0,08 (<0,07 - <0,12)	
	Sr-90	2	0,01	4	<0,01 (0,01 - <0,02)	
	I-131 (nur Bereich)	8	<0,005 - <0,009	12	<0,005 - <0,008	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKE Emsland	Cs-137	4	<0,09	4	<0,07 (<0,05 - <0,11)
	Sr-90	4	0,01	4	<0,01 (<0,01 - <0,01)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,006 - <0,018	12	<0,005 - <0,008
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	24	<0,19	20	<0,19 (<0,06 - 0,40)
	Sr-90	12	0,02	8	<0,01 (<0,01 - 0,02)
	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	4	<0,13	2	<0,12 (<0,11 - <0,13)
Nordrhein-Westfalen					
FZ Jülich	Cs-137	a)		4	<0,06 (<0,04 - <0,07)
	Sr-90	4	<0,02	4	<0,02 (<0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,004 - <0,007	12	<0,004 - <0,009
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)	a)		a)	
	Fluor (mq/l)	a)		a)	
Rheinland-Pfalz					
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	<0,09	2	<0,08 (<0,07 - <0,08)
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,07 - <0,07	2	<0,08 - <0,13
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	5	<0,03	6	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	Sr-90	5	0,02	6	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,007 - <0,009	10	<0,007 - <0,090
Sachsen					
VKTA Rossendorf	Cs-137	2	<0,11	2	<0,11 (0,10 - <0,11)
	Sr-90	2	0,02	1	0,01
	I-131 (nur Bereich)	2	0,08 - 0,08	2	<0,072 - <0,097
Sachsen-Anhalt					
Endlager Morsleben	Cs-137	4	<0,11	5	<0,11 (<0,08 - <0,14)
	Sr-90	a)		a)	
Schleswig-Holstein					
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,15	4	<0,14 (<0,12 - <0,16)
	Sr-90	4	<0,03	4	<0,04 (0,03 - <0,04)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,004 - <0,008	a)	
KKB Brunsbüttel	Cs-137	4	<0,05	4	<0,04 (<0,03 - 0,05)
	Sr-90	4	0,02	4	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	32	<0,004 - <0,01	28	<0,005 - <0,009

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKK Krümmel	Cs-137	6	<0,07	5	<0,09 (0,02 - <0,27)
	Sr-90	6	0,02	5	<0,02 (<0,02 - <0,03)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,004 - <0,01	15	<0,005 - <0,009
KBR Brokdorf	Cs-137	6	<0,04	3	<0,03 (<0,02 - <0,05)
	Sr-90	6	0,02	3	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,004 - <0,01	15	<0,005 - <0,010
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	2	<0,04	1	<0,04
	Sr-90	2	0,03	1	<0,03
	I-131 (nur Bereich)	6	<0,004 - <0,004	5	<0,006 - <0,009

a) Messwerte lagen nicht vor
b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme
c) im Betrieb des sicheren Einschusses

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					
		2016					2015
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Binnenseen	Norddeutschland	51	6	0,08	14,0	1,49	1,50
	Mitteldeutschland	11	4	<0,05	19,4	0,13	0,07
	Süddeutschland	9	0	0,14	9,1	2,14	0,98
Fischteiche	Norddeutschland	11	11	<0,10	<0,2	<0,15	0,27
	Mitteldeutschland	21	10	<0,08	0,34	0,12	0,12
	Süddeutschland	21	17	<0,06	2,09	<0,15	0,13
Fließgewässer	Norddeutschland	5	3	<0,15	<0,36	<0,18	<0,18
	Mitteldeutschland	23	14	0,06	2,00	0,09	0,08
	Süddeutschland	3	2	<0,12	0,46	<0,14	<0,14
nicht spezifizierte Gewässer	Norddeutschland	14	3	0,10	4,61	0,24	2,86
	Mitteldeutschland	10	4	0,11	0,43	0,16	0,14
	Süddeutschland	1	1	<0,15	0,20	<0,15	<0,14

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					
	2016					2015
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Forellen	36	25	<0,06	0,43	<0,13	0,08
Karpfen	23	9	0,09	0,81	0,18	<0,16

Tabelle T II.51 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der 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					
		2016					2015
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Nordsee	Fische	30	11	0,09	0,44	0,15	0,08
	Garnelen	15	15	<0,10	<0,18	<0,15	<0,15
	Miesmuscheln	9	9	<0,11	<0,23	<0,16	<0,18
Ostsee	Fische	26	3	<0,12	6,44	0,92	2,55

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					
	2016					2015
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Süßwasserfisch	30	25	<0,06	2,71	<0,15	<0,20
Seefisch	126	86	<0,07	1,40	0,08	<0,07
Krusten- u. Schalentiere	27	27	<0,05	<0,19	<0,12	<0,12
Fischereierzeugnisse	25	23	<0,08	<0,23	<0,11	<0,10

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					
	2016					2015
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Seefisch	34	28	<0,07	0,23	0,12	<0,14
Krusten- u. Schalentiere	3	3	<0,13	<0,15	<0,15	<0,18
Fischereierzeugnisse	10	9	<0,15	<0,23	<0,18	<0,11

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					
		2016					2015
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch	Binnenseen	15	5	<0,010	0,12	0,025	0,037
	Fischteiche	6	2	<0,010	0,57	0,010	<0,022
	Fließgewässer	7	2	0,009	0,027	0,017	<0,017
Garnelen	Nordsee	12	7	<0,010	0,334	<0,020	<0,015
Miesmuscheln	Nordsee	9	7	<0,010	0,123	<0,020	<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, Hamburg

Meer / Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
					min. Wert	max. Wert	Medianwert
südlich Grönland							
Fischfleisch	Cs-137	2014	6	0	0,19	0,20	0,19
	Cs-134	2014	6	6	<0,008	<0,018	<0,014
Nordsee							
Fischfleisch	Cs-137	2014	5	0	0,06	0,25	0,18
		2015	1	0			0,22
Gesamtfisch	Cs-137	2014	6	0	0,08	0,19	0,16
		2015	8	0	0,07	0,25	0,16
		2016	4	0	0,09	0,18	0,12
Ostsee (südliche und westliche)							
Fischfleisch	Cs-137	2013	8	0	0,79	4,40	3,46
		2014	13	0	0,15	6,94	3,47
		2015	21	0	0,65	6,13	3,08
		2016	8	0	0,61	0,64	2,34
Gesamtfisch	Cs-137	2013	1	0			3,33
		2014	3	0	2,59	2,97	2,80
		2015	7	0	0,71	3,33	2,65
		2016	9	0	0,64	2,97	1,37

Tabellen

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	2016					2015
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch (Bq/kg FM)								
Donau	KGG Gundremmingen	Cs-137	6	3	<0,13	0,27	0,17	0,21
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	3	1	<0,14	0,25	0,23	0,18
	KKK Krümmel	Cs-137	2	2	0,26	0,31	0,29	0,25
	PKA Gorleben	Cs-137	4	0	0,11	0,26	0,15	0,13
	KKS Stade	Cs-137	2	0	0,30	0,40	0,35	0,31
	KBR Brokdorf	Sr-90	3	3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
			Cs-137	3	0	0,44	0,52	0,52
	KKB Brunsbüttel	Cs-137	3	0	0,42	0,63	0,59	0,23
Ems	KKE Emsland	Cs-137	4	0	0,10	0,12	0,11	0,09
Greifswalder Bodden	KGR Greifswald	Cs-137	2	0	6,34	9,14	7,74	2,96
Sacrower	HZB (ehem. HMI) Berlin	Cs-137	0	0				17,0
Kl. Wannsee		Cs-137	0	0				0,33

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2016					2015
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	2	0,14	0,86	0,15	0,14
	FRM II Garching	Cs-137	1	0			<0,18	<0,16
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	2	<0,24	<0,24	<0,24	<0,17
Mosel	Cattenom	Sr-90	2	2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	(Frankreich)	Cs-137	2	1	<0,04	0,10	<0,04	<0,04
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	3	0	0,02	0,08	0,04	<0,04
	KWO Obrigheim	Cs-137	2	2	0,03	0,07	0,05	0,03
Rhein	KKW Beznau/Leibstadt	Cs-137	2	0	0,09	0,15	0,12	0,10
	(Schweiz)							
	KWB Biblis	Sr-90	8	1	0,01	0,13	0,02	0,02
		Cs-137	8	4	<0,04	0,14	0,07	0,11
	KKW Fessenheim	Cs-137	2	0	0,03	0,04	0,04	0,06
	(Frankreich)							
	KKP Philippsburg	Sr-90	1	0			0,01	0,03
Rur		Cs-137	7	2	0,09	0,31	0,12	0,07
	KIT Karlsruhe	Cs-137	2	2	0,10	0,16	0,13	0,08
	FZ Jülich	Cs-137	3	0	0,22	0,46	0,25	0,14
		Co-60	4	4	<0,08	<0,11	<0,11	
Stechlinsee *	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	9,40	12,0	10,7	29,0
Ellbogensee *	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	4,90	26,0	15,5	5,40
Weser	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,09	0,34	0,12	0,10
	KWG Grohnde	Cs-137	6	3	<0,03	0,05	0,04	0,05
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)								
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60	1	1			<0,57	<0,56
		Cs-137	1	1			< 0,37	0,11
Moorbach	Ahaus	Co-60	1	1			<0,28	<0,85
		Cs-137	1	1			< 0,37	
Donau	KGG Gundremmingen	Co-60	2	1	<0,44	0,89	0,45	<0,37
		Cs-134	2	2	<0,37	<0,48	<0,43	<0,32
		Cs-137	2	0	5,20	8,67	6,94	6,57
Isar	FRM II Garching	Co-60	4	3	<0,21	0,47	<0,212	0,15
		Cs-137	4	0	4,15	8,96	5,73	9,25
	KKI 1/2 Isar	Mn-54	0	0				
		Co-60	1	1			<0,38	<0,27
		I-131	1	0			21,8	11,3
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	1	0			3,84	6,99
		Co-60	2	0	0,22	0,23	0,23	0,47
		Cs-137	2	0	1,90	8,70	5,30	4,30
N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG * stehendes Gewässer								

Tabelle T II.57 Weizen, Deutschland
(Wheat, German production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2015	26	<0,13 (<0,06 - <0,22)	-	
	2016	27	<0,12 (<0,03 - <0,17)	3	0,17 (0,13 - 0,23)
Bayern	2015	47	<0,14 (<0,07 - <0,29)	8	0,17 (0,09 - 0,30)
	2016	53	<0,15 (<0,08 - 0,30)	11	0,16 (0,10 - 0,22)
Berlin	2015	3	<0,15 (<0,12 - <0,18)	1	0,1
	2016	1	<0,19	1	0,08
Brandenburg	2015	16	<0,10 (<0,06 - <0,13)	1	0,08
	2016	22	<0,13 (<0,07 - <0,17)	1	0,07
Bremen	2015	2	<0,06 (<0,04 - <0,09)	-	
	2016	3	<0,15 (<0,14 - <0,16)	-	
Hamburg	2015	3	<0,14 (<0,08 - <0,17)	1	0,1
	2016	3	<0,08 (<0,07 - <0,10)	-	
Hessen	2015	18	<0,07 (<0,05 - <0,10)	-	
	2016	17	<0,09 (<0,05 - <0,12)	-	
Mecklenburg- Vorpommern	2015	39	<0,14 (<0,08 - <0,18)	3	0,06 (0,06 - 0,07)
	2016	35	<0,15 (<0,12 - 0,51)	2	0,07 (0,05 - 0,08)
Niedersachsen	2015	42	<0,16 (<0,03 - <0,35)	6	0,13 (0,04 - 0,23)
	2016	38	<0,16 (<0,08 - <0,26)	7	<0,10 (0,02 - 0,25)
Nordrhein-Westfalen	2015	25	<0,11 (<0,002 - <0,18)	3	<0,10 (<0,08 - 0,13)
	2016	26	<0,10 (<0,03 - <0,17)	2	0,09 (0,03 - 0,15)
Rheinland-Pfalz	2015	22	<0,08 (<0,03 - <0,11)	3	0,11 (0,08 - 0,13)
	2016	21	<0,08 (<0,02 - <0,11)	3	0,12 (0,07 - 0,18)
Saarland	2015	3	<0,20 (<0,20 - <0,20)	-	
	2016	2	<0,06 (<0,03 - <0,09)	1	0,06
Sachsen	2015	30	<0,10 (<0,09 - <0,12)	3	0,08 (0,07 - 0,09)
	2016	30	<0,12 (<0,09 - <0,15)	3	0,09 (0,06 - 0,12)
Sachsen-Anhalt	2015	36	<0,14 (<0,09 - 0,21)	3	0,11 (0,09 - 0,14)
	2016	36	<0,13 (<0,09 - 0,37)	3	0,09 (0,06 - 0,12)
Schleswig-Holstein	2015	36	<0,13 (<0,06 - <0,19)	4	0,13 (0,10 - 0,17)
	2016	35	<0,16 (<0,08 - 0,44)	4	<0,37 (0,14 - <1,00)
Thüringen	2015	34	<0,12 (<0,10 - <0,16)	1	0,04
	2016	34	<0,12 (<0,10 - <0,16)	1	0,04
Bundesrepublik (gesamt)	2015	382	<0,13 (<0,002 - <0,35)	37	<0,12 (0,04 - 0,30)
	2016	383	<0,13 (<0,02 - 0,51)	42	<0,14 (0,02 - <1,00)
- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden					



Tabelle T II.58 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import)

Importe	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kanada	2015	1	<0,10
	2016	4	<0,10 (<0,10 - <0,10)
Polen	2015	1	<0,13
	2016	2	<0,13 (<0,11 - <0,15)
Tschechische Republik	2015	7	<0,12 (<0,04 - <0,20)
	2016	5	<0,09 (<0,07 - <0,12)

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)	
Buchweizen	2015	1	0,15		-		
	2016	3	<0,15	(<0,12 - <0,18)	-		
Gerste	2015	110	<0,14	(<0,05 - 0,99)	1	0,15	
	2016	109	<0,15	(<0,05 - 0,52)	3	0,15	(0,12 - 0,16)
Hafer	2015	16	<0,24	(<0,08 - 0,52)	3	0,18	(0,04 - 0,31)
	2016	10	<0,24	(<0,07 - 0,64)	-		
Reis	2015	11	<0,18	(<0,04 - 0,93)	-		
	2016	7	<0,12	(<0,09 - <0,18)	-		
Roggen	2015	132	<0,15	(<0,03 - 0,68)	11	<0,16	(0,01 - 0,60)
	2016	140	<0,15	(<0,02 - 0,71)	11	0,10	(0,05 - 0,15)
Triticale	2015	12	<0,14	(<0,06 - 0,20)	-		
	2016	15	<0,15	(<0,07 - <0,27)	1	0,06	
sonstiges Getreide	2015	-			-		
	2016	7	<0,16	(<0,12 - <0,26)	-		
Getreideprodukte	2015	-			-		
	2016	3	<0,13	(<0,08 - <0,17)	-		

- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle T II.60 Kalbfleisch, Inland
(Veal, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2015	6	<0,41 (<0,19 - 0,67)
	2016	5	<0,17 (<0,08 - 0,34)
Bayern	2015	8	<0,25 (<0,08 - 0,52)
	2016	6	<0,18 (<0,10 - <0,36)
Berlin	2015	-	
	2016	3	1,28 (1,07 - 1,51)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Brandenburg	2015	4	<7,62 (<0,11 - 19,0)
	2016	3	1,37 (0,50 - 2,10)
Bremen	2015	3	<0,27 (<0,15 - 0,43)
	2016	3	0,18 (0,17 - 0,20)
Hamburg	2015	2	0,22 (0,15 - 0,29)
	2016	3	0,18 (0,09 - 0,25)
Hessen	2015	3	0,11 (0,08 - 0,14)
	2016	3	<0,15 (<0,11 - 0,22)
Mecklenburg-Vorpommern	2015	3	3,73 (0,33 - 9,69)
	2016	4	<1,12 (0,11 - 2,93)
Niedersachsen	2015	13	<0,70 (<0,10 - 4,90)
	2016	14	<2,13 (<0,10 - 24,0)
Nordrhein-Westfalen	2015	16	<0,17 (<0,06 - 0,31)
	2016	16	<0,19 (<0,11 - 0,35)
Rheinland-Pfalz	2015	1	0,1
	2016	-	
Saarland	2015	2	<0,20 (<0,20 - <0,20)
	2016	2	<0,10 (<0,10 - <0,11)
Sachsen	2015	3	0,13 (0,10 - 0,15)
	2016	3	<0,20 (<0,14 - 0,31)
Sachsen-Anhalt	2015	3	<0,25 (<0,14 - 0,44)
	2016	3	0,29 (0,24 - 0,37)
Schleswig-Holstein	2015	2	0,50 (0,49 - 0,52)
	2016	2	0,27 (0,24 - 0,30)
Thüringen	2015	3	<0,12 (<0,10 - 0,14)
	2016	3	<0,11 (0,10 - <0,13)
Bundesrepublik	2015	72	<0,87 (<0,06 - 19,0)
(gesamt)	2016	73	<0,70 (<0,08 - 24,0)
- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden			

Tabelle T II.61 Rindfleisch, Inland
(Beef, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2015	42	<0,83 (<0,07 - 15,1)
	2016	38	<0,84 (<0,10 - 14,3)
Bayern	2015	84	<0,56 (<0,07 - 7,91)
	2016	87	<0,48 (<0,07 - 6,20)
Berlin	2015	6	<0,58 (<0,06 - 2,09)
	2016	6	<3,50 (<0,16 - 6,18)
Brandenburg	2015	8	<1,30 (<0,08 - 5,90)
	2016	9	<0,72 (<0,11 - 2,40)
Bremen	2015	6	<0,57 (<0,08 - 1,88)
	2016	6	<1,01 (<0,10 - 2,54)
Hamburg	2015	6	<0,23 (<0,13 - 0,36)
	2016	7	<0,22 (<0,10 - 0,46)
Hessen	2015	12	<0,12 (<0,04 - 0,33)
	2016	13	<0,12 (0,05 - 0,38)
Mecklenburg-Vorpommern	2015	13	<0,70 (<0,05 - 3,71)
	2016	14	<0,97 (0,07 - 4,09)
Niedersachsen	2015	46	<0,83 (<0,05 - 7,81)
	2016	43	<1,00 (<0,10 - 5,13)
Nordrhein-Westfalen	2015	58	<0,22 (<0,06 - 1,41)
	2016	58	<0,16 (<0,04 - 0,91)
Rheinland-Pfalz	2015	14	<0,13 (<0,08 - 0,47)
	2016	14	<0,15 (<0,08 - 0,47)
Saarland	2015	6	<0,24 (0,10 - 0,42)
	2016	6	<0,25 (0,13 - 0,41)
Sachsen	2015	11	<0,24 (<0,12 - 0,41)
	2016	11	<0,22 (0,10 - 0,41)
Sachsen-Anhalt	2015	12	<1,72 (<0,09 - 17,3)
	2016	12	<0,20 (<0,09 - 0,49)
Schleswig-Holstein	2015	26	<0,52 (0,10 - 3,27)
	2016	25	<0,41 (<0,08 - 1,96)
Thüringen	2015	12	<0,12 (<0,10 - 0,17)
	2016	11	<0,17 (<0,09 - 0,48)
Bundesrepublik (gesamt)	2015	362	<0,56 (<0,04 - 17,3)
	2016	360	<0,55 (<0,04 - 14,3)

Tabelle T II.62 Schweinefleisch, Inland
(Pork, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2015	19	<0,29 (<0,12 - 2,08)
	2016	23	<0,18 (<0,11 - 0,52)
Bayern	2015	36	<0,18 (<0,08 - 0,81)
	2016	45	<0,15 (<0,08 - <0,27)
Berlin	2015	6	<0,16 (0,08 - 0,40)
	2016	4	<0,46 (<0,16 - 0,68)
Brandenburg	2015	14	<0,14 (<0,08 - 0,30)
	2016	13	<0,15 (<0,06 - 0,50)
Bremen	2015	8	<0,12 (<0,06 - 0,22)
	2016	8	<0,13 (<0,07 - 0,17)
Hamburg	2015	7	<0,14 (<0,12 - 0,16)
	2016	7	<0,11 (0,03 - 0,18)
Hessen	2015	12	<0,07 (<0,04 - <0,14)
	2016	13	<0,11 (<0,05 - 0,24)
Mecklenburg-Vorpommern	2015	19	<0,12 (0,06 - 0,20)
	2016	16	<0,13 (<0,07 - 0,27)
Niedersachsen	2015	67	<0,16 (<0,03 - 0,54)
	2016	68	<0,16 (<0,01 - 0,33)
Nordrhein-Westfalen	2015	91	<0,13 (<0,00 - 0,30)
	2016	91	<0,12 (<0,04 - <0,23)
Rheinland-Pfalz	2015	13	<0,13 (<0,09 - 0,38)
	2016	11	<0,11 (<0,08 - <0,17)
Saarland	2015	7	<0,18 (0,12 - <0,20)
	2016	6	0,16 (0,13 - 0,20)
Sachsen	2015	11	<0,22 (0,11 - 0,72)
	2016	11	<0,17 (0,09 - 0,43)
Sachsen-Anhalt	2015	24	<0,12 (<0,09 - 0,22)
	2016	24	<0,11 (<0,09 - <0,17)
Schleswig-Holstein	2015	12	<0,25 (<0,10 - 0,98)
	2016	12	<0,17 (0,12 - 0,40)
Thüringen	2015	15	<0,13 (0,10 - 0,28)
	2016	15	<0,16 (<0,10 - 0,38)
Bundesrepublik	2015	361	<0,15 (<0,0001 - 2,08)
(gesamt)	2016	367	<0,14 (<0,01 - 0,68)

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)	2015	26	<0,21 (0,07 - 0,43)
	2016	32	<0,21 (<0,0002 - 0,41)
Rindfleisch (Import)	2015	42	<0,15 (<0,05 - 0,47)
	2016	42	<0,26 (0,05 - 2,31)
Schweinefleisch (Import)	2015	44	<0,14 (<0,04 - 0,34)
	2016	43	<0,12 (<0,05 - <0,20)
Lamm	2015	18	<0,20 (<0,01 - 1,09)
	2016	19	<0,30 (<0,09 - 2,37)
Fleischprodukte	2015	-	
	2016	2	<0,18 (<0,17 - <0,18)
Geflügel			
Ente	2015	21	<0,13 (<0,07 - <0,20)
	2016	12	<0,13 (<0,09 - <0,19)
Gans	2015	19	<0,15 (0,03 - 0,37)
	2016	18	<0,19 (<0,05 - 1,00)
Huhn	2015	127	<0,15 (0,03 - <0,47)
	2016	125	<0,14 (<0,05 - 0,39)
Pute	2015	41	<0,14 (<0,05 - <0,25)
	2016	42	<0,13 (<0,05 - <0,24)
sonstiges Geflügelfleisch	2015	-	
	2016	2	<0,11 (<0,10 - 0,12)

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	2015	9	<21,8 (<0,16 - 135)
	2016	12	10,4 (0,57 - 36,7)
Hirsch	2015	15	<12,8 (<0,11 - 66,0)
	2016	6	<4,62 (<0,08 - 25,5)
Reh	2015	121	<16,9 (<0,09 - 399)
	2016	49	<11,8 (<0,08 - 61,5)
Wildschwein	2015	273	<111 (<0,08 - 1615)
	2016	203	<63,3 (<0,09 - 1160)
Sonstiges Wildfleisch	2015	10	<10,9 (<0,08 - 96,1)
	2016	2	<0,12 (<0,10 - 0,14)

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	2015	5	<0,10 (<0,07 - <0,15)	-	
	2016	5	<0,12 (<0,06 - <0,16)	-	
Bayern	2015	42	<0,17 (<0,08 - <0,26)	5	0,05 (0,02 - 0,08)
	2016	34	<0,18 (<0,08 - <0,24)	4	0,20 (0,02 - 0,70)
Berlin	2015	3	<0,07 (0,06 - <0,07)	1	0,03
	2016	2	<0,18 (<0,17 - <0,19)		
Brandenburg	2015	6	<0,12 (<0,08 - <0,16)	1	<0,01
	2016	8	<0,18 (<0,11 - 0,40)	1	<0,01
Bremen	2015	2	<0,10 (<0,08 - <0,12)	-	
	2016	2	<0,08 (<0,07 - <0,09)	-	
Hamburg	2015	3	<0,10 (0,10 - <0,11)	-	
	2016	3	<0,12 (<0,10 - <0,17)	-	
Hessen	2015	5	<0,07 (<0,05 - <0,12)	1	0,04
	2016	5	<0,10 (<0,09 - <0,14)	1	0,03
Mecklenburg- Vorpommern	2015	12	<0,10 (0,05 - <0,16)	1	<0,01
	2016	9	<0,12 (<0,09 - 0,15)	1	<0,02
Niedersachsen	2015	56	<0,15 (<0,04 - 0,38)	7	<0,04 (0,01 - 0,09)
	2016	61	<0,20 (<0,03 - <2,00)	7	<0,04 (0,01 - 0,05)
Nordrhein- Westfalen	2015	18	<0,12 (<0,06 - <0,25)	5	<0,04 (0,02 - 0,07)
	2016	17	<0,12 (<0,04 - <0,20)	4	0,05 (0,01 - 0,12)
Rheinland-Pfalz	2015	14	<0,09 (<0,03 - <0,14)	3	<0,02 (<0,01 - 0,03)
	2016	9	<0,08 (<0,02 - <0,14)	2	0,03 (0,02 - 0,04)
Saarland	2015	2	<0,20 (<0,20 - <0,20)	-	
	2016	2	<0,10 (<0,10 - <0,10)	-	
Sachsen	2015	6	<0,11 (<0,10 - <0,13)	1	0,01
	2016	6	<0,12 (<0,10 - <0,15)	1	0,02
Sachsen-Anhalt	2015	9	<0,13 (<0,10 - <0,16)	2	<0,01 (<0,00 - <0,02)
	2016	9	<0,13 (<0,10 - <0,18)	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
Schleswig-Holstein	2015	5	<0,15 (<0,10 - <0,19)	1	0,12
	2016	5	<0,12 (0,08 - <0,15)	1	0,04
Thüringen	2015	3	<0,12 (<0,11 - <0,13)	1	0,02
	2016	3	<0,12 (<0,11 - <0,14)	1	0,01
Bundesrepublik (gesamt)	2015	191	<0,13 (<0,03 - 0,38)	29	<0,03 (<0,0007 - 0,12)
	2016	180	<0,16 (<0,02 - <2,00)	25	<0,06 (<0,01 - 0,70)
- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden					

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	2015	685	<0,15	(<0,02 - 1,36)	76	<0,13	(0,01 - 0,70)
	2016	687	<0,14	(<0,02 - <1,97)	74	<0,28	(0,01 - <3,37)
Fruchtgemüse	2015	195	<0,13	(<0,02 - 0,44)	15	0,04	(0,02 - 0,13)
	2016	217	<0,13	(<0,02 - 0,40)	9	<0,04	(<0,02 - 0,08)
Sprossgemüse	2015	252	<0,12	(<0,02 - <0,36)	23	<0,06	(0,01 - 0,43)
	2016	245	<0,13	(<0,01 - <0,35)	29	<0,10	(<0,01 - <1,27)
Wurzelgemüse	2015	157	<0,14	(<0,02 - 0,54)	6	0,18	(0,07 - 0,29)
	2016	184	<0,15	(<0,04 - <0,36)	9	<0,24	(<0,02 - <1,34)
Kartoffeln (Import)	2015*						
	2016	35	<0,13	(<0,04 - <0,34)	-		

* 2015 nicht berichtet

Tabelle T II.67 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(Mushrooms, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Kulturpilze	2015	3	<0,51	(<0,05 - <1,43)
	2016	4	<0,11	(<0,09 - 0,18)
Wild-Blätterpilze	2015	28	<41,5	(<0,14 - 860)
	2016	11	<3,65	(<0,14 - 19,3)
Wild-Leisten- u. Trompetenpilze* *2015 und 2016 nur Pfifferlinge	2015	27	<11,5	(<0,50 - 49,0)
	2016	33	20,7	(0,45 - 107)
Wild-Röhrenpilze	2015	114	<49,7	(0,51 - 436)
	2016	38	<89,5	(<0,22 - 466)
sonstige Wildpilze	2015	8	<5,20	(<0,22 - 27,6)
	2016	9	6,91	(0,41 - 31,1)
Wildpilzmischungen	2015	18	<12,3	(<0,25 - 37,6)
	2016	11	<14,9	(<0,30 - 94,1)
Wildpilzprodukte, getrocknet	2015	4	194	(26,8 - 617)
	2016	1	3,25	

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	2015	10	<0,11 (<0,04 - <0,21)	-	
	2016	14	<0,13 (<0,08 - <0,19)	-	
Erdbeere	2015	106	<0,11 (<0,03 - <0,25)	9	<0,03 (0,01 - 0,06)
	2016	100	<0,12 (<0,04 - <0,23)	7	<0,13 (0,01 - <0,69)
Johannisbeere	2015	19	<0,13 (<0,04 - <0,20)	3	0,05 (0,02 - 0,08)
	2016	22	<0,13 (<0,06 - <0,36)	3	<0,51 (0,04 - <1,41)
Stachelbeere	2015	4	<0,13 (<0,09 - <0,17)		
	2016	3	<0,10 (<0,08 - <0,11)		
Tafelweintraupe	2015	19	<0,13 (<0,03 - <0,20)	1	0,03
	2016	14	<0,08 (<0,03 - <0,13)	1	0,03
Wald- u. Wildbeeren	2015	19	<10,2 (<0,04 - 145)	2	<0,08 (<0,01 - 0,16)
	2016	20	<31,2 (<0,09 - 237)	4	<0,20 (0,05 - <0,47)
Kernobst	2015	187	<0,13 (<0,02 - <0,30)	21	<0,02 (<0,0007 - 0,04)
	2016	205	<0,12 (<0,02 - <0,28)	21	<0,10 (<0,004 - <1,64)
Rhabarber	2015	13	<0,16 (<0,08 - <0,31)	-	
	2016	17	<0,13 (<0,07 - <0,24)	-	
Steinobst	2015	82	<0,12 (<0,03 - 0,38)	8	<0,02 (0,01 - 0,04)
	2016	98	<0,12 (<0,04 - <0,33)	7	<0,03 (0,01 - 0,05)
Zitrusfrüchte	2015	26	<0,13 (<0,05 - <0,19)	1	0,06
	2016	12	<0,12 (<0,06 - <0,19)	-	
sonstige Obstarten	2015	20	<0,14 (<0,07 - <0,33)	-	
	2016	12	<0,14 (<0,07 - <0,22)	-	
Obstprodukte	2015	13	<0,06 (<0,03 - <0,16)	-	
	2016	2	<0,11 (<0,09 - 0,12)	-	
- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden					



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	2015	37	<5,00	(0,04 - 123)	
	2016	42	<11,7	(< 0,10 - 118)	
Mayonnaise	2015	-			
	2016	1	<0,09		
Schalenobst (Nüsse)	2015	4	<0,33	(<0,06 - 1,02)	
	2016	3	<0,14	(<0,13 - <0,15)	
- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden					

Tabelle T II.70 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production)

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1960	1,2	0,56	0,09	9,6	-	-	-	0,07	3,2
1961	0,85	0,15	0,07	-	-	-	2,2	5,6	2,2
1962	0,56	0,19	0,06	12	-	-	2,6	1,0	0,48
1963	5,6	0,22	0,67	18	13	31	18	4,1	7,0
1964	7,0	0,22	0,30	36	27	39	21	2,0	5,2
1965	3,3	0,33	0,26	18	19	23	9,2	0,85	2,3
1966	2,0	0,30	0,22	8,9	11	13	5,2	0,59	1,7
1967	1,5	0,26	0,11	6,7	5,2	7,4	3,0	0,37	1,7
1968	0,85	0,16	0,11	4,8	3,3	7,8	2,1	0,59	0,59
1969	0,92	0,19	0,06	4,1	3,1	4,8	1,8	0,59	0,59
1970	1,0	0,14	0,07	3,7	2,8	5,2	1,4	0,89	0,48
1971	1,1	0,13	0,07	2,9	2,7	3,6	3,5	0,81	0,52
1972	1,0	0,13	0,07	2,9	2,2	3,3	2,0	0,89	0,37
1973	0,63	0,20	0,07	2,2	1,0	2,8	0,41	2,0	0,35
1974	1,8	0,09	0,04	2,4	1,0	1,8	1,1	0,85	0,41
1975	0,56	0,09	0,05	1,8	1,7	1,7	1,6	0,85	0,25
1976	0,44	0,11	0,04	0,81	0,70	1,3	0,30	1,0	0,37
1977	0,70	0,06	0,05	0,74	0,70	0,89	0,81	0,15	0,18
1978	0,67	0,06	0,06	1,3	1,2	1,7	0,96	0,15	0,14
1979	0,41	0,08	0,04	0,85	0,96	0,92	0,37	0,15	0,21
1980	0,39	0,08	0,04	0,70	0,67	1,1	0,26	0,55	0,12
1981	0,47	0,19	0,06	0,87	0,72	1,2	0,61	0,14	0,15
1982	0,32	0,12	0,04	1,2	0,81	1,1	0,19	0,40	0,18
1983	0,31	0,15	0,07	0,39	0,63	0,85	0,10	0,10	0,09
1984	0,31	0,07	0,10	1,2	0,32	0,43	0,06	0,05	0,07
1985	0,28	0,15	0,04	0,49	0,31	0,30	0,14	0,09	0,09
1986	0,23	0,12	0,13	50	19	41	7,1	2,9	12
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

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
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 *

* 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	2015	62	<0,23	(0,03 - 1,70)	17	<0,09	(0,02 - 0,46)
	2016	58	<0,27	(0,04 - 1,80)	15	0,07	(0,03 - 0,15)
Februar	2015	59	<0,18	(0,02 - <0,44)	6	<0,10	(0,04 - 0,19)
	2016	64	<0,26	(0,03 - 2,95)	6	<0,06	(<0,04 - 0,08)
März	2015	67	<0,22	(0,03 - 0,90)	5	<0,05	(<0,04 - 0,07)
	2016	65	<0,23	(0,04 - 0,92)	6	0,13	(0,03 - 0,50)
April	2015	65	<0,28	(0,03 - 5,44)	20	<0,31	(0,02 - 4,62)
	2016	63	<0,22	(0,03 - 1,91)	16	<0,09	(0,03 - <0,30)
Mai	2015	60	<0,22	(0,02 - 0,90)	5	<0,08	(0,01 - 0,17)

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)
Juni	2016	64	<0,21 (<0,06 - 0,70)	8	<0,10 (<0,04 - 0,24)
	2015	68	<0,24 (<0,04 - 1,30)	6	<0,05 (0,02 - 0,11)
	2016	61	<0,23 (0,02 - 1,57)	4	<0,09 (<0,04 - 0,24)
Juli	2015	66	<0,26 (0,03 - 1,88)	17	<0,06 (0,02 - 0,17)
	2016	61	<0,21 (0,03 - 1,40)	18	<0,06 (0,01 - 0,19)
August	2015	61	<0,26 (<0,02 - 3,40)	6	<0,10 (<0,04 - 0,16)
	2016	69	<0,21 (<0,03 - 0,60)	7	0,14 (0,03 - 0,30)
September	2015	65	<0,24 (0,03 - 0,83)	6	0,11 (0,04 - 0,18)
	2016	61	<0,21 (0,01 - 0,70)	5	<0,04 (<0,02 - 0,06)
Oktober	2015	64	<0,22 (0,03 - 0,60)	19	<0,07 (0,03 - 0,30)
	2016	63	<0,22 (0,02 - 1,30)	17	<0,06 (0,01 - 0,14)
November	2015	65	<0,22 (<0,05 - 1,00)	3	<0,07 (<0,04 - 0,10)
	2016	62	<0,23 (0,02 - 1,70)	9	<0,08 (0,03 - <0,18)
Dezember	2015	54	<0,21 (0,04 - <0,41)	4	0,06 (0,03 - 0,10)
	2016	55	<0,25 (0,02 - 1,38)	2	0,04 (0,03 - 0,05)
Jahr (gesamt)	2015	756	<0,23 (<0,02 - 5,44)	114	<0,12 (0,01 - 4,62)
	2016	746	<0,23 (0,01 - 2,95)	113	<0,08 (0,01 - 0,50)

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	2015	20	<0,12 (<0,03 - 0,44)	6	0,03 (0,02 - 0,04)
	2016	21	<0,11 (<0,02 - 0,31)	6	<0,03 (0,02 - 0,05)
Februar	2015	22	<0,12 (0,01 - 0,64)	5	<0,03 (<0,02 - 0,06)
	2016	24	<0,12 (<0,01 - 0,40)	3	<0,02 (0,01 - <0,02)
März	2015	24	<0,11 (0,03 - 0,52)	5	<0,08 (<0,02 - 0,17)
	2016	18	<0,12 (0,03 - 0,38)	5	<0,03 (<0,01 - 0,05)
April	2015	19	<0,12 (<0,02 - 0,43)	5	<0,03 (0,004 - 0,10)
	2016	23	<0,10 (0,03 - 0,30)	3	<0,02 (0,01 - 0,04)
Mai	2015	20	<0,10 (<0,02 - <0,20)	1	0,03 (0,03 - 0,03)
	2016	22	<0,13 (<0,02 - 0,63)	3	0,02 (0,01 - 0,03)
Juni	2015	20	<0,12 (<0,01 - 0,33)	-	
	2016	24	<0,12 (<0,01 - 0,29)	1	0,02 (0,02 - 0,02)
Juli	2015	21	<0,11 (<0,02 - <0,27)	4	0,02 (0,02 - 0,03)
	2016	19	<0,09 (<0,02 - <0,15)	4	<0,02 (0,02 - 0,03)
August	2015	19	<0,15 (<0,03 - 0,70)	1	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	2016	19	<0,12 (<0,04 - <0,24)	1	<0,02 (<0,02 - <0,02)
September	2015	22	<0,14 (<0,03 - 0,80)	5	<0,04 (<0,01 - 0,10)

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Oktober	2016	24	<0,12	(<0,02 - 0,43)	6	0,04	(0,01 - 0,09)
	2015	22	<0,13	(<0,03 - 0,42)	1	0,03	(0,03 - 0,03)
	2016	21	<0,13	(<0,04 - 0,63)	2	0,09	(0,08 - 0,09)
November	2015	18	<0,18	(<0,03 - 0,84)	1	0,02	(0,02 - 0,02)
	2016	22	<0,11	(<0,01 - 0,31)	1	0,02	(0,02 - 0,02)
Dezember	2015	21	<0,16	(0,02 - 0,67)	1	0,02	(0,02 - 0,02)
	2016	16	<0,13	(<0,06 - <0,23)	-		
Jahr (gesamt)	2015	248	<0,13	(<0,01 - 0,84)	36	<0,04	(0,004 - 0,17)
	2016	253	<0,12	(<0,01 - 0,63)	35	<0,03	(<0,01 - 0,09)
- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden							

Tabelle T II.73 Spezifische Aktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Gemüse
(Specific activity of food of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: vegetables)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg FZ Karlsruhe	Cs-137	26	<0,05	30	<0,05	28	<0,05 (<0,02 - <0,13)
	Sr-90	12	0,06	17	0,06	14	<0,05 (0,01 - <0,12)
KWO Obrigheim	Cs-137	9	<0,05	12	<0,05	11	<0,05 (<0,03 - <0,09)
	Sr-90	8	0,07	8	0,11	7	0,08 (0,03 - 0,20)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	10	<0,04	10	<0,06	7	<0,06 (<0,04 - <0,08)
	Sr-90	8	0,08	6	0,08	5	0,06 (0,02 - 0,10)
KKP Philippsburg	Cs-137	7	<0,08	7	<0,05	3	<0,05 (0,03 - <0,07)
	Sr-90	5	0,03	5	0,04	3	<0,03 (<0,01 - <0,04)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	11	<0,04	10	<0,04	8	<0,05 (<0,02 - <0,13)
	Sr-90	5	0,13	5	0,09	4	0,06 (0,04 - 0,10)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	8	<0,05	7	<0,06	8	<0,07 (<0,02 - <0,11)
	Sr-90	2	0,05	1	0,03	1	<0,02
Bayern							
KGG Gundremmingen	Cs-137	1	<0,04	1	<0,04	1	<0,04
	Sr-90	1	0,05	1	0,06	1	0,04
KKI Isar	Cs-137	1	<0,02	1	<0,02	1	<0,02
	Sr-90	1	0,06	1	0,06	1	0,11
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	3	<0,11	3	<0,11	3	<0,12 (<0,10 - <0,14)
	Sr-90	3	<0,04	3	<0,04	3	<0,04 (<0,04 - <0,04)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	0,07	1	<0,04	1	<0,04
	Sr-90	1	0,08	1	0,06	1	<0,01
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	16	<0,13	1	<0,17	3	<0,18 (<0,11 - 0,26)
	Sr-90	1	0,04	a)		a)	
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	2	<0,20	6	<0,23	12	<0,17 (<0,08 - <0,26)
	Sr-90	2	0,25	6	0,44	12	<0,46 (<0,04 - <1,90)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	8	<0,06	13	<0,05	15	<0,06 (<0,02 - <0,12)
	Sr-90	8	0,04	12	0,03	15	<0,03 (<0,01 - 0,08)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	2	<0,09	2	<0,13	2	<0,12 (<0,11 - <0,13)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	7	<0,08	7	<0,13	8	<0,11 (<0,06 - <0,15)
	Sr-90	7	0,09	7	0,09	8	0,09 (0,02 - 0,18)
KWG Grohnde	Cs-137	5	<0,09	5	<0,09	6	<0,12 (<0,08 - <0,15)
	Sr-90	5	0,07	5	0,08	6	0,08 (0,02 - 0,13)
KKE Emsland	Cs-137	7	<0,09	7	<0,14	8	<0,11 (<0,08 - <0,16)
	Sr-90	7	0,07	7	0,05	8	0,05 (0,01 - 0,09)
Schacht Konrad II ^{b)}	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	5	<0,09	6	<0,05	3	<0,04 (<0,03 - <0,05)
	Sr-90	5	0,05	6	<0,09	3	<0,12 (<0,04 - 0,28)
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	3	<0,05	3	<0,06	3	<0,04 (<0,04 - <0,05)
	Sr-90	3	0,04	3	<0,04	3	0,02 (0,01 - 0,02)
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	4	<6,4	a)		a)	
	Uran (Bq/kg TM)	4	<2,7	a)		a)	
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90			a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen							
VKTA Rossendorff	Cs-137	1	<0,1	3	<0,12	3	<0,11 (<0,02 - <0,16)
	Sr-90	1	0,09	a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	3	<0,17	6	<0,16	6	<0,15 (<0,12 - <0,18)
	Sr-90	a)		1	0,09	2	0,04 (0,02 - 0,05)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	a)		1	<0,05	a)	
	Sr-90	a)		1	0,12	a)	
KKB Brunsbüttel	Cs-137	1	<0,04	1	<0,04	a)	
	Sr-90						
KKK Krümmel	Cs-137	1	<0,07	1	0,06	5	<0,15 (<0,12 - <0,18)
	Sr-90	1	0,07	1	0,08	a)	
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 Spezifische Aktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Getreide
(Specific activity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: cereals)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,06	2	<0,1	2	<0,08 (<0,08 - <0,08)
	Sr-90	2	0,12	2	0,07	2	0,08 (0,07 - 0,08)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,06	4	<0,07	4	<0,06 (<0,05 - <0,07)
	Sr-90	a)		a)		2	0,09 (0,08 - 0,11)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,06	4	<0,08	4	<0,05 (<0,03 - <0,08)
	Sr-90	a)		a)		2	0,08 (0,08 - 0,08)
KKP Philippsburg	Cs-137	2	<0,09	2	<0,08	2	<0,08 (<0,07 - <0,08)
	Sr-90	1	0,11	1	0,09	1	0,07
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	4	<0,03	5	<0,05	5	<0,04 (<0,02 - <0,07)
	Sr-90	2	0,21	2	0,15	2	0,06 (0,05 - 0,06)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	<0,05	3	<0,05	3	<0,05 (<0,05 - <0,06)
	Sr-90	2	0,14	3	0,14	2	0,11 (0,09 - 0,14)
Bayern							
KGG Gundremmingen	Cs-137	4	<0,04	4	<0,04	4	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	4	<0,11	4	<0,03	4	<0,06 (<0,01 - 0,15)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKI Isar	Cs-137	5	<0,03	5	<0,02	5	<0,06 (0,02 - 0,17)
	Sr-90	5	<0,08	5	<0,06	5	<0,08 (<0,01 - 0,19)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,08	2	<0,1	2	<0,11 (<0,10 - <0,11)
	Sr-90	2	<0,03	2	<0,03	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	<0,02	1	<0,02	1	<0,03
	Sr-90	1	0,14	1	0,12	1	0,10
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	a)		a)		a)	
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	3	<0,08	2	<0,10	1	<0,13
	Sr-90	3	0,04	2	0,04	1	0,06
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	5	<0,14	a)		5	<0,14 (<0,10 - <0,16)
	Sr-90	5	0,09	a)		5	<0,11 (0,06 - 0,15)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	2	<0,12	2	<0,14	2	<0,15 (<0,14 - <0,16)
	Sr-90	2	0,13	2	0,11	2	0,12 (0,09 - 0,15)
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	3	<0,13	2	<0,14	2	<0,14 (<0,13 - <0,15)
	Sr-90	3	0,08	2	0,07	2	0,13 (0,09 - 0,18)
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)	18	<1,6	a)		a)	
	Uran (Bq/kg TM)	18	<0,23	a)		a)	
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Cattenom Frankreich	Cs-137	2	<0,04	2	<0,04	2	<0,03 (<0,03 - <0,03)
	Sr-90	2	0,06	2	0,08	2	0,10 (0,09 - 0,11)
Sachsen							
VKTA Rossendorff	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	2	<0,16	3	<0,17	2	<0,14 (<0,12 - <0,15)
	Sr-90	2	0,04	2	0,09	1	0,05
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,15	1	<0,14	1	<0,13
	Sr-90	1	0,07	1	0,22	1	0,22
KKB Brunsbüttel	Cs-137	2	<0,1	2	<0,13	2	<0,12 (<0,11 - <0,12)
	Sr-90	2	0,08	2	0,05	2	0,07 (0,06 - 0,08)
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,15	2	<0,11	2	<0,13 (<0,09 - <0,17)
	Sr-90	2	0,1	2	0,09	2	0,12 (0,11 - 0,13)
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 Spezifische Aktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Obst
(Specific activity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: fruit)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	4	<0,04	6	<0,03	5	<0,03 (<0,01 - <0,05)
	Sr-90	2	0,04	3	0,07	3	<0,02 (<0,01 - 0,03)
KWO Obrigheim	Cs-137	3	<0,04	4	<0,05	4	<0,04 (<0,03 - <0,07)
	Sr-90	a)		2	0,05	2	0,10 (0,07 - 0,13)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,05	4	<0,06	4	<0,05 (<0,03 - <0,10)
	Sr-90	a)		2	0,11	2	0,07 (0,05 - 0,09)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	<0,07	5	<0,06	4	<0,06 (<0,02 - <0,09)
	Sr-90	4	0,05	3	0,05	2	0,02 (0,01 - 0,02)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	3	<0,04	4	<0,04	4	<0,06 (<0,03 - <0,11)
	Sr-90	2	0,02	4	0,07	3	0,05 (0,01 - 0,14)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	<0,03	1	<0,03	2	<0,07 (<0,05 - 0,09)
	Sr-90	1	0,005	1	0,04	2	0,06 (0,04 - 0,07)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Bayern							
KGG Gundremmingen	Cs-137	2	<0,03	2	<0,03	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	Sr-90	2	0,03	2	0,00	2	<0,01 (<0,01 - <0,01)
KKI Isar	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,05	2	<0,1	2	<0,10 (<0,10 - <0,10)
	Sr-90	2	<0,03	2	<0,03	2	<0,03 (<0,03 - <0,03)
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	11	<0,11	2	<0,12	2	<0,13 (0,10 - <0,17)
	Sr-90	1	0,01	a)		a)	
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a)		3	<0,15	1	<0,26
	Sr-90	a)		3	0,23	1	0,03
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	12	<0,05	5	<0,06	3	<0,05 (<0,02 - <0,07)
	Sr-90	12	0,03	5	0,04	3	0,14 (0,01 - 0,39)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,11	a)		4	<0,09 (<0,06 - <0,13)
	Sr-90	4	0,01	a)		4	<0,01 (0,01 - 0,02)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	3	<0,06	3	<0,09	4	<0,06 (<0,05 - <0,07)
	Sr-90	a)		a)		a)	
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 Asse	Cs-137	a)		3	<0,06	3	<0,04 (<0,02 - <0,07)
	Sr-90	a)		3	<0,09	3	<0,04 (<0,04 - <0,04)
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	2	<1,5	a)		a)	
	Uran (Bq/kg TM)	2	<0,23	a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Rheinland-Pfalz KMK Mülheim-Kärlich	U-238 (Bq/kg TM)	a)		3	<0,20	a)	
	Cs-137	3	<0,03	4	<0,01	5	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90			a)		a)	
KKW Cattenom Frankreich	Cs-137	4	<0,05	2	<0,05	3	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	3	<0,01	2	<0,01	3	<0,01 (<0,01 - 0,01)
Sachsen VKTA Rossendorf	Cs-137	1	0,12	1	<0,10	1	<0,12
	Sr-90	1	0,009	1	0,01	a)	
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben	Cs-137	3	<0,13	5	<0,18	5	<0,17 (<0,14 - <0,19)
	Sr-90	1	<0,02	1	<0,02	1	0,02
Schleswig-Holstein KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,06	2	<0,05	2	<0,04 (<0,03 - <0,05)
	Sr-90	2	0,02	2	0,03	2	0,02 (0,01 - 0,03)

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 Spezifische Aktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Kartoffeln
(Specific activity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: potatoes)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,04	3	<0,07	2	<0,07 (<0,07 - <0,07)
	Sr-90	1	<0,01	1	0,01	1	0,01
KWO Obrigheim	Cs-137	1	<0,07	1	<0,05	1	<0,04
	Sr-90			a)		a)	
GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	<0,05	2	<0,05	2	<0,06 (<0,06 - <0,06)
	Sr-90	2	0,01	2	0,02	a)	
KKP Philippsburg	Cs-137	1	<0,06	1	0,03	1	<0,06
	Sr-90	1	0,02	a)		1	<0,02
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	<0,04	3	<0,06	2	<0,06 (<0,05 - <0,06)
	Sr-90	2	0,02	2	<0,04	2	0,02 (0,01 - 0,03)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	<0,03	2	<0,07	2	<0,05 (<0,04 - <0,05)
	Sr-90	2	0,02	2	0,02	2	0,02 (0,02 - 0,03)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2014		2015		2016	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	1	<0,04	a)		2	<0,03 (<0,03 - <0,03)
	Sr-90	1	0,02	a)		2	0,03 (0,02 - 0,03)
Bayern							
KGG Gundremmingen	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	3	<0,19	a)		a)	
	Sr-90	2	0,02	a)		a)	
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	5	<0,08	9	<0,05	9	<0,04 (<0,01 - <0,10)
	Sr-90	5	0,02	9	<0,01	9	0,02 (0,01 - 0,05)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	1	<0,09	1	<0,06	a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	1	<0,09	1	<0,06	a)	
	Sr-90	1	0,05	1	0,03	a)	
KWG Grohnde	Cs-137	1	0,09	1	<0,15	1	<0,10
	Sr-90	1	0,03	1	0,02	1	0,02
KKE Emsland	Cs-137	1	<0,09	1	<0,10	1	<0,06
	Sr-90	1	0,01	1	0,01	1	0,01
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	a)		a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	3	<0,05	3	<0,06	3	<0,05 (<0,03 - <0,06)
	Sr-90	3	0,02	3	0,02	3	0,02 (0,01 - 0,03)
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	<0,04	1	<0,01	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 aus europäischen Ländern für das Jahr 2016
(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected medicine plants from European countries for the year 2016)

Artikel	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Bitterkleeblätter, geschnitten	Ukraine	790	71
Islandmoos, geschnitten	Montenegro	61	12
Sencha (grüner Tee)	China	620	NWG: 0,4

Tabelle T II.78 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Islandmoos für die Jahre 2000 bis 2016 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in iceland moss for the years 2000 - 2016 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

Tabelle T II.79 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Bitterkleeblättern für die Jahre 2005 bis 2016 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in bogbean leaves for the years 2005 - 2016 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

Tabelle T II.80 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Gänsefingerkraut für die Jahre 2000 bis 2015 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in silverweed herb for the years 2005 - 2015 and indication of their country of origin)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
2000	Polen	510	52
2001	Polen	540	52
2002	Polen	540	58
2003	Polen	660	53
2004	Polen	820	37
2005	Polen	480	27
2011	Polen	790	30
2012	Polen	710	33
2013	Ungarn	710	NWG: 0,3
2014	Ungarn	660	NWG: 0,3
2015	Ungarn	620	0,3

Tabelle T II.81 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Frischmasse - in ausgewählten Sonderproben für das Jahr 2016

(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected special samples for the year 2016)

Artikel	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Eisbein, Wildschweinfrischling	Deutschland	93	10
Wildschweinschinken	Deutschland	140	0,6
Pfifferlinge	Weißrussland	160	60
Pfifferlinge	Polen	120	60
Paranuskerne	Bolivien	200	16
Holzasche*	Ukraine	6100	28
Holzasche*	Ukraine	5800	33
Holzasche*	Ukraine	5600	39

* Die Werte für die Holzasche beziehen sich auf die Trockenmasse.

Tabelle T II.82 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2016 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2016 - minimum, maximum, and mean values)

Land	Nuklid	2016						2015
		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	19	13	1,7	3,4		<2,0	<1,9
	Co-60	19	19				<0,091	<0,09
	I-131	19	15	0,12	0,74		<0,13	0,13
	Cs-137	19	19				<0,091	<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	3			0,75	<1,3	<1,4
	Co-60	4	4				<0,069	<0,074
	I-131	4	0	0,095	0,23	0,18	0,2	0,16
	Cs-137	4	4				<0,068	<0,068
	Sr-90	4	2	0,0022	0,0025	0,0024	0,0024	<0,0021
	U-234	4	0	5,2E-05	0,00018	0,00013	0,00015	0,00016
	U-235	4	4				<5,1E-05	<3,3E-05
	U-238	4	0	7,5E-05	0,00014	0,00011	0,00011	8,3E-05
Niedersachsen	K-40	47	14	0,34	1,5	0,64	0,64	0,66
	Co-60	47	47				<0,03	<0,03
	I-131	47	23	0,026	0,76	0,11	<0,068	<0,072
	Cs-137	47	47				<0,026	<0,025
	Sr-90	6	2	0,0033	0,0095	0,0058	<0,006	0,0058
	U-234	4	2	0,00069	0,0016	0,0011	<0,0015	0,00096
	U-235	4	4				<0,0011	<0,0006
	U-238	4	3			0,00052	<0,0012	0,00064
Bremen	K-40	8	3	0,92	1,4	1,1	<1,2	<0,94
	Co-60	8	8				<0,03	<0,041
	I-131	8	4	0,15	0,22	0,19	<0,16	0,17
	Cs-137	8	8				<0,032	<0,046
	Sr-90	4	4				<0,014	<0,018
	U-234	4	1	0,0031	0,0041	0,0037	0,004	0,0037
	U-235	4	4				<0,0021	<0,0026
	U-238	4	1	0,0025	0,0037	0,0032	0,0035	<0,0044
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	34	0,54	4,3		<1,2	<1,3
	Co-60	40	40				<0,06	<0,06
	I-131	40	34	0,2	0,98		0,2	<0,14
	Cs-137	40	40				<0,057	<0,068
	Sr-90	3	1	0,068	0,11	0,087	0,068	<0,0096
	U-234	4	1	0,0054	0,011	0,0092	0,0081	0,0077
	U-235	4	4				<0,0033	<0,0031
	U-238	4	2	0,0077	0,0087	0,0082	0,0077	0,0054
Hessen	K-40	20	17	0,38	0,46		<0,77	<0,44
	Co-60	20	20				<0,029	<0,016
	I-131	20	17	0,11	0,26		<0,063	<0,032
	Cs-137	20	20				<0,032	<0,018
	Sr-90	4	2	0,017	0,022	0,02	0,017	0,014
	U-234	4	1	0,011	0,028	0,02	0,016	0,012
	U-235	4	4				<0,005	<0,005
	U-238	4	1	0,008	0,018	0,013	0,011	0,013
Rheinland-Pfalz	K-40	20	6	0,32	4,8	1,3	0,74	0,64
	Co-60	20	20				<0,017	<0,018
	I-131	20	10	0,034	0,24	0,097	0,034	0,026
	Cs-137	20	20				<0,018	<0,017

Tabellen

Land	Nuklid	2016						2015
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	Sr-90	4	0	0,0015	0,0027	0,0019	0,0016	0,002
	U-234	4	0	0,0071	0,024	0,018	0,02	0,017
	U-235	4	4				<0,0012	<0,0022
	U-238	4	1	0,016	0,025	0,02	0,018	0,01
Baden-Württemberg	K-40	80	10	0,17	1,1	0,47	0,45	0,46
	Co-60	80	80				<0,01	<0,011
	I-131	48	37	0,013	0,75		<0,022	<0,027
	Cs-137	80	80				<0,0098	<0,011
	Sr-90	4	4				<0,01	<0,0065
	U-234	4	0	0,0029	0,0075	0,0047	0,0043	0,0051
	U-235	4	4				<0,00063	<0,0015
	U-238	4	0	0,0023	0,0061	0,0039	0,0035	0,0036
Bayern	K-40	40	34	0,94	2,4		<1,3	1,3
	Co-60	40	40				<0,099	<0,1
	I-131	39	35	0,19	0,51		<0,2	<0,25
	Cs-137	40	40				<0,1	<0,1
	Sr-90	4	4				<0,0038	0,0094
	U-234	4	0	0,002	0,013	0,0075	0,0075	0,0063
	U-235	5	3	0,00057	0,0007		0,00057	<0,00052
	U-238	4	0	0,0014	0,014	0,0075	0,0076	0,0063
Saarland	K-40	8	0	0,25	0,92	0,58	0,63	0,77
	Co-60	8	8				<0,0057	<0,0066
	I-131	8	6	0,0055	0,0097		<0,0065	<0,012
	Cs-137	8	8				<0,0064	<0,0072
	Sr-90	4	2	0,014	0,021	0,017	0,014	<0,011
	U-234	4	3			0,0086	<0,0069	0,013
	U-235	4	4				<0,0036	<0,0014
	U-238	4	3			0,0065	<0,0046	0,006
Berlin	K-40	4	0	0,82	1,1	0,93	0,93	0,89
	Co-60	4	4				<0,0047	<0,0025
	I-131	3	3				<0,066	<0,035
	Cs-137	4	4				<0,0045	<0,0024
	Sr-90	4	0	0,0021	0,0028	0,0024	0,0023	0,0028
	U-234	4	0	0,00029	0,0024	0,0017	0,0022	0,0022
	U-235	4	1	9,1E-05	9,9E-05	9,6E-05	9,4E-05	0,0001
	U-238	4	0	0,00024	0,002	0,0015	0,0018	0,0019
Brandenburg	K-40	32	11	0,7	2,0	0,99	0,93	0,8
	Co-60	32	32				<0,019	<0,015
	I-131	31	23	0,05	1,2		<0,075	0,09
	Cs-137	32	32				<0,018	<0,017
	Sr-90	12	3	0,001	0,0024	0,002	0,002	0,002
	U-234	12	6	0,0006	0,01	0,0023	0,0006	<0,0009
	U-235	12	10	9,0E-05	0,0006		<0,0003	<0,0005
	U-238	12	5	0,0004	0,01	0,0019	0,00045	0,00057
Mecklenburg- Vorpommern	K-40	20	0	0,5	1,5	0,74	0,71	0,7
	Co-60	20	20				<0,017	<0,014
	I-131	20	9	0,025	0,43	0,14	0,063	0,21
	Cs-137	20	20				<0,013	<0,011
	Sr-90	4	2	0,0026	0,027	0,015	<0,0057	<0,0024
	U-234	4	2	0,0047	0,0082	0,0064	0,0082	0,009
	U-235	4	4				<0,0055	<0,0054
	U-238	4	2	0,004	0,0071	0,0056	<0,005	0,0054
Sachsen	K-40	20	11	0,65	1,8		0,92	0,88
	Co-60	20	20				<0,086	<0,067
	I-131	20	14	0,085	0,32		<0,1	<0,1
	Cs-137	20	20				<0,077	<0,062
	Sr-90	4	3			0,012	<0,016	<0,017
	U-234	4	2	0,0011	0,0065	0,0038	0,0065	0,0089

		2016						2015
Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	U-235	4	4				<0,0015	<0,0043
	U-238	4	2	0,0012	0,007	0,0041	<0,0028	<0,007
Sachsen-Anhalt	K-40	20	8	0,35	1,0	0,62	0,48	0,41
	Co-60	20	20				<0,01	<0,0099
	I-131	20	9	0,018	0,25	0,061	0,022	0,021
	Cs-137	20	20				<0,01	<0,0094
	Sr-90	4	4				<0,1	<0,035
	U-234	4	0	0,0031	0,02	0,008	0,0045	0,0059
	U-235	4	4				<0,00061	<0,00056
	U-238	4	0	0,0026	0,013	0,006	0,0042	0,0041
Thüringen	K-40	20	16	0,7	1,3		<1,2	1,3
	Co-60	20	20				<0,075	<0,081
	I-131	20	16	0,055	0,23		<0,1	<0,11
	Cs-137	20	20				<0,083	<0,083
	Sr-90	4	4				<0,0077	<0,0054
	U-234	4	0	0,01	0,072	0,041	0,04	0,021
	U-235	4	1	0,00055	0,0028	0,0018	0,0021	0,00063
	U-238	4	0	0,0063	0,043	0,024	0,023	0,011
Bundesrepublik Deutschland	K-40	402	180	0,17	4,8	0,79	<0,8	0,77
	Co-60	402	402				<0,027	<0,027
	I-131	367	255	0,0055	1,2		<0,089	<0,092
	Cs-137	402	402				<0,025	<0,024
	Sr-90	73	41	0,001	0,11		<0,006	0,0066
	U-234	72	22	5,2E-05	0,072	0,0093	0,0045	0,0049
	U-235	73	63	9,0E-05	0,0028		<0,001	<0,0009
	U-238	72	24	7,5E-05	0,043	0,007	0,0037	0,0041
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	2	47	120	75	67	70
	Co-60	20	20				<1,5	<1,8
	I-131	20	2	2,5	95	27	17	16
	Cs-137	20	18	0,83	1,8	1,3	1,8	<2,0
	Sr-90	4	0	2,1	3,2	2,6	2,6	2,4
	U-234	4	2	14	15	15	14	13
	U-235	4	4				<5,0	<5,0
	U-238	4	2	14	14	14	14	14
Hamburg	K-40	8	0	74	360	230	210	300
	Co-60	8	8				<1,1	<0,97
	I-131	8	0	6,6	38	19	16	17
	Cs-137	8	2	0,43	2,1	1,3	1,6	<1,5
	Sr-90	4	0	0,94	1,4	1,1	0,97	0,9
	U-234	4	0	13	18	16	17	15
	U-235	4	0	0,58	0,79	0,69	0,68	0,67
	U-238	4	0	12	16	14	15	14
Niedersachsen	K-40	40	0	33	790	210	87	93
	Co-60	40	40				<1,3	<1,4
	I-131	40	3	2,0	390	80	41	41
	Cs-137	40	13	0,47	5,3	2,0	<1,7	1,8
	Sr-90	4	0	1,6	4,0	2,6	2,5	2,0
	U-234	4	0	12	45	24	20	27
	U-235	4	0	0,56	1,5	0,94	0,84	0,99
	U-238	4	0	12	34	20	17	23
Bremen	K-40	8	0	170	500	310	310	410
	Co-60	8	8				<1,1	<2,2
	I-131	8	0	8,5	100	59	64	55
	Cs-137	8	5	1,2	3,4	2,1	1,8	<2,8
	Sr-90	4	2	1,4	1,6	1,5	1,5	<1,9
	U-234	3	0	13	17	14	13	12

Land	Nuklid	2016						2015
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	U-235	3	2			0,77	<0,81	<0,99
	U-238	3	0	9,1	15	12	11	12
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	0	64	480	190	140	130
	Co-60	40	40				<0,34	<0,38
	I-131	37	8	11	200	60	44	35
	Cs-137	40	6	0,46	6,8	2,4	2,1	2,5
	Sr-90	4	2	1,1	3,4	2,3	<1,8	1,6
	U-234	4	0	35	53	44	43	39
	U-235	4	0	1,4	1,9	1,7	1,8	1,6
	U-238	4	0	25	38	34	37	30
Hessen	K-40	20	0	53	180	120	110	130
	Co-60	20	20				<0,62	<0,36
	I-131	20	0	3,0	83	26	9,2	16
	Cs-137	20	7	0,61	5,4	2,3	1,6	1,5
	Sr-90	3	1	0,87	2,0	1,4	0,87	0,8
	U-234	4	0	28	160	89	83	90
	U-235	4	0	1,2	5,5	3,0	2,6	2,8
	U-238	4	0	22	110	61	57	62
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	100	230	150	150	150
	Co-60	20	20				<0,35	<0,38
	I-131	20	0	0,49	37	14	12	16
	Cs-137	20	4	0,66	4,1	2,3	1,8	2,2
	Sr-90	4	0	0,87	1,6	1,3	1,5	1,3
	U-234	4	0	66	78	72	73	72
	U-235	4	0	1,8	2,3	2,0	2,0	2,3
	U-238	4	0	41	59	49	48	44
Baden-Württemberg	K-40	39	0	49	500	180	160	150
	Co-60	39	39				<0,53	<0,51
	I-131	39	9	0,83	1600	100	30	19
	Cs-137	39	0	0,83	32	8,9	4,9	5,1
	Sr-90	4	0	0,62	0,84	0,71	0,7	1,0
	U-234	4	0	31	58	41	38	36
	U-235	4	1	0,81	2,5	1,7	2,1	1,9
	U-238	4	0	20	53	34	32	30
Baden-Württemberg (West ³)	Co-60	28	28				<0,52	<0,46
	Cs-137	28	0	0,83	32	4,6	2,9	3,1
	Sr-90	2	0	0,62	0,84	0,73	0,73	1,2
Baden-Württemberg (Ost ⁴)	Co-60	11	11				<0,53	<0,63
	Cs-137	11	0	5,2	28	20	24	22
	Sr-90	2	0	0,65	0,75	0,7	0,7	0,97
Bayern	K-40	40	0	52	1800	340	220	200
	Co-60	40	40				<1,9	<1,8
	I-131	38	8	2,4	120	38	34	35
	Cs-137	40	6	1,6	18	6,1	4,2	4,2
	Sr-90	3	0	2,8	6,9	4,7	4,4	3,8
	U-234	4	0	43	84	60	56	58
	U-235	8	1	1,7	10	5,7	<9,2	8,5
	U-238	4	0	42	78	57	53	60
Bayern (Nord ³)	Co-60	20	20				<2,0	<1,9
	Cs-137	20	5	1,6	7,2	3,7	2,7	3,2
	Sr-90	1	0			4,4	4,4	5,4
Bayern (Süd ⁴)	Co-60	20	20				<1,7	<1,8
	Cs-137	20	1	2,0	18	8,0	7,0	9,8
	Sr-90	2	0	2,8	6,9	4,9	4,9	3,0
Saarland	K-40	8	0	79	280	160	160	190
	Co-60	8	8				<0,23	<0,37
	I-131	8	0	3,3	41	23	26	20

Land	Nuklid	2016						2015
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	Cs-137	8	0	0,76	5,0	2,7	2,8	2,4
	Sr-90	4	0	0,85	5,5	2,8	2,4	2,3
	U-234	4	0	86	120	110	110	54
	U-235	4	0	2,2	4,0	2,7	2,3	1,7
	U-238	4	0	56	70	64	65	38
Berlin	K-40	4	0	44	100	60	51	66
	Co-60	4	4				<0,91	<0,67
	I-131	4	0	23	110	66	66	56
	Cs-137	4	4			<1,1	<1,0	<0,72
	Sr-90	2	0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,5
	U-234	2	0	9,3	12	10	10	9,4
	U-235	2	0	0,32	0,47	0,4	0,4	0,35
	U-238	2	0	7,9	9,4	8,7	8,7	8,2
Brandenburg	K-40	32	0	19	180	64	56	61
	Co-60	32	32				<0,29	<0,42
	I-131	32	0	0,3	180	43	19	26
	Cs-137	32	10	0,1	1,6	0,7	0,69	0,7
	Sr-90	10	0	1,0	3,0	1,8	1,7	1,2
	U-234	10	0	10	30	17	18	17
	U-235	10	5	0,4	1,0	0,6	<1,2	0,67
	U-238	10	0	8,0	20	15	17	14
Mecklenburg vorpommern	K-40	20	0	40	160	100	100	100
	Co-60	20	20				<0,42	<0,36
	I-131	20	4	16	470	110	49	32
	Cs-137	20	2	0,35	3,2	1,2	0,7	0,86
	Sr-90	4	2	1,4	15	8,4	<1,8	0,85
	U-234	4	0	17	23	19	18	19
	U-235	4	0	0,66	1,1	0,86	0,84	0,86
	U-238	4	0	14	21	17	17	18
Sachsen	K-40	20	0	100	210	140	130	120
	Co-60	20	20				<0,65	<0,55
	Cs-137	20	1	0,57	3,4	1,8	1,2	<1,2
	Sr-90	4	0	1,9	2,5	2,2	2,1	1,7
	U-234	4	0	50	76	64	66	72
	U-235	4	2	1,9	3,8	2,8	<2,8	<5,0
	U-238	4	0	46	71	60	62	67
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	75	280	120	120	110
	Co-60	20	20				<0,18	<0,2
	I-131	20	3	0,57	100	17	5,8	7,6
	Cs-137	20	1	0,43	6,5	1,9	1,0	1,1
	Sr-90	4	4				<5,0	<5,0
	U-234	4	0	50	150	110	120	120
	U-235	15	0	1,6	7,2	3,7	3,7	4,0
	U-238	18	0	22	130	63	60	74
Thüringen	K-40	20	0	45	290	170	160	180
	Co-60	20	20				<0,5	<0,5
	I-131	20	3	2,3	150	50	37	23
	Cs-137	20	0	0,36	2,9	1,5	1,4	1,9
	Sr-90	4	0	0,78	0,95	0,85	0,83	1,2
	U-234	4	0	59	170	110	100	95
	U-235	4	0	1,7	5,3	3,1	2,8	3,5
	U-238	4	0	34	94	60	57	54
Bundesrepublik Deutschland	K-40	359	2	19	1800	170	120	120
	Co-60	359	359				<0,6	<0,56
	I-131	334	40	0,3	1600	53	24	27
	Cs-137	359	79	0,1	32	3,3	<1,8	2,0
	Sr-90	66	11	0,62	15	2,1	1,6	1,4
	U-234	67	2	9,3	170	50	33	35

Land	Nuklid	2016						2015
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzel- wert ¹	Median ²	Median ²
	U-235	82	15	0,32	10	2,6	1,9	<2,2
	U-238	81	2	7,9	130	41	34	30
Bundesrepublik Deutschland (Nord ³)	Co-60	328	328				<0,57	<0,5
	Cs-137	328	78	0,1	32	2,3	1,6	1,8
	Sr-90	62	11	0,62	15	2,1	1,6	1,4
Bundesrepublik Deutschland (Süd ⁴)	Co-60	31	31				<1,5	<1,3
	Cs-137	31	1	2,0	28	12	9,4	10
	Sr-90	4	0	0,65	6,9	2,8	1,8	1,8
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)

		2016						2015
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	67	12	1,9	220	39	22	22
	K-40	67	9	0,18	48	15	12	14
	Cs-137	67	44	0,0066	0,3		0,045	<0,053
Nord ³	Cs-137	62	41	0,0066	0,3			
Süd ⁴	Cs-137	5	3	0,2	0,25			
Flugasche / Filterstaub (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	45	0	100	3100	1300	1400	1200
	Co-60	45	45				<0,48	<0,43
	I-131	41	26	0,2	260		<0,95	<0,77
	Cs-137	45	2	0,87	140	23	14	14
Nord ³	Cs-137	43	2	0,87	78			
Süd ⁴	Cs-137	2	0	110	140			
Schlacke (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	69	0	110	1300	330	270	290
	Co-60	69	69				<0,23	<0,24
	I-131	63	55	0,24	31		<0,36	<0,36
	Cs-137	69	6	0,073	26	2,6	1,2	1,3
Nord ³	Cs-137	67	6	0,073	26			
Süd ⁴	Cs-137	2	0	6,1	12			
feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	46	3	1,3	1500	440	210	230
	I-131	44	15	0,66	210	22	<3,3	3,2
	Cs-137	46	14	0,32	42	11	1,4	1,9
Nord ³	Cs-137	44	14	0,32	27			
Süd ⁴	Cs-137	2	0	36	42			
flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)								
Alle Länder	K-40	31	6	1,0	710	83	15	8,6
	I-131	31	6	0,31	450	49	1,9	1,3
	Cs-137	31	19	0,051	11		<0,11	<0,096
Nord ³	Cs-137	29	17	0,051	11			
Süd ⁴	Cs-137	2	2					
Kompost (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	75	0	2,6	790	480	490	490
	Cs-137	75	2	1,6	32	5,9	4,8	5,4
Nord ³	Cs-137	71	2	1,6	11			
Süd ⁴	Cs-137	4	0	14	32			
<p>1 Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.</p> <p>2 Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.</p> <p>3 Nördlich bzw. westlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel</p> <p>4 Südlich bzw. östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel</p>								

Tabellen

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
Monatsmittelwerte für 2016						
Januar	30	39	0,32	21	45	0,30
Februar	30	41	0,33	29	47	0,32
März	26	38	0,32	28	45	0,29
April	31	40	0,32	27	46	0,30
Mai	25	39	0,31	27	45	0,28
Juni	28	39	0,30	25	47	0,31
Juli	27	40	0,32	25	48	0,30
August	30	38	0,36	19	43	0,27
September	35	39	0,34	25	41	0,29
Oktober	34	39	0,38	20	45	0,30
November	28	37	0,39	22	46	0,42
Dezember	35	39	0,36	23	46	0,35

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
Monatsmittelwerte für 2016						
Januar	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Februar	a)	a)	a)	a)	a)	a)
März	a)	a)	a)	a)	a)	a)
April	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Mai	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Juni	15	45	0,46	12	56	0,47
Juli	3	46	0,48	2	55	0,36
August	16	45	0,48	11	57	0,46
September	12	42	0,45	12	59	0,46
Oktober	15	46	0,49	12	56	0,46
November	12	46	0,51	10	56	0,46
Dezember	4	47	0,50	3	60	0,52
a) Umbau der Detektoren nn nicht nachgewiesen						

Tabellen

Tabelle T II.86 Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Karlsruhe
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)

Messstelle: Forschungszentrum Karlsruhe

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Messwerte	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Messwerte	spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1996	36	49	<0,21	38	57	<0,22
1997	112	51	0,22	112	61	0,21
1998	114	51	<0,21	118	63	<0,24
1999	110	51,5	<0,23	115	61	<0,27
2000	109	51	<0,16	106	60	<0,27
2001	94	52	<0,20	101	61	<0,31
2002	86	50	0,22	86	60	0,31
2003	56	52	0,20	54	59	0,31
2004	62	53	0,24	56	61	0,32
2005	41	52	0,16	35	57	0,26
2006	19	41	0,17	18	44	0,21
2007	83	49	0,06	73	62	0,12
2008	81	48	0,07	69	64	0,15
2009	72	48	0,11	96	64	0,17
2010	69	49	0,09	97	65	0,15
2011	70	47	0,10	91	65	0,10
2012	43	47	0,12	82	65	0,08
2013	49	45	0,12	80	66	0,11
2014	71	47	0,07	98	62	0,08
2015	75	46	0,08	94	63	0,07
2016	79	47	0,08	105	62	0,08
Monatsmittelwerte für 2016						
Januar	8	49	0,03	7	63	0,02
Februar	9	49	0,17	9	60	0,09
März	7	47	0,05	12	60	0,04
April	4	49	0,18	10	61	0,05
Mai	3	49	0,08	5	60	0,01
Juni	7	47	0,04	8	62	0,08
Juli	7	45	0,03	10	60	0,05
August	6	45	0,05	8	62	0,04
September	5	48	0,07	10	67	0,19
Oktober	7	47	0,08	9	62	0,11
November	9	47	0,08	9	58	0,06
Dezember	7	48	0,04	8	63	0,18

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*)

Untersuchungsart	effektive Dosis in mSv
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤0,01
Extremitäten (Gliedmaßen)	<0,01 - 0,1
Schädelaufnahme (anterior-posterior)	0,03 - 0,06
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 - 0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 - 0,04
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2 - 0,4
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,2 - 0,5
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,6 - 1,1
Beckenübersicht	0,3 - 0,7
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,3 - 0,7
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	4 - 8
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	5 - 12
Koronarangiographie	4 - 7
PTCA (perkutane transluminale koronare Angiographie zur Herzkranzgefäßerweiterung)	6 - 16
Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein)	0,3 - 0,7
Becken-Bein-Arteriographie	5 - 9
CT-Untersuchungen *	
Hirnschädel	1 - 3
Lendenwirbelsäule	4 - 9
Brustkorb (Thorax)	4 - 7
Bauchraum (Abdomen)	8 - 20
* typische CT (Computertomographie)-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittelgabe	

Tabelle T IV.2 Anzahl der Implantationen und Explantationen Pu-238-haltiger Herzschrittmacher
(Number of implantations and explantations of Pu-238 pacemakers)

Jahr	HSM-Register *	
	Implantationen	Explantationen
1971	3	0
1972	71	3
1973	122	7
1974	48	11
1975	31	24
1976	9	10
1977	0	22
1978	0	14
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	14
1983	0	11
1984	0	19
1985	0	18
1986	0	7
1987	0	12
1988	0	4
1989	0	9
1990	0	9
1991	0	3
1992	0	6
1993	0	2
1994	0	3

Jahr	HSM-Register *	
	Implantationen	Explantationen
1995	0	2
1996	0	5
1997	0	1
1998	0	4
1999	0	0
2000	0	1
2001	0	4
2002	0	1
2003	0	4
2004	0	1
2005	0	1
2006	0	0
2007	0	1
2008	0	0
2009	0	0
2010	0	0
2011	0	0
2012	0	0
2013	0	0
2014	0	0
2015	0	0
2016	0	0
Summe	284	282

* aktualisierte Auswertung im Jahr 2017



V. Tabellen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung
(Tables on the handling of radioactive materials and sources of ionising radiation)

Tabelle T V.1 Einfuhr radioaktiver Stoffe nach Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Import of radioactive materials to Germany - without radioactive waste)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamteinfuhr (ohne radioakt. Abfälle) * (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) (kg)
1990	2 682 529	319 142	61 850 900	64 852 571	2 206 300
1991	3 040 547	72 469	102 929 300	106 042 316	1 461 661
1992	4 470 768	1 470 922	31 326 500	37 268 190	1 742 521
1993	3 227 143	2 546 470	23 330 800	29 104 413	2 306 737
1994	1 911 797	1 072 513	71 315 900	74 300 210	1 999 972
1995	4 686 926	73 629	38 600 400	43 360 955	2 049 273
1996	10 447 635	511 014	59 959 336	70 917 985	2 226 240
1997	1 541 873	51 048	79 215 145	80 808 066	2 490 191
1998	3 254 186	26 300	63 455 965	66 736 451	2 685 212
1999	2 149 973	237	49 894 030	52 044 519	2 540 221
2000	2 070 200	299 203	59 094 344	61 465 318	2 446 259
2001	1 621 780	39 392	25 840 589	27 547 253	3 211 796
2002	2 154 465	34	25 656 390	27 814 225	3 070 944
2003	9 871 929	1	45 034 300	54 906 251	4 565 497
2004	634 604	1220	25 150 300	25 786 133	2 558 317
2005	488 683	0	27 969 374	28 458 227	4 219 415
2006	336 046	0	80 811 680	81 148 626	3 397 848
2007	2 116 020	1300	36 896 630	39 013 950	3 830 256
2008	591 121	0	20 038 339	20 629 456	3 760 712
Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	wie oben (GBq)	umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	wie oben (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe unbestrahlt (kg)
2009	162 310	8100	50 689 823	50 860 233	4 747 953
2010	578 964	0	32 783 390	33 362 734	6 204 450
2011	448 512	780	25 170 470	25 622 149	5 550 891
2012	289 541	0	48 678 600	48 968 143	4 701 992
2013	429 556	0	50 145 023	50 574 534	5 361 347
2014	273 682	0	61 174 877	61 448 525	3 976 324
2015	2 124 094	0	51 344 557	53 468 651	3 325 377
2016	3 920 877	24 722	114 183 613	118 129 212	4 698 422

* seit 1998 inklusive radioaktive Gemische, z. B. kontaminierte Werkzeuge

Tabellen

Tabelle T V.2 **Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus Deutschland - ohne radioaktive Abfälle**
(Export of radioactive materials from Germany - without radioactive waste)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamtausfuhr (ohne radioakt. Abfälle)* (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) (kg)
1990	1 511 312	17 808	2 499 700	4 028 820	2 800 495
1991	651 462	244	12 399 100	13 050 806	8 164 086
1992	2 015 066	27	5 994 200	8 009 293	2 990 557
1993	2 365 740	0	3 063 200	5 428 940	2 983 893
1994	1 447 018	98	2 137 812	3 584 928	2 078 477
1995	1 088 060	22 201	5 702 702	6 812 963	1 657 725
1996	960 351	1335	3 009 100	3 970 786	2 146 830
1997	392 404	22	2 146 212	2 538 638	3 550 137
1998	550 637	25 044	2 333 673	2 909 354	3 133 196
1999	711 403	81	1 705 422	2 424 966	3 257 216
2000	828 677	94	3 001 795	3 838 040	2 719 502
2001	548 627	23	1 122 457	1 671 185	3 228 135
2002	484 827	0	2 057 005	2 541 842	3 387 520
2003	603 203	14	4 223 996	4 833 831	3 691 535
2004	553 012	7	1 323 180	1 876 208	1 971 109
2005	293 648	0	919 800	1 213 957	1 244 377
2006	238 211	0	5 112 175	5 351 392	3 111 272
2007	197 017	0	2 698 485	2 895 503	3 836 072
2008	2 470 380	0	1 512 330	3 982 713	4 297 148
Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	wie oben (GBq)	umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	wie oben (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe unbestrahlt (kg)
2009	133 245	0	4 812 237	4 945 482	4 243 784
2010	102 567	0	5 671 642	5 774 155	4 032 449
2011	115 285	1	2 053 722	2 168 993	3 338 873
2012	121 877	0	3 187 561	3 309 422	4 372 018
2013	106 189	0	4 518 028	4 624 175	1 683 737
2014	121 035	0	1 779 279	1 900 294	1 861 879
2015	95 633	0	1 862 494	1 958 127	1 187 779
2016	110 844	29	2 844 413	2 955 286	885 891

* seit 1998 inklusive radioaktive Gemische, z. B. kontaminierte Werkzeuge



Tabelle T V.3 Aktivität der 2016 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab A1/100)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2016 - without sources at levels of above A1/100)

a)

Versenderland	Aktivität in GBq								
	H-3	C-14	P-32	S-35	Fe-55	Ni-63	Co-60	Ge-68	Se-75
Australien			18,0						
Belarus					370,0				
Indien					0,6				47,4
Japan		0,9		0,7		3713,0			
Kanada	3 709 200								
Malaysia									
Norwegen									25,0
Russ. Föderation		185,4			0,4		35,7	297,2	
Schweiz	6858,9	1,1				0,7			
Singapur									
Südafrika			5,0			2,1		50,0	13,0
Thailand									
USA	536,0	62,7	50,9	4,2	0,1	1959,6	105,3	525,9	1232,3
Usbekistan			1613,9	407,0					
VR China						207,0			
sonstige		5,1				4,8	90,1	18,2	19,2
Summe	3 716 595	255	1688	412	371	5 887	231	891	1337

Tabellen

b)

Versenderland	Aktivität in GBq								
	Kr85	Y-90	I-125	I-131	Ba-133	Cs-137	Pm-147	Lu-177	W-188
Australien						165,1			
Belarus					1 615,0				
Indien						5,8	19,0		
Japan	106,0					22,4			
Kanada			5862,0						
Malaysia	46,3					3,7			
Norwegen									
Russ. Föderation	9431,3		325,6				15 651,0		1126,9
Schweiz	47,1					90,1			
Singapur		8212,0				209,5			
Südafrika				78 794,7				45 835,2	
Thailand	92,5								
USA	8523,8	236,6	554,9		13,5	4,1	74,0		988,0
Usbekistan			14 578,0						
VR China									
sonstige	20,0		1,2	2,6		19,3	150,0	3,4	
Summe	18 267	8449	21 322	78 797	1629	520	15 894	45 839	2115

Tabellen

c)

Versenderland	Aktivität in GBq				
	Ra-223	Am-241	Cf-252	sonstige	Summe a) - c)
Australien			1,8	0,04	185
Belarus					1985
Indien				0,6	73
Japan					3843
Kanada					3 715 062
Malaysia					50
Norwegen	102,0			0,8	128
Russ. Föderation				20,8	27 074
Schweiz		68,9		19,8	7087
Singapur					8421
Südafrika				1,1	124 701
Thailand					93
USA		62,9	6,6	77,9	15 019
Usbekistan					16 599
VR China					207
sonstige		1,9		13,9	350
Summe	102	134	8	135	3 920 877

Tabelle T V.4 Aktivität der 2016 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab A1/100
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2016 with levels of above A1/100)

Versenderland	Aktivität in GBq							Summe
	Co-60	Se-75	Sr-90	Cs-137	Ir-192	Am-241	Cf-252	
Ägypten					23			23
Aserbaidsschan		644						644
Australien		721						721
Belarus	3701							3701
Indien		1816						1816
Indonesien	99 800							99 800
Israel					118			118
Japan	172							172
Kanada	36 752 800							36 752 800
Katar		314						314
Malaysia	36							36
Russ. Föderation	73 671 373	3 439 722		42 920				77 154 015
Saudi-Arabien		1554						1554
Schweiz		2020		36 200	2535			40 755
Singapur		1646		182				1828
Südafrika	35	15 868			231			16 134
Thailand	104 334							104 334
Tunesien		954			213			1166
USA		189	15		3255	222	2	3683
Summe	110 632 251	3465 448	15	79 302	6374	222	2	114 183 613

Tabellen

Tabelle T V.5 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2016
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2016)

Versenderland	Einfuhr in kg						Summe
	abger. Uran	Natururan	bis 3 % U-235	>3-10 % U-235	85-100 % U-235	sonstige	
Frankreich			4505	56 282	32		60 820
Kanada	1 072 913	804 632					1 877 545
Russische Föderation			53	168 195			168 248
Schweden				30 179			30 179
Spanien				14 524			14 524
Vereinigtes Königreich			18 109	24 169			42 278
Vereinigte Staaten	1 220 751	1276 474		16		0,06	2 497 241
sonstige	7586	0,01		0,001		0,02	7 586
Summe in kg	2 301 250	2 081 106	22 667	293 366	32	0	4 698 422

7586 kg abgereichertes Uran unter sonstige: Abschirm- bzw. Transport-/Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen.
 Die Einfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe unterliegt der AtAV vom 30.04.2009

Tabelle T V.6 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2016
(Export of sealed and unsealed radionuclides without sources at levels of above A1/100 in the year 2016)

a)

Empfängerland	Aktivität in GBq									
	H-3	C-14	F-18	Co-60	Ni-63	Ge-68	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-90
Australien	299,7			1,5		18,1				369,0
Ägypten				4,7	2,8			46,3		
Argentinien				4,5	2,8					
Aserbaidshan										
Brasilien					2,2	9,4				
Indien				37,2	16,7	29,6		556,9	1,9	
Indonesien								118,4		
Israel						3,6		9,6		
Japan		92,8			703,0	0,9		2202,6		1,5
Kanada	3233,9	7,4			15,0			29,6		15,0
Kasachstan										
Kolumbien										
Kuwait										
Malaysia								138,8		
Mexiko				11,2		1,9		9,6	2,4	
Norwegen	170,4				3,2			14,8		
Republik Korea				34,4	32,8	0,8		92,5		
Russ. Föderation		3,7		6,8	2,6		190,0	1021,1	2,0	
Serbien	33,3							92,5		
Saudi-Arabien				9,7	6,1			185,0		
Schweiz	6532,8	14,4	3580,9		10,0	5,6		48,0	6,4	
Singapur						3,9				33 210,0
Südafrika				13,0	3,6	10,3				
Taiwan		3,7		13,1		1,1		3,0		
Thailand				2,9				267,6		
Türkei				41,4	7,1			353,3	4,2	
USA	401,0	520,8		67,9	80,6	87,4		4352,7	50,8	828,6
VAE				0,7						
VR China		185,2		31,4	18,3	16,7		3786,0	47,6	
sonstige	4,6	2,4		10,0	27,0	11,7		50,1	5,6	
Summe	10 676	830	3581	290	934	201	190	13 378	121	34 424

b)

Empfängerland	Aktivität in GBq									Summe a) - b)
	I-125	I-131	Ba-133	Cs-137	Pm-147	Lu-177	W-188	Am-241	sonst.	
Australien	23,2			56,0	3,7	6018,0			0,6	6790
Äypten				97,7	50,0					201
Argentinien	11,6									19
Aserbaidshan				184						184
Brasilien				3,6	25,0	11,0				51
Indien				524,2	78,7	2409,0	271,0	205,2		4130
Indonesien				136,1						255
Israel	28,8			0,6					0,2	43
Japan				24,3	413,5	61,0			0,1	3500
Kanada	485,2	191,7		90,9		1958,0	23,0			6050
Kasachstan				112,8						113
Kolumbien						258,0				258
Kuwait						189,0				189
Malaysia				18,5		75,0				232
Mexiko				46,3	25,0	1215,0		1,7		1 313
Norwegen	27,2	392,5	21,8	89,8	18,5	456,0			5,0	1 199
Republik Korea	5,6	9263,5		298,3	62,0	32,0		376,7	0,1	10 199
Russ. Föderation	1898,5			77,7	37,0				0,1	3239
Serbien				1,0						127
Saudi-Arabien				290,2						491
Schweiz	82,4	44,8		13,7	20,6	4380,0		1,5	72,5	14 814
Singapur				38,0		1197,0				34 449
Südafrika					18,5	2051,0		6,7	1,5	2105
Taiwan	1,1			33,8	118,5					174
Thailand				17,8				151,3		440
Türkei	61,0			14,9	32,4	27,0		49,8		591
USA	258,0		72,5	105,2	2682,6	1709,0	19,0	48,6	179,8	11 464
VAE				24,4						25
VR China		1 074,8		365,6	963,0	57,0	3,7	407,1	0,1	6957
sonstige	17,4		1,2	220,5	125,0	668,0	36,7	62,5	1,2	1244
Summe	2900	10 967	95	2886	4 674	22 771	353	1311	261	110 844

Tabellen

Tabelle T V.7 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2016
(Export of sealed radiation sources with levels of above A1/100 in the year 2016)

Empfängerland	Aktivität in GBq						Summe
	Co-60	Se-75	Sr-90	Cs-137	Ir-192	Am-241	
Ägypten	68				9210		9278
Äquatorialguinea					13 320		13 320
Argentinien		3515					3515
Aserbaidshanschan		14 814		89			14 903
Australien		43 137					43 137
Bangladesch						222	222
Brasilien		3610					3610

Empfängerland	Aktivität in GBq						Summe
	Co-60	Se-75	Sr-90	Cs-137	Ir-192	Am-241	
Chile				111			111
Indien	649	89 895		37			90 581
Indonesien	658 600						658 600
Iran	216						216
Israel		7030			4440		11 470
Japan	349			30			378
Kanada	1 184 700			85			1 184 785
Kasachstan				470			470
Katar		6197					6197
Kuwait					1628		1628
Libyen					7400		7400
Malaysia	129						129
Marokko	154	2420					2574
Philippinen	218						218
Republik Korea	215	2794		77 012			80 020
Russ. Föderation	965	154 375					155 340
Saudi-Arabien	7	24 588			842		25 437
Schweiz		2 972			8840		11 812
Singapur		10 025					10 025
Südafrika	2865	200 713					203 578
Taiwan				296			296
Tunesien		5642			55 460		61 102
Türkei	85			37 000			37 085
Ukraine	147						147
USA	187		111	5772			6 070
VAE		10 915					10 915
Vietnam		1713					1713
VR China	136		19	187 593			187 748
sonstige	382						382
Summe	1 850 072	584 355	130	308 494	101 140	222	2 844 413

Tabelle T V.8 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2016
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2016)

Empfängerland	Ausfuhr in kg								
	abger. Uran	Natur-uran	bis 3 % U-235	>3-10 % U-235	10-20 % U-235	20-85 %U 235	Pluto-nium	sonstige	Summe
Belgien			2,6	69 382					69 384
Brasilien			1419	39 883					41 302
Finnland				15 628					15 628
Frankreich			5382	98 368					103 750
Großbritannien			5,2	72 517					72 522
Kanada	64	162							226
Niederlande				5141					5141
Republik Korea				11 302					11 302
Russische Föderation		157 271							157 271
Schweden				94 360					94 360
Spanien				17 070					17 070
Vereinigte Staaten	19	16	982	291 949	7,2	13	2,3	1,1	292 989
sonstige	4947	0,001						0,004	4947
Summe	5029	157 449	7791	715 599	7,2	13	2,3	1,1	885 891

4947 kg abgereichertes Uran unter sonstige: Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen.
Die Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe unterliegt der AtAV vom 30.04.2009

Tabellen

Tabelle T V.9 Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2016
(Overview of the number of licenses and notifications in the year 2016)

Anzahl der Genehmigungen § 3 AtG und § 19 StrlSchV			Anzahl der Anzeigen § 20 StrlSchV		Anzahl der Genehmigungen § 108 StrlSchV	
für	erteilt	genutzt	Abs. 1 Nr.1 + Abs. 3 (Einfuhr)	Abs. 1 Nr. 2 (Ausfuhr)	Nr. 1 (Einfuhr)	Nr. 2 (Ausfuhr)
Einfuhr § 3 AtG	21	16	4521	3245	15*	15*
Ausfuhr § 3 AtG	60	47				
Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV	26	25				
Ausfuhr § 19 Abs. 2 StrlSchV	54	45				

* 2016 erteilte Genehmigungen nach § 108 StrlSchV; die Laufzeiten betragen zwei Jahre

Tabelle T V.10 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten 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	2016	2015
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	0
Straße / unbestrahltes Material	32	28
Straße / bestrahltes Material	0	0
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
insgesamt	32	28
Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte		
Luft / unbestrahltes Material	0	0
Luft / bestrahltes Material	0	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0	0
See / unbestrahltes Material	53	60
See / bestrahltes Material	0	2
See / Reststoffe und Abfall	2	0
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	0
Straße / unbestrahltes Material	218	244
Straße / bestrahltes Material	89	71
Straße / Reststoffe und Abfall	2	0
insgesamt	364	377

Tabelle T V.11 Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen mit radioaktiven Stoffen
(Number of yearly transported truck loads containing radioactive materials)

Jahr	Anzahl Wagenladungen
1998	415
1999	204 ^a
2000	258 ^a
2001	336
2002	433
2003	552
2004	509
2005	610
2006	536
2007	528
2008	481
2009	405
2010	416
2011	434
2012	451
2013	352
2014	294
2015	329
2016	327

^a rückläufig überwiegend wegen Aussetzung von Brennelementetransporten

Tabelle T V.12 Anzahl der Beförderungen (Bahn) in Abhängigkeit von der rechtlichen Grundlage
(Number of transports (railway) in respect of their legal basis)

Rechtliche Grundlage	Genehmigungsbehörde	Anzahl Transporte		Anzahl Wagenladungen	
		2016	2015	2016	2015
AtG § 4	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
AtG § 23 Abs. 2	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
StriSchV § 16	Eisenbahn-Bundesamt (EBA)	101	95	327	329
StriSchV § 17	genehmigungsfrei	-	-	-	-

Tabelle T V.13 Wagenladungssendungen
(Truck-loads)

Art der beförderten Stoffe	UN- Nummer*	Anzahl der Wagen	
		2016	2015
Kernbrennstoffe			
verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), La Hague	3328	-	-
verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), Karlsruhe	3328	-	-
unbestrahltes, angereichertes Uran (max. 1 % U-235) als U ₃ O ₈	3321	-	-
sonstige radioaktive Stoffe			
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	2978	200	173
Natururan in Form von Uranoxid (U ₃ O ₈)	2912	46	63
Rückstände/Abfälle aus kerntechnischen Anlagen			
- in Typ (BU)-Behältern	2916	10	-
- SCO in Industrierversandstücken	2913	1	4
- Industrierversandstücke	3321	65	85
- in Typ A-Versandstücken	2915	2	-
freigestellte Versandstücke			
- als leere Verpackung	2908	-	2
- als begrenzte Stoffmenge	2910	3	2
Summe		327	329
* Nummer zur Stoffkennzeichnung nach Gefahrgutrecht			

Tabelle T V.14 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported)

Art der beförderten Stoffe	beförderte Gesamtaktivität (Werte zum Teil geschätzt)	
	2016 (TBq)	2015 (TBq)
Kernbrennstoffe		
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), F	-	-
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), D	-	-
KNK-/OH-Brennstoffe		
unbestrahltes, angereichertes Uran (max. 1 % U-235) als U ₃ O ₈	-	-
sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	115,9	63
Natururan in Form von Uranoxid (U ₃ O ₈)	38,6	83
Rückstände/Abfälle aus kerntechnischen Anlagen		20
- in Typ (BU)-Behältern	1324,1	
- SCO in Industrierversandstücken	-	
- Industrierversandstücke	2,6	
- in Typ A-Versandstücken	5,4	
freigestellte Versandstücke		
- als leere Verpackung	-	-
- als begrenzte Stoffmenge	-	-
Summe	1486,6	166

Tabellen

Tabelle T V.15 Anteil der überprüften Wagenladungen, bezogen auf Transportarten, sowie festgestellte Mängel
(Contingent of reviewed truck-loads based on types of transport and detected defects)

Transportart	Wagenladungen				Mängel	
	Anzahl		davon überprüft		2016	2015
	2016	2015	2016	2015		
sonstige radioaktive Stoffe	327	329	22,3 %	45,8 %	0 %	1,2 %
Kernbrennstoffe	-	-	-	-	-	-

Tabelle T V.16 Festgestellte Verstöße gegen Gefahrgutvorschriften
(Detected contempts against dangerous goods regulations)

Verstöße	Anzahl	
	2016	2015
Gefahrenkategorie I (schwerwiegender Verstoß)	-	-
Gefahrenkategorie II (weniger schwerwiegender Verstoß)	-	-
Gefahrenkategorie III (kein schwerwiegender Verstoß)	-	4

Tabelle T V.17 Übersicht über die Zahl der Genehmigungen* nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2016)

(Survey of the number of licences according to § 7 StrlSchV relating to the handling of radioactive substances - as at December 31, 2016)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV			
	Anwendung am Menschen	Forschung und Lehre ohne Anwendung am Menschen	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	627	167	718	46
Bayern	270	163	624	113
Berlin	186	224	239	2
Brandenburg	34	30	140	45
Bremen	42	6	61	13
Hamburg	54	36	90	32
Hessen	207	114	384	38
Mecklenburg-Vorpommern	26	40	96	11
Niedersachsen	240	150	844	60
Nordrhein-Westfalen	624	318	1076	217
Rheinland-Pfalz	74	75	204	49
Saarland	40	35	52	9
Sachsen	47	74	308	29
Sachsen-Anhalt	50	33	200	24
Schleswig-Holstein	66	57	140	42
Thüringen	56	25	126	116
Summe	2643	1547	5302	846

* Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind nicht berücksichtigt

Tabelle T V.18 Zahl der Genehmigungen* nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2016)

(Survey of the number of licences according to § 7 StrlSchV relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2016)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV			
	Anwendung am Menschen	Forschung und Lehre ohne Anwendung am Menschen	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	davon zerstörungsfreie, ortsveränderliche Werkstoffprüfung
Baden-Württemberg	198	75	505	29
Bayern	62	52	579	10
Berlin	10	12	20	12
Brandenburg	9	11	118	8
Bremen	13	4	47	3
Hamburg	12	10	77	4
Hessen	63	26	237	7
Mecklenburg-Vorp.	22	34	74	1
Niedersachsen	66	58	837	52
Nordrhein-Westf.	92	125	759	89
Rheinland-Pfalz	56	42	155	10
Saarland	9	11	41	1
Sachsen	14	45	265	10
Sachsen-Anhalt	9	13	196	13
Schleswig-Holstein	26	12	112	2
Thüringen	15	6	112	11
Summe	676	536	4134	262

* Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind nicht berücksichtigt

Tabelle T V.19 Übersicht über die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen* nach § 11 StrlSchV (Stand: 31.12.2016)
(Survey of the number of licences according to § 11 StrlSchV - as at December 31, 2016)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 11 StrlSchV			
	Anwendung am Menschen	ohne Anwendung am Menschen (Forschung und Lehre)	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	98	5	10	1
Bayern	61	16	19	0
Berlin	41	15	1	0
Brandenburg	13	1	0	0
Bremen	4	0	0	1
Hamburg	25	3	2	5
Hessen	45	2	13	0
Mecklenburg-Vorp.	11	1	0	0
Niedersachsen	60	5	20	1
Nordrhein-Westfalen	179	16	17	0
Rheinland-Pfalz	17	0	0	0
Saarland	10	0	1	0
Sachsen	27	19	10	0
Sachsen-Anhalt	15	0	5	0
Schleswig-Holstein	22	0	1	0
Thüringen	16	3	1	0
Summe	644	86	100	8

* einschließlich in Verbindung mit nach § 7 StrlSchV erteilten Genehmigungen



Tabelle T V.20 Übersicht über gültige Genehmigungen
(Survey of current licences)

Land	Am 31.12.2016 gültige Genehmigungen* nach:					
	§ 7 StrlSchV (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 11 StrlSchV (Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Strahlen)**	§ 15 StrlSchV (Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen)	§ 16 StrlSchV (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)	§ 106 StrlSchV (ausschließlich Genehmigungen für den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrennstoffen)
Baden-Württemberg	1908	115 (3)	390	48	3	13
Bayern	1186	97 (1)	337	57	12	0
Berlin	649	57 (5)	226	43	1	2
Brandenburg	249	14	82	16	0	0
Bremen	131	4	44	9	0	0
Hamburg	212	35 (4)	87	6	0	0
Hessen	743	60 (4)	163	17	0	5
Mecklenburg-Vorp.	173	12 (1)	67	3	1	0
Niedersachsen	1295	86	237	54	0	2
Nordrhein-Westfalen	2235	219 (11)	520	77	2	8
Rheinland-Pfalz	427	17	146	29	0	2
Saarland	136	11	19	13	0	0
Sachsen	458	56	178	25	3	3
Sachsen-Anhalt	307	20	47	14	0	0

Am 31.12.2016 gültige Genehmigungen* nach:						
Land	§ 7 StrISchV (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 11 StrISchV (Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Strahlen)**	§ 15 StrISchV (Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen)	§ 16 StrISchV (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)	§ 106 StrISchV (ausschließlich Genehmigungen für den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrennstoffen)
Schleswig-Holstein	358	23	117	5	2	0
Thüringen	323	20 (1)	26	5	1	0
Summe	10 790	846	2686	421	25	35

* Genehmigung ohne Nachträge, Änderungen und Verlängerungen („Stammgenehmigung“)
 ** Errichtungsgenehmigungen nach § 11 in Klammern

Tabelle T V.21 Übersicht über die Zahl der im Jahr 2016 erstatten Anzeigen
 (Survey of the number of notifications in the year 2016)

Land	Zahl der erstatteten Anzeigen			
	§12 StrISchV (Anzeigebedürftiger Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen)	Radon § 95 i.V.m. Anlage XI Teil A StrISchV (Erhöhte Radon-222-Exposition) *	NORM § 95 Absatz 2 i.V.m. Anlage XI Teil B StrISchV sowie § 96 Absatz 5 StrISchV (Erhöhte Exposition durch Uran und Thorium und deren Zerfallsprodukte)	BAZ § 117 Absatz 7 Satz 2 StrISchV (Verwendung und Lagerung bestimmter BAZ-Vorrichtungen nach StrISchV 1989)
Baden-Württemberg	14	53	0	851
Bayern	13	50	1	777
Berlin	4	0	1	500
Brandenburg	0	0	0	22
Bremen	0	0	0	0
Hamburg	0	0	0	173
Hessen	0	0	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	0	0	0	0
Niedersachsen	0	0	0	1291
Nordrhein-Westfalen	5	0	0	2618
Rheinland-Pfalz	0	0	0	0
Saarland	0	0	0	161
Sachsen	8	2	0	110
Sachsen-Anhalt	0	1	0	18
Schleswig-Holstein	0	0	0	144
Thüringen	0	6 (2)	0	0
Summe	44	112 (2)	2	6665

* Fremde Betriebsstätten in Klammern

Tabelle T V.22 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 66 StrlSchV im Jahr 2016
(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2016)

Land	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	Anzahl HRQ	Anzahl und Nuklid der bei den Prüfungen als undicht ermittelten Präparate	Anzahl undichter HRQ
Baden-Württemberg	1810	1	0	0
Bayern	2639	115	1 x Ni-63, 1 x Ra-226, 1 x Am-241	0
Berlin	310	0	0	0
Brandenburg	535	1	0	0
Bremen	85	4	0	0
Hamburg	613	216	0	0
Hessen	390	10	0	0
MecklenburgVorpommern	253	4	0	0
Niedersachsen	2102	nicht ermittelbar	19 (3 x Am-241, 6 x Cs-137, 1 x Ra-226, 2 x Sr-90, 1 x Eu-152, 1 x Na-22, 1 x Fe-55, 3 x H-3, 1 x Sonstige)	nicht ermittelbar
Nordrhein-Westfalen	3491	189	2 x Co-60	0
Rheinland- Pfalz	225	0	0	0
Saarland	9	0	0	0
Sachsen	1391	41	2 x Co-60	0
Sachsen- Anhalt	399	23	2 x Pu-239/Be	2
Schleswig-Holstein	460	3	6	0
Thüringen	30	13	0	0
Summe	14 742	620	34	2

Tabellen

Tabelle T V.23 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin im Jahr 2016
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine, dentistry and veterinary medicine in 2016)

Land	Teleradiologie						Anzahl der RöE im Rahmen von Röntgenuntersuchungen gemäß § 3 Absatz 4a RöV	Gesamtzahl der nach § 4 Absatz 1 RöV angezeigten RöE
	Gesamtzahl der nach § 3 Absatz 1 i.V.m. § 4 Absatz 4 Nr. 2 RöV genehmigten RöE für die Behandlung von Menschen	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 RöV genehmigten RöE	Anzahl genehmigter RöE für die Teleradiologie nach § 3 Absatz 1 und 4 i.V.m. § 4 Absatz 4 Nummer 3 RöV	Teleradiologie regional* (Ohne Vorliegen eines begründeten Falles nach § 3 Absatz 4 Nummer 6 RöV)	Teleradiologie überregional (Vorliegen eines begründeten Falles nach § 3 Absatz 4 Nummer 6 RöV)	Teleradiologie mit Ausdehnung auf reguläre Dienstzeit **		
Baden-Württemberg	45	541	59	36	10	36	65	4356
Bayern	26	439	79	64	15	37	104	5579
Berlin	11	186	13	13	0	1	20	1850
Brandenburg	4	107	73	71	2	47	21	886
Bremen	2	17	1	1	0	1	8	381
Hamburg	4	18	13	8	1	0	4	895
Hessen	21	85	71	70	5	24	11	2361
Mecklenburg-Vorpommern	5	58	23	k.A.	k.A.	k.A.	23	2841
Niedersachsen	16	278	51	k.A.	k.A.	k.A.	65	3184
Nordrhein-Westfalen	89	977	186	157	29	10	159	7293
Rheinland-Pfalz	16	190	44	3	41	2	18	1735
Saarland	1	35	19	2	17	5	6	580
Sachsen	14	132	82	70	12	21	35	1652
Sachsen-Anhalt	8	73	29	27	2	9	16	1076
Schleswig-Holstein	5	84	24	21	3	6	16	4348
Thüringen	13	34	24	22	2	1	18	946
Summe	280	3254	791	565	139	200	589	39 963
<p>* Genehmigungen, bei denen der Teleradiologe innerhalb eines für eine Notfallversorgung erforderlichen Zeitraumes am Ort der technischen Durchführung eintreffen kann.</p> <p>** Erteilung aufgrund eines besonderen Bedürfnisses nach § 3 Absatz 4 Satz 4 RöV über Nacht-, Wochenend- und Feiertagsdienst hinaus</p> <p>k.A.keine Angabe</p>								

Tabelle T V.24 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Zahnmedizin und Tiermedizin im Jahr 2016
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in dentistry and veterinary medicine in 2016)

Land	Zahnmedizin		Anwendung am Tier in der Tierheilkunde	
	Gesamtzahl der nach § 3 Absatz 1 RöV genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Absatz 1 Nummer 2 RöV angezeigten RöE	Gesamtzahl der nach § 3 Absatz 1 RöV genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Absatz 1 RöV angezeigten RöE
Baden-Württemberg	1124	12 585	328	655
Bayern	235	16 419	398	1021
Berlin	53	4175	76	372
Brandenburg	16	2353	86	234
Bremen	8	746	9	40
Hamburg	6	2584	30	89
Hessen	102	6931	131	523
Mecklenburg-Vorp.	4	1976	44	112
Niedersachsen	194	8673	212	874
Nordrhein-Westfalen	2016	16 437	508	1088
Rheinland-Pfalz	28	3946	85	333
Saarland	11	943	15	89
Sachsen	42	5289	95	275
Sachsen-Anhalt	8	2656	33	163
Schleswig-Holstein	60	3192	256	149
Thüringen	2	2722	31	157
Summe	3909	91 627	2337	6174



Tabelle T V.25 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik/Nichtmedizin im Jahr 2016

(Survey on the granted and registered X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological/non-medical areas in 2016)

Land	Gesamtzahl der nach § 3 Absatz 1 RÖV genehmigten RÖE	Anzahl der nach § 3 Absatz 1 i.V.m. § 4 Absatz 4 Nummer 1 RÖV genehmigten RÖE *	Gesamtzahl der angezeigten RÖE nach § 4 Absatz 1 Nummer. 1 i.V.m. Anlage 2 Nummer 1 RÖV und der RÖE nach § 4 Absatz 1 Nummer 3 RÖV **	Gesamtanzahl der angezeigten RÖE nach § 4 Absatz 1 Nummer 1 i.V.m. Anlage 2 Nummer 2,3,4 und 6 RÖV ***	Gesamtzahl der nach § 5 Abs. 1 RÖV genehmigten Störstrahler)
Baden-Württemberg	1676	95	1288	853	422
Bayern	1811	496	1059	718	307
Berlin	579	118	285	217	113
Brandenburg	241	121	137	78	19
Bremen	12	68	148	21	9
Hamburg	344	12	173	66	31
Hessen	1022	96	711	334	128
Mecklenburg-Vorp.	124	76	76	26	24
Niedersachsen	742	94	462	513	34
Nordrhein-Westfalen	2562	797	1086	1059	172
Rheinland-Pfalz	483	95	118	186	48
Saarland	98	61	74	31	81
Sachsen	530	156	423	174	111
Sachsen-Anhalt	267	104	145	82	52
Schleswig-Holstein	286	46	153	77	26
Thüringen	156	54	231	121	16
Summe	10 933	2489	6569	4556	1593

* 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	1740	3139
Ende 2007	453	47	7626	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

Tabelle T V.27 Übersicht über die Mengen (Massen und Volumina) vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2016
(Survey of quantities (masses and volumes) of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2016)

Kategorie	Einheit	Endlagerziel Konrad	anderes Endlager
Rohabfälle (RA)	[kg]	5322	2336
vorbehandelte Abfälle (VA)	[kg]	11 125	2216
Abfallprodukte in Innenbehältern (P1)	[m ³]	14 523	144
produktkontrollierte Abfallprodukte (P2)	[m ³]	2.439	0
Abfallprodukte in Konradbehältern (G1)	[m ³]	100 279	1
produktkontrollierte Abfallgebände (G2)	[m ³]	2936	0
Summe	[kg] [m ³]	16 447 120 177	4553 145

Tabelle T V.28 Übersicht über den Bestand radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2016
(Survey on the stock of radioactive wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2016)

Abfallverursacher	RA [t]	VA [t]	P1 [m ³]	G1 [m ³]	P2 [m ³]	G2 [m ³]
Forschungseinrichtungen	1574	5802	1944	41 834	49	0
kerntechnische Industrie	196	15	330	7475	101	2921
Kernkraftwerke*	5113	6792	9522	35 135	2222	15
Landessammelstellen	590	516	2360	957	67	0
Wiederaufarbeitung (WAK)	187	216	511	14.879	0	0
Summe	7658	13 341	14 667	100 280	2439	2936

* 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 2016
(Survey on the stock of radioactive heat generating wastes - without irradiated BE - according to groups of waste producers on 31 December 2016)

Verursachergruppe	Volumen in m ³	
	radioaktive Abfälle	
	2016	2015
Forschungseinrichtungen	5	5
kerntechnische Industrie	0	0
Kernkraftwerke	0	0
stillgelegte Kernkraftwerke	0	0
Landessammelstellen	2	2
Wiederaufbereitung europäisches Ausland (HAW) und WAK/VEK	570	570
Summe	577	577

Tabelle T V.30 Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen
(Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and X-ray devices and during transport of radioactive material)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
18.01.15 (Nachtrag)	Fund eines Radon-Emanators (Ra-226, ca. 2,4 MBq) in einem Privathaushalt	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
13.03.15 (Nachtrag)	Fund eines Behälters mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 0,75 MBq), von 14 thoriumhaltigen optischen Linsen und eines Radon-Emanators (Ra-226, ca. 1 MBq) in einer Hochschule	unterlassene Entsorgung	keine	Sichere Lagerung in Hochschulräumen
05.05.15 (Nachtrag)	Fund einer Skala mit radioaktiven Leuchtfarben (Ra-226, ca. 32 kBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Ordnungsgemäße Zwischenlagerung und Entsorgung über Landessammelstelle
05.05.15 (Nachtrag)	Fund von 200 radioaktiven Bauteilen aus Flugzeugen (Ra-226, ca. 900 kBq/Stück) im Schrott bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Ordnungsgemäße Zwischenlagerung und Entsorgung über Landessammelstelle
07.05.15 (Nachtrag)	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137, 333 kBq) im Gefahrstofflager einer Klinik	Unkenntnis	keine	Ordnungsgemäße Zwischenlagerung und Entsorgung über Landessammelstelle
12.05.15 (Nachtrag)	Fund einer Kampfmittelaufspürvorrichtung mit 9 Strahlenquellen (Am-241, ca. 80 MBq Gesamtaktivität) bei Aufräumarbeiten	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und Abgabe zur Entsorgung
13.05.15 (Nachtrag)	Verlust von 11 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, jeweils 20,7 kBq) nach Umbau in einem Gebäude	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	keine, eine unzulässige Strahlenexposition ist nicht anzunehmen	Verbleib konnte nicht geklärt werden
07/2015 (Nachtrag)	Zerstörung eines irrtümlich (anstelle eines optischen Rauchgasmelders) eingebauten Ionisationsrauchmelders (Am-241, 33,3 kBq) bei einem Brand in einem Schaltschrank einer Windkraftanlage	Brand sowie fehlerhafte Lieferung durch den Lieferanten des Rauchgasmelders	keine	Absperrung des betroffenen Bereichs, Kontrolle von Kontaminationen, Ermittlung von ggf. kontaminierten Personen, ordnungsgemäße Entsorgung der Brandabfälle, Analyse der Fehllieferungen durch den Lieferanten
28.07.15 (Nachtrag)	Beschädigung einer Troxlersonde (Cs-137, 300 MBq) durch eine Straßenwalze	Unfall	keine	Sicherstellung, Verbringung zur ordnungsgemäßen Entsorgung
07.08.15 (Nachtrag)	Fund eines Strahlers (Ra-226, ca. 600 kBq) in einer Schrottladung bei einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Ordnungsgemäße Zwischenlagerung und Entsorgung durch Landessammelstelle
17.08.15 (Nachtrag)	Fund eines Handkompasses mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 320 kBq) bei einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und Zwischenlagerung, Abgabe zur ordnungsgemäßen Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
19.09.15 (Nachtrag)	Fund eines Fasses mit uranhaltigen Farben (Uran-natürlich, Dosisleistung 1 µSv/h in 1 m Abstand) bei Aufräumarbeiten in einem Betrieb	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
22.09.15 (Nachtrag)	Fund von Anzeigeinstrumenten mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 1 bis 2 MBq) in einer Schrottladung bei einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Ordnungsgemäße Zwischenlagerung und Entsorgung durch die Bundeswehr
08.10.15 (Nachtrag)	Angebot eines Radon-Emanators (Ra-226, 90 kBq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Unkenntnis	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
04.12.15 (Nachtrag)	Fund eines Strahlers (Th-232, ca. 400 kBq) bei einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
05.12.15 (Nachtrag)	Verkehrsunfall eines Transporters, der radioaktive Stoffe geladen hatte	Unfall	keine erhöhten Messwerte oder Beschädigungen an den Versandstücken (nur Blechschaden)	keine
21.12.15 (Nachtrag)	Fund eines Prüfstrahlers (Kr-85, Dosisleistung 0,2 µSv/h in 10 cm Abstand) im Keller eines Privathaushaltes	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und Zwischenlagerung bis zur Entsorgung
04.01.16	Fund eines Radon-Emanators (Ra-226, ca. 100 kBq) über Angebot bei einer elektronischen Auktionsbörse	unbekannt	keine	Gesicherte Zwischenlagerung, Abholung durch Landessammelstelle
12.01.16	Fund von radioaktiven Stoffen (I-131, 7,6 MBq) bei einem Recycling-Unternehmen	ungenügend abgelagerte Abfälle	keine	Information an Anlieferer, konventionelle Entsorgung nach Abklingzeit
15.01.16	Fehlbestrahlung eines Patienten auf Grund einer Patientenverwechslung	Fehler bei der Patientenidentifizierung	keine, Patient wurde im gleichen Zielvolumen bestrahlt	Anpassung des Bestrahlungsplans; Präzisierung der internen Vorgaben zur Patientenidentifizierung in der betreffenden Klinik
19.01.16	Fund eines Messgerätes zur Flugzeugwartung mit radioaktiven Stoffen (H-3, 0,13 TBq)	nicht genehmigte Tätigkeiten	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
19.01.16	Fund einer radioaktiven Metallscheibe (Ra-226, 250 kBq) im Schrott	unzulässige Entsorgung	keine	gesicherte Zwischenlagerung, Abholung durch Landesammelstelle
19.01.16	Fund von radioaktiv kontaminierten Stoffen im Hausmüll (I-131, ca. 1 MBq) bei einer Müllverbrennungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung, Zwischenlagerung zum Abklingen und anschließende konventionelle Entsorgung
25.01.16	Fehlfunktion an der Atemüberwachungseinrichtung bei einem Linearbeschleuniger zur Bestrahlung	Softwarefehler	keine	Software-Upgrade, Einleitung weiterer Untersuchungen durch Aufsichtsbehörde

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
27.01.16	Fund eines radioaktiv kontaminierten Bleches im Schrott (Th-232, 250 kBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.01.16	Fund eines Höhenmessers mit radioaktiven Leuchtfarben (Ra-226, ca. 200 kBq) im Schrott	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Zwischenlagerung und anschließende Entsorgung
05.02.16	Zusätzliche Strahlenexposition eines Patienten bei einer CT-Untersuchung	Überfahren des festgelegten Scanbereiches durch versehentliche Wahl eines falschen Bedienmodus, menschliches Versagen	Fehlexposition von zusätzlich 23 %	Klärung der Ursachen, Nachschulung des gesamten Bedienpersonals
08.02.16	Kontamination bei einer Anwendung der selektiven internen Radiotherapie	Fehler bei der Verschraubung des Kathetersets mit dem Mikrokatheter	keine Kontamination von Personal oder Patienten	Reinigung und Durchführung einer außerordentlichen Unterweisung
10.02.16	Fehlbestrahlung eines Patienten mit zwei verschiedenen Zielvolumina	Verwechslung der Dosis der beiden Zielvolumina, menschliches Versagen	Bewertung noch nicht abgeschlossen	Bewertung durch Ärztliche Stelle
11.02.16	Fund eines Radon-Emanators (Ra-226, ca. 1,4 MBq) bei einem Entsorgungsunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
18.02.16	Fund radioaktiv kontaminierter Metallteile im Schrott (Ra-226, insgesamt 857 kBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.02.16	Fund von radioaktiven Stoffen (Lu-177, Dosisleistung maximal 0,2 µSv/h) bei einer Abfallentsorgungsgesellschaft	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung, Information der Patienten
29.02.16	Fehlbestrahlung zweier Patienten durch Patientenverwechslung	menschliches Versagen	keine	technische Verbesserungen am System, Änderung der Steuerungssoftware
29.02.16	Fund und Inhalation von radioaktiven Stoffen (Uran-natürlich mit 34 kBq/l U-238; Th-232, 5 kBq; K-40, 10 kBq) in einer Ausbildungseinrichtung	nicht genehmigte Tätigkeiten	Effektivdosis ca. 2 mSv	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, Untersuchung durch einen ermächtigten Arzt
04.03.16	Fund von abgereichertem Uran (Dosisleistung 0,3 µSv/h) in einem Stahlrohr aus dem Nachlass eines Privathaushalts	unbekannt	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
09.03.16	Fund eines Radon-Emanators (Ra-226, 150 kBq) bei Aufräumarbeiten in einem Privathaushalt	unbekannt	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
15.03.16	Verlust von Ionisationsrauchmeldern beim Tausch einer Brandmeldeanlage	ggf. unzulässige Entsorgung	keine	Einleitung polizeilicher Untersuchungen
16.03.16	Fund von radioaktiven Stoffen im Hausmüll (Ra-226, Dosisleistung 1,1 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Sortierung und Entsorgung durch Fachfirma

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
16.03.16	Verlust von zwei Gaschromatographen mit je einer radioaktiven Strahlenquelle (Ni-63)	nicht ordnungsgemäße Aufbewahrung der Altgeräte	keine	Einleitung eines Ordnungswidrigkeitsverfahrens
17.03.16	Fund eines Radium-Bechers (Ra-226, ca. 3 MBq) in einem Privathaushalt	Nicht genehmigte Tätigkeit	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
25.03.16	Verlust eines Gaschromatographen mit einer radioaktiven Strahlenquelle (Ni-63)	Diebstahl radioaktiver Stoffe	keine	Einleitung eines Ordnungswidrigkeitsverfahrens
08.04.16	Fund von radioaktiven Stoffen im Hausmüll (Ge-68; Ga-68, Dosisleistung 0,55 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung durch PET-Zentrum	gering	Sortierung und Entsorgung durch Fachfirma
15.04.16	Brand in einer Firma mit einer Genehmigung für den Umgang mit Strahlenquellen (Pm-147)	Brand	keine, Strahlenquellen wurden nicht beschädigt	keine
16.04.16	Fund von zwei Prüfstrahlern (Cs-137, 370 kBq; Co-60, 18,5 kBq) bei Aufräumarbeiten in einer Firma	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
22.04.16	Fehlbestrahlung eines Patienten aufgrund einer Verwechslung des Bestrahlungsplans in einer Klinik	menschliches Versagen	wahrscheinlich keine	Schriftliche Hervorhebung von Änderungen der Patientenreihenfolge, Anpassung der Arbeitsanweisung, erneute Unterweisung des Personals
26.04.16	Fund von 12 PE-Flaschen mit radioaktiven Stoffen (Cs-137, 200 kBq) bei Aufräumarbeiten in einem Lager	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
29.04.16	Fund von Schläuchen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, Dosisleistung 1,1 µSv/h) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
03.05.16	Fehlbestrahlung einer Patientin während der Anwendung von intraoperativer Radiotherapie	Durchführung einer Bestrahlung auf Grund eines falsch positiven histologischen Befundes wegen der Vertauschung präoperativer Gewebeprobe	irrtümliche Bestrahlung von 20 Gy	Information und Nachsorge der Patientin durch das Klinikum, interdisziplinäres Fehlermanagement durch das Klinikum, weitere Untersuchungen
03. und 04.05.16	Irrtümliche Exposition von Mitarbeitern einer Fremdfirma durch Strahlenquellen in Füllstandsmessanlagen (Cs-137, 11,1 GBq) bei Revisionsstätigkeiten in einem Kohlekraftwerk	fehlende Verschließung des Strahlenaustritts aufgrund mangelnder Arbeitsvorbereitung, Verstoß gegen Arbeitsschutzvorschriften	berechnete Ganzkörperexpositionen bis 1,5 mSv	erneute Unterweisung der Mitarbeiter, Überarbeitung der Bestimmungen zur Freischaltung der Füllstandssonde
12.05.16	Fehlbestrahlung einer Patientin bei einem Linearbeschleuniger	fehlerhafte Positionierung des Beschleunigers durch falsche Markierung des korrekten Referenzpunktes	keine	Erstellung von zusätzlichen Verifikationsaufnahmen bei der 2. Fraktion, Unterweisung der am Bestrahlungsgerät tätigen Personen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
12.05.16	Kontamination des Handschuhs bei der Vorbereitung einer Radio-synoviorthese-Behandlung in einem Krankenhaus	menschliches Versagen	erhöhte Exposition der Hand einer Mitarbeiterin von 550 mSv	organisatorische Maßnahmen, zusätzliche Schulung des Personals und Überarbeitung der Arbeitsanweisung
23.05.16	Fund einer Strahlenquelle für einen Gaschromatographen (Sr-90, 740 MBq) bei Aufräumarbeiten	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
25.05.16	Fund von radioaktiven Stoffen im Hausmüll (Ra-226, Dosisleistung 16,5 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Sortierung und Entsorgung durch Fachfirma
26.05.16	Fund eines radioaktiven Strahlers (Cs-137, Dosisleistung 1 µSv/h in 0,5 m Abstand) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
30.05.16	Fund von 11 Anzeigeinstrumenten mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 6 kBq bis 250 kBq) im Schrott einer Entsorgungsfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und Zwischenlagerung, Entsorgung
01.06.16	Fund von radioaktiven Stoffen (Lu-177, 0,2 MBq) in einer Müllverbrennungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
01.06.16	Fund von 5 umschlossenen radioaktiven Strahlern, Uran- und Thoriumchemikalien und weiteren radioaktiven Mineralien (Dosisleistung bis 49 µSv/h) in einer Schule	unterlassene Entsorgung	keine	gesicherte Zwischenlagerung
16.06.16	Fund von radioaktiven Stoffen im Hausmüll (Tc-99m, Dosisleistung 3,5 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Zwischenlagerung zum Abklingen und anschließende konventionelle Entsorgung
18.06.16	Fund von zwei Strahlern in Strahlenschutzmesstechnik (Sr-90, 300 kBq) bei Kontrollen in einer Firma	unterlassene Entsorgung	keine	Planung der Abgabe an die Landessammelstelle
24.06.16	Fund eines uranhaltigen Metallteils (U238+, ca. 26,8 MBq) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	gesicherte Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
27.06.16	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallteils (Co-60, ca. 0,8 MBq Gesamtaktivität) im Schrott bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	gesicherte Zwischenlagerung und Entsorgung
28.06.16	Verlust von vier Strahlenquellen nach Umbauarbeiten in einer Schule	unterlassene Entsorgung	auf Grund der geringen Aktivität sind radiologische Auswirkungen nicht zu erwarten	Verbleib konnte nicht geklärt werden
01.07.16	Fund von radioaktiven Stoffen im Restmüll (I-123, Dosisleistung 0,81 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Zwischenlagerung zum Abklingen und anschließende konventionelle Entsorgung
01.07.16	Fund eines Anzeigegerätes mit radioaktiven Leuchtziffern (Ra-226) sowie von Ionisationsrauchmeldern (Am-241) im Schrott bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und gesicherte Lagerung, fachgerechte Verwertung bzw. Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
01.07.16	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallteils im Schrott (Ra-226, 294 kBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
04.07.16	Fund zweier radioaktiv kontaminierter Metallteile im Schrott (Ra-226, ca. 312 kBq und ca. 32 kBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
12.07.16	Verlust des Strahlerkopfes (Ra-226) aus der Halterung eines Schulstrahlers	Feststellung des Verlustes bei der Entsorgung, Ursache unbekannt	auf Grund der geringen Aktivität sind radiologische Auswirkungen nicht zu erwarten	Verbleib konnte nicht geklärt werden
13.07.16	Fund eines Plastikbehälters mit radioaktiven Stoffen (U-238, 600 kBq) in einem Wald	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
13.07.16	Fund eines radioaktiven Präparats (Ra-226, Dosisleistung 0,23 µSv/h) in einer Universität	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung durch Fachfirma
14.07.16	Fund eines Kompasses mit radioaktiven Leuchtziffern (Ra-226, 0,7 MBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und Abgabe zur Entsorgung
18.07.16	Fund von Uran in Metallgussteilen (Uran-abgereichert, Dosisleistung bis 43 µSv/h) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Abgabe der Metallteile an eine Recyclingfirma mit Genehmigung
19.07.16	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 1 MBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über Landessammelstelle
19.07.16	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226) in Metallschrott	unzulässige Entsorgung, vermutlich Unkenntnis über die Radioaktivität	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
19.07.16	Fund von 7 Fläschchen Uran- und Thoriumchemikalien aus dem Nachlass eines Privatlabors (Uran, ca. 5 MBq; Thorium, ca. 100 kBq)	unterlassene Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
25.07.16	Angebot eines Radium-Emanators (Ra-226, Dosisleistung 36 µSv/h an der Oberfläche) bei einer elektronischen Auktionsbörse	unbekannt	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
25.07.16	Austritt von ca. 500 ml radioaktiver Flüssigkeit (Ge-68, ca. 440 kBq) bei einem innerbetrieblichen Transport	Flüssigkeitsverlust bei einem nicht korrekt verschlossenen Kanister auf Grund unterlassener Kontrolle	keine	Durchführung von Dekontaminationsmaßnahmen entlang des Weges, Überprüfung und Optimierung von Arbeitsvorgängen
25.07.16	Fund einer Elektronenröhre mit radioaktiven Stoffen (Ra-226 mit Bi-214 und Pb-214, je ca. 6 kBq/g) im Schrott	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
27.07.16	Fund von radioaktiven Stoffen (I-123, Dosisleistung 0,35 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Zwischenlagerung zum Abklingen und anschließende konventionelle Entsorgung
29.07.16	Fund von radioaktiven Stoffen (Ra-226, 3,3 kBq; Pb-210, 18 kBq) in einer leer stehenden Schule	unterlassene Entsorgung bei Stilllegung der Schule	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
02.08.16	Fund von 29 Ionisationsrauchmeldern in einem Elektro-Recycling-Betrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.08.16	Bestrahlung von 3 Personen im Rahmen einer Durchleuchtung eines Fahrzeugs durch den Zoll	illegaler Aufenthalt im Ladebereich auf Grund eines versuchten illegalen Grenzübertritts	Dosisbelastung gering (247 nSv)	Nachbetrachtung der Dosis durch Vergleichsmessungen; Übergabe der Personen an die Polizei
10.08.16	Fund von Uhrzeigern mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 20 kBq) aus einem Nachlass	unterlassene Entsorgung	keine	Gesicherte Lagerung und Entsorgung über Landessammelstelle
12.08.16	Fund von kontaminiertem Siedlungsabfall (I-131) bei einer Müllverbrennungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung, Zwischenlagerung zum Abklingen und anschließende konventionelle Entsorgung
15.08.16	Fund eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 2,66 MBq) bei einem Wertstoffhof	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
17.08.16	Fund eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, weniger als 1 MBq) im Schrott bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.08.16	Fund eines Fasses mit radioaktiven Stoffen (Dosisleistung 55 µSv/h an der Oberfläche)	Unkenntnis oder mangelnde Aufklärung	keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Aufbewahrung
23.08.16	Fehlbestrahlung eines Patienten mit einem Linearbeschleuniger in einer Klinik	Softwarefehler	Erhöhung der Dosis um ca. 50 % (53 Gy statt 36 Gy)	Überprüfung der Dosisberechnung, Ausarbeitung einer Arbeitsanweisung, Revision der Software, Veröffentlichung eines Sicherheitshinweises durch die Softwarefirma
26.08.16	Fehlbestrahlung eines Patienten bei der Behandlung mit einem Afterloading-Gerät	Fehlfunktion am Gerät	Unterbrechung der Operation	Behebung des technischen Fehlers
31.08.16	Fund von zwei radioaktiv kontaminierten Scheiben (Ra-226, ca. 5,6 kBq/g) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
14.09.16	Fund eines Radon-Emanators (Ra-226, ca. 480 kBq) in einer Schrottladung bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	gesicherte Lagerung, Entsorgung durch Landessammelstelle
30.09.16	Fund von zwei Ra-226 Schulstrahlern (Ra-226, 333 kBq und 3,3 kBq) in einer Mittelschule	unterlassene Entsorgung	keine	gesicherte Lagerung, Entsorgung durch Landessammelstelle

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
13.10.16	Fund einer Anzeigeeinrichtung mit radioaktiven Leuchtfarben (Ra-226, ca. 305 kBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.10.16	Fund einer Flasche mit radioaktiven Stoffen (Ra-226, ca. 30 MBq) bei einer Müllverbrennungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
03.11.16	Fund eines Radon-Emanators (Ra-226, 270 kBq) bei einem Entsorgungsunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.11.16	Verkehrsunfall eines mit radioaktiven medizinischen Produkten beladenen Transporters auf einer Autobahn	Unfall	keine	Umladung der Produkte in einen weiteren Transporter
14.11.16	Fund von radioaktiven Stoffen (Uran-Zerfallsreihe) bei einer Müllverbrennungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und Rücktransport zum Verursacher
15.11.16	Kontamination (I-131) von Räumen aufgrund einer undichten Rohrleitung in einer medizinischen Einrichtung	Alterungsmängel	keine	Sanierung des Schadens, Freigabe des kontaminierten Materials
15.11.16	Fund eines Flüssigszintillationsmessgeräts mit radioaktiven Stoffen bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.11.16	Fund von radioaktiven Stoffen im Restmüll (Th-232, Dosisleistung 98 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Sortierung und Entsorgung durch Fachfirma
23.11.16	Fund eines Neigungsmessers mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 500 kBq) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle
23.11.16	Fund von optischen Gläsern, denen natürliche radioaktive Stoffe beigelegt sind, (U-238, 277 kBq höchste Aktivität) bei einem Recycling-Unternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Rückgabe an den Besitzer
06.12.16	Fund von radioaktiven Stoffen im Restmüll (Tc-99m, Dosisleistung 5 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	Zwischenlagerung zum Abklingen und anschließende konventionelle Entsorgung
08.12.16	Fund von radioaktiven Stoffen (I-123, Dosisleistung 0,14 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	unzulässige Entsorgung	keine	konventionelle Entsorgung
08.12.16	Fund von Theodolit mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 2,4 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
12.12.16	weitreichende Kontaminationen durch Unfall mit einer versehentlich beschädigten Strahlenquelle (Se-75, 1,35 TBq) bei einer Firma	Beschädigung der Hülle und Freisetzung des aktiven Inhalts einer Strahlenquelle durch Einsatz von Schneidwerkzeug zur Befreiung des festgeklemmten Strahlers	großflächige Kontaminationen im Gebäude (bis 8 kBq/cm^2) sowie an Kleidungsstücken (bis 180 Bq/cm^2), Inkorporationen bei sechs Personen von unter 1 mSv bis $3,6 \text{ mSv}$	sichere Entsorgung der beschädigten Strahlenquelle, Inkorporationsmessungen an 81 Personen, umfangreiche Dekontaminationsmaßnahmen, aufsichtsrechtliche Prüfung und Festlegung verschiedener Maßnahmen
28.12.16	Fund eines Kompasses mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226) in Metallschrott	unzulässige Entsorgung, vermutlich Unkenntnis über Radioaktivität	keine	ordnungsgemäße Entsorgung
28.12.16	Fund einer Elektronenröhre mit radioaktiven Stoffen (Ra-226, ca. 44 kBq) in einem Recyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	gesicherte Lagerung, Entsorgung durch Landdrossammelstelle

VI. Tabellen zur nichtionisierenden Strahlung
(Tables on non-ionising radiation)

Tabelle T VI.1 SAR-Werte für Mobiltelefone
(SAR values for mobile phones)

Erhebung Dezember 2016						
betrachtete Modelle	SAR-Werte für den Anwendungsfall „Handy am Kopf“			SAR-Werte für körpernah betriebene (body worn) Mobiltelefone		
	Anzahl	SAR-Wert W/kg	bis 0,6 W/kg*	Anzahl	SAR-Wert W/kg	bis 0,6 W/kg
klassische Mobiltelefone und Smartphones (nur aktuell erhältliche)	452	0,013 - 1,73	56 % der Modelle	320	0,174 - 1,54	46 % der Modelle
Smartphones (nur aktuell erhältliche)	345	0,078 - 1,72	58 % der Modelle	268	0,174 - 1,92	47 % der Modelle
klassische Mobiltelefone und Smartphones **	2434	0,013 - 1,94	38 % der Modelle	899	0,003 - 1,92	43 % der Modelle
Smartphones **	878	0,078 - 1,86	51 % der Modelle	610	0,003 - 1,92	49 % der Modelle

* „strahlungsarm“ gemäß Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens „Blauer Engel“
** inklusive nicht mehr in Produktion befindlicher Auslaufmodelle



VII. Abkürzungen und Glossar
(List of abbreviations and glossary)

Tabelle T VII.1 Abkürzungen
(Abbreviations)

Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
A	Ampere
ARTM	Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell <i>Atmospheric Radionuclide Transport Model</i>
ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen <i>Positions prescribed for doctors and dentists</i>
AMG	Arzneimittelgesetz <i>Medical Preparations Act</i>
AtAV	Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung <i>Waste Shipment Regulation</i>
AtG	Atomgesetz <i>Atomic Energy Act</i>
AVR	Atomversuchsreaktor <i>Nuclear test reactor</i>
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift <i>General Administrative Provisions</i>
B	magnetische Flussdichte <i>Magnetic flux density</i>
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle <i>Federal Office of Economics and Export Control</i>
BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben <i>Federal Agency for Digital Radio of Security Authorities and Organisations</i>

Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
BEMFV	Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder <i>Regulation on verification procedure for limitation of electromagnetic fields</i>
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte <i>Federal Institute for Drugs and Medical Devices</i>
BfE	Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit <i>Federal Office for the Safety of Nuclear Waste Management</i>
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde <i>Federal Institute of Hydrology</i>
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz <i>Federal Office for Radiation Protection</i>
BGBl	Bundesgesetzblatt <i>Federal Law Gazette</i>
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe <i>Federal Institute for Geosciences and Natural Resources</i>
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung <i>Federal Company for Radioactive Waste Disposal</i>
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung <i>Federal Immission Control Ordinance</i>
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung <i>Federal Ministry of Education and Research</i>
BMG	Bundesministerium für Gesundheit <i>Federal Ministry of Health</i>
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit <i>Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety</i>
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur <i>Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure</i>
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie <i>Federal Ministry of Economic Affairs and Energy</i>
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben <i>Security authorities and organisations</i>
BNetzA	Bundesnetzagentur <i>Federal Network Agency</i>
Bq	Becquerel
Bq/m ³	Becquerel pro Kubikmeter <i>Becquerel per cubic meter</i>
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie <i>Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography</i>
/d×p	pro Tag und Person <i>per day and person</i>
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm <i>German Mobile Telecommunication Research Programme</i>
DNS	Desoxyribonukleinsäure (engl. DNA) <i>Deoxyribonucleic acid</i>
DRW	Diagnostische Referenzwerte <i>Diagnostic reference levels</i>
DWD	Deutscher Wetterdienst <i>German Meteorological Service</i>
DWR	Druckwasserreaktor <i>Pressurized Water Reactor</i>
E	elektrische Feldstärke <i>electric field strength</i>
EAS	elektronische Artikel-Sicherung <i>electronic article surveillance</i>
EMF	elektromagnetische Felder <i>electromagnetic fields</i>

Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
EU	Europäische Union <i>European Union</i>
EEG	Elektroenzephalogramm <i>Electroencephalogram</i>
E _{ery}	Erythemwirksame (sonnenbrandwirksame) Bestrahlungsstärke <i>erythema irradiance</i>
Euratom	Europäische Atomgemeinschaft <i>European Atomic Energy Community</i>
EUREF	Europäische Referenzorganisation für qualitätsgesichertes Brustscreening und Diagnoseleistungen <i>European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services</i>
FFS	Fischereiforschungsschiff <i>Fisheries Research Vessel</i>
FM	Feuchtmasse <i>Wet weight</i>
GKV	gesetzliche Krankenversicherung <i>legal medical insurance</i>
GSM	Globales Mobilfunksystem <i>Global System for Mobile Communications</i>
FZ	Forschungszentrum <i>Research Centre</i>
G _α	Gesamt-Alpha-Aktivität <i>Total Alpha Activity</i>
G _β	Gesamt-Beta-Aktivität <i>Total Beta Activity</i>
H	magnetische Feldstärke <i>magnetic field strength</i>
hED	Halbstunden-Erythemgewichtete UV-Dosiswerte <i>Halfhour-erythema-weighted UV dose values</i>
HF	hochfrequente elektromagnetische Strahlung <i>high frequently electromagnetic radiation</i>
HTR	Hochtemperaturreaktor <i>High Temperature Reactor</i>
HWZ	Halbwertszeit <i>Half-life</i>
Hz	Hertz
IAEA	Internationale Atomenergie-Organisation <i>International Atomic Energy Agency IAEA</i>
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung <i>International Agency for Research on Cancer</i>
ICNIRP	Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung <i>International Commission on Non-Ionising Radiation Protection</i>
ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission <i>International Commission on Radiological Protection</i>
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem <i>Integrated Measuring and Information System</i>
IR	Infrarot-Strahlung Wellenlänge 780 nm - 1 mm <i>Infrared Radiation wave length 780 nm - 1 mm</i>
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr <i>Annual Intake of Activity</i>
FZ	Kernforschungsanlage <i>Nuclear Research Facility</i>
KBV	Kassenärztliche Bundesvereinigung <i>National Association of Statutory Health Insurance Physicians</i>
KFZ	Kernforschungszentrum

Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
	<i>Nuclear Research Centre</i>
KKW	Kernkraftwerk <i>Nuclear Power Plant</i>
KNK	Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage <i>Compact Sodium cooled nuclear plant</i>
KTA	Kerntechnischer Ausschuss <i>Nuclear Safety Standards Commission</i>
KVB	Kassenärztliche Bundesvereinigung <i>German Association of Statutory Health Insurance Physicians</i>
LET	Linearer Energietransfer <i>Linear energy transfer</i>
LTE	Long Term Evolution
m ³	Kubikmeter <i>Cubic metre</i>
MED	minimale erythemogene Dosis für Hautrötung <i>minimal dose for erythema induction</i>
MRI	Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel <i>Federal Research Institute of Nutriron and Food</i>
MRT	Magnetresonanztomographie <i>Magnetic Resonance Tomography</i>
MSP	Mammographie-Screening-Programm <i>Mammography Screening Programme</i>
mSv	Millisievert
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor <i>Multipurpose researach reactor</i>
NF	niederfrequente elektrische und magnetische Strahlung <i>low frequently electromagnetic radiation</i>
NIR	nichtionisierende Strahlung <i>non-ionising radiation</i>
NGO	<i>non-governmental organisation</i>
NiSG	Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung <i>Act on Non-Ionising Radiation Protection</i>
NWG	Nachweisgrenze, siehe auch Grundlagenteil II- 2 Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren <i>Detection limit</i>
nSv	Nanosievert <i>Nanosievert</i>
ODL	Ortsdosisleistung <i>Ambient Dose Rate</i>
PAS	<i>Public Available Specification</i>
PET	Positronen-Emissions-Tomographie <i>Positron Emission Tomography</i>
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt <i>National Metrology Institute</i>
PTCA	Perkutane transluminale koronare Angioplastie <i>Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty</i>
PKV	Verband der Privaten Krankenversicherung <i>Private Health Insurances</i>
Rβ	Rest-Beta-Aktivität <i>Residual beta activity</i>
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen <i>Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities</i>
RMP	Routinemessprogramm <i>Routine Measuring Program</i>
RöV	Röntgenverordnung <i>X-ray Ordinance</i>

Abkürzung (Abbreviation)	Bedeutung (Meaning)
RTS	Runder Tisch Solarien <i>Roundtable solaria</i>
RFID	Radio Frequency Identification
S	Leistungsflussdichte <i>Power flux density</i>
SAR	Spezifische Absorptionsrate <i>Specific absorption rate</i>
SNR	Schneller natriumgekühlter Reaktor <i>Sodium-cooled reactor</i>
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie <i>Single Photon Emission Computed Tomography</i>
SSK	Strahlenschutzkommission <i>German Commission on Radiological Protection</i>
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung <i>Radiation Protection Ordinance</i>
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz <i>Precautionary Radiation Protection Act</i>
SWR	Siedewasserreaktor <i>Boiling Water Reactor</i>
Sv	Sievert <i>Sievert</i>
T	Tesla
TETRA-BOS	Terrestrial Trunked Radio - Digitaler BOS-Funk
TBL	Transportbehälterlager <i>Transport Container Repository</i>
TM	Trockenmasse <i>Dry weight</i>
UBA	Umweltbundesamt <i>Federal Environment Agency</i>
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung <i>United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>
UV	Ultraviolette Strahlung Wellenlänge 100 - 400 nm <i>Ultraviolet Radiation wavelength 100 - 400 nm</i>
V	Volt
VO	Verordnung <i>Ordinance</i>
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz <i>Ordinance on the Guarantee of Nuclear Safety and Radiation Protection</i>
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut <i>Johann Heinrich von Thünen Institute</i>
W	Watt
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage <i>Reprocessing Plant</i>
WBA	Wasserbehandlungsanlage <i>Water Treatment Plant</i>
WHO	Weltgesundheitsorganisation <i>World Health Organization</i>
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart <i>Russian Type Light Water Pressurized Water Reactor</i>
Z ₀	Feldwellenwiderstand des leeren Raums <i>Field characteristic impedance</i>
ZdB	Zentralstelle des Bundes <i>Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity</i>

Tabelle T VII.2 Glossar
(Glossary, German only)

Begriff	Bedeutung
Absorption	Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z. B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis.
Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität (Radioaktivität)	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Kernumwandlungen eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i. A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu.
AKR-Mäuse	Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Anthropogen	durch den Menschen beeinflusst bzw. verursacht
Äquivalentdosis	Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 μ Sv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert.
Ärztliche und zahnärztliche Stellen (ÄS)	Zur Qualitätssicherung einer medizinischen Strahlenanwendung am Menschen bestimmt die zuständige Landesbehörde ärztliche und zahnärztliche Stellen. Die zuständige Behörde legt fest, in welcher Weise diese Stellen die Prüfungen durchführen, mit denen sichergestellt wird, dass bei der Anwendung von ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen die Erfordernisse der medizinischen Wissenschaft beachtet werden und die angewendeten Verfahren und eingesetzten Einrichtungen oder Geräte den nach dem Stand der Technik jeweils notwendigen Qualitätsstandards entsprechen, um die Strahlenexposition des Patienten so gering wie möglich zu halten.
Athermische Effekte	eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus Elektronen (oder Positronen) besteht, die beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandt werden
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
Bioturbation	Bioturbation ist das Durchwühlen und Durchmischen (Turbation) von Böden oder Sedimenten durch Lebewesen. Sie gehört zu den Translokationsprozessen.
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper aufgelegte Strahlenquellen (s. a. Teletherapie)
Blut-Hirn-Schranke	Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Barriere zwischen Blut und Hirnsubstanz. Durch sie wird der Stoffaustausch zwischen Blut und Zentralnervensystem aktiv kontrolliert. Sie hält schädliche Stoffe von den Nervenzellen fern. Die Blut-Hirn-Schranke wird von der inneren Zellschicht der kleinen Blutgefäße im Gehirn (Kapillar-Endothelzellen) und den umgebenden Hilfszellen, den Astrozyten, gebildet.
Bystander-Effekt	Der Begriff „Bystander-Effekt“ beschreibt die Beobachtung, dass nicht nur Zellen, die von Strahlung getroffen werden, also Energiedepositionen erhalten, Schäden aufweisen, sondern dass zusätzlich auch in nicht getroffenen Zellen, in den sog. „bystander cells“ ebenfalls Schäden gefunden werden.
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen

Begriff	Bedeutung
deterministisch	Nicht-stochastisch; deterministische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung (siehe auch stochastisch).
Diagnostischer Referenzwert (DRW)	In der RöV sind DRW definiert als „Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren“. Die DRW dienen den Ärzten bei häufigen und/oder dosisintensiven Röntgenuntersuchungen als obere Richtwerte, die nicht beständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern Optimalwerte. Sie geben also die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden. Den ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Einhaltung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen. Die DRW stellen keine Grenzwerte für Patienten dar und gelten nicht für einzelne individuelle Untersuchungen.
Digitale Subtraktionsangiographie	Röntgendarstellung von Blutgefäßen durch Einspritzen von Kontrastmittel. Durch die elektronische Subtraktion des Leerbilds von dem Kontrastbild wird eine bessere Darstellung der Blutgefäße bei gleichzeitiger Einsparung von Kontrastmittel erreicht.
Dosimetrie	Quantitative Erfassung der Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosimeter	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosis	siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, effektive Dosis, Organdosis, Kollektivdosis, Ortsdosis, Personendosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für z. B. die betroffenen Organe, die Strahlungsart, die nuklidspezifischen Eigenschaften und die Art der Exposition berücksichtigt. Beispielsweise kann durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids der Wert der jeweils betrachteten Dosis errechnet werden. Der Dosisfaktor wird auch als Dosiskoeffizient bezeichnet.
effektive Dosis	Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C der StrlSchV angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; die effektive Dosis ergibt sich aus den Organdosen durch Multiplikation mit dem jeweiligen Gewebe-Wichtungsfaktor.
elektrisches Feld	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m).
elektrische Ladung	Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist Coulomb (C).
elektrostatisches Feld	elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
elektrische Spannung	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung; die Einheit ist Volt (V)
elektrischer Strom	die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung; die Einheit ist Ampere (A)
Elektrosensibilität	Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden.
Elektrosensitivität	besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z.B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung.

Begriff	Bedeutung
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement, die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy).
Epidemiologie	Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten.
Erkennungsgrenze	In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Erkennungsgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), die mit einem Messwert verglichen wird, um zu entscheiden, ob bei dieser Messung ein Beitrag dieser Größe vorliegt oder lediglich Nulleffekt gemessen wurde. Angaben zur Berechnung der Erkennungsgrenzen können z. B. den Messanleitungen der Leitstellen und der Norm DIN 25482 10 entnommen werden.
Erythem	Sonnenbrand
Erythemwirksame (sonnenbrandwirksame) Bestrahlungsstärke	Die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{ery} beschreibt die biologische Wirksamkeit der UV-Strahlung, einen Sonnenbrand zu erzeugen. Sie errechnet sich aus einem physikalischen UV-Spektrum, welches mit der biologischen Wirkungsfunktion eines Erythems verknüpft wird. Der durch 40 geteilte Zahlenwert von E_{Ery} ergibt den UV-Index.
Fall-Kontroll-Studie	In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen). Eingebettete Fall-Kontroll-Studie: Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird.
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
Fernfeld	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle)
Frequenz	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde, die Einheit ist Hertz (Hz)
Gammastrahlung	energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers
Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf eine horizontale Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
Gray	SI-Einheit der Energiedosis; 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
Hall-Sonde	Die Sonde beruht auf dem Hall-Effekt und dient zur Ausmessung statischer Magnetfelder.
Hochfrequenz	hochfrequente elektromagnetische Felder; hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)
Hot spots	räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder
Induktion	Vorgang, bei dem durch Änderung des von einem Leiter umschlossenen magnetischen Flusses elektrischer Strom (Wirbelstrom) in diesem Leiter erzeugt wird
Influenz	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsverteilung stattfindet, so dass an seiner Oberfläche lokal Überschüsse an positiven und negativen elektrischen Ladungen auftreten
Infrarotstrahlung	optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 nm - 1 mm

Begriff	Bedeutung
Ingestion	allgemein: Nahrungsaufnahme speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	allgemein: Einatmung von Gasen speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	allgemein: Aufnahme in den Körper speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
Interventionelle Radiologie	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden
ionisierende Strahlung	elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung), welche die Bildung von Ionen bewirken können
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Kohortenstudie	Eine Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte), deren Expositionsbedingungen bekannt sind, über längere Zeit beobachtet wird. Die verschiedenen Expositionen werden mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung gebracht.
Kollektivdosis	Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.
Kontamination	speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
kosmische Strahlung	sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Linearer Energietransfer (LET)	Der Lineare Energietransfer (LET) ist ein Maß für die Dichte der Ionisierung bei ionisierenden Strahlen
Leukämie	Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 - 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit.
LNT-Hypothese	Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Dosis und Krebsrisiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT). Da sich für den niedrigen Dosisbereich keine sicheren Angaben zum Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve machen lassen, ist man auf eine Extrapolation der im höheren Dosisbereich beobachtbaren Wirkungen hin zu kleinen Dosen angewiesen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar.
Machbarkeitsstudie	in einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann
Magnetfeld	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert
magnetische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes; die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)
magnetische Flussdichte	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt; die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden
magnetische Induktion	magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche; die Einheit ist Tesla (T)
Medianwert	derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50 % der Messwerte liegen
Nachweisgrenze	In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Nachweisgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), der mit einem vorgegebenen Richtwert (zum Teil als geforderte Nachweisgrenze bezeichnet) verglichen werden soll, um zu entscheiden, ob ein Messverfahren für einen bestimmten Messzweck geeignet ist.
Nahfeldexposition	räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle)
nichtionisierende Strahlung	elektrische und magnetische Felder sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen bewirken können
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart

Begriff	Bedeutung
Organdosis	Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C der StrlSchV. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition.
Ortsdosis	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort
Ortsdosisleistung	Ortsdosis pro Zeitintervall
Personendosis	Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm.
Perzentil	statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z. B. 95 % Perzentil ist der Wert, der von nur 5 % der Stichprobe überschritten wird)
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
Qualitätskorrigiertes Lebensjahr (QALY)	Ein qualitätskorrigiertes Lebensjahr (englisch quality adjusted life year oder QALY) ist eine Kennzahl für die Bewertung eines Lebensjahres in Relation zur Gesundheit. Ein QALY von 1 bedeutet ein Jahr in voller Gesundheit, während ein QALY von 0 einem Versterben entspricht. QALY ist damit ein Nutzwert für ein Leben(-sjahr). Das QALY ist die meistgenutzte Kennzahl in der gesundheitsökonomischen Evaluation (de.wikipedia.org/wiki/Qualitätskorrigiertes_Lebensjahr)
Querschnittsstudie	Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben.
radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden
radioaktives Gleichgewicht	Einige primordiale Isotope des Uran und Thorium zerfallen nicht direkt in stabile Elemente, sondern in Nuklide, die wieder radioaktiv sind. Sie bilden Zerfallsketten. Wenn die Halbwertszeit des Tochterproduktes kürzer ist als die des Mutternuklids, nähert sich dessen Aktivität im Laufe der Zeit an die des Mutternuklids an. Schließlich zerfallen im ungestörten Gestein pro Zeiteinheit genauso viele Atome des Tochternuklids, wie nachgeliefert werden. Die Aktivitäten der beiden Radionuklide befinden sich im radioaktiven Gleichgewicht.
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radioiod	radioaktive Iodisotope
Radionuklide	instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Retina	Netzhaut des Auges; hier werden optische Signale in Nervensignale umgewandelt
Risiko	Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung
Risikokommunikation	interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.)
Risikowahrnehmung	Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommenen Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen
Sendeleistung	die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
Si-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl. I S. 2272) geregelt.
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1.000 Millisievert (mSv) = 1.000.000 Mikrosievert (µSv)
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung; die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)
stochastisch	zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere (siehe auch deterministisch)

Begriff	Bedeutung
Strahlenbelastung	siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper oder Körperteile
Teletherapie	Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen (s. a. Brachytherapie)
terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium (H-3)	radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
UFOPLAN	Umweltforschungsplan / Ressortforschungsplan des BMUB zur Gewinnung von Entscheidungshilfen und sachgerechter Erfüllung von Fachaufgaben
UVI, UV-Index	Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung Der UV-Index beschreibt den am Boden erwarteten bzw. gemessenen Wert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und dient der Information der Bevölkerung über die Gefahren der solaren UV-Strahlung.
UV-Strahlung	optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm - 400 nm
Vorfluter	Natürliches oder künstliches Gewässer (Wasserlauf), der Wasser und Abwasser aufnimmt und weiterleitet
Wirbelstrom	durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom

Tabelle T VII.3 Tabellenabkürzungen
(Abbreviations in tables)

	Angaben nicht sinnvoll (data not relevant)
a)	Daten lagen nicht vor (data not available)
N	Zahl der Einzelmessungen (number of individual measurements)
nn	nicht nachgewiesen / nachweisbar (not detected/detectable)
-	Messung/Angabe nicht erforderlich (measurement/data not required)
<	[vor Mittelwerten] enthält mindestens einen Messwert unterhalb der Nachweisgrenze ([preceding mean values] includes at least one value below detection limit)

VIII. Physikalische Einheiten (Physical units)

Basiseinheiten

Die Basiseinheiten bilden ein System zusammenhängender Einheiten. Sie heißen nach den internationalen Empfehlungen SI-Einheiten (SI = Système International d'Unités).

Tabelle T VIII.1 Physikalische Einheiten - Basiseinheiten
(Physical units - basic units)

Einheiten	Kurzzeichen	Basisgröße
Meter	m	Länge
Kilogramm	kg	Masse
Sekunde	s	Zeit
Ampère	A	Stromstärke
Kelvin	K	Temperatur
Mol	mol	Stoffmenge
Candela	cd	Lichtstärke

Tabelle T VIII.2 Physikalische Einheiten - SI-Einheiten in der Radiologie
(Physical units - SI units applied in radiology)

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = 3,7 · 10 ¹⁰ Bq * 1 Bq = 2,7 · 10 ⁻¹¹ Ci = 27 pCi
Energiedosis	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy * 1 Gy = 100 rd *
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv * 1 Sv = 100 rem *
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = 2,58 · 10 ⁻⁴ C/kg * = 0,258 mC/kg * 1 C/kg = 3876 R
Energiedosisleistung	Gray pro Sekunde (Gy/s)	Rad pro Sekunde (rd/s)	1 rd/s = 0,01 Gy/s * 1 Gy/s = 100 rd/s *
Ionendosisleistung	Ampere pro Kilogramm (A/kg)	Röntgen pro Sekunde (R/s)	1 R/s = 2,58 · 10 ⁻⁴ A/kg * = 0,258 mA/kg *

Bei Werten mit * ist der Umrechnungsfaktor genau angegeben, bei den anderen ist er abgerundet

Tabelle T VIII.3 Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten
(Prefixes)

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor	Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10 ¹⁸	Dezi	d	10 ⁻¹
Peta	P	10 ¹⁵	Zenti	c	10 ⁻²
Tera	T	10 ¹²	Milli	m	10 ⁻³
Giga	G	10 ⁹	Mikro	μ	10 ⁻⁶
Mega	M	10 ⁶	Nano	n	10 ⁻⁹
Kilo	k	10 ³	Piko	p	10 ⁻¹²
Hekto	h	10 ²	Femto	f	10 ⁻¹⁵
Deka	da	10 ¹	Atto	a	10 ⁻¹⁸

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2-3 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

Tabelle T VIII.4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung
(Physical quantities in non-ionising radiation)

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	
magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
magnetische Flussdichte	B	Vs/m² (Voltsekunde pro Quadratmeter); T (Tesla) 1 Vs/m ² = 1 T gebräuchlich: 1 μT veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H^*$ für Luft und organische Materialien gilt: $B (\mu T) = 1,256 \cdot H (A/m)$ $1 G = 10^{-4} T = 100 \mu T$
Hochfrequente elektromagnetische Felder			
elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	$E = Z_0 \cdot H$ dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit $376,7 \Omega$ (Ohm) = 376,7 V/A
magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
Leistungsflussdichte	S	W/m² (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	SAR	W/kg (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	
* dabei ist μ die Permeabilitätskonstante, μ_0 die Permeabilitätskonstante im Vakuum und μ_r die Permeabilitätszahl eines Mediums			



Tabelle T VIII.5 Liste ausgewählter Radionuklide
(List of selected radionuclides)

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
1	Wasserstoff	H-3	12,3 a	β^-
4	Beryllium	Be-7	53,3 d	ϵ, γ
6	Kohlenstoff	C-14	5730 a	β^-
9	Fluor	F-18	1,83 h	β^+
11	Natrium	Na-22	2,6 a	β^+, γ
14	Silizium	Si-32	172 a	β^-
15	Phosphor	P-32	14,3 d	β^-
16	Schwefel	S-35	87,5 d	β^-
18	Argon	Ar-41	1,83 h	β^-, γ
19	Kalium	K-40	$1,28 \times 10^9$ a	$\beta^-, \epsilon, \beta^+, \gamma$
20	Calcium	Ca-45	163 d	β^-, γ
24	Chrom	Cr-51	27,7 d	ϵ, γ
25	Mangan	Mn-54	312,2 d	ϵ, γ
26	Eisen	Fe-59	44,5 d	β^-, γ
27	Kobalt	Co-57	272 d	ϵ, γ
		Co-58	70,9 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
		Co-60	5,27 a	β^-, γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	244 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
34	Selen	Se-75	120 d	ϵ, γ
36	Krypton	Kr-85	10,8 a	β^-, γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^-, γ
		Kr-87	76,3 m	β^-, γ
		Kr-88	2,84 h	β^-, γ
		Kr-89	3,18 m	β^-, γ
37	Rubidium	Rb-87	$4,8 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^-, γ
		Sr-90	28,6 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64,1 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	β^-, γ
41	Niob	Nb-95	35 d	β^-, γ
42	Molybdän	Mo-99	66,0 h	β^-, γ
43	Technetium	Tc-99	$2,1 \times 10^5$ a	β^-
		Tc-99m	6,0 h	$I\gamma$
44	Ruthenium	Ru-103	39,4 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-
46	Palladium	Pd-103	16,96 d	$\epsilon,$
47	Silber	Ag-108m	418 a	ϵ, γ
		Ag-110m	250 d	$\beta^-, \gamma, I\gamma$
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ϵ
49	Indium	In-111	2,81 d	ϵ, γ
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
		Sb-125	2,77 a	β^- , γ
52	Tellur	Te-123m	120 d	$I\gamma$
53	Iod	I-123	13,2 h	ϵ , γ
		I-125	59,4 d	ϵ , γ
		I-129	$1,57 \times 10^7$ a	β^- , γ
		I-131	8,02 d	β^- , γ
54	Xenon	Xe-131m	11,9 d	$I\gamma$
		Xe-133	5,25 d	β^- , γ
		Xe-133m	2,19 d	$I\gamma$
54	Xenon	Xe-135	9,1 h	β^- , γ
		Xe-135m	15,3 m	$I\gamma$, β^-
		Xe-137	3,83 m	β^- , γ
		Xe-138	14,1 m	β^- , γ
55	Cäsium	Cs-134	2,06 a	β^- , γ , β^+
		Cs-137	30,2 a	β^- , γ
56	Barium	Ba-140	12,8 d	β^- , γ
57	Lanthan	La-140	40,3 h	β^- , γ
58	Cer	Ce-141	32,5 d	β^- , γ
		Ce-144	285 d	β^- , γ
61	Promethium	Pm-147	2,62 a	β^- , γ
63	Europium	Eu-152	13,3 a	ϵ , β^+ , β^- , γ
		Eu-154	8,8 a	β^- , ϵ , γ
64	Gadolinium	Gd-153	239 d	ϵ , γ
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^- , γ
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	β^- , ϵ , γ
81	Thallium	Tl-201	73,1 h	ϵ , γ
82	Blei	Pb-210	22,3 a	β^- , γ , α
		Pb-214	26,8 m	β^- , γ
83	Wismut	Bi-214	19,9 m	β^- , α , γ
84	Polonium	Po-210	138 d	α
		Po-214	164 μ s	α
		Po-218	3,05 m	α
86	Radon	Rn-219	3,96 s	α , γ
		Rn-220	55,6 s	α
		Rn-222	3,83 d	α
88	Radium	Ra-224	3,66 d	α , γ
		Ra-226	1600 a	α , γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
90	Thorium**	Th-228	1,91 a	α , γ
		Th-230	$7,54 \times 10^4$ a	α
		Th-232	$1,41 \times 10^{10}$ a	α
		Th-234	24,1 d	β^- , γ
91	Protactinium	Pa-234	6,7 h	β^- , γ
92	Uran***	U-233	$1,59 \times 10^5$ a	α
		U-234	$2,46 \times 10^5$ a	α

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
		U-235	7,04 x 10 ⁸ a	α, γ
		U-238	4,47 x 10 ⁹ a	α
93	Neptunium	Np-239	2,36 d	β ⁻ , γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α
		Pu-239 *)	2,41 x 10 ⁴ a	α
		Pu-240 *)	6563 a	α
		Pu-241	14,4 a	β ⁻ , α
95	Americium	Am-241	432 a	α, γ
96	Curium	Cm-242	163 d	α
		Cm-244	18,1 a	α
			μs = Mikrosekunden s = Sekunden m = Minuten h = Stunden d = Tage a = Jahre	ε = Elektroneneinfang γ = Gammastrahlung Iγ = Isomerenzerfall β ⁺ = Positronen β ⁻ = Elektronen α = Helium-Kerne
+) entnommen aus: Magill J, Pfennig G, Galy J: Karlsruher Nuklidkarte. European communities, EUR22276EN, 7. Auflage, 2006 * Pu-(239+240): Historisch gewachsene, zusammenfassende Schreibweise (auch Pu-(239+240)) der beiden Radionuklide Pu-239 und Pu-240. Die Energien der Alphastrahlung dieser Radionuklide liegen so dicht beisammen, dass mit üblichen Alphaspektrometern meist nur die Summe ihrer Aktivitäten gemessen werden kann ** Bei natürlichem Thorium (Thnat) handelt es sich fast nur um das Isotop Th-232, das die längste Halbwertszeit besitzt. Th-228, 227Th, Th-230, Th-231 und Th-234 kommen nur in Spuren vor *** In natürlichem Uran (Natururan, Unat) finden sich die Isotope -238 zu 99,27 %, U-235 zu 0,72 %, U-234 zu 0,0055 % und U-236 in Spuren				

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle G 1	Übersicht über die Verwaltungsbehörden des Bundes zur Überwachung der Umwelt- bzw. Umgebungsradioaktivität gemäß StrVG bzw. REI (Leitstellen) <i>(Overview of the federal administrative authorities for the monitoring of environmental and ambient radioactivity in accordance with StrVG and REI)</i>	133
Tabelle G 1.1-1	Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R nach StrlSchV, Anl. VI, Teil C <i>(Radiation weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)</i>	136
Tabelle G I 1.1-1	Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten <i>(Typical values for the specific activity of different soil consistencies)</i>	150
Tabelle G I 1.1-2	Typische Bereiche der spezifischen Aktivität von Ra-226 in Böden <i>(Typical areas for specific Ra-226 activity in soil)</i>	150
Tabelle G I 1.2-1	Natürliche radioaktive Stoffe in Wässern und Sedimenten <i>(Natural radioactive substances in bodies of water and sediments)</i>	151
Tabelle G I 1.2-2	Konzentrationen wichtiger natürlicher Radionuklide im Trinkwasser <i>(Concentrations of the main natural radionuclides in drinking water)</i>	152
Tabelle G I 1.3-1	Aktivitätskonzentrationen der langlebigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen in der bodennahen Luft (Jahresmittelwerte) <i>(Activity concentrations of the long-lived radionuclides of the uranium and thorium decay series in air close to ground level - annual mean values)</i>	153
Tabelle G I 1.4-1	Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln (Median-Werte) <i>(Specific activity of natural radioactive substances in foodstuffs - median values)</i>	154
Tabelle G I 1.4-2	Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung (gemischte Kost aus Gemeinschaftseinrichtungen) <i>(Specific activity of natural radioactive substances in the general diet (mixed diet from public institutions))</i>	154
Tabelle G I 1.4-3	Natürlich radioaktive Stoffe im Menschen (nach UNSCEAR [1,2]) <i>(Natural radioactive substances in man - (UNSCEAR)[1,2])</i>	155
Tabelle G I 2.1-1	Abschätzung der Menge von industriellen Hinterlassenschaften mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g) 2003 <i>(Estimation of the amount of industrial relics with increased natural radioactivity (> 0,2 Bq/g) 2003)</i>	158
Tabelle G I 2.1-2	Abschätzung der jährlichen Mengen industrieller Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g, 2003) <i>(Estimation of the annual amount of industrial residues with enhanced natural radioactivity, > 0.2 Bq/g, 2003)</i>	159
Tabelle G I 2.3-1	Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten <i>(Specific activity of natural radionuclides in building materials and industrial products)</i>	162
Tabelle G II 1.1-1	Anzahl der Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2016 <i>(Number of nuclear weapons tests in the years 1945 - 2016)</i>	168
Tabelle G II 1.2-1	Mittlere effektive Dosis durch den Reaktorunfall in Tschernobyl für Erwachsene in Deutschland <i>(Mean effective dose to adults in Germany from the Chernobyl accident)</i>	170
Tabelle G I.3-1	Änderungen der Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken (Änderungen gegenüber dem Stand von 2008 sind hervorgehoben) <i>Changes in planning areas around NPPs for emergency protection</i>	175
Tabelle G II 2.4-1	Cs-137-Aktivitätskonzentration in Fischen unterschiedlicher Habitate im Zeitraum von 1995 bis 2014 <i>(Activity concentrations of Cs-137 in fish of different habitats between 1995 and 2014)</i>	184
Tabelle G VI 3.1	Grenzwerte für feststehende Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (26. BImSchV) <i>(Limit values for fixed low-frequency and DC installations - 26th BImSchV)</i>	207



Tabelle G VI 4.1	Grenzwerte der 26. BImSchV für hochfrequente Felder von ortsfesten Anlagen (<i>Limit values of the 26th BImSchV for high-frequency fields of fixed installations</i>)	210
Tabelle G VI 5.1-1	Teilbereiche des UV-Spektrums (<i>Sub-ranges of the UV radiation spectrum</i>)	211
Tabelle G VI 5.1-2	Definition der Hauttypen (<i>Definition of skin type</i>)	215
Tabelle G VI 5.1-3	Die Lichtempfindlichkeit steigernde Medikamente und chemische Stoffe (<i>Pharmaceuticals and chemical substances increasing sensitivity to light</i>)	215
Tabelle G VI 6.1	Schwellenwerte für die minimalen erythemwirksame Dosis (MED) für verschiedene Hauttypen in J/m ² (<i>Thresholds of the minimal erythemal dose (MED) for different skin types in J / m²</i>)	220

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 2016 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2016 – Values measured by the Wismut GmbH</i>)	222
Tabelle T I.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre 2015 und 2016 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2015 and 2016 - Values measured by the Wismut GmbH</i>)	222
Tabelle T I.3	Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2016 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2016 – Values measured by the Wismut GmbH</i>)	223
Tabelle T I.4	Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2015 und 2016 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2015 and 2016 - Values measured by the Wismut GmbH</i>)	224
Tabelle T I.5	Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen (<i>Calculation of authorised limits for liquid discharges</i>)	224
Tabelle T I.6	Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2015/2016 und Sommer 2016; Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - winter 2015/2016 and summer 2016 -Values measured by the Wismut GmbH</i>)	225
Tabelle T I.7	Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2016 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations not influenced by mining activities - mean values 1991 - 2016 and range of variation of the mean values for the individual years - Values measured by the Wismut GmbH</i>)	225
Tabelle T I.8	Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbauggebiete 2015 und 2016 (Messwerte der Wismut GmbH) (<i>Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the years 2015 and 2016 - Values measured by the Wismut GmbH</i>)	226
Tabelle T I.9	Geschätzte Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser mit Radonkonzentrationen über verschiedenen Schwellenwerten in Aufenthaltsräumen (<i>Estimated number of one- and two-family houses with radon concentration above various threshold values in living rooms</i>)	227
Tabelle T I.10	Ergebnisse der Radionuklidbestimmungen in Baustoffgruppen (<i>Results of radionuclide assessments by building material categories</i>)	227



II. TABELLEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT (TABLES ON ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

Tabelle T II.1	Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland (<i>Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany</i>)	228
Tabelle T II.2	Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in Deutschland (<i>Research reactors - not including reactors with zero output - in Germany</i>)	229
Tabelle T II.3	Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Deutschland (<i>Interim storage facilities of spent nuclear fuels in Germany</i>)	230
Tabelle T II.4	Schachtanlage Asse II und Endlager Morsleben für radioaktive Abfälle in Deutschland (<i>Asse II mine and the Morsleben radioactive waste repository in Germany</i>)	230
Tabelle T II.5	Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland (<i>Nuclear facilities in neighbouring countries located close to the German border</i>)	231
Tabelle T II.6	Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft (<i>Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with exhaust air</i>)	231
Tabelle T II.7	Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser (<i>Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with waste water</i>)	232
Tabelle T II.8	Strahlenexposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft (<i>Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with exhaust air</i>)	232
Tabelle T II.9	Strahlenexposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser* (<i>Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with waste water</i>)	233
Tabelle T II.10	Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser (<i>Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water</i>)	233
Tabelle T II.11	Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Di- rektstrahlung* (<i>Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to direct radiation</i>)	233
Tabelle T II.12	Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse II durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser (<i>Radiation exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water</i>)	234
Tabelle T II.13	Strahlenexposition durch Direktstrahlung* aus zentralen Zwischenlagern (<i>Radiation exposure due to direct radiation from interim storage facilities</i>)	234
Tabelle T II.14	Einzelnuclid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft (<i>Activity concentrations of individual nuclides in ground-level air</i>)	235
Tabelle T II.15	Deposition von Einzelnucliden mit dem Niederschlag (<i>Deposition of individual nuclides with precipitation</i>)	238
Tabelle T II.16	Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131 (<i>Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131</i>)	239
Tabelle T II.17	Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60 (<i>Annual mean values for activity concentrations of Co-60</i>)	240
Tabelle T II.18	Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren (<i>Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors</i>)	241

Tabelle T II.19	Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60 (<i>Deposition of radioactivity related to Co-60</i>)	242
Tabelle T II.20	Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2016 (<i>Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2016</i>)	243
Tabelle T II.21	Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2016 (<i>Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2016</i>)	244
Tabelle T II.22	Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2016 (I-131: Tabelle T II.20) (<i>Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2016 - I-131: Table T II.20</i>)	245
Tabelle T II.23	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 2006 bis 2016 (<i>Discharges of radioactive noble gases, of I-131 and radioactive particulates (excluding I-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 2006 to 2016</i>)	248
Tabelle T II.24	Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren und Forschungsreaktoren von Universitäten im Jahr 2016 (<i>Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2016</i>)	248
Tabelle T II.25	Aktivitätsableitung alphastrahlender radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben (<i>Discharges of alpha emitting radioactive substances with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels</i>)	249
Tabelle T II.26	Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachanlage Asse II und dem Endlager Morsleben (<i>Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine II and the radioactive waste repository Morsleben</i>)	249
Tabelle T II.27	Übersicht über die für 2016 insgesamt ausgewerteten Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI mit den jeweiligen maximalen gemessenen Werten und den zugehörigen Gewässern und Bezugszeiten (<i>Overview of all measuring results for surface water, suspended matter, and sediment evaluated in 2016, in accordance with the StrVG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times</i>)	250
Tabelle T II.28	Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrVG (<i>Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrVG</i>)	251
Tabelle T II.29	Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrVG (<i>Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrVG</i>)	255
Tabelle T II.30	Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI (<i>Monitoring of bodies of water in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI</i>) 258	
Tabelle T II.31	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in Deutschland im Jahr 2016 (Summenwerte, H-3 und Alphastrahler) (<i>Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2016 - summation values, H-3 and alpha sources</i>)	265
Tabelle T II.32	Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren (<i>Discharges of radioactive substances with waste water from research centres</i>)	266

Tabelle T II.33	Ableitungen radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben <i>(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants)</i>	266
Tabelle T II.34	Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben <i>(Discharges of radioactive substances with waste water from the radioactive waste repository Morsleben)</i>	266
Tabelle T II.35	Radioaktive Kontamination von Weideböden <i>(Radioactive contamination of pasture soil)</i>	267
Tabelle T II.36	Radioaktive Kontamination von Ackerböden <i>(Radioactive contamination of arable soil)</i>	268
Tabelle T II.37	Radioaktive Kontamination von Waldböden <i>(Radioactive contamination of forest soil)</i>	269
Tabelle T II.38	Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs <i>(Radioactive contamination of pasture and meadow vegetation)</i>	270
Tabelle T II.39	Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland) <i>(Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production)</i>	271
Tabelle T II.40	Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten <i>(Radioactive contamination of imported feedstuffs)</i>	272
Tabelle T II.41	Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren) <i>(Radioactive contamination of plants - indicators)</i>	273
Tabelle T II.42	Spezifische Aktivität des Bodens in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz <i>(Specific activity of the soil in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)</i> ..	273
Tabelle T II.43	Spezifische Aktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz <i>(Specific activity of vegetation in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)</i> ..	276
Tabelle T II.44	Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in Deutschland <i>(General monitoring of groundwater and drinking water in Germany)</i>	279
Tabelle T II.45	Umgebungsüberwachung von Anlagen nach Atomgesetz in Deutschland (Grundwasser und Trinkwasser) <i>(Surveillance of the surroundings of facilities - according to the Atomic Energy Act groundwater and drinking water)</i>	280
Tabelle T II.46	Radioaktive Kontamination der Rohmilch <i>(Radioactive contamination of the raw milk)</i>	281
Tabelle T II.47	Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2016 <i>(Range of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2016)</i>	282
Tabelle T II.48	Radioaktive Kontamination der Milch in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz <i>(Radioactive contamination of milk in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	282
Tabelle T II.49	Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen <i>(Specific Cs-137 activity in freshwater fish)</i>	285
Tabelle T II.50	Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen <i>(Cs-137 activity in trout and carp)</i>	285
Tabelle T II.51	Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee <i>(Specific Cs-137 activity in fish, crustaceans and molluscs from the North Sea and the Baltic Sea)</i> ..	286
Tabelle T II.52	Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen <i>(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products)</i> ..	286

Tabelle T II.53	Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen aus dem Pazifik (<i>Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products from the Pacific Ocean</i>)	286
Tabelle T II.54	Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (<i>Specific Sr-90 activity in fish, crustaceans and molluscs</i>)	286
Tabelle T II.55	Spezifische Radionuklid-Aktivitäten von Fischen aus verschiedenen Meeresgebieten inkl. Nachtrag zu früheren Jahren (<i>Specific radionuclide activities in fish from different marine areas incl. supplement to earlier years</i>)	287
Tabelle T II.56	Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz (<i>Activity in fish and aquatic plants - within the framework of ambient surveillance for facilities according to the Atomic Energy Act</i>)	287
Tabelle T II.57	Weizen, Deutschland (<i>Wheat, German production</i>)	289
Tabelle T II.58	Weizen, Einfuhr (<i>Wheat, import</i>)	290
Tabelle T II.59	Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr (<i>Other cereals, domestic production and import</i>)	290
Tabelle T II.60	Kalbfleisch, Inland (<i>Veal, domestic production</i>)	290
Tabelle T II.61	Rindfleisch, Inland (<i>Beef, domestic production</i>)	292
Tabelle T II.62	Schweinefleisch, Inland (<i>Pork, domestic production</i>)	293
Tabelle T II.63	Sonstiges Fleisch, Inland und Einfuhr (<i>Other meat, domestic production and import</i>)	294
Tabelle T II.64	Wild, Inland und Einfuhr (<i>Game, domestic production and import</i>)	294
Tabelle T II.65	Kartoffeln, Inland (<i>Potatoes, domestic production</i>)	295
Tabelle T II.66	Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr (<i>Fresh vegetables, domestic production and import</i>)	296
Tabelle T II.67	Speisepilze, Inland und Einfuhr (<i>Mushrooms, domestic production and import</i>)	296
Tabelle T II.68	Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr (<i>Fruit and rhubarb, domestic production and import</i>)	297
Tabelle T II.69	Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr (<i>Other foodstuffs, domestic production and import</i>)	298
Tabelle T II.70	Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland (<i>Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production</i>)	298
Tabelle T II.71	Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung (<i>Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet</i>)	299
Tabelle T II.72	Säuglings- und Kleinkindernahrung (<i>Baby and infant food</i>)	300

Tabelle T II.73	Spezifische Aktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Gemüse <i>(Specific activity of food of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: vegetables)</i>	301
Tabelle T II.74	Spezifische Aktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Getreide <i>(Specific activity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity off facilities according to the Atomic Energy Act: cereals)</i>	303
Tabelle T II.75	Spezifische Aktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Obst <i>(Specific activity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: fruit)</i>	305
Tabelle T II.76	Spezifische Aktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Kartoffeln <i>(Specific activity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: potatoes)</i>	307
Tabelle T II.77	Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in ausgewählten Arzneimittelpflanzen aus europäischen Ländern für das Jahr 2016 <i>(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected medicine plants from European countries for the year 2016)</i>	309
Tabelle T II.78	Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Islandmoos für die Jahre 2000 bis 2016 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes <i>(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in iceland moss for the years 2000 - 2016 and indication of their country of origin)</i>	309
Tabelle T II.79	Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Bitterkleeblättern für die Jahre 2005 bis 2016 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes <i>(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in bogbean leaves for the years 2005 - 2016 and indication of their country of origin)</i>	309
Tabelle T II.80	Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Gänsefingerkraut für die Jahre 2000 bis 2015 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes <i>(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in silverweed herb for the years 2005 - 2015 and indication of their country of origin)</i>	310
Tabelle T II.81	Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Frischmasse - in ausgewählten Sonderproben für das Jahr 2016 <i>(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected special samples for the year 2016)</i>	310
Tabelle T II.82	Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2016 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte <i>(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2016 - minimum, maximum, and mean values)</i>	311
Tabelle T II.83	Überwachung von Abfällen <i>(Monitoring of wastes)</i>	317
Tabelle T II.84	Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum München <i>(Annual and monthly mean values in the Munich area)</i>	318
Tabelle T II.85	Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Berlin <i>(Annual and monthly mean values in the Berlin area)</i>	319
Tabelle T II.86	Jahres- und Monatsmittelwerte der Ganzkörperaktivitäten für den Raum Karlsruhe <i>(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)</i>	320

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)	321
Tabelle T IV.2	Anzahl der Implantationen und Explantationen Pu-238-haltiger Herzschrittmacher (Number of implantations and explantations of Pu-238 pacemakers)	322

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)	323
Tabelle T V.2	Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus Deutschland - ohne radioaktive Abfälle (Export of radioactive materials from Germany - without radioactive waste)	324
Tabelle T V.3	Aktivität der 2016 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab A1/100) (Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2016 - without sources at levels of above A1/100)	325
Tabelle T V.4	Aktivität der 2016 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab A1/100 (Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2016 with levels of above A1/100)	327
Tabelle T V.5	Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2016 (Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2016)	327
Tabelle T V.6	Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2016 (Export of sealed and unsealed radionuclides without sources at levels of above A1/100 in the year 2016)	328
Tabelle T V.7	Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2016 (Export of sealed radiation sources with levels of above A1/100 in the year 2016)	329
Tabelle T V.8	Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2016 (Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2016)	331
Tabelle T V.9	Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2016 (Overview of the number of licenses and notifications in the year 2016)	331
Tabelle T V.10	Übersicht über die Anzahl der gemeldeten 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)	332
Tabelle T V.11	Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen mit radioaktiven Stoffen (Number of yearly transported truck loads containing radioactive materials)	333
Tabelle T V.12	Anzahl der Beförderungen (Bahn) in Abhängigkeit von der rechtlichen Grundlage (Number of transports (railway) in respect of their legal basis)	333
Tabelle T V.13	Wagenladungssendungen (Truck-loads)	334
Tabelle T V.14	Beförderte Gesamtaktivität (Total activity transported)	335
Tabelle T V.15	Anteil der überprüften Wagenladungen, bezogen auf Transportarten, sowie festgestellte Mängel (Contingent of reviewed truck-loads based on types of transport and detected defects) . . .	335
Tabelle T V.16	Festgestellte Verstöße gegen Gefahrgutvorschriften (Detected contempts against dangerous goods regulations)	335

Tabelle T V.17	Übersicht über die Zahl der Genehmigungen* nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2016) <i>(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of radioactive substances - as at December 31, 2016)</i>	336
Tabelle T V.18	Zahl der Genehmigungen* nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2016) <i>(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2016)</i>	336
Tabelle T V.19	Übersicht über die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen* nach § 11 StrlSchV (Stand: 31.12.2016) <i>(Survey of the number of licencees according to § 11 StrlSchV - as at December 31, 2016)</i>	337
Tabelle T V.20	Übersicht über gültige Genehmigungen <i>(Survey of current licences)</i>	337
Tabelle T V.21	Übersicht über die Zahl der im Jahr 2016 erstatten Anzeigen <i>(Survey of the number of notifications in the year 2016)</i>	338
Tabelle T V.22	Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 66 StrlSchV im Jahr 2016 <i>(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2016)</i>	339
Tabelle T V.23	Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin im Jahr 2016 <i>(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine, dentistry and veterinary medicine in 2016)</i>	340
Tabelle T V.24	Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Zahnmedizin und Tiermedizin im Jahr 2016 <i>(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in dentistry and veterinary medicine in 2016)</i>	341
Tabelle T V.25	Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik/Nichtmedizin im Jahr 2016 <i>(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological/non-medical areas in 2016)</i>	342
Tabelle T V.26	Übersicht über die Entwicklung der Daten im HRQ-Register seit dem Jahr 2006 <i>(Survey on the development of data in the HASS-register since the year 2006)</i>	342
Tabelle T V.27	Übersicht über die Mengen (Massen und Volumina) vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2016 <i>(Survey of quantities (masses and volumes) of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2016)</i>	343
Tabelle T V.28	Übersicht über den Bestand radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2016 <i>(Survey on the stock of radioactive wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2016)</i>	343
Tabelle T V.29	Übersicht über den Bestand an Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen - ohne bestrahlte BE - nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2016 <i>(Survey on the stock of radioactive heat generating wastes - without irradiated BE - according to groups of waste producers on 31 December 2016)</i>	343
Tabelle T V.30	Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen <i>(Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and X-ray devices and during transport of radioactive material)</i>	344

VI. TABELLEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG (TABLES ON NON-IONISING RADIATION)

Tabelle T VI.1	SAR-Werte für Mobiltelefone (SAR values for mobile phones)	353
----------------	---	-----

VII. ABKÜRZUNGEN UND GLOSSAR (LIST OF ABBREVIATIONS AND GLOSSARY)

Tabelle T VII.1	Abkürzungen (Abbreviations)	353
Tabelle T VII.2	Glossar (Glossary, German only)	358
Tabelle T VII.3	Tabellenabkürzungen (Abbreviations in tables)	363

VIII. PHYSIKALISCHE EINHEITEN (PHYSICAL UNITS)

Tabelle T VIII.1	Physikalische Einheiten - Basiseinheiten (Physical units - basic units)	363
Tabelle T VIII.2	Physikalische Einheiten - SI-Einheiten in der Radiologie (Physical units - SI units applied in radiology)	364
Tabelle T VIII.3	Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten (Prefixes)	364
Tabelle T VIII.4	Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung (Physical quantities in non-ionising radiation)	365
Tabelle T VIII.5	Liste ausgewählter Radionuklide (List of selected radionuclides)	366