

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2011

Impressum

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Redaktion: Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Claudia Bernhard-Ströl
Claudia Hachenberger
Angela Trugenberger-Schnabel
Dr. Josef Peter

Stand: Juli 2013

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 des Reaktorunfalls von Tschernobyl,
- kerntechnische Anlagen,
- berufliche Tätigkeit,
- medizinische Anwendung,
- Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung und Technik,
- radioaktive Abfälle,
- Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse.

In Folge des Erdbebens und des darauf folgenden Tsunamis im Nordosten Japans wurde am 11. März 2011 auch das Kernkraftwerk Fukushima Daiichi erheblich beschädigt. Dabei wurden auch radioaktive Stoffe freigesetzt, die in kleinsten Spuren noch in Deutschland nachgewiesen wurden. In einem gesonderten Kapitel wird hierüber berichtet.

Darüber hinaus werden seit 2001 auch Informationen über die nichtionisierende Strahlung (NIS) und Forschungsprojekte in diesem Bereich veröffentlicht.

Der Bericht ist in die Teile A und B gegliedert. Teil A enthält allgemeine Angaben und eine Einführung in die jeweilige Thematik, während in Teil B (graues Register) zum gleichen Thema die jährlich erhobenen Daten im Vergleich mit dem Vorjahreswert wiedergegeben und bewertet sind. Struktur und Themen sind in beiden Teilen gleich.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	11
SUMMARY	16
RÉSUMÉ	20

TEIL A

ALLGEMEINE ANGABEN (GENERAL INFORMATION)

I	NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)	
	Historische und gesetzliche Grundlagen der Überwachung <i>(Historical and legal basis of surveillance)</i>	26
1.	Natürliche Umweltradioaktivität <i>(Natural environmental radioactivity)</i>	28
1.1	Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt <i>(Natural radioactive substances in the environment)</i>	28
1.2	Natürlich radioaktive Stoffe im Boden <i>(Natural radioactive substances in soil)</i>	28
1.3	Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser <i>(Natural radioactive substances in water)</i>	29
1.4	Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre <i>(Natural radioactive substances in the atmosphere close to ground level)</i>	32
1.5	Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung <i>(Natural radioactive substances in foodstuff)</i>	32
1.6	Natürliche Strahlenexposition <i>(Natural radiation exposure)</i>	34
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität <i>(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)</i>	35
2.1	Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie <i>(Relics and residues of mining and industry)</i>	35
2.2	Radon in Gebäuden <i>(Radon in buildings)</i>	39
2.3	Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten <i>(Radioactive substances in building materials and industrial products)</i>	40
II	KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)	
1.	Quellen künstlicher Radioaktivität <i>(Sources of artificial radioactivity)</i>	46
1.1	Kernwaffenversuche <i>(Nuclear weapons tests)</i>	46
1.2	Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall <i>(Chernobyl - radiation exposure from the accident)</i>	48
1.3	Anlagen nach Atomgesetz - Allgemeine Angaben <i>(Facilities according to the Atomic Energy Act - general data)</i>	49
2.	Aktivitätsmessungen und Messnetze <i>(Activity measurements and monitoring networks)</i>	50
2.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung <i>(Air and precipitation, ambient gamma dose rate)</i>	53
2.2	Meerwasser und Binnengewässer <i>(Seawater and inland water)</i>	54

2.3	Böden	56
	<i>(Soils)</i>	
2.4	Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser	56
	<i>(Foodstuff, groundwater, and drinking water)</i>	
2.5	Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe	58
	<i>(Consumer goods, pharmaceutical products and their source materials)</i>	
2.6	Abwasser und Klärschlamm	58
	<i>(Waste water and sewage sludge)</i>	
2.7	Abfälle	59
	<i>(Waste)</i>	
2.8	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung	60
	<i>(Monitoring of incorporation among the population)</i>	
III	BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION <i>(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE)</i>	
1.	Personendosisüberwachung mit Dosimetern	62
	<i>(Monitoring with personal dosimeters)</i>	
2.	Überwachung des fliegenden Personals	62
	<i>(Aircraft crew monitoring)</i>	
3.	Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition	62
	<i>(Monitoring of radon enhanced workplaces)</i>	
4.	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen	62
	<i>(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)</i>	
IV	STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN <i>(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)</i>	
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen	64
	<i>(Diagnostic applications of radiation)</i>	
1.1	Röntgendiagnostik	64
	<i>(X-ray diagnostics)</i>	
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik	65
	<i>(Nuclear medicine, diagnostics)</i>	
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen	66
	<i>(Evaluation of exposures resulting from radio-diagnostic procedures)</i>	
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren	66
	<i>(Alternative examination procedures)</i>	
1.5	Qualitätssicherung	66
	<i>(Quality assurance)</i>	
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen	67
	<i>(Therapeutic applications of radiation)</i>	
2.1	Strahlentherapie	67
	<i>(Radiotherapy)</i>	
2.2	Nuklearmedizinische Therapie	68
	<i>(Therapy with radiopharmaceuticals)</i>	
3.	Medizinische Forschung	68
	<i>(Medical research)</i>	
4.	Herzschrittmacher	69
	<i>(Pacemakers)</i>	
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	72
	<i>(Border-crossing transport of radioactive material)</i>	

2.	Beförderung radioaktiver Stoffe 75 <i>(Transport of radioactive material)</i>	75
3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler 75 <i>(Handling of radioactive material, operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)</i>	75
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe 75 <i>(Users of radioactive sources)</i>	75
3.2	Bestand radioaktiver Abfälle 76 <i>(Stock of radioactive waste)</i>	76
3.3	Hochradioaktive Quellen (HRQ) 76 <i>(High-activity sealed sources (HASS))</i>	76
3.4	Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen 76 <i>(Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)</i>	76
3.5	Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler 77 <i>(Operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)</i>	77
4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse 78 <i>(Exceptional events subject to reporting)</i>	78
VI	NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG <i>(NON-IONISING RADIATION)</i>	
1.	Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung 80 <i>(Physical characteristics and effects of non-ionising radiation)</i>	80
1.1	Statische Felder 80 <i>(Static fields)</i>	80
1.2	Niederfrequente Felder 81 <i>(Low-frequency fields)</i>	81
1.3	Hochfrequente Felder 82 <i>(High-frequency fields)</i>	82
1.4	Optische Strahlung 84 <i>(Optical radiation)</i>	84
1.4.1	UV-Strahlung 84 <i>(UV-radiation)</i>	84
1.4.2	Infrarotstrahlung 86 <i>(Infrared Radiation)</i>	86
1.5	Grenzwerte 88 <i>(Limit values)</i>	88

TEIL B

AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG ***(CURRENT DATA AND THEIR EVALUATION)***

I	NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT <i>(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)</i>	
1.	Natürliche Umweltradioaktivität 90 <i>(Natural environmental radioactivity)</i>	90
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität 90 <i>(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)</i>	90
2.1	Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie 90 <i>(Relics and residues of mining and industry)</i>	90
2.1.1	Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen) 90 <i>(Discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water as a result of the activities of the Wismut GmbH)</i>	90

2.1.2	Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe (Immissionen) 93 <i>(Monitoring of the concentrations of radioactive substances in environmental media from areas in the vicinity of remediation facilities)</i>	93
2.2	Radon in Gebäuden 96 <i>(Radon in buildings)</i>	96
2.3	Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten 98 <i>(Radioactive substances in building material and industrial products)</i>	98
II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT <i>(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)</i>		
1.	Quellen künstlicher Radioaktivität 102 <i>(Sources of artificial radioactivity)</i>	102
1.1	Kernwaffenversuche 102 <i>(Nuclear weapons tests)</i>	102
1.2	Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall 103 <i>(Chernobyl - radiation exposure from the accident)</i>	103
1.3	Anlagen nach Atomgesetz 105 <i>(Facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	105
1.3.1	Strahlenexposition durch Anlagen nach Atomgesetz 108 <i>(Radiation exposure from facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	108
1.4	Sonderthema Fukushima 113 <i>(Special topic Fukushima)</i>	113
2.	Aktivitätsmessungen und Messnetze 119 <i>(Activity measurements and monitoring networks)</i>	119
2.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse 119 <i>(Air and precipitation, ambient gamma dose rate / trace analysis)</i>	119
2.1.1	Radionuklide in der bodennahen Luft 119 <i>(Radionuclides in ground-level air)</i>	119
2.1.2	Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition) 127 <i>(Total deposition of radionuclides)</i>	127
2.1.3	Gamma-Ortsdosisleistung 131 <i>(Ambient gamma dose rate)</i>	131
2.1.4	Radioaktivität in Luft und Niederschlag in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz 133 <i>(Radioactivity in air and deposition in the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	133
2.1.5	Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Anlagen nach Atomgesetz 137 <i>(Discharges of radioactive substances with exhaust air from facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	137
2.2	Meerwasser und Binnengewässer 145 <i>(Seawater and inland water)</i>	145
2.2.1	Meerwasser, Schwebstoff, Sediment 145 <i>(Seawater, suspended matter, sediment)</i>	145
2.2.2	Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer 156 <i>(Surface water, suspended matter, and sediment in inland water)</i>	156
2.2.3	Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz . 169 <i>(Surface water and sediment from inland waters in the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	169
2.2.4	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Anlagen nach Atomgesetz 177 <i>(Discharges of radioactive substances with waste water from facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	177
2.3	Böden 179 <i>(Soil)</i>	179
2.3.1	Boden, Pflanzen und Futtermittel 179 <i>(Soil, plants, and animal feedstuffs)</i>	179
2.3.2	Boden und Bewuchs in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz 186 <i>(Soil and vegetation from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	186

2.4	Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser 192 <i>(Foodstuff, groundwater, and drinking water)</i>	192
2.4.1	Grundwasser und Trinkwasser 192 <i>(Groundwater and drinking water)</i>	192
2.4.2	Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz 193 <i>(Groundwater and drinking water from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	193
2.4.3	Milch und Milchprodukte 195 <i>(Milk and milk products)</i>	195
2.4.4	Milch in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz 197 <i>(Milk from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	197
2.4.5	Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer 200	200
2.4.6	Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz 205 <i>(Fish and aquatic plants from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	205
2.4.7	Einzel Lebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung 207 <i>(Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods)</i>	207
2.4.8	Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz 221 <i>(Foodstuffs of vegetable origin from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	221
2.5	Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe 231 <i>(Consumer goods, pharmaceutical products and their raw materials)</i>	231
2.6	Abwasser und Klärschlamm 232 <i>(Waste water and sewage sludge)</i>	232
2.7	Abfälle 240 <i>(Waste)</i>	240
2.8	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 242 <i>(Monitoring of incorporation among the population)</i>	242
III	BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN <i>(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)</i>	
1.	Personendosisüberwachung 250 <i>(Monitoring of personal dose)</i>	250
1.1	Dosimeterüberwachte Personen 250 <i>(Monitoring with personal dosimeters)</i>	250
1.2	Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen 254 <i>(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)</i>	254
2.	Überwachung des fliegenden Personals 255 <i>(Aircraft crew monitoring)</i>	255
3.	Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition 255 <i>(Monitoring of radon enhanced workplaces)</i>	255
4.	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen 256 <i>(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)</i>	256
IV	STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN <i>(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)</i>	
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen 258 <i>(Diagnostic applications of radiation)</i>	258
1.1	Röntgendiagnostik 258 <i>(X-ray diagnostics)</i>	258
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik 263 <i>(Nuclear medicine diagnostics)</i>	263
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen 264 <i>(Evaluation of radiation exposures resulting from diagnostic procedures)</i>	264
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren 266 <i>(Alternative examination procedures)</i>	266

2.	Therapeutische Strahlenanwendungen 267 <i>(Therapeutic applications of radiation)</i>	267
3.	Medizinische Forschung 268 <i>(Medical research)</i>	268
4.	Herzschrittmacher 268 <i>(Pacemakers)</i>	268
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 272 <i>(Border-crossing transport of radioactive material)</i>	272
1.1	Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe 272 <i>(Overview of statistics on the import and export of radioactive material)</i>	272
1.2	Einfuhrstatistik 273 <i>(Import statistics)</i>	273
1.3	Ausfuhrstatistik 276 <i>(Export statistics)</i>	276
1.4	Genehmigungen und Anzeigen 279 <i>(Licenses and notifications)</i>	279
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe 281 <i>(Transport of radioactive material)</i>	281
2.1	Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe 281 <i>(Overview of shipment approvals and transport of radioactive material)</i>	281
2.2	Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen 282 <i>(Transport of radioactive material by the rail- and shipping traffic)</i>	282
3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler 286 <i>(Handling of radioactive materials, operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)</i>	286
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe 286 <i>(User of radioactive sources)</i>	286
3.2	Bestand radioaktiver Abfälle 291 <i>(Stock of radioactive waste)</i>	291
3.3	Hochradioaktive Quellen (HRQ) 293 <i>(High-activity sealed sources (HASS))</i>	293
4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse 294 <i>(Incidents subject to reporting)</i>	294
VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG <i>(NON-IONISING RADIATION)</i>		
1.	Elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen 308 <i>(Electromagnetic fields - research activities and current topics)</i>	308
1.1	Elektromagnetische Felder allgemein 308 <i>(Electromagnetic fields in general)</i>	308
1.2	Statische Magnetfelder 308 <i>(Static magnetic fields)</i>	308
1.3	Niederfrequente elektrische und magnetische Felder 309 <i>(Low-frequency electric and magnetic fields)</i>	309
1.4	Hochfrequente elektromagnetische Felder 310 <i>(High-frequency electromagnetic fields)</i>	310
2.	Optische Strahlung 313 <i>(Optical radiation)</i>	313
2.1	Solares UV-Monitoring 313 <i>(Solar UV-Monitoring)</i>	313

2.2	Forschung <i>(Research)</i>	314
2.3	Zertifizierung von Solarienbetrieben <i>(Certification of solaria)</i>	315
2.4	Hautkrebspräventionsmaßnahmen <i>(Skin cancer prevention measurements)</i>	316

ANHANG *(ANNEX)*

1.	Erläuterung zu den verwendeten Begriffen <i>(Explanation of terms)</i>	318
1.1	Strahlendosis und ihre Einheiten <i>(Radiation dose and related units)</i>	318
1.2	Die Messung der Strahlendosen <i>(Measurement of radiation dose)</i>	319
1.3	Äußere und innere Bestrahlung <i>(External and internal radiation exposure)</i>	320
1.4	Stochastische und deterministische Strahlenwirkung <i>(Stochastic and deterministic radiation effects)</i>	321
1.5	Genetische Strahlenwirkungen <i>(Genetic radiation effects)</i>	322
1.6	Induktion bösartiger Neubildungen <i>(Induction of malignant neoplasms)</i>	322
1.7	Risikoabschätzung <i>(Risk assessment)</i>	323
1.8	Strahlenschutzmaßnahmen <i>(Radiation protection measures)</i>	325
2.	Physikalische Einheiten <i>(Physical units)</i>	325
3.	Glossar <i>(Glossary)</i>	327
4.	Liste der verwendeten Abkürzungen <i>(List of abbreviations)</i>	332
5.	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Auswahl <i>(Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory text and other regulations concerning radiation protection - assortment)</i>	337
6.	Liste ausgewählter Radionuklide <i>(List of selected radionuclides)</i>	340

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 2011 ist in der unten aufgeführten Tabelle nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Dosis beträgt etwa 4 Millisievert (mSv) pro Jahr und Person und ist damit im Vergleich zum Vorjahr (3,9 mSv) wenig verändert.

In der Tabelle werden die einzelnen Beiträge zur mittleren effektiven Jahresdosis einer Person aufgeschlüsselt. 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 JAHRESDOSE EINER PERSON DURCH IONISIERENDE STRAHLUNG IM JAHR 2011 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	< 0,011	
2.3	durch kerntechnische Anlagen	< 0,01	
2.4	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin* (ohne Therapie)	ca. 1,9	
	davon durch nuklearmedizinische Untersuchungen		ca. 0,1
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition		ca. 1,9	

* Daten von 2010, Auswertungen von 2012

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,
- Reaktorunfalls von Tschernobyl,
- Sonderthema Fukushima,
- Kerntechnik,
- Berufliche Strahlenexposition,
- Medizinische Anwendung,
- Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung und Technik,
- Radioaktive Abfälle,
- Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse.

Seit 2001 enthält der Bericht außerdem Informationen über nichtionisierende Strahlung und Forschungsarbeiten in diesem Bereich.

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 Millisievert (mSv). Unter Verwendung der in den EURATOM-Grundnormen 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 Millisievert (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. Im Berichtsjahr wurden Untersuchungen zu Möglichkeiten für die Abschätzung von Jahresmittelwerten der Radonkonzentration in Innenräumen aus Messungen mit einer Dauer von deutlich unter einem Jahr durchgeführt. 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 bestätigten, dass die durch sie verursachte Dosis im Mittel bei etwa 0,3 Millisievert (mSv) pro Jahr liegt und in Einzelfällen bis 1 mSv pro Jahr reichen kann. Damit wird der europaweit anerkannte Maßstab zur Begrenzung der Strahlenexposition aus Baustoffen 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 fanden nur noch unterirdische Kernwaffenversuche statt. Im Oktober 2006 wurde ein unterirdischer Kernwaffentest in Nordkorea durchgeführt. Im Mai 2009 wurde von der Demokratischen Volksrepublik Korea ein zweiter unterirdischer Kernwaffentest bekanntgegeben, der auch von den seismischen Messgeräten des Internationalen Messnetzes registriert wurde. Eine Freisetzung von Radionukliden (sowohl Xenon-Isotope als auch partikelgebundene Radionuklide) wurde in diesem Zusammenhang nicht nachgewiesen, was auf ein sehr gutes Containment hindeutet. 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 Millisievert (mSv) pro Jahr.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Im April 1986 kam es im Kernkraftwerk Tschernobyl zu einem folgenschweren Reaktorunfall. In den folgenden Tagen wurden große Mengen Radionuklide in die Atmosphäre freigesetzt und über ganz Europa verteilt. In Deutschland waren vor

allem Gebiete in Süddeutschland vom radioaktiven Niederschlag betroffen. Die Bodenkontamination mit Cs-137 erreichte hier teilweise bis zu 100 000 Becquerel pro Quadratmeter (Bq/m²).

Im Jahr 2011 nahm die Strahlenbelastung infolge des Reaktorunfalls weiter geringfügig ab; die mittlere effektive Dosis betrug weniger als 0,01 Millisievert (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 2011 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 der Cs-137-Kontamination von 600 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg).

Sonderthema Fukushima

Am 11. März 2011 ereignete sich vor der Küste der Präfektur Miyagi, Japan ein Erdbeben der Stufe 9,0. Wenig später überschwemmte ein Tsunami mit bis zu 15m hohen Flutwellen die küstennahen Gebiete. Auf Grund dessen ereignete sich am Kernkraftwerk Fukushima Daiichi, an dem sechs Leichtwasserreaktoren betrieben wurden, ein schwerer kerntechnischer Unfall der Stufe INES 7 (höchste Stufe auf der internationalen Bewertungsskala für Kerntechnische Unfälle). Durch den Ausfall der Strom- und Notstromversorgung konnte keine Wärmeabfuhr erfolgen, woraufhin die Reaktorkerne in den Blöcken 1 - 3 zerstört wurden. Als Folge des Unfalls wurden erhebliche Mengen radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre freigesetzt. In Deutschland waren einige der freigesetzten Radionuklide nachweisbar, die Konzentrationen lagen jedoch nur im Bereich von einigen Millibecquerel pro Kubikmeter (mBq/m³). Außerdem gelangten größere Mengen radioaktiver Stoffe in den Pazifik. Emissionen aus Fukushima konnten in Nord- und Ostsee jedoch nicht nachgewiesen werden.

Gestützt auf die Verordnung (EG) Nr. 178/2002 hat die Europäische Kommission Sondervorschriften für die Einfuhr von Lebens- und Futtermittel auf Japan erlassen. Nach der EU-Durchführungsverordnung Nr. 284/2012 dürfen Milch und Molkereierzeugnisse sowie Lebensmittel für Säuglinge und Kleinkinder maximal 50 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) an Cs-137 und Cs-134 enthalten. Für sonstige Lebensmittel gilt ein Grenzwert von 100 Bq/kg.

Kerntechnik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken, sonstigen kerntechnischen Anlagen, aus dem ehemaligen Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) und der Schachanlage Asse II wird die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die aus diesen Ableitungen nach der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung“ ermittelten oberen Werte der Strahlenexposition von Einzelpersonen haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte deutlich unterschritten. Gegenüber 2010 zeigen die berechneten Werte der Strahlenexposition allgemein keine wesentlichen Unterschiede. Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen im Inland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland (s. vorstehende Tabelle) lag auch 2011 unter 0,01 Millisievert (mSv) pro Jahr.

Die Gesamtstromerzeugung aus Kernkraftwerken verringerte sich im Jahr 2011 um 32 Terawattstunden (TWh) auf 108 TWh. Ursache des Rückgangs ist das Abschalten der 8 Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel.

Berufliche Strahlenexposition

Personen, die in Bereichen mit erhöhter Strahlung arbeiten, unterliegen der Strahlenschutzüberwachung. Dies betraf in Deutschland im Jahr 2011 ca. 390 000 Personen. Der Großteil dieser strahlenexponierten Personen wurde mit Dosimetern überwacht. Die mittlere effektive Dosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 349 000) lag 2011 bei 0,11 Millisievert (mSv). Bei ca. 81 % der überwachten Personen konnte während des gesamten Überwachungszeitraums keine zusätzliche Strahlenexposition nachgewiesen werden. Bei den Überwachten mit einer messbaren Dosis (ca. 66 000 Personen) betrug die mittlere Jahrespersonendosis 0,58 mSv (Vorjahr: 0,66 mSv). Im Jahr 2011 wurde bei 7 Personen eine Überschreitung des Grenzwertes der Jahrespersonendosis von 20 mSv registriert.

Seit 1. August 2003 ist Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 Millisievert (mSv) im Kalenderjahr erhalten kann, überwachungspflichtig. Das Flugpersonal wird nicht mit Dosimetern überwacht. Die Luftfahrtgesellschaften ermitteln stattdessen die Dosis für das fliegende Personal mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen. Hiervon waren im Jahr 2011 ca. 39 000 Personen betroffen (Vorjahr: ca. 37 000). Die mittlere Jahresdosis dieser Beschäftigten betrug 2,1 mSv (Vorjahr: 2,3 mSv) (zusätzlich zur natürlichen Strahlenexposition).

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. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich vertreten durch die kassenärztliche und kassenzahnärztliche Bundesvereinigung und durch den Verband der privaten Krankenversicherung.

Die aktuelle Schätzung für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner lag im Jahr 2010 bei etwa 1,9 Millisievert (mSv). Die nuklearmedizinische Diagnostik trug etwa 0,1 mSv zu dieser Strahlenexposition bei. Über den Beobachtungszeitraum von 1996 bis 2010 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr

zu verzeichnen, obwohl die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland über den betrachteten Zeitraum alles in allem abgenommen hat. Im Jahr 2010 wurden durchschnittlich etwa 1,66 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner durchgeführt. Der insgesamt ansteigende Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr ist im Wesentlichen auf die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen zurückzuführen. Die CT trug 2010 zur Gesamthäufigkeit der Röntgenuntersuchungen lediglich etwa 8 % bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug jedoch rund 60 %.

Zwischen 2004 und Anfang 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. Nehmen 70 % der anspruchsberechtigten Frauen an der Screening-Maßnahme teil, so beläuft sich unter der Annahme einer effektiven Dosis von 0,5 mSv pro Screening-Untersuchung die daraus resultierende kollektive effektive Jahresdosis auf etwa 1 800 Personen-Sv pro Jahr.

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.

Bemerkenswert ist die über den Zeitraum 1996 bis 2010 beobachtete gleichzeitige Zunahme von Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT)-, Ultraschall- und CT-Untersuchungen. Die Zunahme alternativer Untersuchungsverfahren ohne Anwendung von Röntgenstrahlen - insbesondere die deutliche Zunahme der MRT - führt somit entgegen der Erwartungen nicht zu einer Abnahme der Untersuchungsfrequenz von CT-Anwendungen.

Radioaktive Abfälle

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) führt für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) jährlich eine Erhebung radioaktiver Reststoffe und Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland durch. Hierbei werden der Bestand an radioaktiven Reststoffen, Rohabfällen und Abklingabfällen sowie der Anfall und Bestand konditionierter radioaktiver Abfälle ermittelt.

Der Bestand konditionierter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung betrug am 31. Dezember 2011 101 415 Kubikmeter (m^3) (2010: 96 513 m^3). Der Bestand an vernachlässigbar wärmeentwickelnden Zwischenprodukten und unbehandelten Abfällen belief sich auf 10 372 m^3 (Vorjahr: 10 295 m^3) und 19 128 m^3 (Vorjahr: 17 517 m^3). Der Bestand konditionierter wärmeentwickelnder Abfälle betrug 2011 727 m^3 (2010: 674 m^3). Es waren weitere 1251 m^3 (Vorjahr: 1251 m^3) wärmeentwickelnde Abfälle als Zwischenprodukte zwischengelagert.

Bis zum 31.12.2011 sind in Deutschland 14 465 tSM (Tonnen Schwermetall = Uran + Plutonium) in Form bestrahlter Brennelemente angefallen. Davon wurden 6662 tSM zur Wiederaufarbeitung im Ausland oder in andere Anlagen abgegeben.

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. Mehr als 80 % der im Jahr 2011 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 radiologischen Gefährdung. Durch menschliche oder technische Fehler (z. B. falsche Anlageneinstellung oder Softwarefehler) kam es im Jahr 2011 bei fünf Strahlentherapie-Einrichtungen zu Fehlbestrahlungen. In der Folge wurden Software-Änderungen und Schulungen durchgeführt sowie zusätzliche Kontrollen eingeführt. Durch Verkleben eines Strahlers an einem Gammadiagnostikgerät trat bei einer Person eine erhöhte Exposition der Hand auf. Die technische Fehlfunktion wurde nach dem Vorfall behoben.

Nichtionisierende Strahlung

Mit zunehmendem Technisierungsgrad steigt auch die Zahl der Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung beitragen. Dies sowie neue technische Entwicklungen stellte auch 2011 Herausforderungen für den Strahlenschutz dar. Um die Risikobewertung bezüglich Wirkungen elektromagnetischer Felder auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurden im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesumweltministeriums (BMU) vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sowohl im Bereich „Statischer Magnetfelder“ als auch in den Bereichen „Niederfrequente und hochfrequente elektromagnetische Felder“ sowie „Optische Strahlung“ auch im Jahre 2011 Forschungsvorhaben initiiert und koordiniert. Im Bereich der statischen Magnetfelder beziehen sich diese Vorhaben auf die Erfassung und gesundheitliche Bewertung der real auftretenden Expositionen bei Magnetresonanztomographie(MRT)-Anwendungen. Im Bereich „Niederfrequenz“ wurden u. a. Untersuchungen zur Verbesserung der Datenlage bezüglich niederfrequenter Felder und Leukämie im Kindesalter begonnen. Im Bereich hochfrequenter elektromagnetischer Felder befassen sich die neu initiierten Forschungsvorhaben mit der Klärung der Frage zu möglichen Langzeitrissen für Handynutzungszeiten von mehr als 10 Jahren und bezüglich der Frage, ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder empfindlicher reagieren als Erwachsene. Zusätzlich wurde im Jahr 2011 weitere Forschung im Bereich Risikokommunikation betrieben u. a. mit dem Ziel, mittels verbesserter Kommunikation und Information einen sachlichen Umgang mit dem Thema „Elektromagnetische Felder“ in der Bevölkerung zu unterstützen. Nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand schützen die gelten-

den Grenzwerte vor allen gesundheitlich relevanten Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Menschen.

Im Bereich der „Optischen Strahlung“ ist vor allem die Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs Grund sowohl für weitere Forschungsvorhaben als auch für die Verbesserung der Risikokommunikation sowie der Informationsmaßnahmen des BfS. So wurde u. a. im Jahr 2010 die UV-Informationskampagne „Sonne – Aber sicher!“ des BfS gestartet, 2011 das UV-Bündnis - einer Kooperation von medizinischen, wissenschaftlichen Institutionen und Organisationen sowie Bundesbehörden - initiiert, und die Messung der natürlichen UV-Strahlung (UV-Monitoring) sowie die Veröffentlichung des davon abgeleiteten UV-Indexes weiter betrieben. In Bezug auf die Anwendung künstlicher UV-Strahlung in Solarien trat, zurückgehend auf die Initiative des BMU und des BfS, im August 2009 das Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung (NiSG) in Kraft. Seitdem ist es Solarienbetreibern verboten, Minderjährigen die Nutzung von Solarien zu erlauben. Die auf Grundlage dieses Gesetzes erarbeitete „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung“ (UV-Schutz-Verordnung, UVSV) wurde am 25. Juli 2011 im [Bundesgesetzblatt](#) (Nr. 37 vom 25.07.2011, Seite 1412) veröffentlicht und trat am 1. Januar 2012 in Kraft. Die UV-Schutz-Verordnung basiert auf den Kriterien des freiwilligen Zertifizierungsverfahrens des BfS und regelt unter anderem Gerätestandards, den Betrieb von Solarien sowie Qualifikation und Aufgaben des Solarien-Fachpersonals.

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 2011, broken down into the various sources of radiation. The mean effective dose is about 4 millisievert (mSv) and therefore remained almost unchanged, compared to the previous year (3,9 mSv).

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.

MEAN EFFECTIVE DOSE TO ONE PERSON OF THE POPULATION IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 2011

		Mean effective dose millisievert 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		< 0,011
2.3	nuclear installations		< 0.01
2.4	use of radioactive substances and ionising radiation in medicine (therapy excluded)	approx.	1.9
	thereof from diagnostic nuclear medicine*		approx. 0.1
Total of man-made radiation exposure		approx.	1.9

* according to data from 2010, evaluation from 2012

In the following, information is given 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 reactor accident,
- special topic Fukushima,
- nuclear technology,
- occupational radiation exposure,
- medical applications,
- the handling of radioactive substances in research and technology,
- radioactive waste,
- radiation accidents and exceptional events.

Since 2001, this report has also contained information about non-ionising radiation and research in this field.

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 millisievert (mSv) per year. The nominal mean value, calculated on the basis of the dose factors set out in the 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 becquerel 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. In the year under report, studies were conducted as to the possibilities to estimate annual mean values of radon concentration indoors from measurements performed over clearly less than one year. 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 substances in building materials and industrial products

Current analyses of ordinary industrially fabricated building materials designed for use indoors confirmed that the dose caused by their concentrations of the natural radionuclides Ra-226, Th-232, and K-40 is about 0.3 millisievert (mSv) per year on the average and may reach up to 1 mSv per year in individual cases. This means that the Europe-wide criterion accepted to limit radiation exposure from building materials is observed. 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. One underground nuclear weapon test was conducted in Korea in October 2006. A second underground test was announced by the Democratic Peoples' Republic of Korea in May 2009 and was also recorded by the seismic measuring devices of the International Measuring Network. There was no evidence of radionuclide release in this context (neither of Xenon isotopes nor of particle-bound radionuclides), which is suggestive of a very good containment. 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 millisievert (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 becquerel per square metre (Bq/m^2) here.

Radiation exposure resulting from the Chernobyl reactor accident decreased further, albeit marginally, in 2011; the mean effective dose was less than 0.01 millisievert (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 2011. In Southern Germany the lev-

els 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 becquerel per kilogram (Bq/kg) in some cases.

Special topic Fukushima

On 11 March 2011 a magnitude 9 earthquake occurred off the coast of Miyagi Prefecture, Japan. Shortly after that, a tsunami with flood waves up to 15 metres swamped the coastal regions. As a result, the Fukushima Daiichi nuclear plant was hit by a severe nuclear accident rated INES level 7 (i. e. the highest level of the international rating scale for nuclear accidents). Complete blackout caused a failure of heat removal, resulting in destruction of the cores of the reactor units 1 to 3. In consequence of the accident, considerable amounts of radioactive substances were released into the atmosphere. Some of the radionuclides were detectable in Germany, although the concentrations were only in a range of some milibecquerel per cubicmeter (mBq/m³). Furthermore large amounts of radioactive material were also released into the Pacific Ocean but no Fukushima-derived radionuclides could be detected in the North and Baltic Sea.

Based on the Regulation (EC) No. 178/2002, the European Commission adopted special provisions on imports of food and feed from Japan. The Implementing Regulation (EU) No. 284/2012 imposed a maximum limit of 50 Becquerel per kilogram (Bq/kg) for Cs-137 and Cs-134 levels in milk and dairy products as well as in food for babies and infants. The limit for other foodstuffs is 100 bq/kg.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power plants, from the former Morsleben repository for low and intermediate-level radioactive waste (ERAM) and the Asse mine contributes only insignificantly to the radiation exposure of the population. The upper values for exposures to individuals, calculated in accordance with the "General Administrative Guideline relating to § 47 of the Radiation Protection Ordinance" are clearly below the limits indicated in the Radiation Protection Ordinance. In general, the calculated radiation exposure values show no essential differences to those reported for 2010. The annual contribution from domestic nuclear installations and other installations located close to the German borders to the mean effective dose to the population of the Federal Republic of Germany remained below 0.01 millisievert (mSv) again in 2011 (see Table above).

The total generation of current from nuclear power plants decreased by 32 terawatt hours (TWh) to 108 TWh in 2011. The reason for this decrease is the shut-off of the 8 nuclear power plants Biblis A and B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 and Krümmel.

Occupational radiation exposure

In Germany, all employees who might receive enhanced radiation doses during their occupation are subject to radiation protection monitoring.

The major part of these persons (approx. 390 000 in 2011) is monitored through personal dosimeters. The average annual individual dose (measured in approx. 349 000 individuals) amounted to about 0.11 millisievert (mSv) in 2011. There was no evidence of additional radiation exposure in about 81 % of all persons controlled over the entire monitoring period. An average annual individual dose of 0.58 mSv (preceding year: 0.66 mSv) was determined for all other cases with a measurable dose (approx. 66 000). In 2011 7 individuals with annual personal doses above 20 mSv were registered.

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 millisievert (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 2011, this applied to approx. 39 000 individuals (preceding year: 37 000 individuals). The average annual dose of these employees amounted to 2.1 mSv (preceding year: 2.3 mSv) (in addition to natural radiation exposure).

Medical applications

The major part of man-made radiation exposure is caused by medical applications of radioactive substances and ionising radiation. Since 1991, BfS therefore has collected and analysed data on medical radiation exposure in Germany. These data are generally supplied by organisations which bear the costs of medical care, mainly the associations of the social and private health insurance.

In 2010, medical applications contributed about 1.9 millisievert (mSv) per inhabitant, of which about 0.1 mSv was due to nuclear medical diagnostic procedures. The observation period from 1996 to 2010 altogether reveals an upward trend for the mean effective dose per inhabitant and year, although the frequency of X-ray examinations conducted during this period in Germany decreased. About 1.66 X-ray examinations per inhabitant were carried out on the average in 2010. The upward trend observed at large for the mean effective dose per inhabitant and year is primarily due to the steady increase in uses of computerised tomography (CT). CT examinations had a share of only 8 per cent in the total frequency of X-ray diagnostics in 2010 but contributed about 60 % to the collective effective dose.

From 2004 to the beginning of 2009 the quality-assured, population-based Mammography Screening Program was introduced nationwide for all (symptom-free) women between 50 and 69 years of age. The Mammography Screening Program is now offered on a nationwide scale.

In 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.

It is most remarkable that the number of Magnetic Resonance Imaging (MRI), ultrasonic and CT examinations increased simultaneously from 1996 to 2010. Against expectations, however, the increase in alternative diagnostic procedures, i.e. without application of X-rays, and in particular the remarkable increase in MRI does not lead to a decreasing application frequency of CT.

Radioactive waste

By order of the Federal Minister for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), the Federal Office for Radiation Protection (BfS) conducts an annual survey of radioactive residues and nuclear waste in the Federal Republic of Germany. In this process an inventory is made of radioactive residues, primary waste and decay waste, and the accumulation and amount of conditioned radioactive waste is determined.

On 31 December 2011, the amount of conditioned radioactive waste with negligible heat generation was 101 415 cubic metre (m³) (2010: 96 513 m³). The amount of intermediate products with negligible heat generation and untreated waste was 10 372 m³ (preceeding year 10 295 m³) and 19 128 m³ (preceeding year 17 517 m³) respectively.

The amount of conditioned heat-generating waste in Germany was 727 m³ in 2011 (674 m³ in 2010). Another 1251 m³ (preceeding year 1251 m³) of heat-generating intermediates were subject to interim storage.

A total of 14 465 tons of HM (heavy metal = uranium + plutonium) of spent fuel elements was produced up to 31 December 2011 in Germany, of which 6 662 tons were delivered abroad for reprocessing.

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. More than 80 per cent of the exceptional events reported in 2011 involved discoveries of radioactive material mostly associated with improper disposal of the radioactive substance. There was no case of substantial radiological hazard. Human or technical failure (e. g. wrong adjustment of the installation or program error) entailed erroneous irradiations in five radiation therapy departments. Subsequently, software amendments and staff trainings were made and additional surveillance was introduced. As a result of jamming of an emitter at a gammaradiography equipment one person experienced increased skin exposure. The technical failure was remedied after the incident.

Non-ionising radiation

The growing level of technology of human environment is associated with increasing numbers of sources contributing to exposures of the general public to non-ionising radiation. Together with further technical advancements, this is a challenge for radiation protection also in 2011. In order to obtain a solid data base for evaluation of risk associated with electromagnetic fields, BfS continued to initiate and co-ordinate research projects within the scope of the Ufoplan of the Federal Environment Ministry (BMU) also in 2011. These projects covered the areas of both "Static Magnetic Fields" and "Low-frequency and high-frequency electromagnetic fields", as well as "Optical radiation". In the area of "static magnetic fields" these projects involve determination and health-related evaluation of actual exposures in magnetic resonance imaging (MRI). In the "low-frequency" area, studies have been initiated to improve the data available as to low-frequency fields and childhood leukaemia. Ongoing research in the area of "high-frequency electromagnetic fields" aims at answering the question of possible long-term risks for mobile phone use periods exceeding 10 years and the question of whether exposure, or sensitivity, to electromagnetic fields is higher in children than in adults. In addition, further research was conducted in the area of risk communication in 2011, with a view to improving communication and information, among other things, thus supporting a matter-of-fact handling of the subject "Electromagnetic fields" in the general public. The limits currently applicable most notably reflect estimates of the effects of high-frequency electromagnetic fields on human health, according to the present state of knowledge.

In the field of "Optical Radiation", especially the alarming increase in skin cancers has given reason for further research projects and for improvements of both risk communication and information procedures on the part of BfS. Among other things, BfS initiated the UV information campaign "Sonne - Aber sicher!" in 2010 and the UV-Alliance, i.e. a cooperation of medical, scientific institutions and organisations as well as Federal Authorities in 2011 and continued ongoing measurements of natural UV-radiation (UV monitoring), as well as publication of the UV-index derived from these measurements. In relation to uses of artificial UV-radiation in solaria, based on the BMU and BfS initiative, the Act on Protection against non-ionising radiation (Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung, NiSG) entered into force on August 2009. Since then, operators of solaria have been banned from permitting minors to use solaria. On the basis of this Act, the "Regulation on the Protection from adverse effects of artificial ultraviolet radiation" (UV-Protection Regulation) was published in the Federal Law Gazette (No. 37 of 25 July 2011, page 1412) on 25 July 2011 which entered into force as from 1 January 2012. Based on the criteria laid down by BfS for the voluntary certification procedure, the UV-Protection Regulation rules, among others, equipment standards, operation of solaria as well as the qualification and tasks of solaria technical staff.

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 d'une personne de la population de la République Fédérale d'Allemagne en 2011 selon les différentes sources d'exposition. Comparée à l'année précédente (3,9 millisievert (mSv)), la dose effective moyenne n'a guère changé; elle s'élève à environ 4 mSv.

Le tableau classe les contributions à la dose efficace moyenne reçue par une personne par an. Le part le plus important provient des applications médicaux, en particulier des examens de tomographie par ordinateur. Une autre source essentielle d'exposition aux rayonnements est le radon, un gaz rare d'origine naturel ainsi que l'inhalation de ces 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 MOYENNE REÇUE PAR UNE PERSONNE DE LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 2011

		Dose efficace moyenne millisievert 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	<0,011	
2.3	installations nucléaires	<0,01	
2.4	applications médicales de substances radioactives et de rayonnements ionisants* (sans thérapie)	env. 1,9	
	dont examens en médecine nucléaire		env. 0,1
Chiffre total de l'exposition artificielle aux rayonnements		env. 1,9	

* données de l'année 2010, évaluation faite en 2012

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

- aux sources naturelles de rayonnements,
- 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,
- à l'accident du réacteur de Tchernobyl,
- au sujet particulier: Fukushima,
- au génie nucléaire,
- à l'exposition professionnelle aux rayonnements,
- aux applications médicales,
- à la manipulation de substances radioactives dans le domaine de la recherche et des technologies,
- aux déchets radioactifs,
- aux accidents radiologiques et événements particuliers.

Depuis 2001, le rapport contient également des informations sur les rayonnements non-ionisants et les travaux de recherche menés dans ce domaine.

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 millisievert (mSv). En appliquant les facteurs de dose définis dans les normes de base EURATOM, 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/m³) en Allemagne, ce qui est équivalent à une dose efficace moyenne de 0,9 millisievert (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. Durant l'année sous revue, on a effectué des études en matière des possibilités d'estimer des valeurs moyennes annuelles de la concentration de radon à l'intérieur sur la base de mesures d'une durée de moins d'un an. 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/m³.

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

Des études récentes portant sur les concentrations des radionucléides naturels 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 millisievert (mSv) et qu'elle peut atteindre, dans des cas exceptionnels, jusqu'à 1 mSv. Ceci est conforme à la norme de limitation de la radioexposition due aux matériaux de construction reconnue au niveau européen. 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, un essai nucléaire souterrain a eu lieu en Corée du Nord. En mai 2009, la République Populaire Démocratique de Corée a fait part d'un deuxième essai nucléaire souterrain qui a été également enregistré par les dispositifs de mesure sismique du réseau de mesure international. Aucun relâchement de radionucléides (ni isotopes xénon ni radionucléides liés aux particules) n'a été détecté dans ce contexte, ce qui indique un très bon confinement.

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 millisievert (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 becquerel par mètre carré (Bq/m²).

En 2011, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer faiblement; la dose efficace moyenne était en dessous de 0,01 millisievert (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 2011, 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 becquerel par kilo (Bq/kg) dans quelques cas.

Sujet particulier: Fukushima

Le 11 mars 2011 un séisme de 9 s'est produit au large des côtes de la Préfecture de Miyagi au Japon. Peu après, la région côtière a été submergée par un tsunami avec des raz de marée atteignant jusqu'à 15 mètres. Par conséquent, un severe accident nuclé-aire classé au niveau 7 de l'échelle internationale INES de classification des accidents nucléaires a endommagé la centrale nuclé-aire de Fukushima Daiichi où six réacteurs à eau légère ont été opérés. Dû à la défaillance de l'alimentation en courant électrique et de secours il n'y avait pas de refroidissement, donc les coeurs des réacteurs 1, 2 et 3 ont été détruits. Par la suite de l'accident, une pléiade de radionucléides artificiels a été rejeté dans l'atmosphère. Plusieurs des radionucléides libérés ont été démontrables en Allemagne, les concentrations cependant ne représentaient que quelques Millibecquerel par mètre cube. En outre une grande quantité de substances radioactives a été déversée dans l'Océan Pacifique. Cependant aucune trace d'émissions radioactives en provenance de Fukushima n'a été décelée en Mer du Nord et en Baltique.

Génie nucléaire

Les rejets de matières radioactives provenant des CNPE, d'autres installations nucléaires, de l'ancien centre de stockage définitif de déchets radioactifs à faible et moyenne activité de Morsleben (ERAM) et de la mine de Asse ne causent qu'une faible augmentation de la radioexposition moyenne de la population. Les valeurs supérieures de la radioexposition des individus, déterminées conformément au Règlement administratif général au paragraphe 47 du Règlement sur la Protection contre les rayonnements (*Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung*), sont restées nettement inférieures aux limites de dose fixées par le Règlement sur la protection contre les rayonnements. De manière générale, les niveaux de radioexposition calculés n'ont pas changé considérablement par rapport à 2010. En 2011, les installations nucléaires allemandes, ainsi que celles des pays voisins, ont de nouveau apporté une contribution de moins de 0,01 millisievert (mSv) par an à la dose efficace moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne.

La production totale d'électricité d'origine nucléaire a baissé par 32 térawattheures (TWh) à 108 TWh. La cause de cette baisse est la mise à l'arrêt de 8 centrales nucléaires : Biblis A et B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 et Krümmel.

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 2011 près de 390 000 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 349 000) était de 0,11 millisievert (mSv) en 2011. Pour environ 81 % des personnes surveillées, aucune exposition supplémentaire aux rayonnements n'a pu être démontrée pendant toute la période de surveillance. Les personnes surveillées chez lesquelles une dose a pu être constatée (environ 66 000) ont présenté une dose individuelle moyenne annuelle de 0,58 mSv (année précédente: 0,66 mSv). En 2011, 7 personnes ont été touchées par un dépassement de la limite de dose annuelle réglementaire de 20 mSv.

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 2011, environ 39 000 personnes étaient affectées par cette réglementation (année précédente: 37 000 personnes). Leur dose moyenne annuelle s'élevait à 2,1 mSv (année précédente: 2,3 mSv) en plus de l'exposition naturelle.

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. 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. Les sources de données les plus importantes sont les financeurs, représentés surtout par l'association fédérale des médecins de caisse, l'association fédérale des chirurgien-dentistes conventionnés et l'association des assurances maladies privées en Allemagne.

En 2010, la radioexposition médicale était d'environ 1,9 millisievert (mSv) par habitant. Les procédures de diagnostic en médecine nucléaire représentaient environ 0,1 mSv de cette exposition. Il ne reste pas moins qu'on constate globa-

lement une tendance à la hausse en ce qui concerne la dose efficace moyenne par habitant et par an dans la période de référence 1996 à 2010 bien que la fréquence des examens radiographiques en Allemagne a néanmoins baissé globalement durant cette période. En moyenne, environ 1,66 examens radiographiques ont été réalisés par habitant en 2010. La tendance à la hausse de la dose efficace moyenne résulte pour l'essentiel de l'augmentation constante du nombre d'examens tomodensitométriques (scanner). Bien que les examens tomodensitométriques ne représentaient qu'environ 8 % de tous les examens radiographiques en 2010, sa part dans la dose efficace collective constituait cependant près de 60 %.

Entre 2004 et le début de 2009 le programme de dépistage mammographique (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 programme est offert partout dans le pays.

En ce qui concerne le diagnostic en médecine nucléaire, 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.

Il est remarquable que l'imagerie par résonance magnétique (IRM), les échographies et la tomodensitométrie ont tous progressés en même temps entre 1996 et 2010. Contre toute attente, l'accroissement de procédures d'examen alternatives, c'est-à-dire sans application de rayons x, - surtout la hausse considérable de l'IRM - n'a donc pas entraîné une application décroissante de la tomodensitométrie.

Déchets radioactifs

L'Office fédéral de Radioprotection (BfS) procède annuellement à un recensement des résidus et déchets radioactifs en R.F.A pour le compte du Ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sécurité nucléaire (BMU). Cette exercice détermine le stock de résidus, déchets primaires et déchets de désactivation radioactifs, ainsi que la quantité des déchets radioactifs conditionnés nouveaux et anciens.

Au 31 décembre 2011, le stock de déchets radioactifs peu thermogènes conditionnés était de 101 415 mètre cube (m³). Le stock de produits intermédiaires et de déchets non-traités peu thermogènes était de 10 372 m³ (année précédente: 10 295 m³) et de 19 128 m³ (année précédente: 17 517 m³) respectivement.

Le stock de déchets radioactifs thermogènes conditionnés s'élevait à 727 m³ (année précédente: 674 m³) en 2011. D'autres 1251 m³ (année précédente: 1251 m³) de déchets thermogènes étaient entreposés en tant que produits intermédiaires. Jusqu'au 31 décembre 2011, la quantité de métaux lourds (uranium + plutonium) provenant d'éléments combustibles irradiés s'élevait à 14 465 tonnes en Allemagne. De cette quantité, 6662 tonnes de métaux lourds ont été exportées afin d'être retraitées à l'étranger.

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. Plus de 80 % des incidents déclarés au cours de l'année 2011 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 entraînait une menace radiologique. Par suite d'erreur humaine ou machine (p. e. erreur de réglage de l'installation ou erreur logiciel) des expositions erronées sont survenues dans cinq établissements de radiothérapie. Par la suite, on a modifié le logiciel et mis en oeuvre des formations ainsi que institué des contrôles additionnels. Dû à un émetteur coincé d'un appareil de radiographie par rayons gamma, une personne subit une exposition accrue de la main.

Rayonnements non ionisants

L'avancée technologique provoque une augmentation du nombre de sources contribuant à une exposition du public aux rayonnements non ionisants. En 2011, ce phénomène en combinaison avec les développements techniques les plus récents a de nouveau posé des défis en matière de radioprotection. Afin de permettre une évaluation, sur la base de données solides, des risques présentés par les champs électromagnétiques, l'Office fédéral de radioprotection (BfS) a continué, en 2011, à initier et à coordonner des projets de recherche dans le cadre du plan de recherche environnement du Ministère de l'Environnement (BMU) tant dans le domaine des champs magnétiques statiques que dans les domaines des champs électromagnétiques de basse et de haute fréquence et des rayonnements optiques. Dans le domaine des champs magnétiques statiques, les projets portaient sur le recensement et l'évaluation santé des expositions réelles dues aux applications IRM. Dans le domaine de la basse fréquence, ont été lancées entre autres des études pour améliorer la disponibilité de données sur les champs de basse fréquence et les leucémies chez les enfants. Dans le domaine des champs électromagnétiques de haute fréquence, les nouveaux projets de recherche portaient sur les risques potentiels à long terme liées à l'utilisation de téléphones mobiles sur une période de plus de 10 ans et sur la question de savoir si les enfants étaient plus exposés aux champs électromagnétiques de haute fréquence ou s'ils réagissaient plus sensiblement que les adultes. En plus la recherche sur la communication des risques a été poursuivie en 2011 avec pour objectif entre autres de promouvoir une discussion objective de la question des champs électromagnétiques dans le public grâce à une amélioration de la communication et des informations.

Dans l'état actuel des connaissances scientifiques, les valeurs limites se rapportent surtout aux conséquences de champs élec-tromagnétiques de haute fréquence pour la santé de l'homme.

En ce qui concerne les rayonnements optiques, c'est surtout la croissance inquiétante du nombre de cancers de la peau qui justifie d'initier de nouveaux projets de recherche et d'améliorer la communication des risques et les mesures d'informations du BfS. C'est pourquoi le BfS a lancé, entre autres, la campagne d'information UV „Sonne - Aber sicher!“ en 2010, initié l'Alliance UV, une coopération d'établissements et organisations médicaux, scientifiques et d'autorités fédérales en 2011 ainsi que continué de mesures visant à réduire l'exposition de la population aux rayonnements UV (surveillance UV) et la publication de l'index UV basé sur les résultats des mesures. En ce qui concerne l'utilisation de rayonnement UV artificiel des solariums c'est grâce à l'initiative du BMU et du BfS que la loi relative à la protection contre les rayonnements non ionisants (Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung NiSG) est entrée en vigueur en août 2009. Il est désormais interdit aux opérateurs de solariums de permettre aux mineurs l'utilisation des bancs solaires. Basé sur cette loi, le „règlement relatif à la protection contre les effets néfastes de rayonnements ultraviolets artificiels“ (UVSV) a été publié le 25 Juillet 2011 au Journal officiel de la République fédérale d'Allemagne (No. 37 du 25.07.2011, p1412) et est entré en vigueur le 1 Janvier 2012. Reposant sur les critères de la procédure de certification volontaire cheminés par le BfS règle entre autres des standards relatifs aux équipements, l'opération de solariums ainsi que la qualification professionnelle et les tâches du personnel spécialisé de solarium.

TEIL A ALLGEMEINE ANGABEN

(Stand 31.12.2011)

(GENERAL INFORMATION)

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

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.

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.

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.

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

Ebenso wurde 1995 im Auftrag des BMU zwischen den Bundes- und Landesbehörden ein Intensivmessprogramm abgestimmt, das im Falle erhöhter Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt an die Stelle des Routinemessprogramms tritt. 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 Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umwelt (AVV-IMIS) vom 13. Dezember 2006.

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

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

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

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

In den neuen Bundesländern wurde gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radonzerfallsprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. Die Art der Überwachung änderte sich durch das Inkrafttreten der Novelle der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714 (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 1 VO zur Änderung strahlenschutzrechtlicher VO vom 04.10.2011 (BGBl. I S. 2000) nur unwesentlich.

Tabelle 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

Weitere gesetzliche Grundlagen, die für die in diesem Bericht vorgestellten Daten relevant sind, können dem Anhang, Abschnitt 5 entnommen werden.

1. Natürliche Umweltradioaktivität
(*Natural environmental radioactivity*)

1.1 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 0,0118 % 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.

Die Abbildung 1.1-1 zeigt die Entstehung des Rn-222 und seiner Zerfallsprodukte in der bodennahen Luft.

1.2 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 kieselssäurereichen 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 Nuklide. Das radioaktive Gleichgewicht in den Böden kann durch verschiedene Prozesse, z. B. durch unterschiedliche Löslichkeit der Radionuklide gestört werden. Die Tabelle 1.2-1 zeigt typische Werte der spezifischen Aktivität in Becquerel pro Kilogramm Trockenmasse (Bq/kg TM) für einige Bodenarten (Messungen des BfS).

Tabelle 1.2-1 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 1.2-2 sind Ergebnisse von Messungen der spezifischen Aktivität von Bodenproben aus den Regionen des Uran- und Kupferschieferbergbaus in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt Messergebnissen aus dem norddeutschen Raum und anderen Gebieten Deutschlands gegenübergestellt. Auf Grund des Urangehaltes in den Gesteinen sind in den Böden der genannten Bergbauregionen die mittleren Werte der spezifischen Aktivität höher als in anderen Regionen. So beträgt die mittlere spezifische Ra-226-Aktivität in den Böden im Bergbauggebiet etwa 70 Bq/kg, während als mittlerer Wert für das gesamte Bundesgebiet 40 Bq/kg ermittelt worden sind.

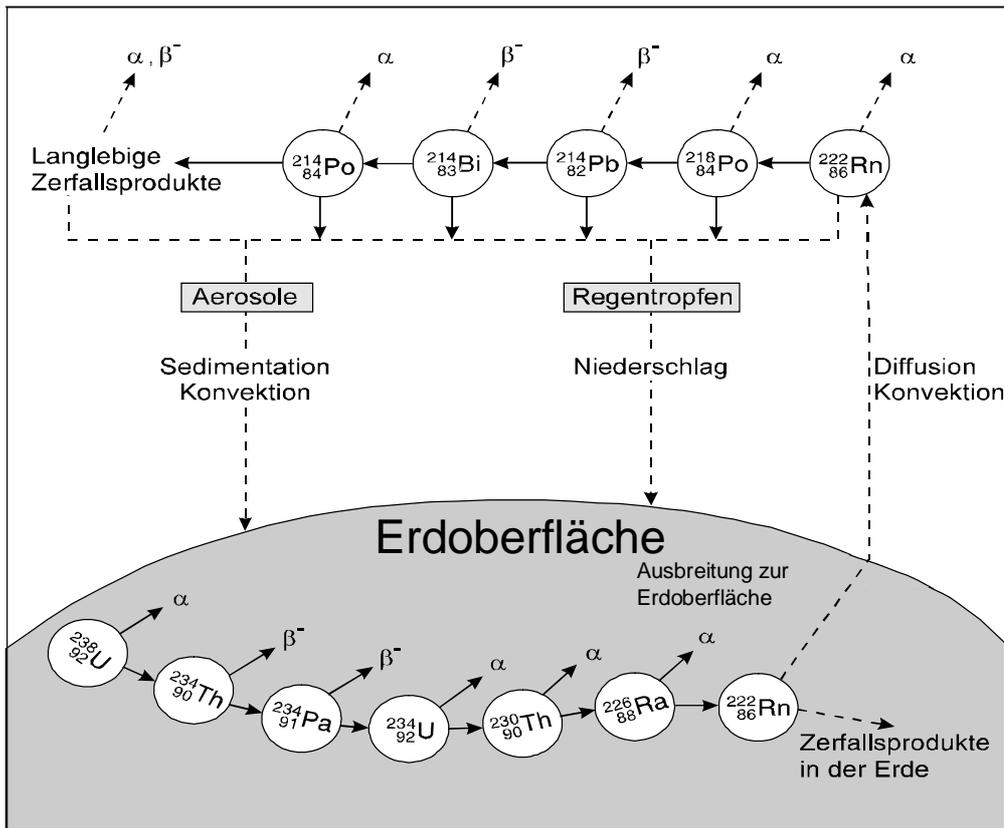


Abbildung 1.1-1 Entstehung des Rn-222 und seiner Zerfallsprodukte aus U-238
(Production of Rn-222 and its decay products from U-238)

Tabelle 1.2-2 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	

* Einzelwerte bis 300 Bq/kg

† Einzelwerte bis 400 Bq/kg

1.3 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 1.3-1 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 1.3-1).

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 Entstehung in der Atmosphäre und der Art des Eintrages in die Gewässer.

Tabelle 1.3-2 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 zugrundeliegenden 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 1.3-1 Natürliche radioaktive Stoffe in Gewässern 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]	

Kompartiment	Radionuklid	Wertebereich
		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

Tabelle 1.3-2 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

* 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.

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 1.3-1 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.

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 J P, Tongudai M; Caesium and Rubidium in Sea Water, Chem Geol 1966,1:291-294
- [3] Owens S A, Buesseler K O and Sims K W W; Re-evaluating the 238U-salinity relationship in seawater; Implications for the 238U-234Th disequilibrium method, Marine Chemistry 2011, 127:31-39
- [4] Yu-Te Hsieh, Gideon M. Henderson, Alexander L. Thomas; Combining seawater 232Th and 230Th concentrations to determine dust fluxes to the surface ocean, Earth and Planetary Science Letters (2011); 312:280–290

- [5] Gans I, Fusban, HU, Wollenhaupt H, Kiefer J, Glöbel B, Berlich J, Porstendörfers J (1987): Radium 226 und andere natürliche Radionuklide im Trinkwasser und in Getränken in der Bundesrepublik Deutschland, WaBoLu-Hefte 4/1987, Bundesgesundheitsamt, ISSN 0175-4211, ISBN 3-89254-020-9, Berlin, 1987
- [6] Bünger T, Rühle H: Natürlich radioaktive Stoffe im Trinkwasser ausgewählter Gebiete in Sachsen und Thüringen, in: Winter M, Wicke A (Hrsg.): Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkungen, 25. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz, Binz/Rügen 28. - 30. September 1993, Tagungsband I, S. 85-92, Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1993
- [7] Bünger T: Der Gehalt natürlicher Radionuklide (Uran, Radium, Thorium u. a.) im Trinkwasser. In: Aurand K, Rühle H (Hrsg.): Radon in Trinkwasser. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Band 101, S.125, Eigenverlag WaBoLu, Berlin, 1997
- [8] Rühle H, Bünger T, Viertel H: Flächendeckende Untersuchungen über den Radongehalt des Trinkwassers in der Bundesrepublik Deutschland, in: BFS-Jahresbericht 1998, ISSN 0940-7650, Salzgitter, 1999

1.4 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 1.1) 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 HWZ 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 II, 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 Kapitel I, Teil 2.1 näher eingegangen.

Einen Überblick über die Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen, die für die Strahlenexposition von Bedeutung sind, gibt die Tabelle 1.4-1. 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 1.4-1 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

1.5 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 das 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 1.5-1 gibt einen Überblick über die Mittelwerte und die Wertebereiche in Deutschland gemessener Gehalte natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmittelgruppen.

Tabelle 1.5-1 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln (Median-Werte)
(*Specific activity of natural radioactive substances in foodstuffs-median values*)

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

Die spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung des Menschen (feste und flüssige Form), die in der gemischten Kost unterschiedlicher Gemeinschaftseinrichtungen über einen längeren Zeitraum bestimmt wurde, zeigt Tabelle 1.5-2. Die durchschnittliche jährliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung kann aus diesen repräsentativen Daten abgeschätzt werden.

Tabelle 1.5-2 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
Ra-226	0,021	0,006 - 0,042
Pb-210	0,029	0,010 - 0,115
Th-232	0,001	0,001 - 0,004
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. Die Tabelle 1.5-3 gibt einen Überblick über die mittlere Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe im Menschen.

Tabelle 1.5-3 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

1.6 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) Photonenäquivalenzdosis (entspricht 0,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a) mittlere effektive Dosis in Deutschland) bestimmt. 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 den Südregionen der neuen Bundesländer, 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 etwa 0,9 mSv und im Freien etwa 0,2 mSv. Allerdings muss auf den großen Variationsbereich der Radonkonzentrationen verwiesen werden.

Die effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur 5 μ Sv/a und wird vor allem durch Pb-210 verursacht. Für die Exposition durch Rn-222 wird im UNSCEAR Report 2000 eine jährliche effektive Dosis von 0,1 mSv angegeben [1].

Die innere Strahlenexposition durch Kalium-40 wird durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt, da 0,0118 % 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 1.5-3). Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv. Eine entsprechende Berechnung für Kinder ergibt 0,185 mSv pro Jahr. Dieser Wert ist nicht beeinflussbar, da er durch die biologischen und chemischen Prozesse sowie die natürliche relative Häufigkeit von K-40 bedingt ist.

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen liegen die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln in einem großen Wertebereich. Für die Radionuklidzufuhr ergibt sich deshalb auch ein großer Bereich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit Nahrung und Trinkwasser ein altersgewichteter Mittelwert für die jährliche effektive Dosis von 0,3 mSv ergibt.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe ergibt sich im Mittel ein Wert von etwa 1,4 mSv pro Jahr. Für die Summe aus äußerer und innerer Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide erhält man einen mittleren Wert von ca. 1,8 mSv pro Jahr. Die externe kosmische Strahlung trägt zusätzlich mit 0,3 mSv pro Jahr zur Gesamt-Strahlenexposition bei. Bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten in Deutschland ergibt sich unter Verwendung der in den EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren für eine Person der Bevölkerung rechnerisch eine jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. In Anbetracht der Variationsbereiche der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch Radon und den nach der Direktive 96/29 EURATOM zu betrachtenden sechs Altersgruppen ergibt sich für die durchschnittlichen Verhältnisse eine effektive Dosis im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR Report von 2008 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ein vergleichbarer Zahlenwert von 2,4 mSv angegeben. Die sich nach dem UNSCEAR Report für die einzelnen Komponenten ergebenden Anteile an der Gesamtexposition sind in der Abbildung 1.6-1 graphisch dargestellt [1,2].

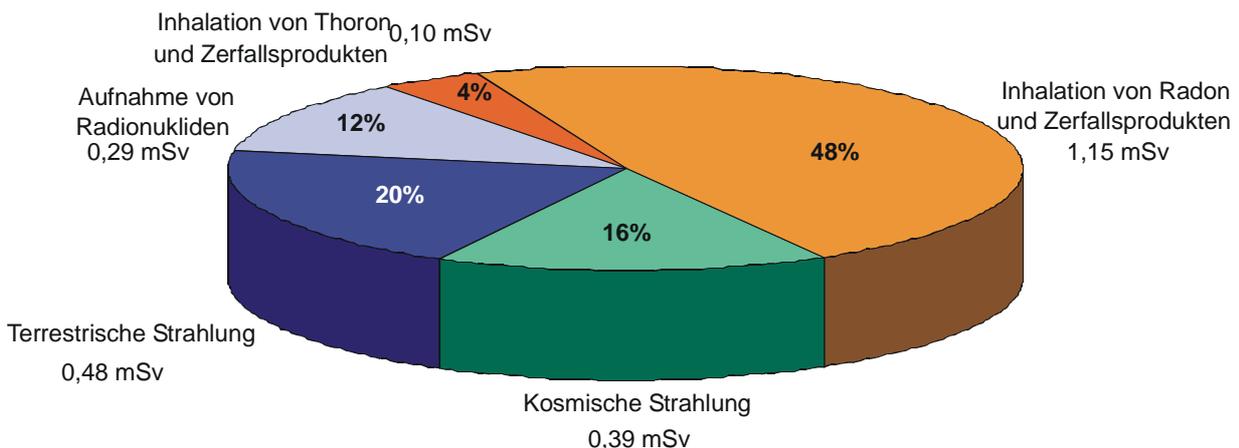


Abbildung 1.6-1 Mittlere jährliche effektive Dosis der Bevölkerung der nördlichen Hemisphäre durch natürliche Strahlenquellen (UNSCEAR)
(Mean annual effective dose of the population from natural radiation sources in the northern hemisphere - UNSCEAR)

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 Bundesregierung 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 (Thüringen) sowie Crossen (Sachsen)).

Die untertägigen Verwahrungs- und Sanierungsarbeiten sind bereits weitgehend abgeschlossen. Derzeit wird die Flutung der Grubenfelder in Schlema / Alberoda im ostsächsischen Bergbauggebiet bei Königstein und im aufgefüllten ehemaligen Tagebau um Ronneburg in Anpassung an die witterungsbedingten Einflüsse fortgesetzt. 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 Fortluft¹ 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 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).

¹ Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint

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.

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.

Zu den möglichen Mengen solcher Rückstände gibt es zurzeit nur eine grobe Schätzung des BfS, die auf industriege-schichtlichen 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. Die folgende Tabelle 2.2-1 gibt einen Überblick über die Industriebereiche und die jeweils abgeschätzte Menge der deponierten Rückstände.

Tabelle 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 Roh- phosphat zur Herstellung von Phosphorsäure und Düngemitteln	-	-	-	-	4 – 25 Mio. m ³
Roheisenmetallurgie ein- schließlich Rauchgasreini- gung	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 Stein- kohle	-	-	-	2 – 20 Mio. m ³	-
Aufbereitung von Grund- wasser zu Trinkwasser (Eisen- und Manganfäl- lung)	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

Aktuelle Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

Im Bergbau und bei industriellen Prozessen, die mineralische Rohstoffe oder Kohle 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 und Aschen 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 erstmals 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 Millisievert pro Jahr (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 diese Regelungen.

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 in den letzten Jahren Schätzungen der jährlich in der Bundesrepublik Deutschland zu erwartenden Rückstandsmengen durchgeführt. Tabelle 2.1-2 gibt hierzu eine Übersicht.

Tabelle 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	600.000
Rückstände aus der Tantal-Produktion	unbekannt
Pyrochloreschlacken	30
Sinterstäube aus der Roheisenmetallurgie	5000
Hochofenschlämme aus der Roheisenmetallurgie	30.000
Stäube aus der Nichteisen-Primärmetallurgie	30.000
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 Ergas bzw. Erdöl mitgeführte Radioaktivität aufnehmen. Die Rückstände werden - ggf. nach Gewinnung noch enthaltener Wertstoffe (z. B. Quecksilber) - 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 (Ra-226, Ra-228), in Ausnahmefällen sogar um 1.000 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 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.

Zum Beispiel wurden in den vergangenen Jahren im Bereich des Schrottrecyclings Metallteile aufgefunden, die Ablagerungen natürlicher Radionuklide aus der Erdgas- und Erdölverarbeitung aufwiesen. Diese Rückstände, die überwiegend ausländischen Schrottlieferern zuzuordnen waren, wurden sichergestellt und sachgerecht beseitigt bzw. ins Ausland zurückgeführt.

Rückstände der Erdgas- und Erdölindustrie sind in der Bundesrepublik Deutschland insbesondere in Schleswig-Holstein (Betrieb einer Nordsee-Ölplattform; kesselsteinartige, feste Ablagerungen in den Förderrohren sowie Schlämme infolge der Trennung von Öl und Wasser) und in Niedersachsen (Nutzung von Erdgasvorkommen; Ablagerungen in den Förderrohren) von Bedeutung. Zudem findet im Freistaat Sachsen und in Nordrhein-Westfalen eine kommerzielle Gewinnung von Quecksilber aus solchen Rückständen statt.

Literatur

- [1] Ettenhuber E, Gehrcke K, 2001: „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 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.

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 Mehrzahl der Messwerte unter diesem Wert 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. 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 bergmännischen Auffahrungen und Rissbildungen im Deckgebirge das Radonangebot aus dem Untergrund erhöht werden. Wenn an der Bausubstanz Undichtigkeiten infolge von Senkungen des Baugrundes entstehen, muss zusätzlich noch mit einem höheren Radoneintritt in die betroffenen Gebäude 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 Baumaterialien 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.

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 Baumaterialien 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 Baumaterialien 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 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 Magmageschiebe vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Von den natürlichen Radionukliden in Baumaterialien 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 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes 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) [1] 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 [2] 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 [3] 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 2.3-1 Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten
(Specific activity of natural radionuclides in building materials and industrial products)

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
spezifische Aktivität (Bq/kg TM)						
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Granit	100	(30 - 500)	120	(17 - 311)	1000	(600 - 4000)
Granodiorit	56	(40 - 73)	44	(37 - 104)	850	(380 - 990)
Syenit	30		31		670	
Dolerit	20	(10 - 29)	30	(8 - 44)	290	(22 - 380)
Gneis	75	(50 - 157)	43	(22 - 50)	900	(830 - 1500)
Diabas	16	(10 - 25)	8	(4 - 12)	170	(100 - 210)
Basalt	26	(6 - 36)	29	(9 - 37)	270	(190 - 380)
Granulit	10	(4 - 16)	6	(2 - 11)	360	(9 - 730)
Grauwacke	41	(26 - 51)	35	(13 - 46)	760	(700 - 780)
Phonolit	56		104		1270	
Amphibolit	8		9	(8 - 9)	260	(180 - 310)
Serpentinit	3		7		180	
Quarzporphyr	54	(15 - 86)	77	(53 - 98)	1300	(1000 - 2100)
Porphyrtuff	47	(44 - 52)	206	(130 - 240)	720	(22 - 1700)
Orthophyr	17		22		1300	
Lamprophyr	17	(6 - 30)	12	(7 - 21)	270	(130 - 330)
Augitporphyr	55	(46 - 61)	67	(57 - 79)	1100	(1000 - 1300)
Hornblendeschiefer	13		14		380	
Frucht-/Phycodenschiefer	38	(34 - 45)	59	(56 - 73)	780	(760 - 930)

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226 Mittelwert (Bereich)		Th-232 Mittelwert (Bereich)		K-40 Mittelwert (Bereich)	
	spezifische Aktivität (Bq/kg TM)					
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)	1.000	(500 - 2000)
Ton, Lehm	40	(<20 - 90)	60	(18 - 200)	1.000	(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)
Frischschlacke	19	(17 - 23)	6	(5 - 8)	20	(10 - 34)
Thomasschlacke (Belgien)	19		-		-	

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226 Mittelwert (Bereich)		Th-232 Mittelwert (Bereich)		K-40 Mittelwert (Bereich)	
	spezifische Aktivität (Bq/kg TM)					
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		3.900		-	
Monazitsand (Indien, Sri Lanka)	600	(30 - 1000)	2.000	(50 - 300)	40	(< 40 - 70)
Monazitkonzentrat (Mosambique)	36 000		84.000		-	
Silberkonzentrat (Erzgebirge)	140		150		5200	
Blähton und Blähschiefer	40	(< 20 - 70)	70	(30 - 90)	600	(70 - 800)
Hüttenbims	170	(110 - 230)	43	(24 - 62)	190	(180 - 190)
Porensinter	37		51		690	
Düngemittel (nicht spezifiziert)	400	(< 20 - 1000)	20	(< 20 - 30)	4000	(< 40 - 8000)
Superphosphate						
(Deutschland)	375	(230 - 520)	30	(15 - 44)	96	(52 - 140)
(USA)	785	(780 - 790)	34	(20 - 48)	-	
(GUS)	110		44		120	
(Belgien)	910		< 25		< 180	
PK-Dünger (Deutschland)	370		15		5900	
PN-Dünger						
(Deutschland)	310		30		41	
(GUS)	460	(100 - 820)	29	(10 - 48)	-	
(USA)	115	(20 - 210)	39	(15 - 63)	-	
NPK-Dünger (Deutschland)	270		15		5200	

Baustoffe und sonstige Materialien	Ra-226 Mittelwert (Bereich)		Th-232 Mittelwert (Bereich)		K-40 Mittelwert (Bereich)	
	spezifische Aktivität (Bq/kg TM)					
(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] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - **StrISchV**) 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).
- [2] Verordnung zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten, Verordnung (EU) Nr 305/2011 vom 03. März 2011
- [3] 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 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)



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 1.1-1 und Abbildung 1.1-1 geben einen Überblick aller bekannt gewordenen Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2011.

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

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 Probenahmezeitraum 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 von der CTBTO zertifiziert und ist seitdem offizieller Bestandteil des IMS. Das Edelgasmesssystem SPALAX wurde im Rahmen eines von der CTBTO organisierten internationalen Tests von automatischen Edelgasmesssystemen installiert und befindet sich seitdem im Testbetrieb.

Am Morgen des 25.05.2009 um 02:54 Uhr MESZ hat Nordkorea - nach eigenen Angaben - einen unterirdischen Atomtest erfolgreich durchgeführt, nachdem es im April angekündigt hatte, seine Bemühungen um eine atomare Bewaffnung wieder aufzunehmen. Der Test wurde mit den seismischen Stationen des IMS registriert. Die aus den seismischen Signalen berechnete Stärke beträgt 9-18 kt TNT Äquivalent. Im Gegensatz zu dem Test am 09.10.2006, mit einer geschätzten Sprengkraft von etwas weniger als 1 kt TNT-Äquivalent, konnten von diesem Test keine Radionuklide in der Atmosphäre nachgewiesen werden. Bei dem Test im Jahre 2006 wiesen u. a. Messungen von Xe-133 an einer Radionuklidstation in Yellowknife (Kanada) darauf hin, dass das registrierte Ereignis tatsächlich ein Kernwaffentest war.

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 1.1-1 Anzahl der Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2011 b)
(Number of nuclear weapons tests in the years 1945 - 2011) b)

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in												
	USA		Russland ^{a)}		Großbritannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan	Nordkorea
	c)	d)	c)	d)	c)	d)	c)	d)	c)	d)	d)	d)	d)
1945	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in												
	USA		Russland ^{a)}		Großbritannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan	Nordkorea
	c)	d)	c)	d)	c)	d)	c)	d)	c)	d)	d)	d)	d)
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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	-	-	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
1961	-	10	58	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-
1962	40	57	78	1	-	2	-	1	-	-	-	-	-
1963	-	45	-	0	-	-	-	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	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in												
	USA		Russland ^{a)}		Großbritannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan	Nordkorea
	c)	d)	c)	d)	c)	d)	c)	d)	c)	d)	d)	d)	d)
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	-
1999-2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	197	908	219	750	21	24	45	160	22	22	6	6	2

a) vor 1991 werden die Werte aus der ehemaligen UdssR aufgeführt

b) Die Zahl der Kernwaffenversuche kann bei Verwendung unterschiedlicher Informationsquellen differieren

c) in der Atmosphäre

d) unterirdisch

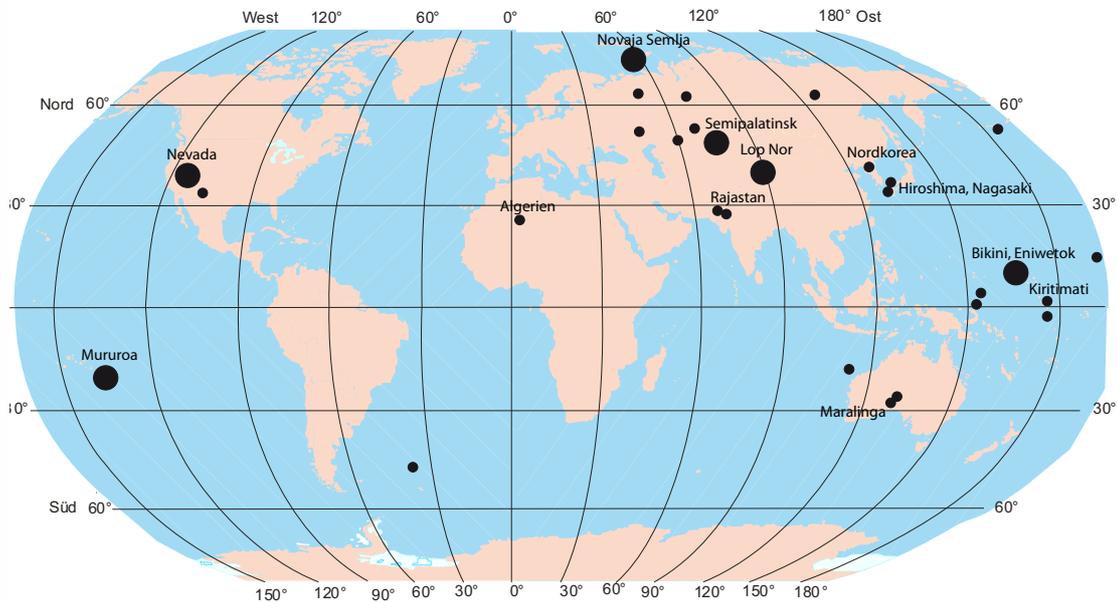


Abbildung 1.1-1 Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (verändert nach UNSCEAR)
(Locations of nuclear explosions to date - modified according to data of UNSCEAR)

1.2 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall

(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 $2 \mu\text{Sv}$ 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 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 radioaktiver Nuklide verursachte effektive Dosis (siehe Teil A - I - 1) 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 μSv liegt. Diese Strahlenexposition wird zu mehr als 90 % durch die Bodenstrahlung von abgelagertem Cs-137 verursacht und wird entsprechend der Halbwertszeit dieses Radionuklids von ca. 30 Jahren in den folgenden Jahren um etwa 2,3% pro Jahr zurückgehen. Im Vergleich zur mittleren effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von 2100 μSv pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl in Deutschland sehr gering (siehe Tabelle Seite 11).

Tabelle 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

Literatur

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

1.3 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 -1.3 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 sicherheitstech-



nischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) 1503.1 (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 -2.1.5 und 2.2.4 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 Probenahmen 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 Probenahme 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 Probenahmestelle 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 Dosisleistungs-

messungen 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 Probenahme- 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 Probenahme- 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.

Berechnet wird die Nachweisgrenze mit Methoden der Statistik als der kleinste Wert der Messgröße, für den bei Anwendung einer vorgegebenen Entscheidungsregel die Wahrscheinlichkeit dafür, irrtümlich anzunehmen, es läge kein Beitrag des Messpräparates auf das Messergebnis vor, höchstens $\hat{\alpha}$ beträgt (Fehler 2. Art). Dieser kleinste Wert der Messgröße kann somit mit dem gewählten Messverfahren mit einer statistischen Sicherheit von $1-\hat{\alpha}$ nachgewiesen werden [2].

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.

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.bmu.de/42042

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 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/ion/imis).

Zur kontinuierlichen Überwachung der Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) betreibt das BfS ein automatisches Messnetz mit ca. 1800 Messstellen. 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**). Die Station ist Teil des ABI-Messnetzes, welches zum 01.01.2008 vom BfS in die Zuständigkeit des DWD übertragen wurde. 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 48 Messorte. Dort werden nuklidspezifisch messende Gamma-Schrittfilteranlagen zur kontinuierlichen Überwachung der partikelgebundenen Radionuklide und Messgeräte zur Erfassung der Aktivitätskonzentrationen partikelgebundener künstlicher Alpha- und Beta-Strahler sowie Probenahmesysteme für gasförmiges Iod, Aerosolpartikel und Niederschlag betrieben. Zur Bestimmung der nuklidspezifischen Deposition sind 38 Stationen dieses Messnetzes mit stationären Messsystemen zur In-situ-Gamma-Spektrometrie ausgerüstet. 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/ion/imis 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 in der Umweltradioaktivität sind Ziele der Spurenanalyse. Derartige Untersuchungen in der bodennahen Luft und im Niederschlag werden vom BfS, dem DWD, der PTB und dem Helmholtz Zentrum München 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 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 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, Schwebstoffe (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 Einzelnuclidbestimmungen für die Edelgase und die an Schwebstoff gebundenen Radionuklide durchgeführt. Letztere beinhalten neben den gammaspektrometrisch erfassbaren Radionukliden auch die Betastrahler Sr-89 und Sr-90 sowie die Alphastrahler Pu-238, Pu-(239+240), Am-241 sowie Cm-242 und Cm-244.

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

Die aktuellen Messdaten der γ -Ortsdosisleistung sowie die ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind in Teil B - II - 2.1 zusammengestellt. Ebenfalls werden dort die aktuellen Daten bzgl. der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft kerntechnischer Anlagen berichtet.

2.2 Meerwasser und Binnengewässer (*Seawater and inland water*)

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, Tc-99, H-3, Pu-(239+240), Pu-238 und Am-241 untersucht (aktuelle Messergebnisse sind in Teil B - II - 2.2.1 dieses Berichts enthalten). 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 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 Aktivitätskonzentration 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 4.000 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 1.700 m Tiefe in der Norwegensee führt zu keiner erhöhten Belastung dieser Meeresgebiete oder gar der Nordsee.

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

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch den Tschernobyl-Unfall eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegat ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen und den Ein- und Ausstromereignissen durch die Beltsee. Der zeitliche Verlauf schwankt weniger stark im Bereich der Arkonasee, wo der Ein- und Austrom weniger deutlich zum Ausdruck kommt. Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen. Inzwischen nimmt folglich auch in der Ostsee die Cs-137-Aktivitätskonzentration deutlich ab.

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 - 2.2.1).



Binnengewässer

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, Bühnenfelder, Altarme, Stauhaltungen und Uferböschungen darstellen, und können dort zu einer Kontamination des Sediments führen. Sedimente sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium (Senke) für radioaktive und andere Kontaminationen in den Gewässern zu betrachten. Zur Darstellung der langfristigen Kontamination von Gewässern sind Untersuchungen von Sedimenten daher besonders angezeigt. Durch Resuspension oder Remobilisierung von Sedimenten - beispielsweise bei Hochwasserereignissen - ist eine spätere Weiterverfrachtung bereits abgelagerter Radionuklide in andere Gewässerbereiche möglich. Dies kann wiederum über Schwebstoffmessungen verfolgt werden.

Bei den Radionukliden in Binnengewässern handelt es sich zum einen um Radionuklide natürlichen, d. h. kosmogenen und primordialen, 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. In geringem Ausmaß treten weiterhin die Aktivierungsprodukte Co-58 und Co-60 aus kerntechnischen Anlagen sowie das vergleichsweise kurzlebige I-131 aus meist nuklearmedizinischen Anwendungen auf.

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.



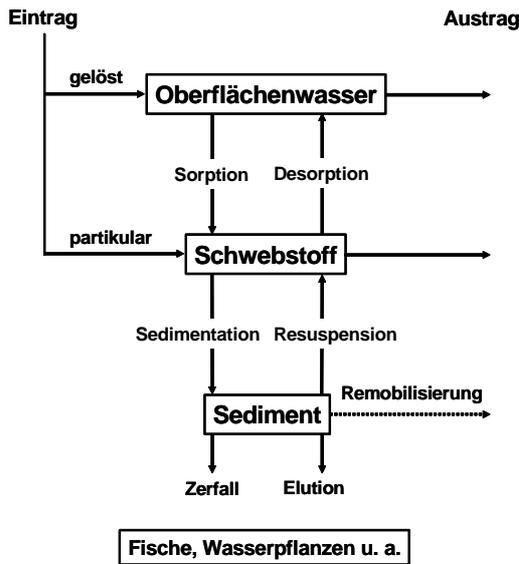


Abbildung 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten
radioaktiver (und anderer) Stoffe in Fließgewässern
(Simplified model to evaluate the exchange and transport behavior of radioactive and other substances in rivers)

2.3 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 Probenahmeprobleme 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 - 2.3.1 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 - 2.3.2 zusammengefasst.

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

In Deutschland werden Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser routinemäßig (Routinemessprogramm nach StrVG) auf radioaktive Stoffe untersucht. Darüberhinaus werden weitere Messungen von Lebensmitteln, Grund- und Trinkwasser in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung (REI) durchgeführt.

Grundwasser und Trinkwasser



Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) und der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung, REI) werden von den amtlichen Messstellen der Bundesländer Radionuklidkonzentrationen bestimmt und dem BfS mitgeteilt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres werden in Teil B II 2.4.1 (RMP) bzw. Teil B - II - 2.4.2 (REI) beispielhaft für die Radionuklide K-40, Co-60, Cs-137 und H-3 sowie für die Summenparameter Gesamt-Alpha und Gesamt-Beta dargestellt.

Die Überwachung von Grundwasser wird im Rahmen des RMP an ca. 60 Probenahmestellen (Wasserwerke und Notbrunnen) und im Rahmen der REI an ca. 150 Probenahmeorten vorgenommen. Untersucht werden im Rahmen der REI vorrangig Grundwässer aus Notbrunnen oder Grundwassermessstellen, die in der Regel nicht für die Trinkwassergewinnung herangezogen werden. Die Auswahl der Probenahmeorte 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 sind Karst- und Kluftgrundwässer einschließlich Stollenwasser, mit aufbereitetem oder nicht aufbereitetem Oberflächenwasser angereichertes Grundwasser und Porengrundwasser. Im Rahmen des Routinemessprogramms werden aus ca. 11 verschiedenen Wasserwerken Trinkwässer untersucht, die durch Aufbereitung ungeschützter und geschützter Rohwässer von jeweils ca. 40 Probenahmeorten entstehen oder als nicht aufbereitete Trinkwässer abgegeben werden. Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) werden zusätzlich jeweils an ca. 20 Probenahmeorten Rein- und Rohwasserproben analysiert.

Die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden ist in Grund- und Trinkwasser wesentlich niedriger als in pflanzlichen Nahrungsmitteln und im Boden. Die Radionuklidkonzentrationen der beiden Gammastrahlung emittierenden Nuklide Co-60 und Cs-137 liegen bei Grund- und Trinkwasser sehr häufig unterhalb der durch das gammasspektrometrische Messverfahren bedingten Nachweisgrenze von ca. 0,003 Bq/l. Andererseits können die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide K-40, Sr-90 und H-3 mit hohem radioanalytischen Aufwand bestimmt werden.

Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer

Radioaktive Stoffe in der aquatischen Umwelt werden, vergleichbar mit terrestrischen Ökosystemen, entlang von Nahrungsketten, also z. B. aus dem Wasser über Pflanzen und Plankton in den Fisch, angereichert. Die Quellen für künstliche Radionuklide in Fisch sind dabei dieselben wie für Meerwasser und Binnengewässer (Teil - A - II - Kapitel 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 die Folge des geringen Wasseraustauschs und den dadurch höheren Aktivitätskonzentrationen im Wasser (Tabelle 2.4-1). Aus dem Vergleich der Medianwerte der Zeiträume 1994-2001 und 2002-2010 ist zudem ablesbar, 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 2.4-1). Detaillierte Angaben sind im Bericht „Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 2004 und 2005“ [1] zu finden.

Unter dem Aspekt der Lebensmittelüberwachung werden im Rahmen des Routinemessprogramms (RMP) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) von den Messstellen der Bundesländer spezifische Aktivitäten in Fischen, Krustentieren und Schalentieren aus den Bereichen der Binnengewässer, Meere sowie in entsprechender importierter Ware ermittelt. Zur Bewertung der großräumigen Verteilung von Radionukliden in den europäischen Meeren werden durch die Leitstelle im Nordatlantik und seinen Randmeeren, insbesondere der Nord- und Ostsee, zusätzlich jährlich mindestens zwei Beprobungskampagnen durchgeführt. Im Normalbetrieb werden die Fischproben nach Veraschung auf die gammasspektrometrisch detektierbaren Radionuklide Cs-137 und Cs-134, sowie nach radiochemischer Aufbereitung der Asche auf Sr-90 untersucht.

In der Leitstelle werden die Proben aus Nord- und Ostsee zusätzlich auf Befunde von Pu-(239+240), Pu-238 und Am-241 analysiert. Die Ergebnisse des Messprogrammes sind in Teil B - II - Kapitel 2.4.5 zusammengestellt und bewertet.

Teil B

Tabelle 2.4-1 Cs-137 Aktivitätskonzentration in Fischen unterschiedlicher Lebensräume von 1994 bis 2010 gemessen im Routinemessprogramm
(Activity concentrations of Cs-137 in fish of different habitats analysed in the routine monitoring programme between 1994 and 2010)

Gewässer	Region	Median der spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM		
		1994-2010	1994-2001	2002-2010
Binnenseen	Süddeutschland	3,31	6,94	1,26
	Mitteldeutschland	0,16	0,26	0,12
	Norddeutschland	3,32	5,30	2,43
Fischteiche	Süddeutschland	0,19	0,26	0,17
	Mitteldeutschland	0,20	0,36	0,16
	Norddeutschland	0,53	0,69	0,47
Fließgewässer	Süddeutschland	0,25	0,29	0,23
	Mitteldeutschland	0,19	0,27	0,13
	Norddeutschland	0,53	0,69	0,47
Meer	Nordsee	0,35	0,46	0,26
	Ostsee	5,45	6,93	4,50

Für die Umgebungsüberwachung kerntechnischer und klinischer Anlagen (nach REI) dienen hauptsächlich Wasserpflanzen als Indikatoren für im Fließgewässer vorhandene künstliche Radionuklide, die aus Ableitungen kerntechnischer und klinischer Anlagen stammen. 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 - Kapitel 2.4.6 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, Wildspesepilze, 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 - 2.4.7.

Messwerte von Aktivitätskonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln in der Umgebung kerntechnischer Anlagen sind in Teil B - II - 2.4.8 dargestellt.

Literatur

- [1] 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>

2.5 Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe (*Consumer goods, pharmaceutical products and their source 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 Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel dienen. Der Schwerpunkt der Überwachung liegt bei gammastrahlenden Radionukliden, insbesondere Cs-137. Die untersuchten Ausgangsstoffe für Arzneimittel pflanzlicher Herkunft stammen mehrheitlich aus verschiedenen europäischen Ländern.

Die Jahresmittelwerte der Konzentrationen von Cs-137, K-40 und gegebenenfalls weiterer Radionuklide in den untersuchten Proben werden jährlich tabellarisch zusammengefasst (siehe Teil B - II - 2.5). Die gemessenen Aktivitäten des Radionuklids Cs-137 weisen je nach Art und lokalen Gegebenheiten, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaugebieten, erhebliche Variabilitäten auf. Hohe spezifische Aktivitäten werden etwa in Islandmoos aus den vom Tschernobyl-Fallout betroffenen Gebieten Europas gemessen. In der Regel werden in den gammaspektrometrisch untersuchten Pflanzenproben außer Cs-137 keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen, d. h. die Messwerte liegen unterhalb der Erkennungsgrenze.

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

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

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

2.6 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 Be-

reich 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 - 2.6 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

2.7 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 Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Abfälle (und Reststoffe) sind daher stets im Zusammenhang zu betrachten, weil nahezu alle Abfälle wieder verwertbare Reststoffe enthalten.

In der Überwachung der Umweltradioaktivität durch die amtlichen Messstellen der Länder nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (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. 2.6 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 - 2.7 dokumentiert.

2.8 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 - 2.8 zusammengefasst.

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION *(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://doris.bfs.de>).

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 Uranerzfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Dazu werden Messungen mit personenge tragenen 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 STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN *(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“). Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte medizinische Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist weiterhin in jedem Fall 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.

Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patienten hat die Europäische Union in der Richtlinie 97/43/EURATOM die Mitgliedsstaaten 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.



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 Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium 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 und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehören auch die Angiographie (d. h. die Darstellung von Gefäßen nach Gabe eines Röntgenkontrastmittels) und die interventionelle Radiologie. Letztere ist ein Verfahren, bei dem 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. So genannte Mehrschicht-Computertomographen (MS-CT) erfassen gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit weiter verkürzt wird. Dies ist für den Patienten weniger belastend und es erlaubt zusätzlich, auch funktionelle Fragestellungen zu beantworten. Die mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene CT hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit keinem anderen Röntgenverfahren erreicht wird. Auf Grund der vergleichsweise hohen Strahlendosis 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 1.1-1 (Teil B - IV - 1.1) 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 den Kostenträgern, hauptsächlich vertreten durch die Kassenärztliche und Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (KBV, KZBV) und durch den Verband der privaten Krankenversicherung (PKV), zur Verfügung gestellt. Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer eingespielt. Häufigkeiten und kollektive Dosen von Röntgenuntersuchungen, die durch Unfallversicherungsträger abgerechnet oder im Auftrag der Bundeswehr durchgeführt wurden, wurden ebenfalls abgeschätzt und werden bei den in Teil B - IV - 1.1 präsentierten Gesamtzahlen zur Häufigkeit und effektiven Dosis berücksichtigt.

Für die Datenerfassung ergeben sich die folgenden Problembereiche, die der weiteren Klärung bedürfen:

- Bei stationären Leistungen für gesetzlich Krankenversicherte werden keine Einzelleistungen mit den Kostenträgern abgerechnet, so dass die stationären Röntgen-Leistungen aus den Daten für die ambulanten Leistungen abgeschätzt werden müssen.
In die aktuelle Analyse fließen die Resultate eines vom BMU geförderten Forschungsvorhabens ein (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002). Hochgerechnet entfallen etwa 20 % der insgesamt im Jahre 2002 in Deutschland erbrachten Röntgenleistungen auf die im stationären Bereich durchgeführten Röntgenleistungen.
- Die PKV-Daten umfassen nur eine Stichprobe in der Größenordnung von etwa einem Promille aller in einem Jahr abgerechneten Röntgenleistungen (sowohl für den ambulanten als auch für den stationären Bereich). Hochgerechnet entfallen etwa 15 % der insgesamt in Deutschland erbrachten Röntgenleistungen auf die PKV.

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 offene radioaktive Arzneimittel 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 und ist daher eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Nuklid Technetium-99m ($Tc-99m$) in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

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, eingeführtes Bildgebungsverfahren, 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 diagnostischen, 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 vom BMU geförderten Forschungsvorhabens 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 Radio-pharmaka 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 – steht neben der Endoskopie die Sonographie (Ultraschall) und die Magnetresonanztomographie (MRT) im Vordergrund.

Voraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder. Durch die Einstrahlung von elektromagnetischen Hochfrequenz-Feldern in Kombination mit niederfrequenten Magnetfeldern in der Größenordnung von einigen Millitesla werden Schnittbilder erzeugt, die im Vergleich zur CT einen hohen Weichteilkontrast besitzen. Das Verfahren eignet sich somit hervorragend zur bildlichen Unterscheidung von gesunden bzw. krankhaft veränderten Gewebestrukturen. Durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildgebungstechniken gelang es in den letzten Jahren weiterhin, die anfangs sehr lange Untersuchungsdauer auf wenige Minuten bzw. Sekunden zu reduzieren. Dadurch besteht die Möglichkeit, auch funktionelle Gewebeinformationen zu erhalten, wie z. B. über Angiogenese (Ausbildung neuer Gefäßstrukturen) und Mikrozirkulation. Gegenüber der Positronenemissionstomographie (PET), einem nuklearmedizinischen Schnittbildverfahren, 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 der alternativen Verfahren wurden - analog zu den röntgen- oder nuklearmedizinischen diagnostischen Verfahren - die Daten der KBV sowie der PKV verwendet. Da durch dieses Verfahren nur Untersuchungen in die Abschätzung eingehen können, die tatsächlich abgerechnet wurden, und darüber hinaus sonographische Leistungen häufiger über Pauschalen abgerechnet werden, ist bei Sonographien allerdings nicht auszuschließen, dass die tatsächliche Anzahl unterschätzt wird.

Eine Abschätzung der Häufigkeit alternativer bildgebender Diagnoseverfahren ist in Teil B - IV - 1.4 gegeben.



1.5 Qualitätssicherung (*Quality assurance*)

Mit Inkrafttreten der neuen StrlSchV im Jahr 2001 und der 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 die Feststellung zu treffen ist, dass der gesundheitliche Nutzen der Anwendung gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Der Fachausdruck hierfür ist die „rechtfertigende Indikation“. Die korrekte Feststellung der rechtfertigenden Indikation wird in regelmäßigen Abständen von den Ärztlichen Stellen überprüft. Mittel- und langfristige erwarten BMU und BfS, dass durch diese Maßnahme die Anzahl ungerechtfertigter Röntgenuntersuchungen reduziert werden kann.

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 festgesetzt, 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 in regelmäßigen Abständen von den Ärztlichen Stellen überprüft. Werden die DRW wiederholt und ungerechtfertigt nicht eingehalten bzw. überschritten, so ist es die Aufgabe der Ärztlichen Stellen, zusammen mit dem verantwortlichen Arzt mögliche Fehlerquellen zu identifizieren. Ziel ist es, durch eine persönliche Beratung zu einer Verbesserung der

Untersuchungsqualität zu gelangen. Mittel- und langfristig erwarten BMU und BfS, dass durch die Einführung der DRW die medizinische Strahlenexposition reduziert werden kann.

Durch die Pflicht, Patienten nach früheren radiologischen Untersuchungen zu befragen – wobei der Röntgenpass als Gedächtnisstütze dienen soll – sowie radiologische Bilder an nachbehandelnde Ärzte weiterzugeben, sollen Wiederholungsuntersuchungen vermieden werden. Leider haben sich die Erwartungen an die Einführung eines Röntgenpasses bisher noch nicht erfüllt, da sich die Pflicht, Röntgenpässe aktiv anzubieten, in der Praxis noch nicht ausreichend durchgesetzt hat.

Die Einführung dosisparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material („Seltene-Erden-Folien“), Hochfrequenzgeneratoren, Belichtungsautomatik und gepulster Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei, wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. CT und interventionelle Radiologie 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.

Die digitale Radiographie bringt bei Standardeinstellungen keine Dosisersparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch die mögliche Korrektur von Fehlbelichtungen oder durch die strahlungsfreie Situationskontrolle bei Durchleuchtungen mittels „Last Image Hold“ (d. h., das letzte Durchleuchtungsbild bleibt nach Abschaltung der Röntgenstrahlung auf dem Monitor erhalten). Auch bei der CT zeichnet sich - zumindest bei Standarduntersuchungen - ein Trend zu niedrigeren Dosiswerten ab. Andererseits ermöglichen neue, insbesondere schnellere CT-Untersuchungstechniken (Mehrschicht-Computertomographie) neue Anwendungsarten mit einer diagnostischen Aussagekraft, die bisher nicht zu erzielen war. Jedoch sind diese Anwendungen meist auch mit höheren Dosen verbunden. Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder mittels Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Teleradiologie. Allerdings muss auch in der Teleradiologie weiterhin der Grundsatz gelten, dass sowohl Indikationsstellung als auch Durchführung bzw. Überwachung von Röntgenuntersuchungen Ärzten vorbehalten sind, die die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz besitzen.

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

2. Therapeutische Strahlenanwendungen (*Therapeutic applications of radiation*)

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 IGRT (image guided = bildgeführte Radiotherapie), bei der beispielsweise vor jeder einzelnen strahlentherapeutischen Behandlung CT-ähnliche Kontrollen der korrekten Patientenpositionierung erfolgen können, sowie die IMRT (intensitätsmodulierte Radiotherapie), 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. 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 resultieren-

den 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.

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- 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*)

Eine systematische Arzneimittel- bzw. Heilmethodenforschung ist aus medizinischen, ethischen sowie gesundheitspolitischen Gründen unerlässlich. Ein neu entwickeltes Arzneimittel, Medizinprodukt oder eine neue Heilmethode muss auf dem Weg zur allgemeinen Anwendung eine präklinische und klinische Prüfung durchlaufen. In der klinischen Prüfung wird untersucht, ob ein Arzneimittel zugelassen werden kann, ein Medizinprodukt eine Zertifizierung erhalten kann oder eine Diagnose- oder Therapiemethode allgemein anerkannt wird.

Die Anwendung ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) oder radioaktiver Stoffe am Menschen in der medizinischen Forschung wird in der RöV und StrlSchV geregelt. Diese Verordnungen schützen Probanden, bei denen im Rahmen der medizinischen Forschung ionisierende Strahlung oder radioaktive Stoffe angewendet werden, in besonderer Weise durch eine Genehmigungspflicht.

Diese besteht

- bei der biomedizinischen Forschung mit rein wissenschaftlicher Fragestellung, die nicht der Heilung (Diagnose, Therapie) des Probanden dient sowie
- bei der klinischen, wissenschaftlichen Forschung an Probanden, die eine Abweichung von anerkannten und standardisierten Methoden oder Hilfsmitteln darstellt.

Die Genehmigungspflicht ergibt sich daraus, dass – im Unterschied zu der Krankenversorgung – der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn zur Wirksamkeit bestimmter Mittel oder Methoden im Vordergrund steht.

Genehmigungen zu Anwendungen in der medizinischen Forschung sind beim Bundesamt für Strahlenschutz zu beantragen.

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 Radionuklidquellen 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 UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

(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 5 Absatz 6 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), 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 Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen. 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 und Reaktorsicherheit 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 umschlossener 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 gebracht 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

Aus § 19 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV ergibt sich die Genehmigungspflicht für die grenzüberschreitende Verbringung sonstiger radioaktiver Stoffe und Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 Abs. 3 AtG, deren Aktivität je Versandstück das 10^8 -fache der in dieser Norm festgeschriebenen Freigrenzen beträgt oder überschreitet. 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 Kernbrennstoffe 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 der BAFA. Ferner ist die Einfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe oder Kernbrennstoffe nach § 2 Abs. 3 AtG aus einem Nicht-EU-Staat grundsätzlich anzeigepflichtig, § 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, § 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, § 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, § 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, § 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 beigelegt 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 von der BAFA vorgegebene Formular zu verwenden. Die Anzeige ist bei dem BAFA oder 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 übersandt wird.

Genehmigungsverfahren

Das BAFA prüft die Genehmigungsanträge auf Übereinstimmung mit den Bestimmungen des Atom- und des Außenwirtschaftsrechts 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 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 Ausdrücke mit den wesentlichen Angaben zu allen Ein- und Ausfuhren von radioaktiven Stoffen an die zuständigen Gewerbeaufsichtsämter bzw. an die sonst von den Bundesländern bestimmten atomrechtlichen Aufsichtsbehörden.

Ferner übermittelt das BAFA Angaben über eine erteilte Genehmigung nach § 3 Abs. 1 AtG oder § 19 Abs. 1 S. 1 StrlSchV für die Einfuhr einer hochradioaktiven Strahlenquelle aus einem Staat, der nicht Mitgliedsstaat der EU ist, unverzüglich dem vom BfS zu führenden Register über hochradioaktive Strahlenquellen.

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

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht:

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

Zuständiges Ressort ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; betroffen sind Waren der Kategorien 0 und 1 des Abschnittes C der Ausfuhrliste. 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 (ABI. 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 (ABI. L 346 v. 22. Dezember 2003)

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

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

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, deren Aktivität größer oder gleich den Aktivitätswerten der Anlage 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 (ABI. 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 § 9 a 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 (ABI. 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 mittlerweile 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 Brennelemente. Mit Erlass der Richtlinie 2006/117/EURATOM wird der Anwendungsbereich dahingehend erweitert und zwar unabhängig davon, ob diese Brennelemente für die Wiederaufarbeitung 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 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) 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.

Die Ein- und Ausfuhrstatistiken radioaktiver Stoffe sind in Teil B - V - 1 tabellarisch dargestellt.



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 Kiloelektronvolt.

Die Röntgenverordnung (RöV) gilt gemäß § 1 RöV für Röntgeneinrichtungen und Störstrahler, in denen Röntgenstrahlung mit einer Grenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronvolt erzeugt werden kann und bei denen die Beschleunigung der Elektronen auf eine Energie von 1 Megaelektronvolt begrenzt ist.

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe (*Users 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 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 der Konditionierung dieser Brennelemente für die direkte Endlagerung anfallen werden. Ebenso ist der aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente zurückzunehmende radioaktive Abfall 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 in einer Erhebung durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ermittelt. Teil B - V - 3.2 enthält die zusammengefassten aktuellen Daten für Rohabfälle (unbehandelte Abfälle), Zwischenprodukte (behandelte Abfälle) und konditionierte Abfälle.

3.3 Hochradioaktive Quellen (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 Quellen 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 Ir-192). 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 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen (*Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources*)

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 dazu, die Produkte nach der Nutzung zurückzuführen.

Nach der Strahlenschutzverordnung 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 Umhül-

lung 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 fallen 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 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 Eisen-teilen und besitzt eine sehr hohe spezifische Aktivität, so dass die Strahlenquelle in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden kann. Das am zweithäufigsten verwendete 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.

3.5 Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler (Operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)

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, dass diese Geräte bauartzugelassen sind. 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.

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

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 Berichts zusammengestellt.

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

Einleitung

Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung nichtionisierender Strahlung ausgesetzt. Dies sind vor allem niederfrequente elektrische und magnetische Felder der Energieversorgung und hochfrequente elektromagnetische Felder drahtloser Kommunikationsnetze. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung neuer Technologien regt weiterhin die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien an.

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden niederfrequente elektrische und magnetische (im Frequenzbereich von 0 bis 100 Kilohertz (kHz)) bzw. 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 (Abb. 1.1).

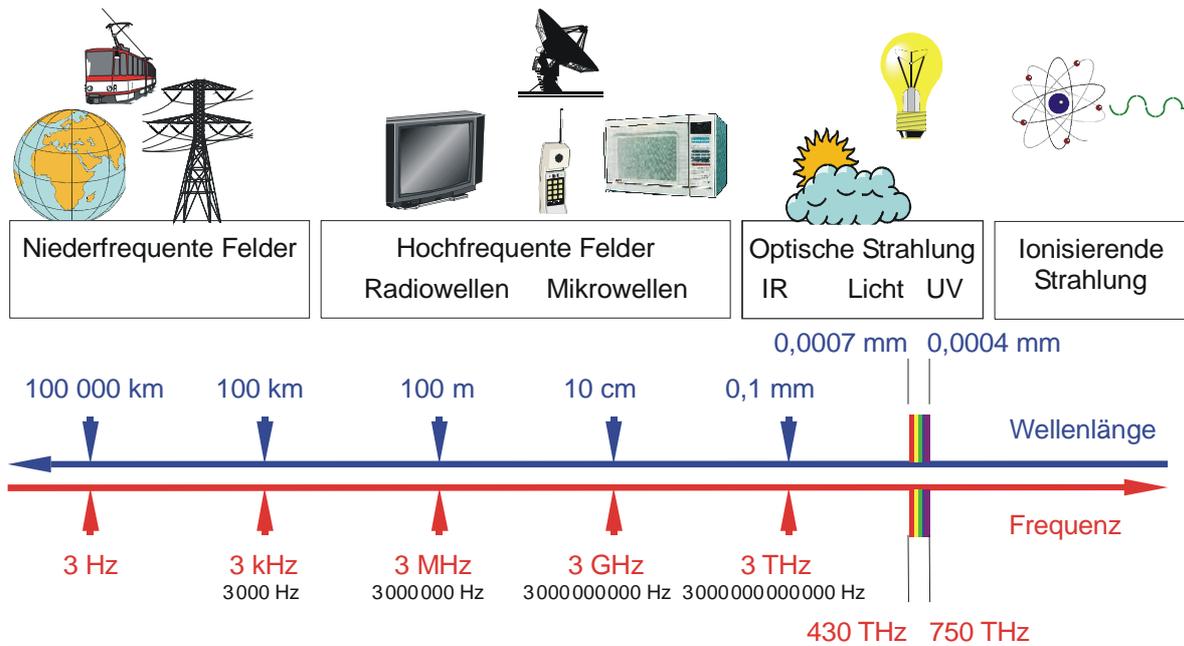


Abbildung 1-1 Das elektromagnetische Spektrum
(The electromagnetic spectrum)

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 äußert sich in Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Im Falle der hochfrequenten Felder kann dies bei Werten über den gesetzlich festgelegten Grenzwerten zu 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.

1. Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung
(Physical characteristics and effects of non-ionising radiation)

1.1 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 lassen den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition durch Magnetflussdichten von bis zu 200 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 Tiere 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. Untersuchungen bei Expositionen mit statischen Magnetfeldern bis 2 T konnten keine schädigenden Wirkungen belegen. Bei darüber hinaus gehenden Flussdichten im Bereich von 2 bis 4 T sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand ebenfalls keine schädlichen Wirkungen zu erwarten, jedoch besteht die Möglichkeit von Befindlichkeitsstörungen bei Bewegungen im Feld. 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.

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

1.2 Niederfrequente Felder (*Low-frequency fields*)

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hertz (Hz) bis 100 kHz. Niederfrequente Felder der Stromversorgung werden derzeit im Zusammenhang mit dem im Rahmen der Energiewende notwendigen Aus- und Umbau des Stromnetzes verstärkt diskutiert. Die elektrische Feldstärke an der Körperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der Körperbehaarung, die einen relativ hohen elektrischen Widerstand hat. Dadurch wird eine Vibration des Haarschafts angeregt, die über die Berührungselektroden in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte 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 ($16\frac{2}{3}$ Hz) entstehen.

In der 26. BImSchV (26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder; gültig seit 1. Januar 1997) sind die Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen geregelt (Tabelle 1.2-1). Sie sind abgeleitet von der Begrenzung der im menschlichen Körper induzierten elektrischen Stromdichte auf 2 mA/m^2 , was der endogenen (natürlichen, körpereigenen) Stromdichte entspricht. Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf $100\ \mu\text{T}$ begrenzt. Bisher gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis für gesundheitsschädigende Effekte auf Grund einer Exposition durch magnetische Wechselfelder unterhalb von $100\ \mu\text{T}$.

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (kV/m)	magnetische Flussdichte (μT)
16 2/3 Hz	10	300
50 Hz	5	100

Tabelle 1.2-1
Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)
(Limit values for fixed low-frequency installations - 26th BImSchV)

In Öffentlichkeit und Wissenschaft wird kontrovers diskutiert, ob niederfrequente Felder bei chronischer 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 Grund dieser Datenlage hat die WHO niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2b) eingestuft (Gruppe 1: krebserregend, Gruppe 2a: wahrscheinlich krebserregend, Gruppe 2 b: möglicherweise krebserregend, Gruppe 3 : nicht klassifizierbar, Gruppe 4: wahrscheinlich nicht krebserregend).

Wenn ein ursächlicher Zusammenhang gegeben wäre, könnten der in Deutschland durchgeführten Studie von Schütz 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, die zur Entstehung der Krankheit beitragen können. Hier ist weitere Forschung zur Aufklärung der Ursachen nötig.

Ebenfalls diskutiert werden mögliche Zusammenhänge mit neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer und amyotrophe Lateralsklerose (ALS, Erkrankung des motorischen Nervensystems, die zu einer fortschreitenden Schädigung der Nervenzellen führt, die für die Muskelbewegungen verantwortlich sind). Es wurden einige epidemiologische Studien veröffentlicht, die auf ein erhöhtes Auftreten von bestimmten neurodegenerativen Erkrankungen bei einer relativ hohen, überwiegend beruflichen Exposition mit niederfrequenten magnetischen Feldern hindeuten. In mehreren, aber nicht in allen vorliegenden Arbeiten wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition und der Alzheimer-Erkrankung sowie amyotropher Lateralsklerose festgestellt. Eine einzige epidemiologische Studie an der allgemeinen Bevölkerung aus der Schweiz, der sehr geringe Fallzahlen zu Grunde liegen, zeigte ein erhöhtes Risiko für die Alzheimer Krankheit bei Personen, die in einer Entfernung von weniger als 50 m zu einer Hochspannungsleitung wohnen. Es ist nicht geklärt, ob es sich bei diesen statistischen Zusammenhängen um einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den niederfrequenten Feldern und dem Auftreten neurodegenerativer Erkrankungen handelt. Die Ergebnisse der epidemiologischen Studien lassen sich bisher nicht durch Laboruntersuchungen bestätigen. Auch ist bislang kein biologischer Wirkmechanismus bekannt, der die Studienergebnisse erklären beziehungsweise wissenschaftlich untermauern könnte.

Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich auf Grund der vorhandenen wissenschaftlichen Unsicherheiten für Vorsorgemaßnahmen ein. Dazu gehören Information der Bevölkerung und die Initiierung und Förderung weiterführender Forschung. Die beste Vorsorge ist es, 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 Belastung führen. Ist das nicht möglich, sollte die Belastung so gering wie möglich gehalten werden.

1.3 Hochfrequente Felder *(High-frequency fields)*

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung für Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen ab einem bestimmten Schwellenwert oberhalb der geltenden Grenzwerte eine Erwärmung (thermischer Effekt). In der Medizin wird dieser Effekt z. B. bei der Kurzwellenerwärmung zu Therapiezwecken genutzt (Hyperthermie).

Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT finden hochfrequente Felder zur Anregung des Kernspin-Systems ihre Anwendung.

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 von Energie im Gewebe auf Grund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche Leistung pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung. International wird eine Begrenzung der Belastung der Bevölkerung auf max.

0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf 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 zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperatúrausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Für die Extremitäten liegt der Teilkörpergrenzwert bei 4 W/kg. Damit werden nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand nachgewiesene gesundheitliche Gefahren ausgeschlossen.

Aus den zulässigen SAR-Werten können die maximal zugelassenen Feldstärkewerte z. B. in der Umgebung von Mobilfunkanlagen abgeleitet werden. Diese sind rechtlich in der 26. BImSchV (Abb. 1.3-1) für gewerblich genutzte Sendeanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt (W) und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz (MHz) bis 300 Gigahertz (GHz; entspricht 300.000 MHz) verankert.

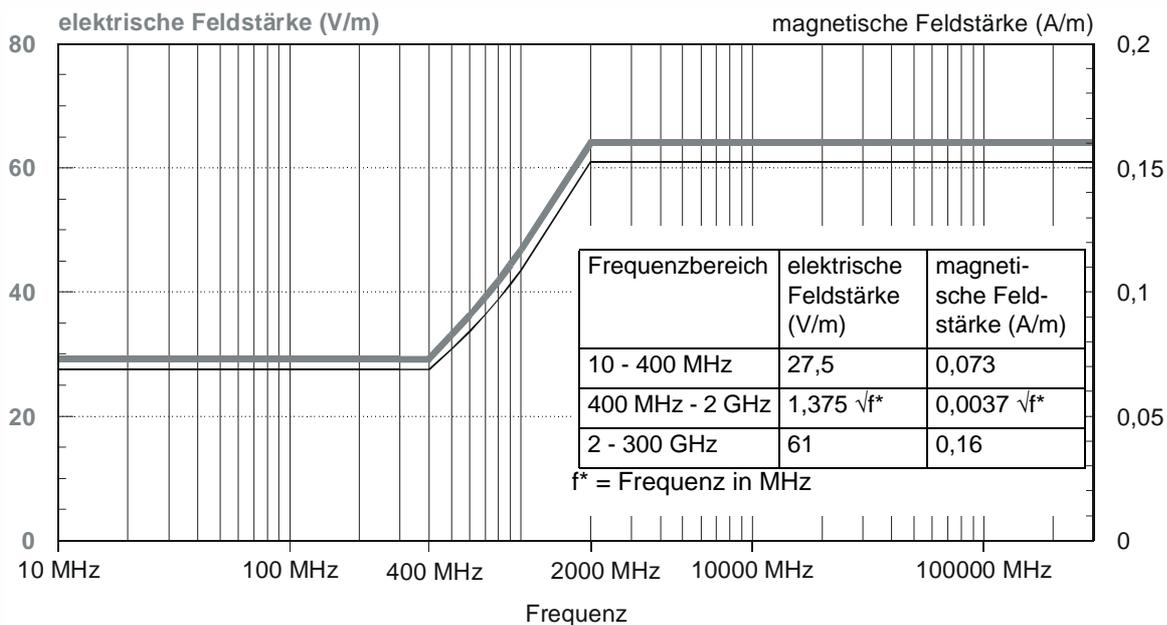


Abbildung 1.3-1 Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen
(Limit values of the 26th BImSchV for fixed high-frequency installations)

Zur Einhaltung dieser Grenzwerte wird in dem Verfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA; www.bundesnetzagentur.de) auf der Grundlage der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) ein vom Anlagenbetreiber einzuhaltender standortbezogener Sicherheitsabstand festgelegt.

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

Während der thermische Effekt 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 in 2008 abgeschlossenen Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms zeigten im Konsens mit dem internationalen wissenschaftlichen Kenntnisstand, dass die Hinweise auf biologische Effekte durch hochfrequente elektromagnetische Felder unterhalb der geltenden Grenzwerte wissenschaftlich nicht bestätigt werden. Offen sind jedoch Fragen zu möglichen Langzeitwirkungen ab Nutzungszeiten über 10 Jahren und ob Kinder empfindlicher und höheren Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder ausgesetzt sind als Erwachsene.

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.

1.4 Optische Strahlung (*Optical radiation*)

Die optische Strahlung gliedert sich in drei Bereiche: die ultraviolette Strahlung (UV), das für den Menschen sichtbare Licht (VIS) und die Infrarotstrahlung (IR). Die ultraviolette (UV-) Strahlung, die den Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm umfasst, ist der energiereichste Teil der optischen Strahlung. Sie grenzt unmittelbar an den Bereich der ionisierenden Strahlung an. Die UV-Strahlung wird in grober Anlehnung an unterschiedliche biologische Wirkungen in die drei Bereiche UV-A (Wellenlänge 400 - 315 nm), UV-B (Wellenlänge 315 - 280 nm) und UV-C (Wellenlänge 280 - 100 nm) unterteilt. Die UV-Strahlung ist für den Menschen nicht sichtbar und kann auch nicht mit anderen Sinnesorganen wahrgenommen werden. An den Bereich des sichtbaren Lichts mit Wellenlängen von 400 nm bis 780 nm schließt die IR-Strahlung mit Wellenlängen zwischen 780 nm und 1 mm an.

UV- und IR-Strahlung haben für Mensch und Natur sowohl positive als auch negative Aspekte. Auf Grund der nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken ist ein vernünftiger und umsichtiger Umgang mit dieser Strahlung notwendig.

1.4.1 UV-Strahlung (*UV-radiation*)

Die wichtigste natürliche UV-Strahlenquelle ist die Sonne. Ihr UV-Anteil am Erdboden variiert in hohem Maße und ist vornehmlich vom Sonnenstand (geographische Breite, Tages- und Jahreszeit), vom Gesamtzongehalt der absorbierenden Luftschicht 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 (UV-C-Strahlung) 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, d. h. zusätzliche sehr energiereiche UV-Strahlung erreicht den Erdboden. 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.

Neben dem positiven Aspekt der durch UV-B-Strahlung angeregten Vitamin-D₃-Synthese kann UV in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Intensität der Strahlung zahlreiche gesundheitliche Wirkungen vor allem im Auge und in der Haut auslösen. Bei übermäßiger UV-Bestrahlung können als akute Schäden Entzündungen im Auge, Sonnenbrände sowie allergische Reaktionen von unterschiedlichem Schweregrad auftreten. Die langfristigen Schäden durch die Bestrahlung mit UV können die Trübung der Augenlinse (Katarakt), vorzeitiges Altern der Haut sowie im schlimmsten Fall diverse Hautkrebsarten (Plattenzellenkarzinom, Basalzellenkarzinom, schwarzer Hautkrebs (malignes Melanom)) sein. Weiterhin existieren wissenschaftliche Hinweise, dass das Immunsystem durch UV-Strahlung geschwächt wird.

Darüber hinaus ist bei einer Erhöhung der erwarteten UV-Strahlung mit Schäden an terrestrischen Ökosystemen zu rechnen. Während sich im Wasser lebende Organismen durch ihre Beweglichkeit und der Mensch durch bewusst angepasstes Verhalten vor den Folgen erhöhter UV-Strahlung schützen können, ist dies für ortsfeste Landpflanzen nicht möglich. Dies erfordert auch Aufmerksamkeit für die Frage nach den möglichen pflanzlichen Reaktionen auf UV-Strahlung, insbesondere bei Nutzpflanzen.

Solares UV-Monitoring

Seit 1993 unterhalten das BfS und das UBA ein UV-Messnetz an 4 Stationen - in Zingst (Ostseeküste), Langen (Rheingraben bei Frankfurt), Schauinsland (Südschwarzwald) und Neuherberg (Stadtrand von München). Zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und weiteren assoziierten Institutionen wurde das Messnetz in den Folgejahren zu einem bundesweiten UV-Messnetz ausgebaut. Assoziierte Institutionen sind die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund (BAuA), die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) mit der Forschungsstation in Westerland/Sylt, der DWD mit dem Observatorium Lindenberg, das Landesamt für Umweltschutz Bayern mit der Messstation in Kulmbach (LfU Bayern) und der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) mit den Messstationen in Hannover und auf der Insel Norderney. Bei der Auswahl der Messstationen wurden insbesondere die in Deutschland vorhandenen Unterschiede hinsichtlich der Breitengrade, der Höhenlagen, des Klimas und der Lufttrübung berücksichtigt.

In München/Neuherberg befindet sich die Messnetzzentrale, die zusätzlich zum UV-Monitoring in einem eigenen UV-Kalibrierlabor die Qualitätssicherung durchführt und die gesundheitliche Bewertung und Speicherung der gesamten Messdaten übernimmt.

Die solare UV-Strahlung wird mit qualitativ hochwertigen Geräten im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm gemessen, d. h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Auf Grund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z. B. an wechselhaft be-

wölkten Tagen ausreichend genau erfasst werden. Die Gesamtglobalstrahlung (UV-IR) wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

Für die tägliche Berichterstattung ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit zur Verfügung (www.bfs.de/uv/uv_messnetz/uvi/messnetz.html). Von April bis September werden darüber hinaus für das nördliche, mittlere und südliche Deutschland 3-Tages-UV-Vorhersagen erstellt und öffentlich zugänglich gemacht (www.bfs.de/uv/uv_messnetz/uvi/prognose.html). Komplette Datensätze werden am Ende eines jeden Tages abgerufen, auf Plausibilität geprüft, strahlenhygienisch bewertet, für die weitere Öffentlichkeitsarbeit aufbereitet und anschließend im Zentralrechner für Langzeitanalysen gespeichert.

Sonnenbrand und Sonnenempfindlichkeit

Die entzündliche Hautrötung eines Sonnenbrandes wird durch fotochemische Prozesse hervorgerufen, die mit der Entstehung von Zellgiften verbunden sind. Auf Grund einer gefäßerweiternden Reaktion erhöht sich die Hautdurchblutung und die Haut schwillt an. Es kommt zu Juckreiz und zur Schmerzempfindung.

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 im hohen Maße von der Bräunungsfähigkeit und der daraus resultierenden Pigmentierung der Haut ab. Weltweit werden sechs Hauttypen unterschieden:

- | | |
|-------------|--|
| Hauttyp I | hat auffallend helle Haut mit Sommersprossen, blaue Augen und rötliche Haare. Im Hochsommer bekommt er während der Mittagszeit bereits nach 5 bis 10 Minuten einen Sonnenbrand; braun wird er niemals. |
| Hauttyp II | hat blonde Haare, graue, blaue oder grüne Augen. Zwar rötet sich seine Haut nach 10 bis 20 Minuten, wenn sie Sonne nicht gewöhnt ist, mit der Zeit wird er aber mäßig braun. |
| Hauttyp III | hat dunkelblonde Haare, graue oder braune Augen. Er kann sich ungebräunt 20 bis 30 Minuten in der Sonne aufhalten, bevor ein Sonnenbrand einsetzt. Nach wiederholten Bestrahlungen wird er fortschreitend braun. |
| Hauttyp IV | bleibt mit seiner hellbraunen Haut weitgehend vom Sonnenbrand verschont. Er hat meist dunkle Haare und braune Augen. Wenn seine Haut nicht sonnengewöhnt ist, rötet sie sich frühestens nach 40 Minuten. |
| Hauttyp V | hat dunkle Haut auch in ungebräuntem Zustand, oft ein grauer Unterton; dunkle Augen; schwarzes Haar; keine Sommersprossen; wird schnell dunkelbraun, kaum Sonnenbrand; kann sich ungebräunt länger als 1 Stunde in der Sonne aufhalten; vorwiegend Ureinwohner Arabiens, Nordafrikas, Indiens; dunkle Asiaten. |
| Hauttyp VI | hat dunkelbraune bis schwarze Haut auch in ungebräuntem Zustand; schwarze Augen; schwarzes Haar; keine Sommersprossen; praktisch nie Sonnenbrand (nach einer sehr langen sonnenarmen Zeit kann auch dieser Hauttyp einen Sonnenbrand bekommen); kann sich ungebräunt länger als 1,5 Stunden in der Sonne aufhalten; vorwiegend Ureinwohner Zentralafrikas und Australiens. |

Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythemwirksame Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt etwa 250 J/m² für den Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle MED.

Der langwellige solare UV-Anteil initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der Haut erhöhen, wie z. B. bestimmte Medikamente und Kosmetika. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt die Tabelle 1.4.1-1. Auch Lebensmittel und Pflanzen, wie z. B. Zitrusfrüchte, Sellerie und Gemüse können sensibilisierend wirken und bei Einnahme oder teilweise bei Kontakt zu sonnenbrandähnlichen (erythemähnlichen) Hautreaktionen führen.

**Tabelle 1.4.1-1 Die Lichtempfindlichkeit steigernde Medikamente und chemische Stoffe
(Pharmaceuticals and chemical substances increasing sensitivity to light)**

Substanz	Anwendungsform
Antiseptika	Seifen
Blankophore	Waschmittel
Chloroquin	Antimalariamittel / Antirheumatika
Chlorothiazide	Diuretika (harntreibende Mittel)
Sulfonamide	Antibiotika / Chemotherapeutika
Tetracyclin	Antibiotika
Triacetyldiphenylisatin	Abführmittel

Fototoxische Reaktionen können klinisch als erythemähnliche Reaktionen charakterisiert werden. Fotoallergische Reaktionen treten auf, wenn bestimmte Substanzen durch UV-Strahlung umgewandelt und dadurch allergen - also allergieauslösend - werden. Unter geeigneten Bedingungen können fototoxische Reaktionen bei jedem Menschen, fotoallergische bei einigen exponierten Personen hervorgerufen werden. Letztere sind mit Schwellungen, Nässen oder Blasenbildung an den exponierten Hautpartien verbunden.

Hautkrebs und andere Erkrankungen durch UV

Bei zu häufigen UV-Expositionen verliert die Haut ihre Elastizität und wird dünner. Es kommt vornehmlich zu Pigmentverschiebungen, Austrocknung, Faltenbildung und Bindegewebsschädigung. UV-A-Strahlung trägt besonders zu dieser vorzeitigen Hautalterung bei.

Die weitaus schwerwiegendste Folge übermäßiger UV-Exposition und von Sonnenbränden ist die Bildung von Hautkrebs, der weltweit zu den am häufigsten auftretenden Krebsarten zählt. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat die natürliche wie künstlich erzeugte UV-Strahlung (UV-Strahlung der Wellenlänge 100 bis 400 Nanometer (nm)) als für den Menschen krebserregend eingestuft. In Deutschland liegt nach Angaben der Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. laut Hochrechnungen für Hautkrebs Erkrankungen auf Basis der Daten des Krebsregisters Schleswig-Holstein von 2012 die Erkrankungsrate für Hautkrebs für das Jahr 2009 bei 223.460 pro Jahr (Frauen und Männer, gesamt Basalzellkarzinom, Plattenepithelkarzinom und malignes Melanom). Die Hautkrebsneuerkrankungsrate hat sich in Deutschland seit den 1980er Jahren mehr als verdreifacht. Als Hauptursache für den starken Anstieg wird die übermäßige UV-Belastung bei zunehmenden, unvorbereiteten Aufenthalten im Freien verantwortlich gemacht. Als Risikofaktoren gelten generell die Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II sowie eine familiäre Vorbelastung für Hautkrebs.

Über 90 % der bösartigen Neubildungen der Haut sind epidermalen Ursprungs (Epidermis: äußerste Zellschicht der Haut). Bei den Basalzell- und Plattenepithelkarzinomen (werden auch unter dem Begriff „Heller Hautkrebs“ zusammengefasst) konnte ein direkter Zusammenhang zwischen UV-Bestrahlung und Hautkrebsinzidenz beobachtet werden. Beim Basalzellkarzinom handelt es sich um einen langsam wachsenden, lokal Gewebe zerstörenden Tumor ohne Metastasenbildung. Er tritt vorwiegend in exponierten Hautpartien wie Gesicht, Ohren und Kopfhaut auf. Obwohl die Sterblichkeit sehr niedrig ist, stellt die Therapie häufig ein großes kosmetisches Problem dar. Das Plattenepithelkarzinom ist ein invasiver, lokal zerstörend wirkender Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch Metastasen bilden und zum Tode führen kann. Er tritt ebenfalls an exponierten Hautpartien wie Gesicht, Handrücken und Unterarmen auf. Als Risikofaktoren für den „Hellen Hautkrebs“ kommen verstärkte Sonnenexpositionen und Vorhandensein von aktinischen Keratosen (durch chronische Sonnenbestrahlung hervorgerufene rötlich-braune, schuppige Hautverhornungen) hinzu.

Beim malignen Melanom (schwarzer Hautkrebs) ist die Situation nicht so eindeutig. Obwohl Melanome nicht bevorzugt in UV-exponierten Hautarealen auftreten und in der Häufigkeit nicht direkt mit der kumulativen UV-Dosis korrelieren, sprechen epidemiologische Daten für einen wesentlichen UV-Einfluss auch bei der Verursachung dieser Erkrankung. Das maligne Melanom ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braungefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20 %. Auffällig ist die vergleichsweise hohe Hautkrebsneuerkrankungsrate (Inzidenz) bei jungen Frauen (hier häufigste Tumorart). Als Risikofaktoren für das maligne Melanom kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend, eine hohe Anzahl (über 40 – 50) Pigmentmale (Muttermale) und die Nutzung von Solarien vor dem 30. Lebensjahr hinzu. Wissenschaftler fanden heraus, dass sich das Risiko, am malignen Melanom zu erkranken, fast verdoppelt, wenn bereits vor dem 30. Lebensjahr regelmäßig ein Solarium (mehr als einmal im Monat) besucht wird.

1.4.2 Infrarotstrahlung (Infrared Radiation)

Infrarotstrahlung ist ein Teil der Wärmestrahlung. Die IR-Strahlung wird nach der International Commission of Illumination (CIE) und nach 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. Im anglo-

amerikanischen Raum sowie bei der Spezifikation von Erderkundungskameras wird häufig auch die Einteilung in nahes Infrarot mit 780 nm bis 1400 nm, kurzwelliges Infrarot mit 1,4 Mikrometer (μm) bis 3 μm , mittleres Infrarot mit Wellenlängen von 3,0 μm bis 8 μm , langwelliges Infrarot mit Wellenlängen von 8 bis 15 μm und fernes Infrarot mit 15 μm bis 1 mm Wellenlängen genutzt.

IR-Quellen

Die wichtigste natürliche Quelle für IR-Strahlung ist die Sonne. IR-Strahlung hat einen Anteil von 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 sog. Infrarotkameras ist es möglich, Infrarotstrahlung sichtbar zu machen.

Anwendung der Infrarotstrahlung

Die Anwendung von Infrarotstrahlung ist vielfältiger Natur. Infrarotkameras können z. B. zur berührungslosen Temperaturmessung verwendet werden. Bekannter ist ihr Einsatz in so genannten Nachtsichtgeräten. Infrarot-Leuchtdioden können z. B. in optischen Brandmeldern Wärme erkennen. Auch für Heizzwecke werden Infrarotstrahler verwendet. 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. Nahes Infrarot dringt tief in das Auge und in die Haut ein, während mittleres Infrarot bereits an der Oberfläche der Haut und der Hornhaut des Auges absorbiert wird. Durch Wärmeleitung kann 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 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.

Nahes Infrarot mit hoher Intensität (Laserstrahlung) ist besonders gefährlich für Augen und Haut, da der kurzwellige IR-Anteil (IR-A) im Auge unbemerkt bis zur Netzhaut gelangt, dort fokussiert wird und irreversible Schäden verursacht. Bei chronischer Bestrahlung mit starken IR-Quellen kann die Linse getrübt werden (z. B. „Glasbläserstar“). In der Haut kann IR-Strahlung in Regionen absorbiert werden, in denen sich keine Temperatursensoren befinden. Dadurch können in der Haut unbemerkt Schäden verursacht werden. Eine Bestrahlung der Haut kann hier bereits nach sehr kurzer Zeit zu Verbrennungen führen.

Neben diesen akut auftretenden gesundheitlichen Schäden sind bei IR-Bestrahlung in engem zeitlichen Zusammenhang mit UV-Strahlung weitere Hautschädigungen möglich. Diskutiert wird eine Beteiligung der IR-Strahlung an der beschleunigten Hautalterung, als deren Hauptverursacher die UV-Strahlung gilt. Außerdem gibt es Hinweise, dass IR-Strahlung die durch UV-Strahlung verursachte Entstehung von Hautkrebs negativ beeinflusst. So könnten z. B.

durch UV-Strahlung geschädigte Zellen weniger effektiv durch die körpereigenen Mechanismen beseitigt werden oder bereits in Vorstufen von Krebszellen umgewandelte Zellen könnten weniger gut vom körpereigenen Immunsystem bekämpft werden. Diese Fragen müssen noch durch wissenschaftliche Forschung geklärt werden.

1.5 Grenzwerte (*Limit values*)

Basierend auf wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Konsequenzen werden unter Berücksichtigung internationaler Erkenntnisse Grenzwertempfehlungen ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgeschrieben. Kontinuierlich durchgeführte Bewertungen des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zeigen zum einen, dass Gesundheitsschäden bei Einhaltung der Grenzwerte nicht nachgewiesen werden können. Zum anderen gibt es Hinweise auf eine begünstigende Wirkung kindlicher Leukämie durch niederfrequente Felder unterhalb der gültigen Grenzwerte. Nationale wie 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.

Sowohl im niederfrequenten wie im hochfrequenten Bereich liegt die Exposition der Bevölkerung im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten.

Zur Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen wird im Verfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die BNetzA nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften ein vom Anlagenbetreiber einzuhalten standortbezogener Sicherheitsabstand festgelegt. In verschiedenen Messkampagnen der BNetzA wurde gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Für den Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch UV-Strahlung gibt es keine Grenzwerte. Es sind jedoch Werte der erythemwirksamen Schwellenbestrahlung, bei deren Überschreitung mit einem Sonnenbrand zu rechnen ist bekannt. Diese liegt bei Hauttyp II bei einem Wert von 250 J/m^2 (schädigende UV-Strahlendosis pro m^2 Haut).

Aktuelle Themen im Bereich Nichtionisierende Strahlung finden Sie in Teil B - VI.



TEIL B
AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG
(CURRENT DATA AND THEIR EVALUATION)

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 Meereshöhe (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 Teil A - I 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. 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 Immissionsituation in den betroffenen Regionen gegeben, der auf ausgewählten Daten aus der Umweltüberwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) beruht.

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

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

In Tabelle 2.1.1-1 sind die Fortluftmengen und die Ableitungen radioaktiver Stoffe aller Wismut-Sanierungsbetriebe in den Jahren von 1998 bis 2011 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter den - in Klammern angegebenen - genehmigten Werten liegen.

In Tabelle 2.1.1-2 ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2010 und 2011 auf die einzelnen Standorte der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Es wurden die aus den Betrieben in den beiden Jahren insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Am Standort Königstein hat sich die Jahresableitung an Radon um ca. 85 % und der langlebigen Alphastrahler um ca. 70 % deutlich verringert. Während sich in Dresden-Gittersee die Ableitung von Radon etwas erhöht hat, hat sich am Standort Schlema/Alberoda die Jahresableitung an Radon gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Die im Vergleich zum Vorjahr etwa doppelt so hohen Ableitungen langlebiger Alphastrahler in Schlema/Alberoda beruhen hauptsächlich auf dem Umstand, dass Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) bei der Berechnung der Jahresableitung nicht berücksichtigt werden. Der Unterschied zwischen beiden Jahren ist tatsächlich geringer, da 2010 etwa doppelt so viele Monatswerte unterhalb der NWG lagen wie 2011. An den Thüringer Standorten Ronneburg, Seelingstädt und im sächsischen Pöhlta konnten die Ableitungen völlig eingestellt werden. Die gesamten Ableitungen sowohl von Rn-222 als auch der langlebigen α -Strahler werden fast ausschließlich von den Standorten Königstein und 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.

Tabelle 2.1.1-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre im Zeitraum 1998 bis 2011 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2011 – 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)

¹ Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.

Zeitraum	Fortluftmengen in 10 ⁹ m ³ /a	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Rn-222 in TBq/a *		Langlebige α-Strahler in MBq/a *	
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	(74,5)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle 2.1.1-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre in 2010 und 2011 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2010 and 2011 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebssteile der Sanierungsbetriebe	Anzahl der Abweterschächte und Wetterbohrlöcher		Abwetter- bzw. Abluftmengen in 10 ⁹ m ³ /a		Ableitung radioaktiver Stoffe			
					Rn-222 in TBq/a *		Langlebige α-Strahler in MBq/a *	
	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010
Schlema/Alberoda	1	1	1,29	1,34	98 (100)	99 (100)	1,7 (5,7)	0,8 (5,7)
Dresden-Gittersee	1	1	0,14	0,09	0,25 (1,6)	0,1 (1,6)	0,05 (1,6)	0,05 (1,6)
Königstein	1	1	0,67	1,2	0,3 (166)	2,1 (166)	1,1 (70,5)	3,7 (70,5)

* Genehmigungswerte in Klammern

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer (Vorfluter), die in Tabelle 2.1.1-3 zusammengestellt sind, liegen ebenfalls seit Jahren deutlich unter den Genehmigungswerten. Die Abwassermenge und die Freisetzungen von Radionukliden sind 2011 im Vergleich zum Jahr 2010 mit deutlich erhöhter Niederschlagsmenge wieder auf das Niveau der Vorjahre gesunken, siehe Tabelle 2.1.1-4. Die einzige Erhöhung dieser Werte ist im Thüringer Ronneburg zu verzeichnen, wo der nach den extremen Niederschlägen des Vorjahres und den großen Schneemengen zu Beginn des Jahres 2011 stark gestiegene Flutungsspiegel erforderte, dass die Wasserbehandlungsanlage Ronneburg erweitert werden musste, um die anfallenden Wässer zu reinigen. Die Berechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen ist in Tabelle 2.1.1-5 dargestellt.

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 0,2 mSv/a betragen, so dass der geltende Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung weit unterschritten wird.

Infolge der im fortschreitenden Sanierungsprozess erfolgenden Einbindung weiterer Haldenkomplexe werden bisher diffus angefallene Sickerwässer und Porenwässer aus den Absetzanlagen erfasst und einer Behandlung zugeführt. Auch die Umlagerung von kontaminierten Materialien, eine in einzelnen Flutungsbereichen veränderte Wasserzusammensetzung und durch die Winterperiode behindert ablaufende chemische Reaktionen oder stark erhöhte Niederschlagsmengen sorgten für eine teils geringere Effizienz der Wasserbehandlungsanlagen (WBA) bei der Fällung von Schadstoffen und somit temporär für erhöhte Ableitungen. Zur Optimierung der Reinigungsprozesse wurden teils zusätzliche Einrichtungen geschaffen. Es zeigt sich außerdem, dass auf Grund hydrochemischer Prozesse mittelfristig die Möglichkeit einer Erhöhung der Schadstoffkonzentration besteht; langfristig wird jedoch eine Konzentrationsabnahme einsetzen.

Insgesamt wird deutlich, dass das jetzt erreichte Niveau der Ableitungen auch weiterhin durch die meteorologischen Verhältnisse geprägten Schwankungen unterliegen wird und somit keine steuerbare Größe darstellt. Die Funktion der WBA ist trotz ihres Einsatzes an der Kapazitätsgrenze als zuverlässig einzuschätzen, da die genehmigten maximalen und mittleren Schadstoffkonzentrationen unterschritten wurden.

Die Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen wurden jeweils aus der genehmigten Wassermenge (Pöhla: 20 m³/h, Königstein: 650 m³/h, WBA Ronneburg: 750 m³/h, Seelingstädt: 300 m³/h, WBA Schlema 1200 m³/h) multipliziert mit der Maximalkonzentration (Pöhla: 0,2 mg Uran/l, 0,3 Bq Radium-226/l, WBA Ronneburg: 0,1 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l, WBA Schlema 0,5 mg Uran/l bzw. 0,4 Bq Radium-226/l) bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration (Königstein 0,3 mg Uran/l, 0,4 Bq Radium-226/l, Seelingstädt: 0,3 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l) errechnet.

Tabelle 2.1.1-3 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2011 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2011 – 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)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle 2.1.1-4 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2010 und 2011 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2010 and 2011 - Values measured by the Wismut GmbH)

VORFLUTER Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Abwassermenge in 10 ⁶ m ³ /a *		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran in t/a *		Ra-226 in GBq/a *	
	2011	2010	2011	2010	2011	2010
ZWICKAUER MULDE (SACHSEN)	8,734 (-)	11,997 (-)	1,6806 (7,244)	2,8476 (6,544)	0,2107 (4,398)	0,2401 (4,345)
Schlema/Alberoda	7,479 (-)	10,611 (-)	1,505 (7,209)	2,683 (6,509)	0,206 (4,345)	0,238 (4,292)
Crossen	1,140 (-)	1,274 (-)	0,174 (-)	0,163 (-)	0,004 (-)	0,0026 (-)
Pöhl	0,115 (-)	0,112 (-)	0,0016 (0,035)	0,0016 (0,035)	0,00034 (0,053)	0,00002 (0,053)
ELBE (SACHSEN)	1,906 (5,869)	4,942 (5,869)	0,241 (1,708)	0,620 (1,708)	0,100 (2,278)	0,277 (2,278)
Königstein	1,906 (5,869)	4,942 (5,869)	0,241 (1,708)	0,620 (1,708)	0,100 (2,278)	0,277 (2,278)
PLEISSE (THÜRINGEN)	0,110 (0,250)	0,219 (0,250)	0,010 (0,025)	0,015 (0,040)	0,001 (0,030)	0,004 (0,030)
Ronneburg	0,110 (0,250)	0,219 (0,250)	0,010 (0,025)	0,015 (0,040)	0,001 (0,030)	0,004 (0,030)
WEISSE ELSTER (THÜRINGEN)	8,711 (10,279)	7,869 (9,198)	1,206 (1,553)	0,896 (1,446)	0,162 (2,056)	0,082 (1,84)
Ronneburg (WBA)	6,411 (7,650)	5,555 (6,570)	0,660 (0,765)	0,347 (0,657)	0,079 (1,530)	0,039 (1,314)
Seelingstädt	2,300 (2,629)	2,314 (2,628)	0,546 (0,788)	0,549 (0,789)	0,084 (0,526)	0,043 (0,526)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle 2.1.1-5 Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen
(*Calculation of authorised limits for liquid discharges*)

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Genehmigte Wassermenge in m ³ /h		max. Konzentration	Genehmigter Jahresmittelwert der Konzentration
Pöhla	20	multipliziert mit	0,2 mg Uran/l, 0,3 Bq Radium-226/l	
Königstein	650			0,3 mg Uran/l, 0,4 Bq Radium-226/l
WBA Ronneburg	750		0,1 mg Uran/l, 0,2 Bq Radium-226/l	
Seelingstädt	300			0,3 mg Uran/l, 0,2 Bq Radium-226/l
WBA Schlema	1200		0,5 mg Uran/l, 0,4 Bq Radium-226/l	

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 „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (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 2.1.1-2 liegen.

In Tabelle 2.1.2-1 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen im Zeitraum Winter 2010/2011 bis Sommer 2011 zusammengefasst. Die teilweise hohen Maximalwerte der Rn-222-Konzentration resultieren aus der Lage einiger Messpunkte auf oder in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächten) und Betriebsflächen.

In Tabelle 2.1.2-2 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 „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau)“ wurden von unabhängigen Messstellen im Auftrag der jeweiligen zuständigen Landesbehörde zusätzlich Kontrollmessungen an ausgewählten 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 überein.

Auch durch das Bundesamt für Strahlenschutz wurden seit 1991 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 z. T. natürlichen Ursprungs 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 Immisionsmessungen der Wismut GmbH i.d.R. an Messstellen vor und nach der betrieblichen Einleitung vorgenommen.

In wichtigen Vorflutern wurden die in Tabelle 2.1.2-3 angegebenen Werte bestimmt. In den übrigen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe betroffenen Vorflutern liegen die Uran- und Radiumkonzentrationen in den gleichen Konzentrationsbereichen.

Tabelle 2.1.2-1 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2010/2011 und Sommer 2011; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - Winter 2010/2011 and summer 2011; 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 2010/2011					
Schlema/Alberoda	68	9	51	8	280
Pöhla	5	5	0	0	29
Seelingstädt	24	19	5	0	63
Crossen	33	25	7	1	115
Königstein	8	8	0	0	22
Gittersee	9	8	1	0	39
Ronneburg	31	29	2	0	34
Sommer 2011					
Schlema/Alberoda	72	16	40	16	260
Pöhla	5	4	1	0	65
Seelingstädt	23	15	7	1	100
Crossen	31	15	13	3	160
Königstein	8	6	2	0	44
Gittersee	9	7	2	0	49
Ronneburg	31	24	7	0	43

Tabelle 2.1.2-2 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2011 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 - 2011 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 – 2011	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2011
Schlema/Alberoda	20	40	28	22	39	32
Pöhla *	14	35	20	18	29	24
Seelingstädt	11	39	23	15	37	25
Crossen	13	35	24	17	37	25
Königstein	11	31	19	13	36	24
Gittersee	15	33	25	23	46	33
Ronneburg	11	40	23	16	37	27

* Im Gebiet Pöhla wurden mit Abschluss der wesentlichen Sanierungsarbeiten die Messungen an bergbaulich unbeeinflussten Messstellen im Winterhalbjahr 2005/06 eingestellt.

Tabelle 2.1.2-3 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbauggebiete in 2010 und 2011 (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 2010 and 2011 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenahmestelle	Messpunkt	Uran in mg/l		Ra-226 in mBq/l	
			2011	2010	2011	2010
Sächsische Bergbauggebiete						
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,012	0,015	10	11
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	0,019	0,034	14	35
	Elbe Rathen	k-0028	0,002	0,001	10	11
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,016	0,017	18	14
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,061	0,060	18	16
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,002	0,002	11	10
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,008	0,008	14	13
Pöhl	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	< 0,001	< 0,001	< 10	< 10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165	0,019	0,018	15	12
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,006	0,007	13	14
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,008	0,008	12	13
	Oberrothenbacher Bach	M-204	0,195	0,125	15	14
	Zinnborn	M-232	0,080	0,150	124	106
Thüringer Bergbauggebiete						
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,002	0,002	10	10
	Weißer Elster nach Einmündung Pöltzbach	E-314	0,004	0,004	< 10	< 10
	Lerchenbach	E-369	0,170	0,130	16	10
	Fuchsbach vor Mündung	E-383	0,054	0,029	< 10	10
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,007	0,006	< 10	10
	Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,072	0,031	20
	Vereinigte Sprotte	s-609	0,007	0,005	< 10	< 10
	Wipsee	e-437	0,061	0,047	14	11
	Weißer Elster	e-419	0,005	0,005	< 10	< 10

Die im Jahr 2011 ermittelten Werte der Uran- und Radiumkonzentration in den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weißer Elster weisen im Vergleich zum Vorjahr keine nennenswerten Veränderungen auf.

Im Oberlauf von Wismut-Ableitungen wurden an den Messpunkten m-131, m-115 und E-312 Urankonzentrationen bis zu einer Höhe von 2 µg/l und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 11 mBq/l für Ra-226 ermittelt. Diese Werte liegen im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus, das in Oberflächengewässern der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurde. Die in bergbaulich unbeeinflussten Oberflächengewässern in Deutschland festgestellten Aktivitätskonzentrationen überschreiten den Wert von 3 µg/l für U-238 und von 30 mBq/l für Ra-226 nicht und beinhalten mit den ebenfalls im Oberlauf von Wismut-Einleitungen gelegenen Messpunkten, wie z. B. g-0076 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 124 mBq/l, während es bei Uran bis zum Faktor 65 erhöht ist und Werte zwischen 7 und 195 µg/l aufweist (vgl. Messpunkte k-0024, g-0077, m-165, M-204, M-232, E-369, E-383, e-416, s-609 und e-437).

Diese kleinen Bäche unterliegen stark dem Einfluss der Sanierungsarbeiten und der Witterung und weisen daher jährliche Schwankungen auf. Dies wird besonders in den Quellgebieten am Oberlauf dieser Bäche 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 Dreifachen erhöht sind (2 - 8 µg/l). Mit Werten von < 10 bis 14 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 Weißer 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 wurden in den vergangenen Jahren Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden durchgeführt. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen liegt in Deutschland bei 50 Bq/m^3 . Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit in den Räumen von ca. 19 Stunden pro Tag einer mittleren jährlichen effektiven Dosis von ca. 0,9 mSv. In Einzelfällen wurden Höchstwerte von bis zu $10\,000 \text{ Bq/m}^3$ festgestellt. Bereits bei Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10 % pro 100 Bq/m^3 . Welche Radonkonzentrationen in einzelnen Gebäuden anzutreffen sind, hängt vom geologischen Untergrund am Gebäudestandort und der Radondichtheit der Gebäudehülle ab, da in den überwiegenden Fällen das in der Bodenluft vorkommende und durch erdberührende Wände und die Bodenplatte in das Haus eindringende geogene Radon die Ursache für eine erhöhte Radoninnenraumkonzentration ist.

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 2.2-1).

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

In Gebieten mit Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft bis 20 kBq/m^3 sind Radonaktivitätskonzentrationen in Aufenthaltsräumen über 100 Bq/m^3 selten. Grundsätzlich kann in diesen Gebieten davon ausgegangen werden, dass ein fachgerechter Schutz der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte nach dem Stand der Technik ausreichend Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen im Gebäude bietet.

Bei Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft von mehr als 20 kBq/m^3 und in Abhängigkeit von der 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 erdberührten Bereich aufweisen. Infolge der Geologie des Bauuntergrundes können in einzelnen Gebäuden Jahresmittelwerte von einigen Tausend Becquerel pro Kubikmeter auftreten. In den Regionen mit einer Bodenluftkonzentration von mehr als 20 kBq/m^3 sind Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Innenraumluft zu empfehlen, um die tatsächliche Strahlenexposition betroffener Personen durch Radon bewerten und gegebenenfalls angemessene Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. Bei der Planung neuer Gebäude sind 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 dichte 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 2.2-1 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 .

Tabelle 2.2-1

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

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 von Bergbaugebieten mit Uranvererzungen wurden in Einzelfällen kurzzeitig deutlich über 100.000 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. des damit verbundenen Gesundheitsrisikos, 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 Bauproduktrichtlinie 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 Radonkonzentrationen in Innenräumen ist in Deutschland das in Wasser gelöste Radon, welches bei dessen Anwendung in die Raumluft freigesetzt wird.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) weist in einer Publikation aus dem Jahr 2001 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. Im Jahre 2005 startete die 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. Der Abschluss des Projektes fand Ende 2009 mit der Veröffentlichung des WHO-Radonhandbuches statt. In diesem Handbuch wird der auch vom BfS und BMU vorgeschlagene Referenzwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen von 100 Bq/m^3 empfohlen. Selbst unter schwierigen Randbedingungen sollte der Wert nicht über 300 Bq/m^3 liegen. Bei Neubauten sind Maßnahmen einzusetzen, die zu einer Konzentration deutlich unter 100 Bq/m^3 führen sollten.

Im Jahre 2010 veröffentlichte die WHO eine Zusammenstellung wichtiger Innenraumschadstoffe als Teil der neuen Leitlinien zur Raumluftqualität. In dieser Zusammenfassung wird Radon als Innenraumschadstoff aufgeführt. Das aus den epidemiologischen Studien abgeleitete zusätzliche Lebenszeitrisiko beträgt im Alter von 75 Jahren $0,6 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m^3 , 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.

Im Jahr 2010 wurde im Auftrag des BfS für Deutschland erstmalig eine Kosten-Nutzen-Analyse mit unterschiedlichen potenziellen Regelungsszenarien durchgeführt. Es wurden verschiedene Szenarien untersucht, die in bauliche Sanierungsmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden und dem radonsicheren Errichten von Neubauten unterteilt wurden. Zudem gingen unterschiedliche Eingriffsniveaus von 100, 200 und 400 Bq/m^3 Innenraumluft, die Unterscheidung nach freiwilligen und verpflichtenden Maßnahmen sowie unterschiedliche regionale Ebenen in die Berechnung ein. Der Interventionseffekt wurde in Form verminderter Lungenkrebserkrankungen und gewonnener qualitätsadjustierter Lebensjahre (QALY) dargestellt. Aus der Perspektive der durch etablierte Methoden ermittelten Kosteneffektivität ist festzustellen, dass für Deutschland allgemein die Sanierung bestehender Gebäude mit einem verpflichtenden Eingriffswert von 100 Bq/m^3 mit anschließender Erfolgskontrolle die geringsten Kosten verursacht. Für Radon-Hochrisiko-Gebiete ist das radonsichere Bauen hingegen vorzuziehen.

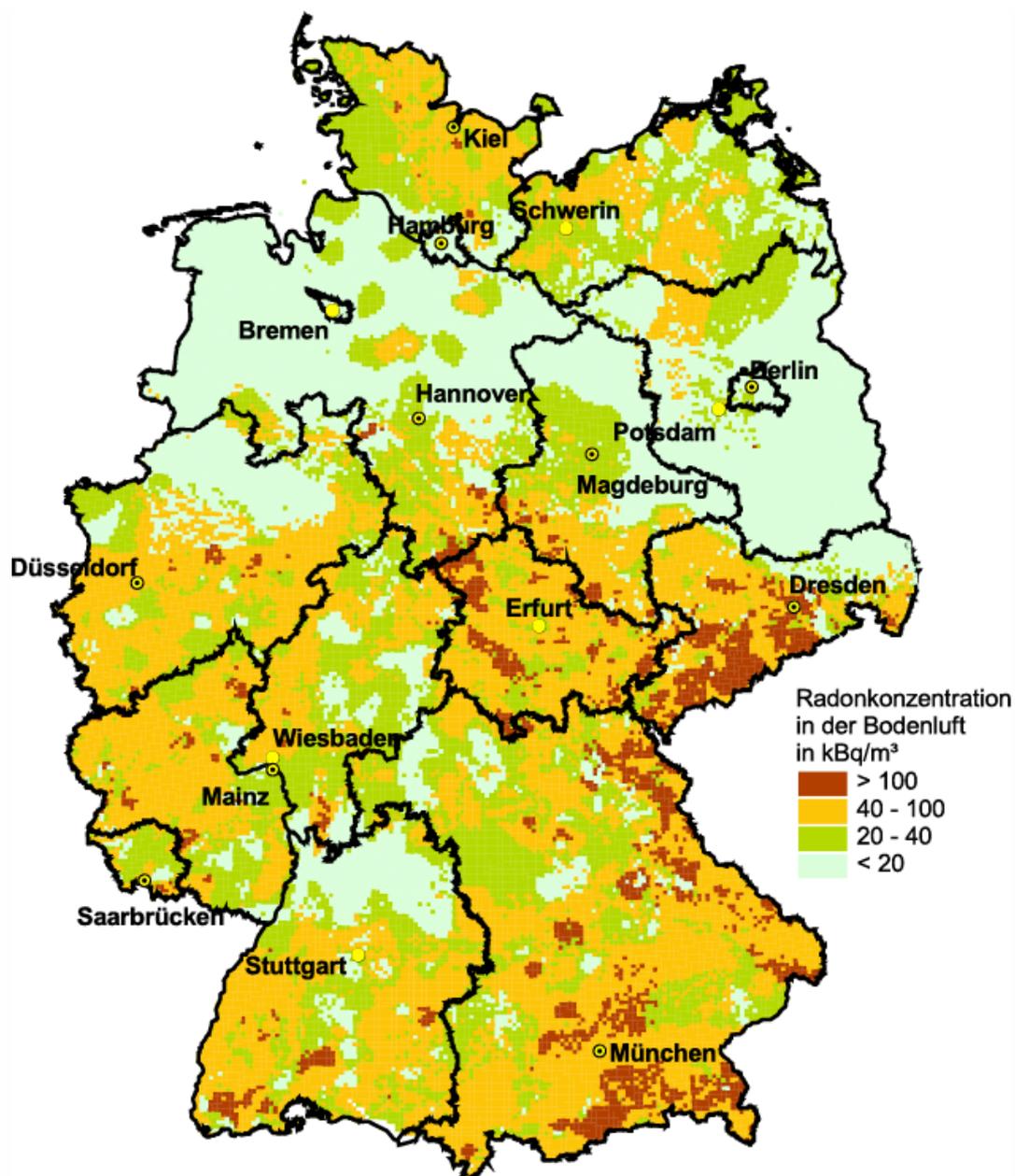


Abbildung 2.2-1 Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe (nach Daten von 2001)
(Overview of Radon concentration in soil air at 1 m depth - data from 2001)

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.

Im Zuge der Diskussion um eine mögliche Einbeziehung der Radionuklidkonzentration und der Radonabgabe eines Baustoffes als Zulassungskriterium, wie es im Entwurf der Grundnormenrichtlinie vorgeschlagen wird und um die vorhandene Datenbasis zu aktualisieren, 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

tiven Innenraumprodukten untersucht. Die Spannweite der Ergebnisse der massespezifischen Aktivitätsmessungen in den Baustoffen ist in Tabelle 2.3-2 zusammengefasst.

Tabelle 2.3-2 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

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 Magmagessteine infolge natürlicher Radionuklide vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten.

Eine breitere Übersicht über die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen, beruhend auf den Daten der Messreihe in den 90er Jahren, gibt Tabelle 2.3-1 in Teil A 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 2011 weniger als 0,01 mSv.

Nach langjährigen Bemühungen der internationalen Staatengemeinschaft wurde am 24. September 1996 der Vertrag über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) zur Unterzeichnung aufgelegt. Damit soll die Weiterentwicklung dieser Waffen verhindert werden. Es handelt sich daher nicht um ein Umweltschutzabkommen, sondern um einen Vertrag gegen die Proliferation von Massenvernichtungswaffen. 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, 80 davon werden mit Radionuklidmesssystemen ausgerüstet sein, die die Atmosphäre überwachen. Diese 80 Stationen verfügen dann über Systeme, die den Nachweis an den Luftstaub gebundener Radionuklide ermöglichen, zusätzlich werden 40 von ihnen mit Systemen zur Detektion der radioaktiven Isotope des Edelgases Xenon ausgestattet. Die dabei eingesetzten Detektoren orientieren sich an der Aufgabe, 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. Deswegen sind diese Detektoren auch sehr viel empfindlicher als typische Geräte für den Einsatz im Strahlenschutz.

Die einzige Radionuklidstation in Mitteleuropa befindet sich an der deutschen Messstation Schauinsland des BFS (Radionuklidstation, RN 33) etwa 1000 m oberhalb von Freiburg im Schwarzwald gelegen. 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.

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 und tragen andererseits aber auch nur sehr gering zur Strahlenbelastung bei. Da die radioaktiven Edelgase so schwer zurückzuhalten sind, legt das CTBT-Messnetz gerade auf diese - speziell auf radioaktives Xenon - einen besonderen Wert und ist auch in der Lage, die verschiedensten Emissionen weltweit zu beobachten. 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. Dabei fällt auch radioaktives Xenon an, welches je nach Anlagentyp und Betriebsprozessen mit sehr unterschiedlicher Effizienz zurückgehalten wird. Emissionen aus diesen Anlagen werden über große Distanzen transportiert und zeigen 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 Mitgliederstaaten ein sehr produktiver Informationsaustausch, sowohl über die Belange beider Seiten als auch über Möglichkeiten weiterer Emissionsreduzierung.

Während man für das Jahr 2005 noch davon ausgehen musste, dass radiopharmazeutische Anlagen 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 sind die vorübergehende Stilllegung einer der größten und ältesten Produktionsanlagen für radiopharmazeutisches Mo-99 in Chalk River, Kanada, sowie bestimmte emissionsreduzierende Maßnahmen in anderen Anlagen. Als Beispiel zeigt Abb. 1.1-1 den Verlauf der gemessenen Tagesmittelwerte der Xe-133-Aktivitätskonzentration an der Station Schauinsland für die Jahre 2004 bis 2011. Die maximale Xe-133-Aktivitätskonzentration im Jahr 2011 lag am 30.03.2011 bei $2,7 \text{ Bq/m}^3$, dieser Wert ist auf die Reaktorkatastrophe in Fukushima zurückzuführen. Der höchste in 2011 gemessene

Wert, der nicht eine Folge von Fukushima war, lag knapp unter 50 mBq/m³ und damit fünfmal niedriger als der höchste bisher gemessene Wert von 260 mBq/m³ in 2005. Der Jahresmittelwert der Xe-133-Aktivitätskonzentration sank von 5,3 mBq/m³ im Jahr 2005 auf 1,5 mBq/m³ im Jahr 2011 (ohne die Messwerte, die auf Fukushima zurückzuführen sind). Berücksichtigt man die Emissionen aus Fukushima, ergibt sich eine mittlere Aktivitätskonzentration von 53,2 mBq/m³. Die Auswirkungen der Emissionsreduzierungen in Nordamerika und Europa lassen sich auch an anderen Messstationen der Nordhemisphäre in ähnlicher Form nachweisen.

Als Folge der Reaktorkatastrophe in Fukushima wurden große Mengen künstlicher Radionuklide in die Atmosphäre freigesetzt und anschließend über die gesamte Nordhemisphäre verteilt. Das Radionuklidmessnetz der CTBTO ist das einzige weltweite Messnetz zur Erfassung von Radionukliden in der Atmosphäre. Mit seiner globalen Verteilung der Stationen lieferte es nach der Katastrophe in Fukushima wichtige Daten und Informationen sowohl über die Aktivitätskonzentrationen der emittierten Radionuklide als auch über deren Ausbreitung auf der nördlichen Hemisphäre. Die mit diesem Messnetz gewonnenen Informationen waren für die Einschätzung der Lage wichtig. So zeigte das Messnetz der CTBTO auch nach dieser Katastrophe den Nutzen der Daten für zivile Anwendungen, wie den Katastrophenschutz, die Notfallvorsorge und auch wissenschaftliche Zwecke auf.

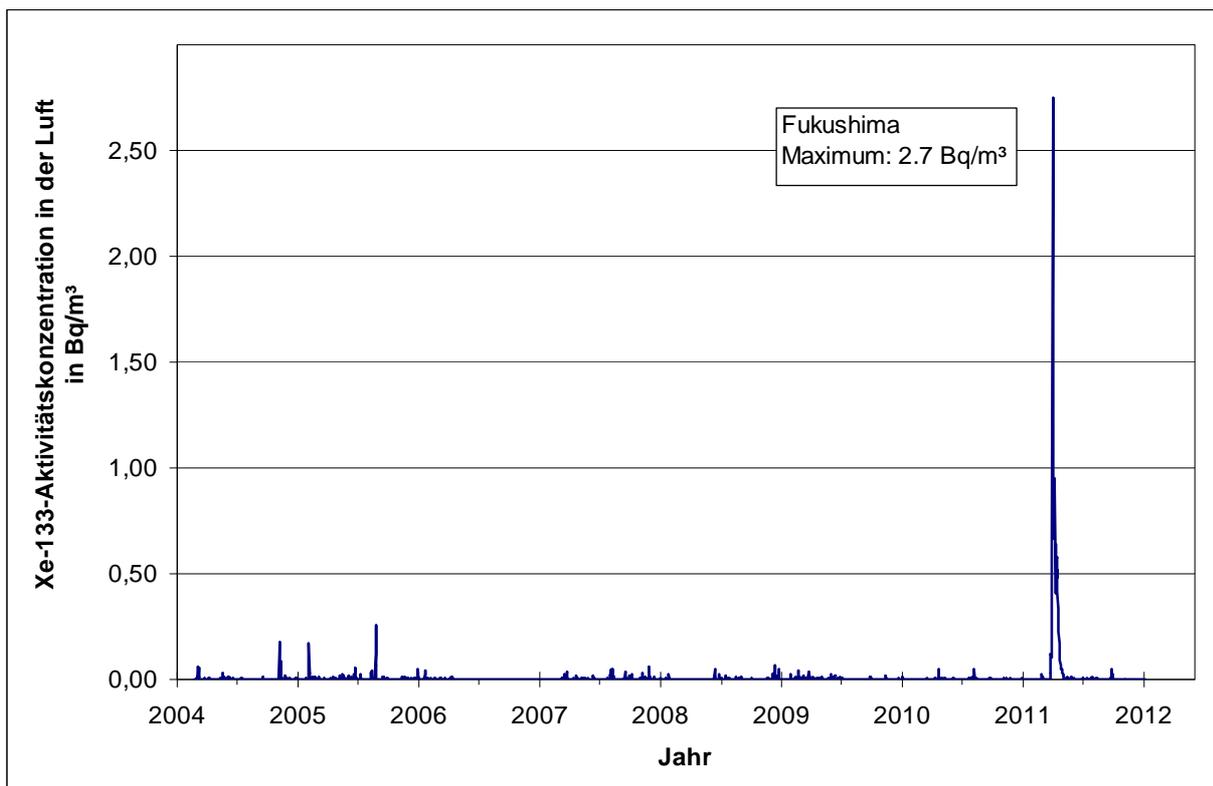


Abbildung 1.1-1 Zeitreihe der Xe-133-Aktivitätskonzentration in den Jahren 2004 bis 2011 an der IMS-Station RN33 auf dem Schauinsland
(Time series of Xe-133-activity concentration at IMS-station RN33 at Schauinsland mountain for the years 2004 to 2011)

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

Im Jahr 2011 sind Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch 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.

Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,23 Bq Cs-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv pro Jahr durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (K-40, radioaktive Isotope 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 reichen bei einigen Arten von Wildpilzen, z. B. Maronenröhrlingen (71 Messungen) bis 1200 Bq/kg und bei Birkenpilzen (21 Messungen) bis 1360 Bq/kg. Bei Fischen treten in Binnenseen bis zu 99 Bq/kg bei Flussbarsch auf (13 Messungen).

Bei Wildschweinen werden nach wie vor Überschreitungen des Höchstwertes von 600 Bq pro kg für Cs-137 gemessen; diese dürfen dann nicht vermarktet werden.

In Abbildung 1.2-1 werden Daten aus dem Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) dargestellt. Diese sind allerdings nicht repräsentativ für das jeweilige Bundesland. Im Berichtsjahr wurden in den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands verstärkt Proben genommen. Diese zeigten erwartungsgemäß in einigen Fällen Überschreitungen. Entgegen den Vorjahren wurden 2011 auch in nördlichen Bundesländern Überschreitungen des Höchstwertes gefunden.

In Bayern lag der Mittelwert von 98 Messungen an Wildschweinen bei 670 Bq/kg, die Werte reichen bis 10 200 Bq/kg. Für Rehe lag der Mittelwert von 94 Messungen bei 38 Bq/kg mit einem Höchstwert von 1350 Bq/kg. In allen anderen Bundesländern gab es 2011 keine Überschreitung des Höchstwertes bei Rehfleisch.

106 Messungen an Wildschweinfleisch in Nordrhein-Westfalen ergaben einen Mittelwert von 166 Bq/kg bei einem Höchstwert von 1470 Bq/kg. In Baden-Württemberg lag der Mittelwert bei 518 Bq/kg (3 Messungen), der Maximalwert bei 1330 Bq/kg. In Sachsen-Anhalt wurde mit 808 Bq/kg der Höchstwert in einem Fall überschritten. 14 Messungen ergaben hier einen Mittelwert von 124 Bq/kg. In Niedersachsen wurde ein Mittelwert von 47 Bq/kg und ein Maximalwert von 398 Bq/kg bei Wildschweinfleisch gemessen (30 Messungen). In allen anderen Bundesländern 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 hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Aus demselben Grund sind Wildschweine aus Gehegen, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, nur geringfügig belastet.

Der einmalige Verzehr von 500 g Wildschweinfleisch des am höchsten kontaminierten Tieres (10 200 Bq/kg Cs-137) hätte bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,07 mSv geführt. 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/ion/nahrungsmittel/pilze_wildbret.html und www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/speisepilze.html).

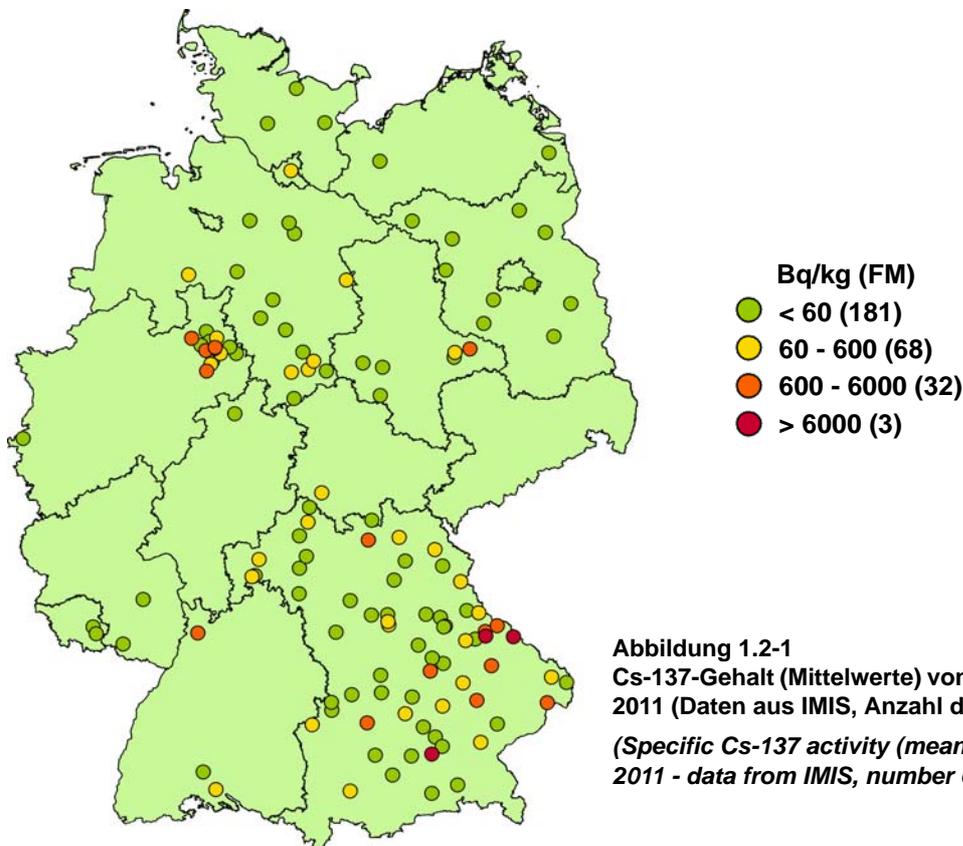


Abbildung 1.2-1
Cs-137-Gehalt (Mittelwerte) von Wildschweinen im Jahr 2011 (Daten aus IMIS, Anzahl der Werte in Klammern)
(Specific Cs-137 activity (means) in wild boar - year 2011 - data from IMIS, number of values in brackets)

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

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland existierten im Jahr 2011 folgende kerntechnische Anlagen:

- 17 in Betrieb befindliche Kernkraftwerke (Tabelle 1.3-1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 21517 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 108 TWh und einem Anteil von 17,6 % an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung und von rund 19,2 % an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2011. Ursache des Rückgangs um etwa 32 TWh gegenüber dem Vorjahr ist das endgültige Abschalten von acht Kernkraftwerken im Berichtsjahr (bzw. bereits im Vorjahr) auf Grund des Reaktorunglücks im März 2011 in Fukushima (Japan). 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, das Versuchsatomkraftwerk Kahl sowie die Leistungskraftwerke Rheinsberg, Gundremmingen A, Würgassen, Lingen, Greifswald, Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich, Stade und Obrigheim hatten den Betrieb bereits vorher beendet.
- 4 Forschungsreaktoren (Tabelle 1.3-2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 35 MW.
- 2 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau.
- 17 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente (Tabelle 1.3-3).
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Seit dem 25.09.1998 nimmt das ERAM keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung mehr an (Tabelle 1.3-4).
- Die Schachanlage Asse II (Tabelle 1.3-4).

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser der Kernkraftwerke, der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin, Garching, sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren, des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben und der Schachanlage Asse II für das Jahr 2011 sind in den Kapiteln 2.1.5 und 2.2.4 getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. In den Aktivitätsableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2011 ermittelten Aktivitätsableitungswerten geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden.

Die aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Strahlenexposition der Bevölkerung sind in Kapitel 1.3.1 zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Im benachbarten Ausland waren 2011 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle 1.3-5 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 2011 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI veröffentlicht (www.ensi.ch).

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.

Dasselbe gilt auch für die in Betrieb befindlichen dezentralen Standort-Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenbelastung 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. Tabelle 1.3-3 zeigt eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2011. Bei Einrichtungen wie z. B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Forschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Fortluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen ebenfalls 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

**Tabelle 1.3-1 Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany)**

Standort kerntechnische Anlage	Bezeichnung	Typ ^a	elektr. Bruttoleistung (MW)	Bruttostromerzeugung 2011* (MWa)	Beginn / Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Kahl	VAK	SWR	16	0	1960/1985	Main
Karlsruhe	MZFR	D ₂ O-DWR	58	0	1965/1984	Rhein
Rheinsberg	KKR	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Gundremmingen A	KRB-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	255	1974/2011	Rhein
Biblis B	KWB B	DWR	1300	198	1976/2011	Rhein
Neckarwestheim 1	GKN 1	DWR	840	167	1976/2011	Neckar
Brunsbüttel	KKB	SWR	806	0	1976/2011	Elbe
Isar 1	KKI 1	SWR	912	185	1977/2011	Isar
Unterweser	KKU	DWR	1410	284	1978/2011	Weser
Philippsburg 1	KKP 1	SWR	926	169	1979/2011	Rhein
Grafenrheinfeld	KKG	DWR	1345	1032	1981	Main
Krümmel	KKK	SWR	1402	0	1983/2011	Elbe
Hamm-Uentrop	THTR-300	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Gundremmingen B	KRB-II-B	SWR	1344	1239	1984	Donau
Grohnde	KWG	DWR	1430	1161	1984	Weser
Gundremmingen C	KRB-II-C	SWR	1344	1134	1984	Donau
Philippsburg 2	KKP 2	DWR	1468	1292	1984	Rhein
Mülheim-Kärlich	KMK	DWR	1302	0	1986/1988	Rhein
Brokdorf	KBR	DWR	1480	1166	1986	Elbe
Isar 2	KKI 2	DWR	1485	1405	1988	Isar
Emsland	KKE	DWR	1400	1320	1988	Ems
Neckarwestheim 2	GKN 2	DWR	1400	1319	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 2012, Kernkraftwerke in Deutschland Betriebsergebnisse 2011

**Tabelle 1.3-2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in der Bundesrepublik Deutschland
(Research reactors - not including reactors with zero output - in the Federal Republic of 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
Rosendorf	Forschungszentrum Dresden-Rosendorf, Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rosendorf (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

Standort	Betreiber	Bezeichnung des Reaktors	therm. Leistung * (MW)	Beginn / Ende des nuklearen Betriebes
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 1.3-3 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in der Bundesrepublik Deutschland
(*Interim storage facilities of spent nuclear fuels in the Federal Republic of Germany*)

Standort	Erteilung der Genehmigung nach AtG	Beginn des Betriebes	Stellplätze gesamt (Ende 2011 belegt)	Stellplätze gesamt (Ende 2010 belegt)
SZL Biblis	22.09.2003	18.05.2006	135 (51)	135 (46)
SZL Brokdorf	28.11.2003	05.03.2007	100 (14)	100 (13)
SZL Brunsbüttel	28.11.2003	05.02.2006	80 (6)	80 (6)
SZL Grafenrheinfeld	12.02.2003	27.02.2006	88 (13)	88 (13)
SZL Grohnde	20.12.2002	27.04.2006	100 (13)	100 (13)
SZL Gundremmingen	19.12.2003	25.08.2006	192 (34)	192 (31)
SZL Isar	22.09.2003	12.03.2007	152 (22)	152 (22)
SZL Krümmel	19.12.2003	14.11.2006	80 (19)	80 (19)
SZL Lingen	06.11.2002	10.12.2002	125 (32)	125 (32)
SZL Neckarwestheim	22.09.2003	06.12.2006	151 (41)	151 (36)
SZL Philippsburg	19.12.2003	19.03.2007	152 (36)	152 (36)
SZL Unterweser	22.09.2003	18.06.2007	80 (8)	80 (7)
AVR-Behälterlager Jülich	17.06.1993	23.08.1993	158 (152)	158 (152)
Nasslager Obrigheim	26.10.1998	Mitte 1999	980 (342)	980 (342)
TBL Ahaus	10.04.1987	06.1992	420 (56)	420 (56)*
TBL Gorleben	05.09.1983	25.04.1995	420 (113)	420 (102)
ZLN Rubenow	05.11.1999	11.12.1999	80 (74)	80 (69)
SZL Obrigheim (beantragt)	Antragstellung 22.04.2005	-	15	15

* Berichtigung: Im Transportbehälterlager Ahaus waren im Berichtsjahr wie auch im Vorjahr 329 Behälter auf 56 Stellplätzen deponiert

SZL Standortzwischenlager

TBL Transportbehälterlager

ZLN Transportbehälterlager im Zwischenlager Nord Rubenow

AVR Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich

Tabelle 1.3-4 Endlager für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland
(*Ultimate disposal facilities for radioactive waste in the Federal Republic of Germany*)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar ^{1,2} (Stand 31.12.2011)	Inventar ² (Stand 31.12.2010)
Morsleben	Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1971	36 998 m ³ / 1,02 E14 Bq	36 984 m ³ / 1,07 E14 Bq
Remlingen	Bundesamt für Strahlenschutz (bis 2009 Helmholtz Zentrum München)	Schachtanlage Asse II	1967	2,7 E15 Bq	2,8 E15 Bq

1 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.

2 Die Änderung der Aktivität ergibt sich aus dem radioaktiven Zerfall der eingelagerten Radionuklide.

Tabelle 1.3-5 Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland
(*Nuclear facilities in neighbouring countries located close to the German border*)

Land	Anlage / Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet)	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km

1.3.1 Strahlenexposition durch Anlagen nach Atomgesetz

(*Radiation exposure from facilities according to the Atomic Energy Act*)

Die für das Jahr 2011 ermittelten Daten über die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Kapiteln 2.1.5 bzw. 2.2.4 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 kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ durchgeführt.

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Tabellen 1.3.1-1 bis 1.3.1-6 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 Dosen für die kritischen Gruppen und Organe angegeben. In Fällen, in denen die Strahlenbelastung von Säuglingen unter der von Kleinkindern liegt, wird diese nicht angegeben. Außerdem werden Organdosen nur für das am meisten betroffene Organ angegeben.

Kernkraftwerke

Tabelle 1.3.1-1 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2011 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 1.3.1-1 zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 3 µSv (1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Standort Gundremmingen, sowie für Kleinkinder 6 µSv (2 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV). Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 6 µSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) ebenfalls bei Gundremmingen. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr teilweise geringfügig zurückgegangen.

In Tabelle 1.3.1-2 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen eine Aufenthaltszeit von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis und der Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark) beträgt 1,7 µSv für Kleinkinder (entsprechen ca. 0,6 % des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Emsland.

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 wurden effektive Jahresdosen von etwa 0,8 µSv für Erwachsene und 1,3 µSv für Kleinkinder ermittelt; für die Weser wurden für beide Personengruppen 0,2 µSv bzw. 0,3 µSv berechnet; am Main liegen die effektiven Jahresdosen bei 0,2 µSv bzw. 0,3 µSv, am Rhein bei 0,1 µSv und an der Donau bei 0,3 bzw. 0,6 µSv. Diese Dosiswerte ergeben sich auch für das kritische Organ (rotes Knochenmark). 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 1.3.1-3 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, Geesthacht und Berlin. Die Ergebnisse können von der Fortluft-Leitstelle ggf. plausibilisiert werden. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 2011 als höchsten Wert 14 μSv (unter 5 % des Grenzwertes) für Erwachsene beim Forschungszentrum Jülich aus und 9 μSv (3 % des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Karlsruhe (KIT). Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 13 μSv (unter 2 % des Grenzwertes) beim Forschungszentrum Jülich. Die gegenüber den Vorjahren deutlich angestiegenen Dosiswerte beim KIT bei vergleichbaren Abgaben rühren von der erstmaligen Anwendung eines konservativen Verfahrens der Bestimmung der Gammasubmersion aus der AVV an diesem Standort. Vormalig wurde die Dosis durch Gammasubmersion mit einem numerischen Verfahren standortspezifisch realitätsnäher berechnet. Die größeren Dosiswerte beim Forschungszentrum Jülich liegen an der größeren Ableitung von C-14 in Form von Kohlenstoffdioxid.

In Tabelle 1.3.1-4 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 1.3.1-5 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** und die Direktstrahlung angegeben. Die Messwerte zur Direktstrahlung beinhalten den natürlichen Untergrund.

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem **Abwasser** bedingten oberen Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe sind in Tabelle 1.3.1-6 aufgeführt. Wie in den Vorjahren liegen die Werte bei jeweils weniger als 0,1 $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$.

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 1.3.1-7 aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene betrug 2011 0,11 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,27 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,7 μSv ; dies sind ca. 0,03 %, 0,09 % bzw. 0,23 % des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Dosis des kritischen Organs (rotes Knochenmark für Säuglinge unter einem Jahr und Kleinkinder im Alter von 1 bis 2 Jahren; Knochenoberfläche für Erwachsene) errechnete sich zu 0,21 μSv für Erwachsene, 0,74 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 - 2 Jahre) und 2,2 μSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,07 %, 0,25 % bzw. 0,73 % des Grenzwertes). Die höheren Dosiswerte für mit Muttermilch ernährte Säuglinge gegenüber Kleinkindern sind darauf zurückzuführen, dass durch die Mutter aufgenommene Radionuklide an das gestillte Kind weitergegeben werden. Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis liegen auch im Berichtsjahr 2011 unterhalb von 0,1 Mikrosievert für Erwachsene und Kleinkinder. Bei den Berechnungen wurde für nicht identifizierte Betastrahler der ungünstigste Fall, dass es sich um Sr-90 handelt, angenommen.

Schachanlage Asse II

Am 1. Januar 2009 ging die Betreiberschaft der Schachanlage Asse II vom Helmholtz Zentrum München (HMGU) auf das Bundesamt für Strahlenschutz über. Seitdem wird die Anlage verfahrensrechtlich wie ein Endlager für radioaktive Abfälle behandelt.

Die errechnete potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung der Schachanlage Asse II war im Jahr 2011 wegen ungünstigerer Ausbreitungsbedingungen höher als im Vorjahr, trotz der in etwa gleichgebliebenen Ableitung von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft.

Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** ermittelte obere Wert der effektiven Dosis betrug 2011 für Erwachsene 18 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 26 μSv und für Säuglinge 32 μSv . Dies sind ca. 6 %, 9 % und 11 % des Grenzwertes gemäß Strahlenschutzverordnung. Die Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark für Säuglinge unter einem Jahr und Kleinkinder im Alter von 1 bis 2 Jahren; Knochenoberfläche für Erwachsene) wurde mit 63 μSv für Säuglinge, 37 μSv für Kleinkinder und 88 μSv für Erwachsene ermittelt. Dies sind ca. 21 %, 12 % und 5 % des zulässigen Grenzwertes.

Die potenzielle Strahlenexposition wird in der Schachanlage Asse II insbesondere durch das radioaktive Edelgas Radon-222 (11 μSv bei allen Altersgruppen) und das Radionuklid Pb-210 (15 μSv bei Säuglingen, 7,9 μSv bei Kleinkindern und 2,6 μSv bei Erwachsenen) verursacht. Das Radionuklid Pb-210 entsteht durch radioaktiven Zerfall aus Radon-222 und wird zum Teil bereits mit den Frischwetterern in die Grube eingebracht. Radon-222 ist ebenfalls bereits in den Frischwetterern vorhanden, wird aber auch aus den in der Schachanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfällen freigesetzt. Bei der Berechnung der potenziellen Strahlenexposition wurde nicht zwischen natürlichen und abfallbürtigen Radionukliden unterschieden, sondern konservativ angenommen, dass die in der Fortluft vorhandenen Radionuklide vollständig aus den eingelagerten Abfällen freigesetzt werden. Die berechneten potenziellen Strahlenexpositionen sind in Tabelle 1.3.1-7 aufgeführt.

Zentrale Zwischenlager Ahaus, Nord, Gorleben

Für das zentrale Zwischenlager Nord und die zentralen Transportbehälterlager Ahaus und Gorleben ist die Strahlenexposition durch Direktstrahlung in Tabelle 1.3.1-8 aufgeführt. Die Messwerte zur Direktstrahlung beinhalten den natürlichen Untergrund. Dieser lag im Fall von Gorleben zurzeit der Beweissicherungsmessungen 1983 - 1989 am Messpunkt 2 zwischen 0,48 und 0,68 mSv/a (Gammaortsdosis) bzw. zwischen 0,09 und 0,1 mSv/a (Neutronenortsdosis).

Bewertung

Die für 2011 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 mit Ausnahme der Schachanlage Asse II, wo auf Grund der konservativen Abschätzung der potenziellen Strahlenexposition (kein Abzug der Radioaktivität natürlichen Ursprungs in der Fortluft) in Verbindung mit ungünstigen Ableitungsbedingungen 21 % des Organdosisgrenzwertes erreicht werden können. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis einer Person der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2011 deutlich unter 10 µSv pro Jahr.

Tabelle 1.3.1-1 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 ^a					
	der effektiven Dosis				der Schilddrüsens dosis	
	für Erwachsene in µSv		für Kleinkinder in µSv		für Kleinkinder in µSv	
	2011	2010	2011	2010	2011	2010
VAK Kahl	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KKR Rheinsberg ^b	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWL Lingen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWO Obrigheim	0,1	0,3	0,2	0,5	0,2	0,5
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 ^b	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWB Biblis A, B	0,4	0,3	0,6	0,6	0,6	0,5
GKN Neckarwestheim 1, 2	0,7	0,5	1	0,9	1	0,8
KKB Brunsbüttel	< 0,1	0,2	< 0,1	0,3	< 0,1	0,3
KKI Isar 1, 2	1	3	2	5	2	5
KKU Unterweser	< 0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
KKP Philippsburg 1, 2	1	4	2	6	2	7
KKG Grafenrheinfeld	0,3	0,4	0,5	0,7	0,5	0,7
KKK Krümmel	< 0,1	0,3	< 0,1	0,5	< 0,1	0,4
KRB Gundremmingen A, B, C	3	2	6	4	6	4
KWG Grohnde	0,6	0,4	1	0,7	1	0,7
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	1	0,8	2	1	2	1
KKE Emsland	0,4	0,4	0,8	0,6	0,7	0,6

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 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

Tabelle 1.3.1-2 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	
	2011	2010	2011	2010
	KRB Gundremmingen A, B und C	0,2	0,4	0,2
KWO Obrigheim	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
KKS Stade	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWW Würgassen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWB Biblis A und B	0,1	0,1	0,2	0,2
GKN Neckarwestheim 1 und 2	0,6	0,5	1,1	0,9
KKB Brunsbüttel	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KKI Isar 1 und 2	0,3	0,3	0,5	0,5
KKU Unterweser	< 0,1	0,1	< 0,1	0,2
KKP Philippsburg 1 und 2	< 0,1	< 0,1	0,2	0,2
KKG Grafenrheinfeld	0,3	0,3	0,5	0,6
KKK Krümmel	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KWG Grohnde	0,2	0,3	0,4	0,5
KMK Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KBR Brokdorf	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
KKE Emsland	1,0	1,0	1,7	1,8
KKR Rheinsberg *	0,2	0,2	0,3	0,3
KGR Greifswald *	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

* Bei der Berechnung der Strahlenexposition konnten für Expositionspfade, bei denen die effektive Dosis durch langjährige Ablagerungen von Radionukliden bedingt ist, nur die seit 1990 mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe berücksichtigt werden

Tabelle 1.3.1-3 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	
	2011	2010	2011	2010	2011	2010
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) früheres Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) *	10	1,9	9	2,2	9	2,5
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	14	1,5	8	2,3	13	2,0
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) Gesamtstandort *	0,7	0,4	2	0,8	3	1,2
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht *	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)*	0,4	0,3	0,7	0,5	0,6	0,5
Garching, FRM I und FRM II	0,2	0,6	0,4	1	0,3	1

* Entnommen aus den Jahresberichten 2011 der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin

Tabelle 1.3.1-4 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	
	2011	2010
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	< 0,1	< 0,1
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	4,6	2,0
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	< 0,1	< 0,1

* Nach Angaben der Forschungszentren

Tabelle 1.3.1-5 Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft sowie auch Direktstrahlung*
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and direct radiation)

Betrieb	Ableitung mit der Fortluft Oberer Wert						Direktstrahlung	
	der effektiven Dosis in µSv				der Knochenoberfläche in µSv		Gamma-Ortsdosis in mSv/a	Neutronen-Ortsdosis in mSv/a
	für Erwachsene		für Kleinkinder		für Kleinkinder			
	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010
ANF GmbH (Lingen)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,73 (MP 4)	< 0,1 (alle MP)
URENCO D (Gronau)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	0,2	0,8 (MP 3)	< 0,3 (alle MP)

MP Messpunkt

* Die Messwerte zur Direktstrahlung beinhalten den natürlichen Untergrund

Tabelle 1.3.1-6 Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Betrieb	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder in µSv	
	2011	2010
ANF GmbH (Lingen)	< 0,1	< 0,1
URENCO D (Gronau)	< 0,1	< 0,1

Tabelle 1.3.1-7 Strahlenexposition in der Umgebung der Endlager 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*		2011	2010
	2011	2010	2011	2010		
Morsleben						
Erwachsene	0,11	0,14	0,21	0,25	< 0,1	< 0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,27	0,34	0,74	0,91	< 0,1	< 0,1
mit Muttermilch ernährte Säuglinge	0,7	0,89	2,2	2,77	< 0,1	< 0,1
Schachtanlage Asse II						
Erwachsene	18	12	88	55	< 0,1	< 0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	26	16	37	22	< 0,1	< 0,1
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	32	20	63	39	< 0,1	< 0,1

* Knochenoberfläche für Erwachsene, rotes Knochenmark für Säuglinge und Kleinkinder

**Tabelle 1.3.1-8 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	
	2010	2011	2010	2011
Transportbehälterlager Ahaus	0,48 (MP 3,9)	0,48 (MP 3)	< 0,1 (alle MP)	< 0,100 (alle MP)
Zentrales Zwischenlager Nord (Rubenow)	0,81 (MP 17)	0,86 (MP 15)	0,13 (MP 17)	0,102 (MP 17)
Transportbehälterlager Gorleben	-	0,99 (MP 2)	-	0,297 (MP 2)

* Die Messwerte zur Direktstrahlung beinhalten den natürlichen Untergrund
MP Messpunkt

1.4 Sonderthema Fukushima (Special topic Fukushima)

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 Landinnere 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 Jahr 2011 wieder unter die Nachweisgrenzen. Insgesamt liegt die Kontamination durch den Unfall in Fukushima drei bis vier Größenordnungen (d. h. um den Faktor tausend bis zehntausend) unter den als Folge des Unfalls in Tschernobyl gemessenen Werten [2].

Radionuklide in der Luft

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

In den Proben vom 23.03.11 wurde zunächst I-131 an den Spurenmessstellen in Braunschweig, Potsdam und Offenbach nachgewiesen, am darauf folgenden Tag dann auch an der Messstation Schauinsland. Der zeitliche Versatz des ersten Anstiegs der Aktivitätskonzentrationen belegt die Durchzugsrichtung der kontaminierten Luftmasse von Nordwesten nach Südosten. Durch Auswaschung der an den Luftstaub gebundenen Radionuklide durch Niederschläge auf dem Transportweg variierten die maximalen Aktivitätskonzentrationen von I-131 in den Proben Ende März zwischen 3,7 mBq/m^3 (Potsdam) und 1,1 mBq/m^3 (Schauinsland). Mit den automatischen nuklidspezifisch messenden Monitor-systemen wurden an 19 Messstellen des DWD an den Tagen vom 27.03.11 bis zum 30.03.11 Aktivitätskonzentrationen von bis zu 7,7 mBq/m^3 für I-131 gemessen. Für Cs-134 und Cs-137 wurden in Potsdam und Offenbach maximale Aktivitätskonzentrationen von ca. 0,4 mBq/m^3 gemessen. In Braunschweig und auf dem Schauinsland lagen die Maximalwerte bei ca. 0,1 mBq/m^3 . Im weiteren zeitlichen Verlauf glichen sich durch die Vermischung der Luftmassen die Zeitverläufe an den verschiedenen Standorten weiter an. So wurde ein zweites Maximum der Aktivitätskonzentrationen am 05.04.11 an allen Stationen zeitgleich mit ähnlichen Aktivitätskonzentrationen nachgewiesen. Die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide in der Luft nahmen in der Folge u. a. durch Verdünnung und radioaktiven Zerfall kontinuierlich ab, wobei die Aktivitätskonzentration von I-131, bedingt durch dessen recht kurze Halbwertszeit von 8 Tagen, am schnellsten abnahm. Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 1.4-1 der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von I-131 und Cs-137 an den Spurenmessstellen in Braunschweig, Potsdam, Offenbach und auf dem Schauinsland dargestellt.

In Ergänzung zu den Messungen der aerosolgebundenen Radionuklide wurden, ebenfalls auf der Basis verkürzter Probenahmezeiträume, an der Messstation Offenbach (DWD) und auf dem Schauinsland (BfS) die Aktivitätskonzentrationen des Edelgases Xenons 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.

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].

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

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 der nach Routine-Messprogramm vorgesehenen, zeitaufwändigen Probenbearbeitung unterzogen. Dieses zeitaufwändige Verfahren ermöglicht die Bestimmung von Radionukliden, deren Aktivitätskonzentrationen unter den Nachweisgrenzen liegen, die bei der direkten Messung einer frischen Luftstaubprobe erreichbar sind. Die Ergebnisse dieser ergänzenden Messungen zeigt die Abbildung 1.4-2. Darin sind die schwerer flüchtigen künstlichen Radionuklide, die nur mit diesem Verfahren nachgewiesen werden konnten, durch ein nachgestelltes "#" gekennzeichnet. Die Aktivitätskonzentrationen sind sehr gering und liegen teilweise weit unterhalb der Aktivitätskonzentrationen der übrigen nachgewiesenen künstlichen Radionuklide, jedoch deutlich über den jeweils erreichten Nachweisgrenzen. Im Vergleich zu den Aktivitätskonzentrationen der im Luftstaub enthaltenen natürlichen Radionuklide sind sie radiologisch bedeutungslos.

Neben den Proben, die im Rahmen der Ereignisse von Fukushima mit einem verkürzten Probenahmeintervall an der Messstation Schauinsland des BfS genommen wurden, wurden auch dort zusätzlich Wochenproben mit einem zweiten Hochvolumensammler entnommen. Auf Grund des - gegenüber den Tagesproben - höheren Luftvolumens und längeren Messzeiten wurde für diese Proben eine höhere Nachweispfindlichkeit 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.

Auch am Helmholtz Zentrum München (München-Neuherberg) wurde ebenfalls eine erhöhte Aktivitätskonzentration von I-131 in der bodennahen Luft gemessen. Der zeitliche Verlauf der Messergebnisse von aerosolgebundenen Radionukliden entspricht denen der anderen Spurenmessstellen. Die höchste Konzentration wurde für I-131 mit $0,6 \text{ mBq/m}^3$ Ende März gemessen. Zusätzlich zu der aerosolgebundenen Iodfraktion wurde der Anteil des gasförmigen Iods bestimmt, das in der Periode des Durchzugs der ersten kontaminierten Luftmasse etwa 60 % der Gesamtradioiodkonzentration ausmachte (Abbildung 1.4-3).

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

Radionuklide in Binnengewässern

Aus radiologischer Sicht ist der Gütezustand der Binnengewässer in 2011 mit dem der letzten Jahre vergleichbar. Relevante Auswirkungen des Reaktorunfalls von Fukushima waren nicht zu verzeichnen: Lediglich in einer Schwebstoff- und in einer Sedimentprobe wurde Cs-134 mit unter 1 Bq/kg TM nachgewiesen. Bei anderen Radionukliden, insbesondere I-131 und Cs-137, ist ein diesbezüglicher Einfluss wegen der anderweitigen Einträge nicht explizit aufzeigbar.

Radionuklide in Blattgemüse, Milch und Weidenbewuchs

Als wahrscheinliche Folge des Reaktorunfalls von Fukushima wurden vereinzelt Cs-134- und I-131-Messwerte in den verschiedenen Umweltbereichen gefunden, wobei die Mehrzahl der Messwerte in Weide- u. Wiesenbewuchs zu finden sind. Leitstelleneigene Messungen bestätigen die in IMIS aufgezeigten Messwerte und ergeben für den Umweltbereich Blattgemüse (ungeschützter Anbau) in Bezug auf Cs-134 Messwerte bis $0,05 \text{ Bq/kg FM}$ und für I-131 bis zu $0,55 \text{ Bq/kg FM}$. Hofmilch liegt im Rahmen dieser Untersuchungen für Cs-134 und I-131 bei jeweils bis zu $0,01 \text{ Bq/l}$. Weide- u. Wiesenbewuchs liefern die höchsten Messwerte, die für Cs-134 bei $0,24 \text{ Bq/kg FM}$ und für I-131 bei $3,84 \text{ Bq/kg FM}$ liegen.

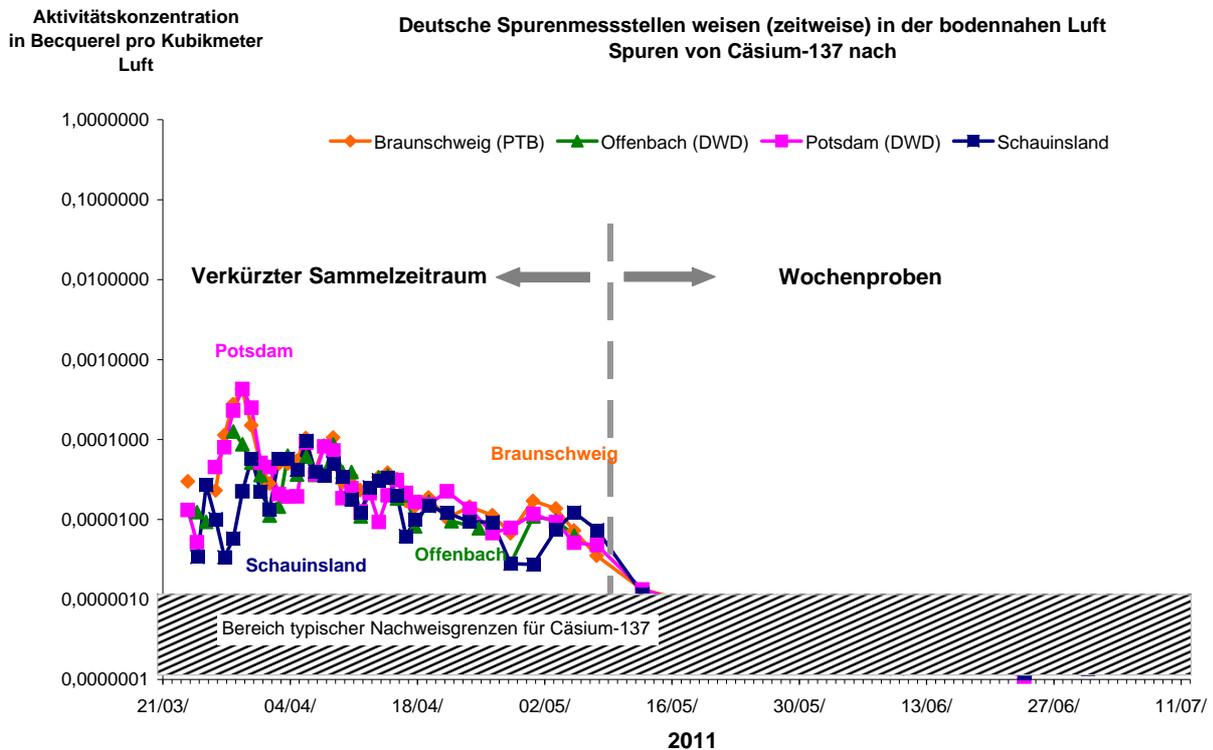
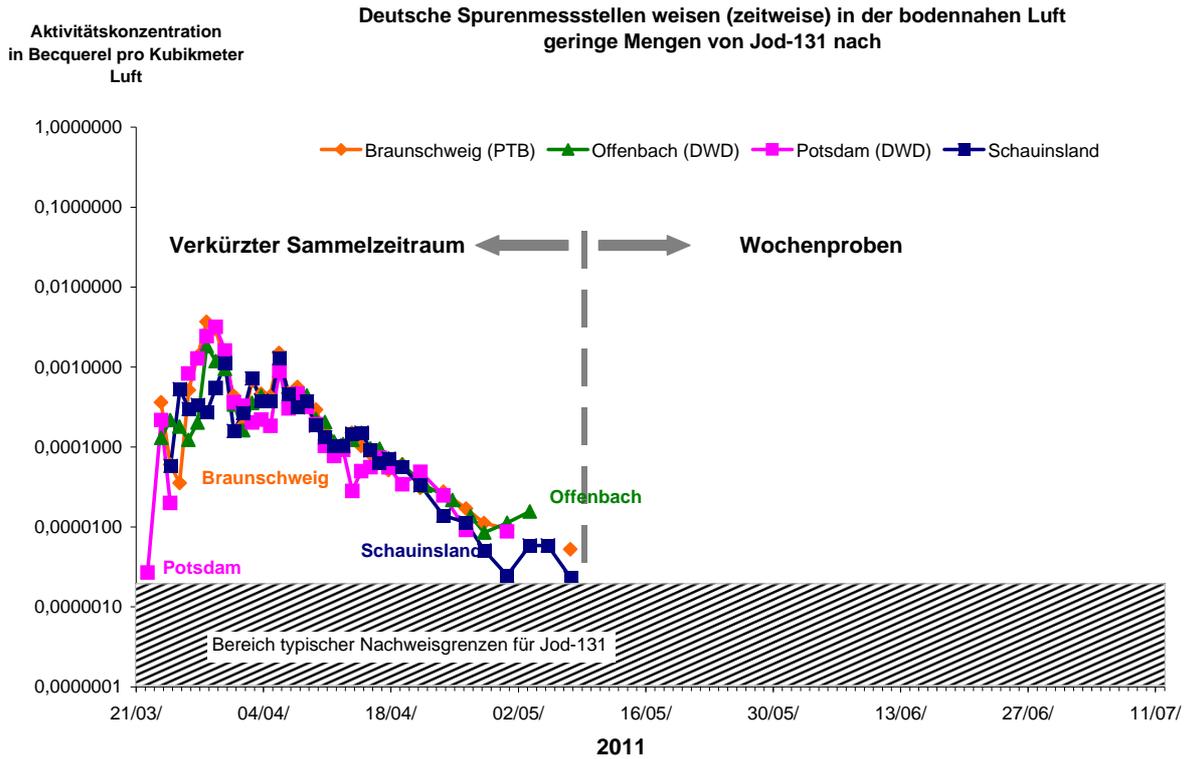


Abbildung 1.4-1 Aktivitätskonzentrationen von I-131 und Cs-137 an den deutschen Spurenmessstellen, die Bestandteil des EU-Sparse Network sind
(Activity concentrations of I-131 and Cs-137 in ground-level air at those German sampling sites, which are part of the EU-Sparse Network)

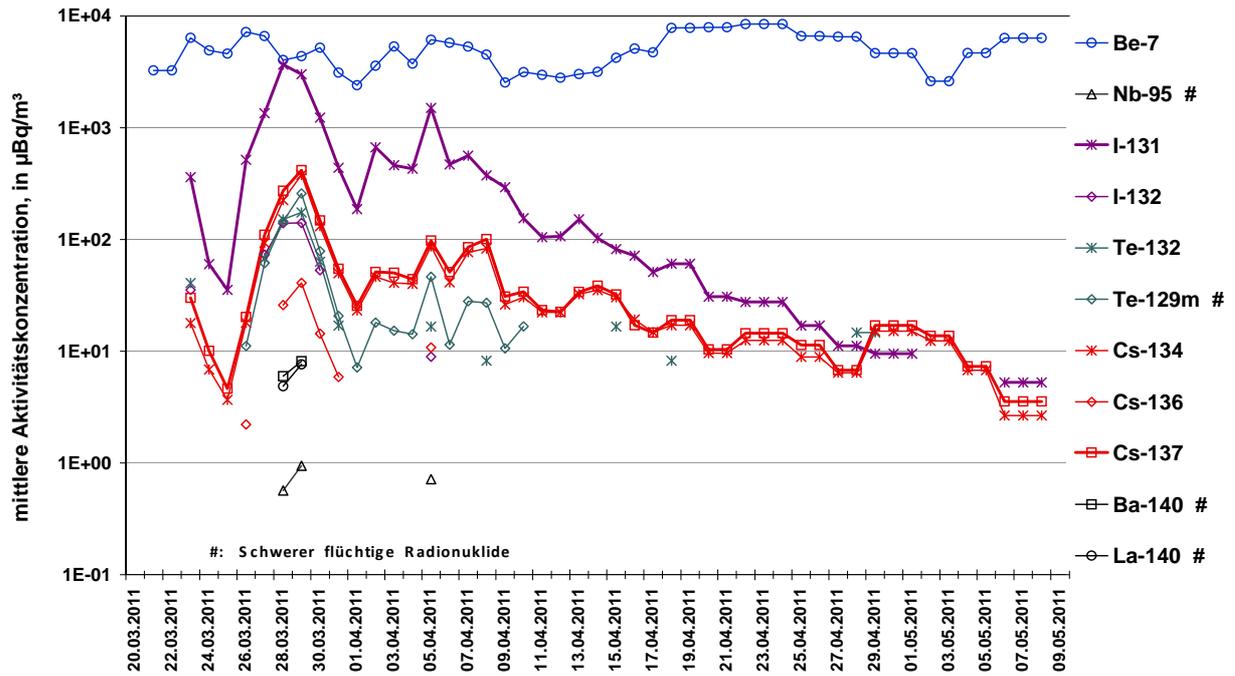


Abbildung 1.4-2 Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide aus Fukushima in der bodennahen Luft im Zeitraum März 2011 bis Mai 2011 am Probenahmeort Braunschweig
(Activity concentrations of artificial radionuclides from Fukushima in ground-level air at the sampling site Braunschweig in the period March 2011 to May 2011)

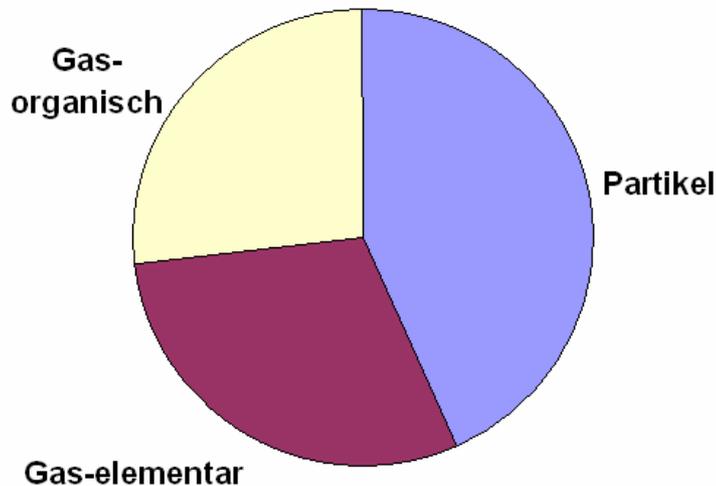


Abbildung 1.4-3 Anteil der I-131-Aktivität in München-Neuherberg in den Fraktionen partikelgebunden, gasförmig-elementar und gasförmig-organisch in der Periode 28. bis 31. März 2011
(Composition of the I-131 activity concentration in München-Neuherberg in the fractions aerosol bound, gaseous elementary and gaseous organic for the timer period 28./31.03.2011)

Radionuklide in importierten Fischereierzeugnissen

Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 wurde ein europaweites Schnellwarnsystem zur Überwachung der Radioaktivität aus dem pazifischen Raum importierter Lebensmittel 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 in Japan vor dem Export erhoben wurden und für jede Sendung zu dokumentieren sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen der deutschen Landesmessstellen auf Cs-137 sind in Tabelle 1.4-1 zusammen-

Dem BfS lagen bis Ende 2011 die Ergebnisse von 358 Ganzkörper- und Schilddrüsenmessungen vor. Bei insgesamt 75 Personen (20,9 %) konnten radioaktive Stoffe nachgewiesen werden, die dem Unfall in Japan zuzuordnen sind. Anfangs handelte es sich vor allem um die Radionuklide I-131 und Te-132, später um Cs-137 und Cs-134.

Die aus den Inkorporationen resultierende effektive Dosis war gering und lag meist unter 0,1 mSv. Die höchste effektive Dosis betrug in einem Ausnahmefall ca. 0,5 mSv, die höchste Schilddrüsendosis ca. 80 µSv. Die nachgewiesenen Inkorporationen stellen keine gesundheitliche Gefährdung der betroffenen Personen dar. Abbildung 1.4-4 gibt einen Überblick über die Anzahl der im Jahr 2011 in Deutschland durchgeführten Untersuchungen und die Häufigkeit des Nachweises von inkorporierten radioaktiven Stoffen.

Bewertung des in Deutschland beobachteten Einflusses der Freisetzungen in Fukushima

Die Messergebnisse künstlicher Radionuklide aus den Freisetzungen der zerstörten Reaktoren des Kraftwerks Fukushima stellen 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

Gestützt auf die Verordnung (EG) Nr. 178/2002 hat die Europäische Kommission Sondervorschriften für die Einfuhr von Lebens- und Futtermittel auf Japan erlassen. Nach der EU-Durchführungsverordnung Nr. 284/2012 vom April 2012 dürfen Milch und Molkereierzeugnisse sowie Lebensmittel für Säuglinge und Kleinkinder maximal 50 Bq/kg an Cs-137 und Cs-134 enthalten. Für sonstige Lebensmittel gilt ein Grenzwert von 100 Bq/kg.

Literatur

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

2. Aktivitätsmessungen und Messnetze (*Activity measurements and monitoring networks*)

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 für IMIS (ZdB) bereitgestellt. Weitere Informationen zu den Radioaktivitätsmessnetzen von BfS und DWD sind in diesem Bericht in Teil A - II - 2.1 enthalten.

Messungen im Rahmen der Spurenanalyse dienen 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 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 2011, 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. Lediglich in dem Zeitraum, in dem die Luftmassen von den Emissionen aus Fukushima (siehe auch Sonderthema Fukushima Teil B-II-1.4) beeinflusst waren, wurden erhöhte Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide nachgewiesen.

2.1.1 Radionuklide in der bodennahen Luft (*Radionuclides in ground-level air*)

Monitoring

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

Als über 16 Messstationen des DWD errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen Gesamt- β -Aktivitätskonzentration der Luft resultierte für das Jahr 2011 ein Wert von 0,6 mBq/m³ (2010: 0,5 mBq/m³). Der Wert liegt innerhalb des Schwankungsbereichs der Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Radionuklide in der Luft.

Edelgase

Auch im Jahr 2011 wurden am BfS Messungen des radioaktiven Xenons und des Kr-85 durchgeführt. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von Xe-133 an den sieben deutschen Probenahmestationen lagen, wie schon in den vergangenen Jahren, in der Regel zwischen 1 und 100 mBq/m³ Luft. Höhere Aktivitätskonzentrationen mit bis zu 2,7 Bq/m³ in Tagesproben (Messstation Schauinsland) und 1,7 Bq/m³ in Wochenproben (DWD-Station Potsdam) wurden kurzzeitig Ende März/Anfang April in Zusammenhang mit den Emissionen aus Fukushima beobachtet. Ab dem 21. März wurden auch direkt an der DWD-Station Offenbach erhöhte Messwerte von bis zu 2,6 Bq/m³ in Proben mit einem Sammelzeitraum von 2 Tagen für Xe-133 festgestellt. Als Beispiel ist in Abbildung 2.1.1-1 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).

Nachdem der Grundpegel von Kr-85 in der Luft über lange Zeit mit ca. 30 mBq/m³ pro Jahr leicht angestiegen ist, ist seit 2003 ein Abflachen der Kurve zu beobachten (siehe Abbildung 2.1.1-2), das sich im Berichtsjahr fortgesetzt hat. Der jährliche Anstieg wurde dadurch hervorgerufen, dass die Freisetzungsrate von Kr-85 größer war als seine durch die Halbwertszeit von 10,76 Jahren bestimmte Zerfallsrate. Die aktuellen Messdaten spiegeln auch für 2011 den eher rückläufigen Trend der Kr-85-Emissionen aus Wiederaufarbeitungsanlagen wider. So wurde von dem Hauptemittenten, der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague, im Jahre 2011 eine Aktivität von $1,92 \cdot 10^{17}$ Bq Kr-85 in die Atmosphäre entlassen. Die bisher maximale jährliche Aktivität von $3,2 \cdot 10^{17}$ Bq wurde im Jahre 1998 emittiert.

Der Medianwert für die Aktivitätskonzentration von Kr-85 für den Probenahmeort Freiburg – er ist repräsentativ für die 10 mitteleuropäischen Stationen – betrug im letzten Jahr 1,54 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.

Die Summe der Beiträge von Kr-85 und Xe-133 zur γ -Ortsdosisleistung liegt, auch unter Berücksichtigung der kurzzeitigen Erhöhungen durch die Emissionen aus Fukushima, unter 30 nSv/a und ist gegenüber den durchschnittlichen Werten der γ -Ortsdosisleistung in Deutschland sehr klein.

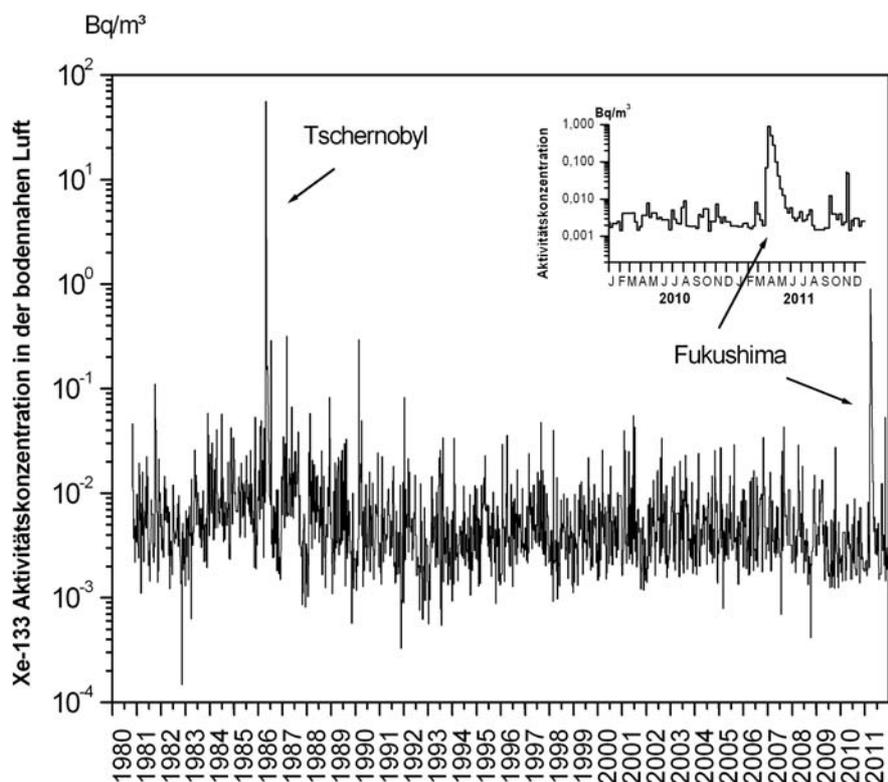


Abbildung 2.1.1-1 Xe-133-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenahmeort Freiburg (Xe-133-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Freiburg)

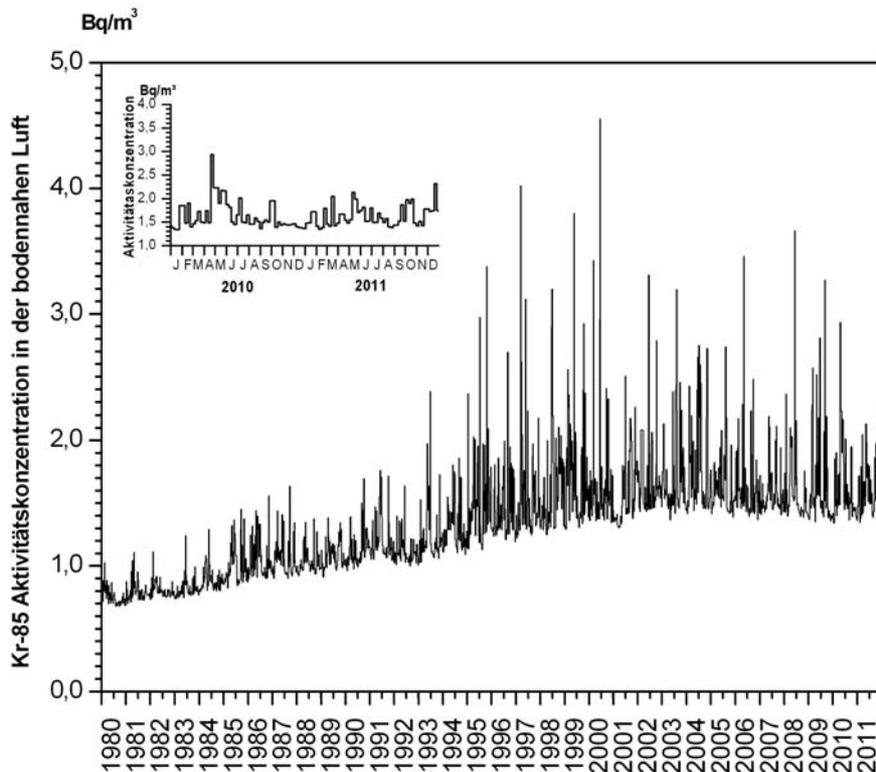


Abbildung 2.1.1-2 Kr-85-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft am Probenahmeort Freiburg (Kr-85-activity concentrations of in air close to ground level at the sampling location Freiburg)

Gammaskpektrometrie

Für spurenanalytische Messungen werden wöchentlich beaufschlagte Staubfilter zunächst γ -spektrometrisch ausgewertet. In Tabelle 2.1.1-1 werden exemplarisch die Messergebnisse des DWD für Aachen, Berlin/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 Offenbach und Potsdam werden in Abbildung 2.1.1-3 grafisch dargestellt. Das Radionuklid Cs-137 ließ sich in Potsdam mit Werten zwischen 0,28 und 94 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 0,2 und 35 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, das kosmogene Be-7 in Potsdam mit Werten zwischen 2,2 und 4,1 mBq/m^3 Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 2,2 und 5,3 mBq/m^3 Luft nachweisen, das heißt, die Werte liegen in den Monaten Januar und Februar und von Juni bis Dezember im üblichen Schwankungsbereich und sind vergleichbar mit Ergebnissen aus dem Jahr 2010. Die erhöhten Werte für Cs-137 in den Monaten März, April und Mai resultierten aus den Freisetzungen von Fukushima. An den Messstationen zeigten sich in den Monaten April, Mai, Juni und Juli teilweise höhere Werte für die Aktivitätskonzentration des Be-7. Dieser Effekt ist auf einen erhöhten Austausch von Luftmassen zwischen Stratosphäre und Troposphäre zurückzuführen und damit auf einen stärkeren Eintrag des Be-7 aus der oberen Atmosphäre in die bodennahe Luft.

An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei 2,7 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft (vgl. Abbildung 2.1.1-4, Tabelle 2.1.1-1d). Die Erhöhung des Jahresmittelwerts gegenüber denen der vorangegangenen Jahre resultiert aus den erhöhten Messwerten im Zeitraum von Ende März bis Ende Mai, die durch die Freisetzungen bei der Reaktorkatastrophe in Fukushima hervorgerufen wurden. Dadurch wurden in diesem Zeitraum weitere künstliche Radionuklide, wie z. B. I-131 und Cs-134 nachgewiesen. Der Höchstwert der mittleren wöchentlichen Aktivitätskonzentration des Cs-137 als Folge des Unfalls in Fukushima wurde in der 14. Kalenderwoche mit 44 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ermittelt, die höchste Aktivitätskonzentration in einer Tagesprobe wurde mit 96 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ registriert. Im übrigen Zeitraum lagen die Aktivitätskonzentrationen im Rahmen der üblichen Schwankungen der Werte der vergangenen Jahre. Weitere 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 0,15 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft. Die Messwerte für Be-7 in den Wochenproben lagen zwischen 1,3 und 10 mBq/m^3 Luft innerhalb des für diese Station üblichen Rahmens.

In Braunschweig lagen die Routine-Aktivitätskonzentrationen von K-40 und Cs-137 im Berichtszeitraum im üblichen Bereich der vorangegangenen Jahre (vgl. auch Abbildung 2.1.1-5). Neben dem Cs-137 aus dem Reaktorunfall in Fukushima zeigt das Diagramm den im Frühjahr üblichen Anstieg der Aktivitätskonzentration des K-40 durch Pollenflug, der eintrat, als die Cs-137-Kontamination aus Fukushima bereits zurückging. Der in den meisten Jahren beobachtbare Einfluss der Getreiderente ist auf Grund der regnerischen Witterung so gut wie nicht zu erkennen. Der Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 zeigt außer der Kontamination aus Fukushima die üblichen jährlichen Schwankungen.

Besondere Vorkommnisse

Nachweis künstlicher Radionuklide aus den Freisetzungen von Fukushima siehe Kapitel Teil B -II-1.4.

Großräumiger Nachweis von I-131 Ende Oktober / Anfang November 2011

Im der ersten Novemberwoche 2011 wurden an den Spurenmessstellen im Nord-Osten Deutschlands Spuren von I-131 im Bereich einiger zehn Millionstel Becquerel pro Kubikmeter Luft nachgewiesen. So wurde z. B. in Braunschweig in den beiden Wochenproben der 44. Kalenderwoche (31.10.2011 bis 07.11.2011) folgende Aktivitätskonzentrationen ermittelt:

Probe 1: 9,6 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3 \pm 1,3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (NWG = 2,7 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) und

Probe 2: 9,0 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3 \pm 1,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (NWG = 1,8 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

In der gleichen Woche wurde an der Station Potsdam des DWD eine ähnlich hohe Aktivitätskonzentration an I-131 gefunden:

DWD-Potsdam: 10,9 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3 \pm 2,6 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (NWG = 2,1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

Andere künstliche Radionuklide wurden an keiner der Spurenmessstellen detektiert. An den beiden Spurenmessstellen des BfS auf dem Schauinsland und in Freiburg wurden auf Grund der vorherrschenden Luftströmung keine auffälligen Werte festgestellt. Auch in Schweden, Dänemark, Norwegen, der Tschechischen Republik, Österreich und Frankreich war in diesem Zeitraum I-131 nachgewiesen worden, in Polen und in Österreich bereits auch in den beiden vorhergehenden Wochen. Da die Quelle des I-131 zunächst unbekannt war, stellte die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA, International Atomic Energy Agency, www.iaea.org) eine entsprechende Anfrage an die Mitgliedstaaten. Es stellte sich heraus, dass in einer Firma in Ungarn zur Herstellung von Radioisotopen für medizinische Zwecke in diesem Zeitraum I-131 freigesetzt worden war.

Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen lagen weit unter denen, die nach Fukushima in Europa gemessen worden waren, und waren daher ebenfalls nicht von radiologischer Bedeutung. Dennoch zeigt dieses Ereignis, wie wichtig die Zusammenarbeit und der Datenaustausch im internationalen Rahmen sind. Nur durch eine Übersicht über die Messergebnisse in Europa konnten bereits früh die Herkunftsregion und Art der Quelle eingegrenzt werden.

Tabelle 2.1.1-1 Einzelnuklid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft
(Activity concentrations of individual nuclides in ground-level air)

a) Messungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Probenahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
2002	2530	0,3	9	0,7	310
2003 *	2730	0,4	10	0,62	344
2004 *	2650	0,3	10	0,35	252
2005 *	3300	0,3	10	0,43	434
2006 *	3810	0,5	11	0,58	438
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
Januar	2268	0,2	4,7	0,27	184
Februar	4030	0,3	11,9	0,97	692
März	4055	0,4	10,1	33,2**	440
April	5464	0,7	15,7	23,8**	377
Mai	4311	0,6	13,6	2,7**	301
Juni	4014	0,6	9,9	0,38	249
Juli	3487	0,4	10,7	0,23	225
August	3894	0,4	8,1	0,18	335
September	3335	0,3	7,5	0,18	419
Oktober	2635	0,2	7,9	0,31	461
November	2925	0,2	12,2	0,82	1188
Dezember	2248	0,2	7,6	0,14	122

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet ** Monatsmittelwerte, durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst

b) Messungen des Helmholtz Zentrum München, Probenahmestelle: München-Neuherberg

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
2002	3040	< 0,31	k. A.	1,44	475
2003	3250	< 0,30	< 0,07	1,61	476
2004 *	2590	< 0,28	< 0,07	0,96	352
2005 *	2970	< 0,40	< 0,07	1,03	494
2006 *	3010	< 0,29	< 0,07	1,06	431
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		3,02	676
Januar	2480	0,24	<	2,22	543
Februar	3590	0,26	<	1,99	1016
März	3960	< 0,61	3,5**	5,53**	724
April	5740	< 0,69	14,7**	18,32**	508
Mai	5480	0,60	0,9**	1,90**	432
Juni	4190	0,50	<	0,34	383
Juli	4270	0,49	<	0,22	411
August	4710	0,33	<	0,46	630
September	4340	0,32	<	0,51	754
Oktober	3350	< 0,15	<	1,05	874
November	3080	0,21	<	2,73	1482
Dezember	2130	< 0,12	<	0,95	359

< Messwert kleiner Nachweisgrenze , * Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet
k. A. keine Angaben ** Monatsmittelwerte, durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst

- c) Messungen des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach/Main
Probenahmestellen: 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
2002	2284	< 3,6	2769	1,3	2821	1,6	2803	< 2,6
2003	2233	< 3,7	1451	0,5	1387	0,8	1606	< 2,8
2004	2240	< 4,2	2870	0,4	2510	0,6	2870	< 2,8
2005 *	2320	< 4,4	3020	0,4	2840	0,6	3080	< 2,8
2006 *	2913	< 4,6	3910	0,5	3746	1,1	3932	< 3,4
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
Januar	1924	< 1,01	2310	0,33	2160	0,3	2590	< 2,1
Februar	3570	1,45	3736	0,79	3527	1,9	3465	< 2,5
März	2858	74,5**	3801	35**	4099	94**	4098	29,2**
April	3272	35,2**	4950	26**	4088	28**	4930	22,9**
Mai	3072	4,81**	5304	3,7**	3862	3,7**	4195	5,2**
Juni	2299	< 1,18	3977	0,3	3488	0,4	3138	< 0,7
Juli	1901	< 1,09	3348	< 0,2	3008	0,3	2608	< 0,6
August	2795	< 0,68	4020	< 0,2	3978	0,3	3240	< 0,7
Sept.	2692	< 1,21	4022	< 0,2	3468	0,3	3396	< 0,9
Oktober	2249	< 1,28	2680	0,5	2736	1,3	3210	< 0,7
November	2663	1,74	2738	1,1	2892	1,2	3152	< 0,8
Dezember	2127	< 1,32	2220	0,3	2282	0,9	2472	< 0,8

< Messwert kleiner Nachweisgrenze, * Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

** Monatsmittelwerte, durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst

*** Im Mai 2010 wurde die DWD-Station Berlin nach Potsdam verlegt

- d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz
Probenahmestelle: Messstation Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$		
	Be-7	Na-22	Cs-137
2002	4540		0,6
2003 *	3870		0,44
2004 *	4050		< 0,35
2005 *	4960		< 0,4
2006 *	4960		0,40
2007 *	4770		0,34
2009 *	5080		0,35
2010 *	4350	< 0,4	< 0,30
2011 *	5310	0,47	2,7
Januar	3250	0,19	< 0,23
Februar	4650	0,33	0,25
März	4940	0,46	8,73**
April	6770	0,65	18,90**
Mai	7250	0,91	2,42**
Juni	5970	0,77	0,22
Juli	4950	0,51	0,21
August	6630	0,54	0,23
September	6550	0,44	0,19
Oktober	5310	0,31	0,21
November	5310	0,35	0,23
Dezember	2180	0,19	< 0,13

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

- e) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz
Probenahmestellen: Freiburg, Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m ³			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
2002	1604	5,0	1695	5,7
2003 *	1700	7,5	1680	6,5
2004 *	1780	6,0	1790	5,9
2005 *	1690	5,6	1652	4,9
2006 *	1710	6,0	1660	6,5
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
Januar	1550	1,8	1570	1,9
Februar	1480	4,3	1480	3,4
März	1610	208,2**	1560	195,7**
April	1620	267,4**	1560	232,8**
Mai	1800	12,1**	1840	10,5**
Juni	1610	2,3	1680	3,9
Juli	1540	2,9	1560	3,6
August	1460	2,0	1470	1,5
September	1570	4,5	1560	4,1
Oktober	1790	1,9	1830	3,1
November	1480	2,8	1530	14,0
Dezember	1780	1,7	1830	2,4

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

** Monatsmittelwerte, durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

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 im Bereich von einer Nachweisgrenze von 0,039 bis zu einem Wert von 0,37 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ermittelt. Für U-238 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,034 und einem Wert von 0,37 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ festgestellt. Diese Messwerte spiegeln die natürlich vorkommenden Aktivitätskonzentrationen wider. Beide Isotope befinden sich in der Regel im radioaktiven Gleichgewicht.

In Potsdam wurden in den Monaten März bis Juli Aktivitätskonzentrationen an Pu-(239+240) zwischen 0,0013 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis zu einem Wert von 0,0061 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ gefunden. Dies erklärte sich durch Resuspension von Pu-(239+240) aus dem Boden. In Schleswig wurden Aktivitätskonzentrationen an Am-241 zwischen 0,001 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bis zu 0,042 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ gemessen. Die Aktivitätskonzentration von Pu-(239+240) lag im April und Mai bei 0,006 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$.

Die Aktivitätskonzentration des Sr-90 lag unterhalb der Nachweisgrenze. Diese betrug zwischen 0,04 und 0,6 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft. In Abbildung 2.1.1-6 sind die entsprechenden Monatswerte für U-234, U-238 und U-235 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 1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ gefordert. Diese wurden eingehalten.

In der PTB konnten für den Berichtszeitraum keine plausiblen Messergebnisse für α - oder β -Teilchen emittierende Radionuklide ermittelt werden. Bei der Validierung des radiochemischen Trennungsganges mit Ionenchromatographie-Harzen, zu der Luftstaubaschen des Jahres 2010 eingesetzt wurden, stellte sich heraus, dass die bisweilen hohen Aktivitäten von Po-210 im Luftstaub nur unzureichend abgetrennt werden. Ursache für die bisher zu geringen Sr- und Pu-Ausbeuten ist vermutlich der relativ hohe Silicatgehalt als Folge des Totalaufschlusses der Proben.

Beim BfS in Freiburg wurden die Modernisierungsmaßnahmen im Radiochemielabor im Berichtsjahr abgeschlossen und der Betrieb wieder aufgenommen. Durch die zunächst erforderlichen Maßnahmen zur Qualitätssicherung liegen zum Zeitpunkt der Berichterstattung noch keine Daten für den Berichtszeitraum vor.

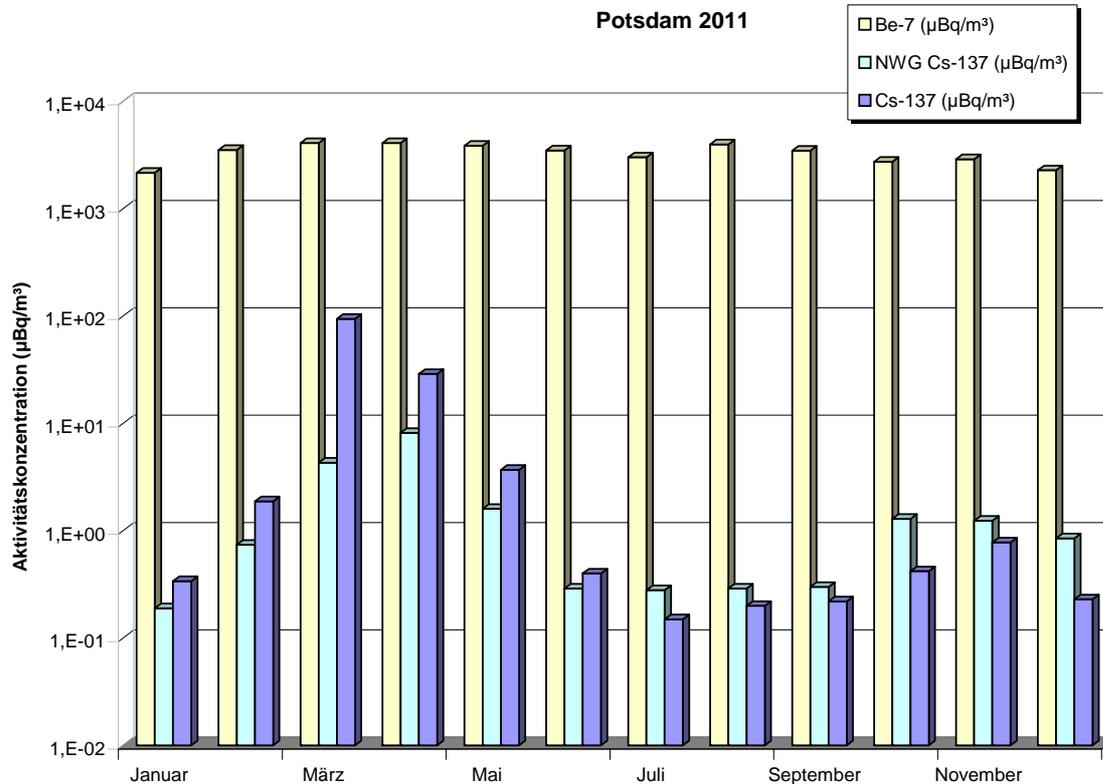
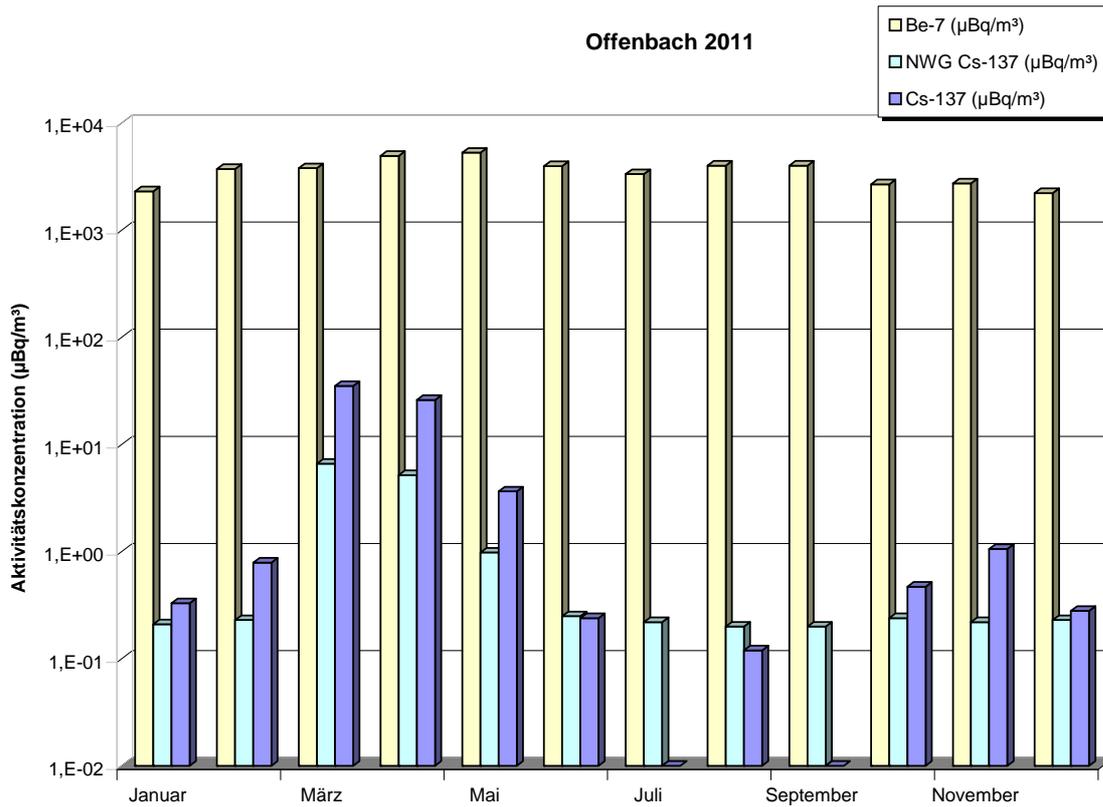


Abbildung 2.1.1-3 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2011 - DWD-Stationen Berlin/Potsdam und Offenbach
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2011 at the DWD stations in Berlin/Potsdam and Offenbach)

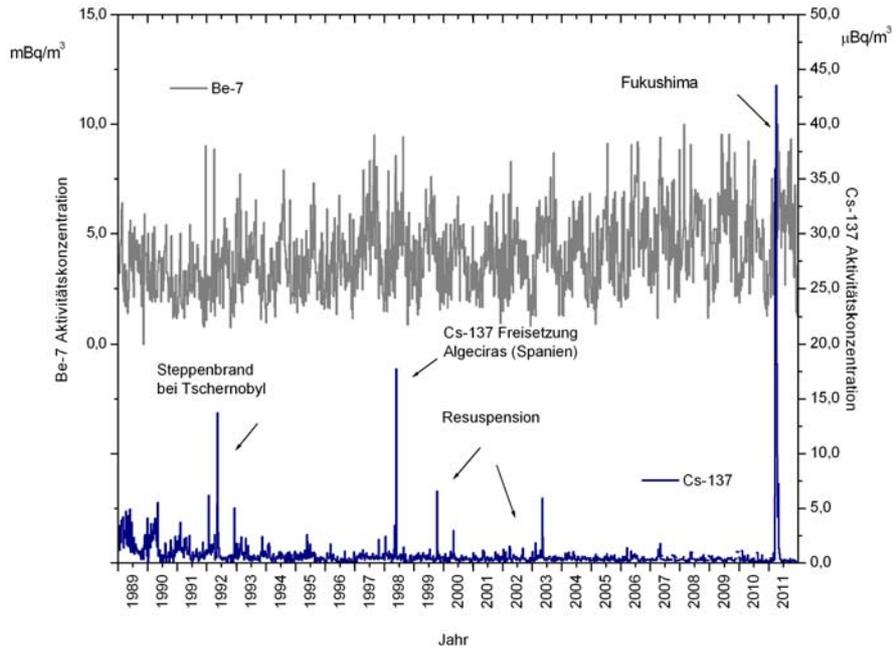


Abbildung 2.1.1-4: Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft am Probenahmeort Schauinsland
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in ground level air at Schauinsland measuring station)

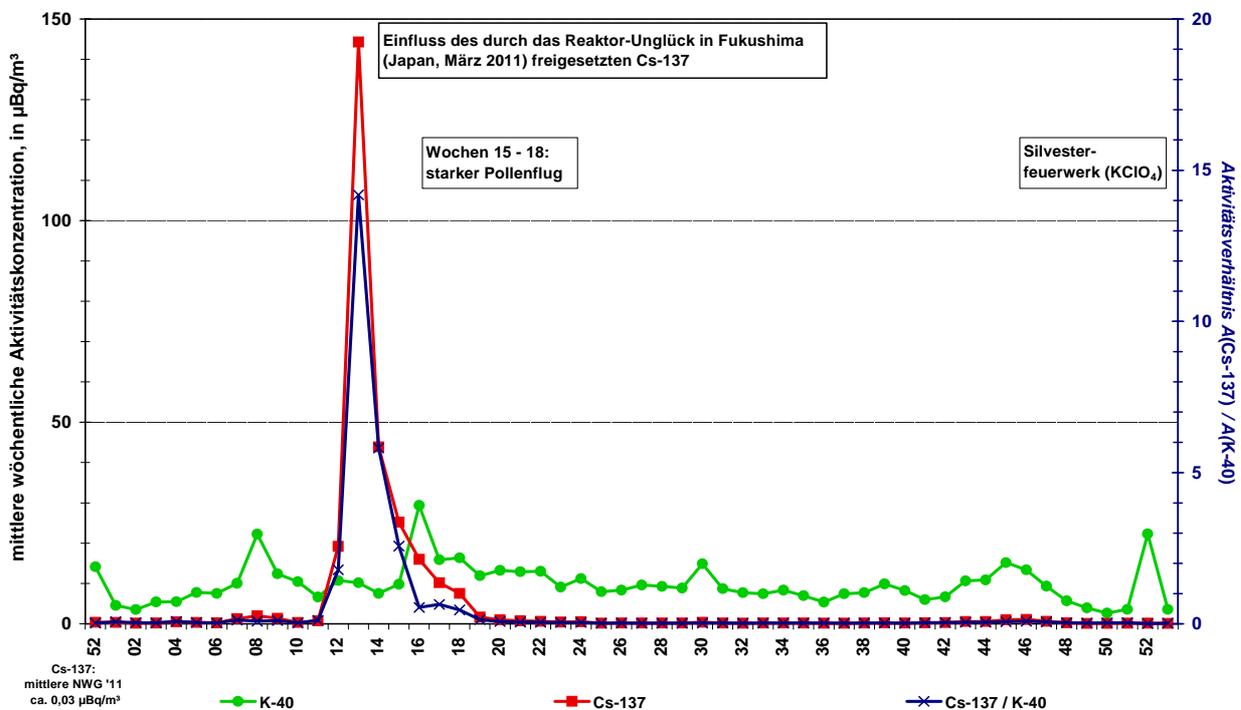


Abbildung 2.1.1-5: Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft 2011 am Probenahmeort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratio of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2011)

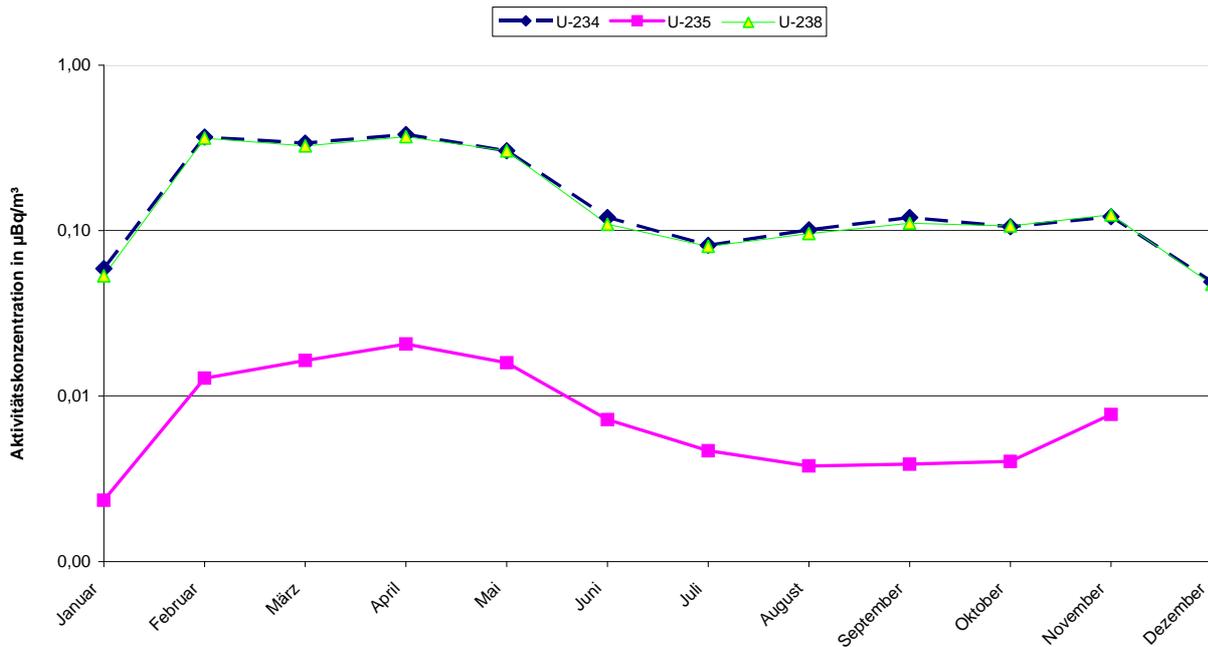


Abbildung 2.1.1-6 Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft von Uranisotopen für das Jahr 2011 am Probenahmeort Potsdam
(Activity concentrations and activity ratio of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Potsdam from 2011)

2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition) (Total deposition of radionuclides)

Gesamt-β-Aktivität

Zur Fortsetzung der langjährigen Messreihe wurde die Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag (Gesamtdeposition) ermittelt. Der stationsspezifische Jahreswert der Deposition errechnet sich aus der Summe der Tagesproben. Für das Jahr 2011 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 58 Bq/m² (2010: 70 Bq/m²).

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 2.1.2-1 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Deposition zugeführten Gesamt-β-Aktivität von 1957 bis 2011 in Bq/m². Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bq/m² zeigt Abbildung 2.1.2-2. Hier heben sich besonders die niederschlagsreichen Bergstationen hervor.

Gammaskpektrometrie

Monatssammelproben von 40 Messstationen wurden γ-spektrometrisch analysiert. Die Nachweisgrenzen für die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen zwischen 0,4 und 129 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 den Tabellen 2.1.2-1a) und 1b) als Monatswerte und als aufsummierte Jahreswerte zusammengefasst. Diese Daten dienen als Vergleichsgrößen, um Veränderungen gegenüber den Vorjahren festzustellen. Die Werte waren im Jahr 2011 ähnlich denen im Jahr 2010. Die Abbildung 2.1.2-3 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 Bq/m² und 0,26 Bq/m². Für kosmogenes Be-7 wurden Messwerte zwischen 0,7 und 163 Bq/m² (Offenbach) und Messwerte zwischen 1,5 und 11 Bq/m² (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. 0,21 bis 110,0 mBq/l, für Pu-(239+240) und Am-241 ca. 0,003 bis 1,45 mBq/l und für H-3 zwischen 0,5 und 1,6 Bq/l bei der elektrolytischen Anreicherung. Natürlich vorkommendes aerosolgebundenes U-234 und U-238 wurde ausgewaschen.

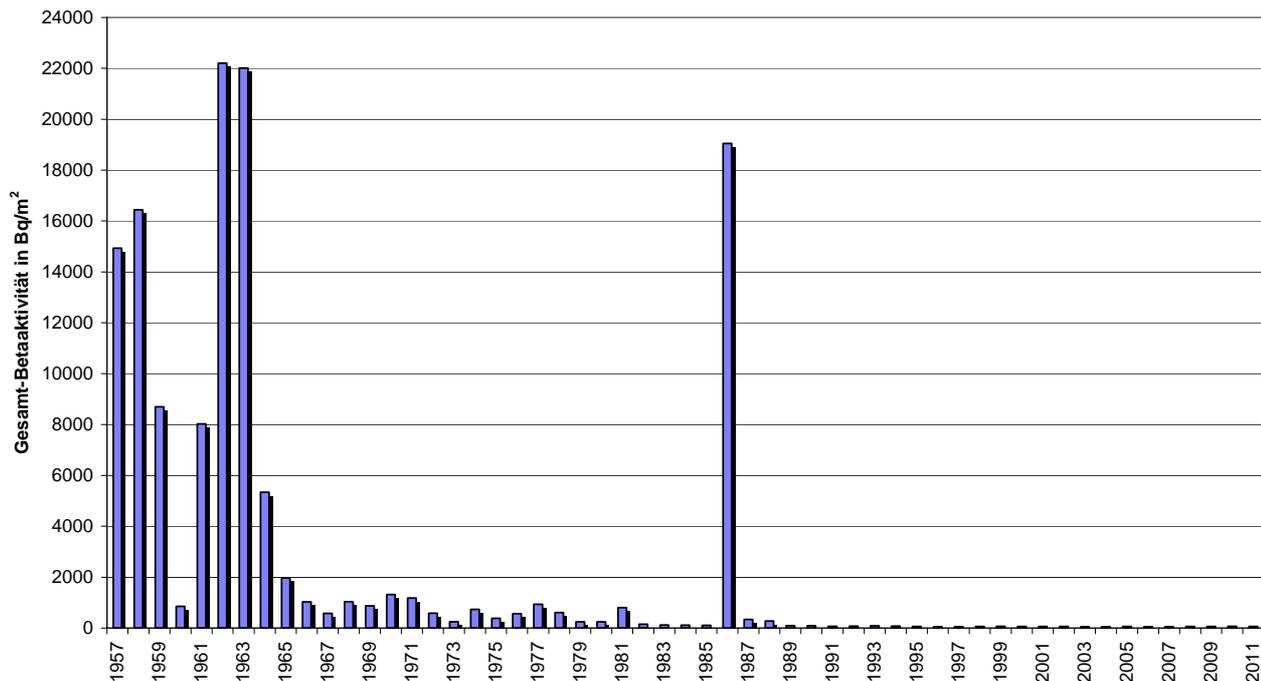


Abbildung 2.1.2-1 Langlebige Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag – Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messstationen von 1957 bis 2011
(Long-lived total β activity in precipitation – Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2011)

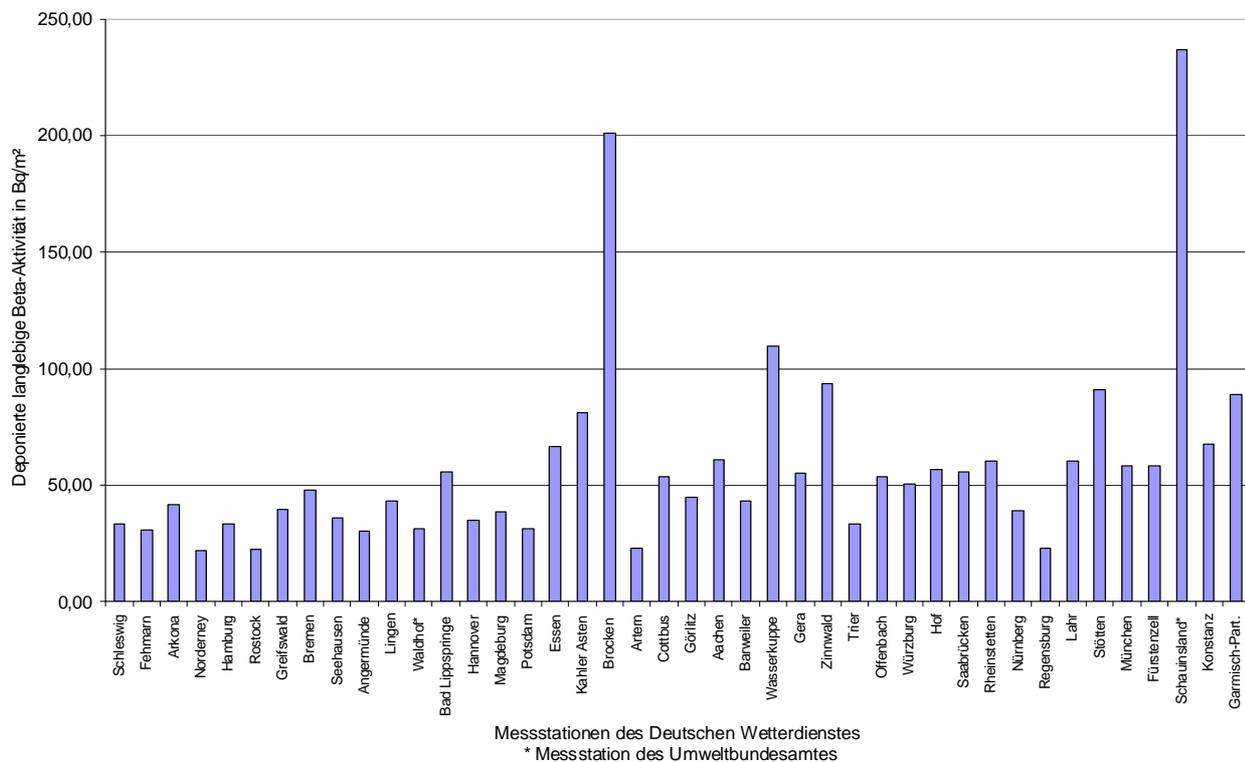


Abbildung 2.1.2-2 Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2011 zugeführte langlebige Gesamt- β -Aktivität – stationsspezifische Jahressummen
(Deposition of additional long-lived total β activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2011)

**Tabelle 2.1.2-1 Deposition von Einzelnucliden mit dem Niederschlag
(Deposition of individual nuclides with precipitation)**

a) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

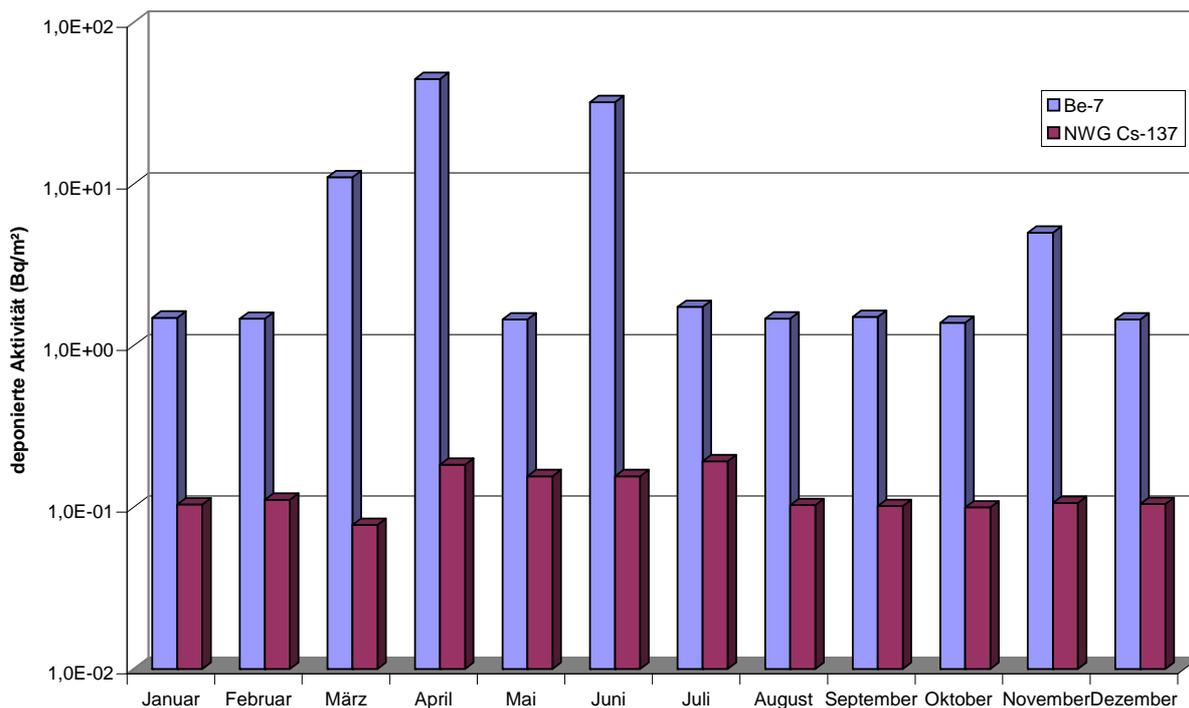
Zeitraum	Offenbach am Main			Potsdam		
	l/m ²	Deposition in Bq/m ²		l/m ²	Deposition in Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2002	735,9	718	< 0,82	736,8	608	< 1,83
2003	239,9	162	< 0,56	212,9	74	< 0,77
2004	617,6	567	< 0,92	533,2	363	< 1,38
2005	559,2	639	< 0,46	590,2	308	< 1,37
2006	620,3	860	< 0,56	451,5	361	< 1,56
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
Januar	41,1	< 0,91	< 0,06	35,0	< 1,5	< 0,10
Februar	22,9	< 0,93	< 0,07	18,4	< 1,5	< 0,11
März	12,5	< 1,19	< 0,11	17,3	11,0	< 0,08
April	22,2	< 1,32	< 0,11	37,9	< 44,7	< 0,18
Mai	28,7	< 0,74	< 0,26	17,5	1,5	< 0,06
Juni	70,0	0,68	< 0,05	47,5	< 32,2	< 0,06
Juli	89,7	163,0	< 0,05	193,0	1,7	< 0,19
August	92,6	< 195	< 0,04	67,5	< 1,5	< 0,10
September	32,7	< 0,63	< 0,05	59,3	< 1,5	< 0,10
Oktober	31,1	< 1,18	< 0,08	39,2	< 1,4	< 0,10
November	0,5	< 0,94	< 0,06	1,8	< 5	< 0,11
Dezember	140,0	101,0	< 0,08	72,4	< 1,5	< 0,11

b) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

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
2002	945,0	1019	< 1,08	1083,3	771	0,81 - < 2,06
2003	467,6	286	< 0,68	377,4	304	< 0,64
2004	888,8	1013	< 0,82	892,4	676	< 1,07
2005	716,4	787	< 0,84	763,1	669	< 1,08
2006	799,3	950	< 0,83	768,6	537	< 1,01
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
Januar	95,8	< 0,56	< 0,04	51,1	< 1,09	< 0,05
Februar	49,1	0,64	< 0,04	56,7	< 1,32	< 0,08
März	15,5	< 12,2	< 0,06	23,5	1,16	< 0,08
April	31,7	< 66,9	< 0,12	9,8	< 11,4	< 0,09
Mai	26,4	< 21,0	< 0,11	72,2	1,13	< 0,09
Juni	86,4	< 1,10	< 0,11	91,4	< 1,16	< 0,08
Juli	47,5	108	< 0,10	137,0	53,8	< 0,08
August	139,0	< 161	< 0,08	247,9	< 1,18	< 0,08
September	39,2	< 0,95	< 0,07	128,0	< 0,87	< 0,09
Oktober	46,8	< 1,10	< 0,08	100,1	< 34,8	< 0,07
November	3,1	< 0,76	< 0,06	19,0	14,8	< 0,08
Dezember	135,4	0,92	< 0,05	135,1	< 69,3	0,00

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Niederschlag Potsdam 2011



Niederschlag Offenbach 2011

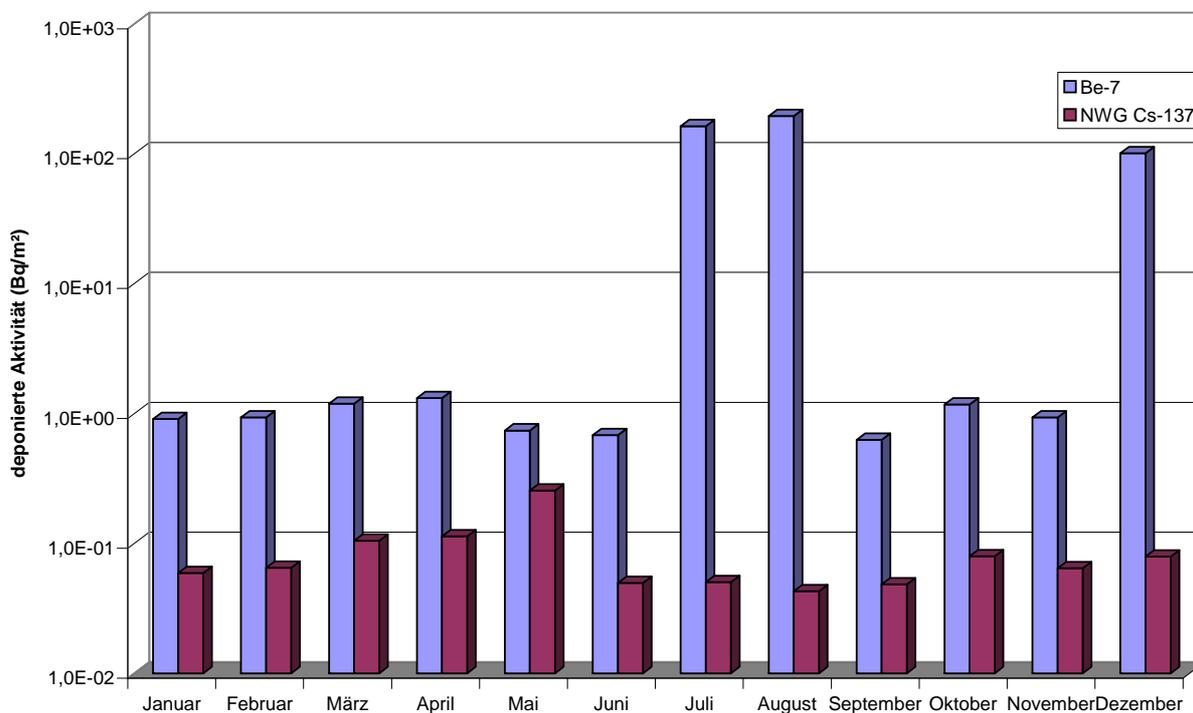


Abbildung 2.1.2-3 Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2011
 DWD-Stationen Berlin/Potsdam und Offenbach
 (Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2011 -
 DWD stations in Berlin/Potsdam and Offenbach)

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 über 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 2.1.3-1 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 zurück zu führenden 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.

Die durch den Reaktorunfall in Fukushima 2011 in Japan atmosphärisch freigesetzten radioaktiven Stoffe erreichten auf Grund der großen Entfernung Deutschland nur in sehr geringen Konzentrationen: In der bodennahen Luft wurden hauptsächlich Spuren der Radionuklide I-131, Cs-137 und Cs-134 sowie Xe-133 nachgewiesen, die maximale gemessene Konzentration lag z. B. für I-131 bei wenigen Millibecquerel pro Kubikmeter Luft (mBq/m^3). Die Ergebnisse dieser nuklidspezifischen Messungen an Tages- bzw. Wochenproben der deutschen Spurenmessstellen auf dem Schauinsland (BfS), in Offenbach und Potsdam (DWD) sowie in Braunschweig (PTB) sind in Teil B – II – 1.4 und 2.1.1 und im Leitstellenbericht 2011 [1] zusammengestellt. Darüber hinaus wurde die durch Niederschlag abgelagerte Aktivität gemessen. Hier wurden im März 2011 in Deutschland für I-131 mehrere zehn Becquerel pro Quadratmeter (Bq/m^2) nachgewiesen (vgl. Leitstellenbericht 2011), also durchgehend Werte, die unterhalb der in IMIS geforderten Nachweisgrenze der In-situ-Gamma-Spektrometrie lagen. Die aus den gemessenen Spuren der Radionuklide resultierende Erhöhung der Ortsdosisleistung war zu niedrig um im ODL-Messnetz sichtbar zu werden.

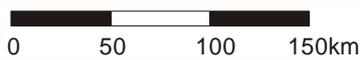
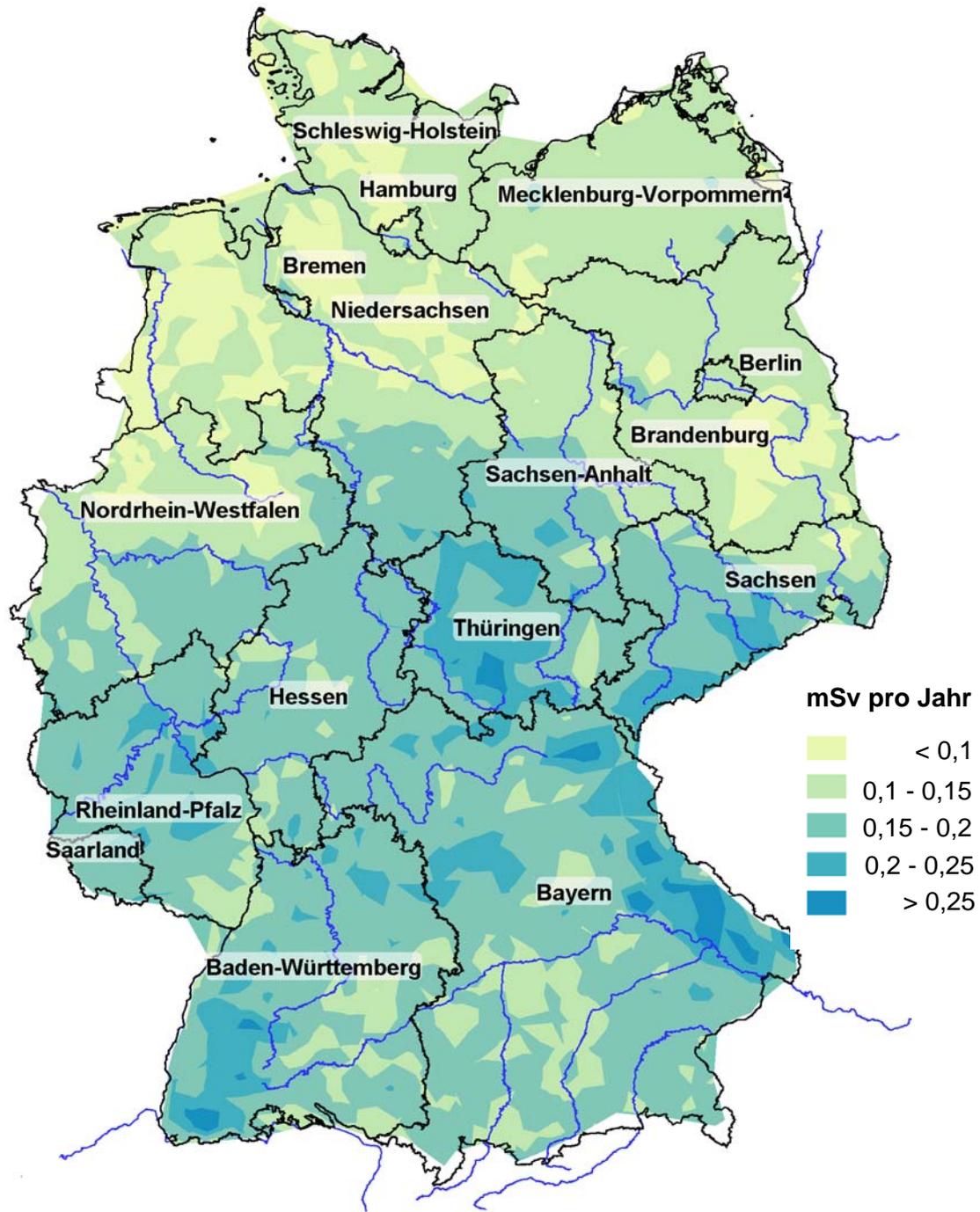
Kurzzeitige, meist lokal auftretende Erhöhungen der γ -Ortsdosisleistung, die insbesondere bei starken Niederschlägen in den Sommermonaten zu beobachten sind, sind auf das Auswaschen von natürlichen Radon-Folgeprodukten aus der Luft zurückzuführen. Üblicherweise sind dabei nur wenige Messstellen betroffen 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, mehrjährige 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 eines Umbaus der vorhandenen Sonden im ODL-Messnetz, der durch das vorhandene Fachpersonal selbst bewerkstelligt wird. Im Berichtsjahr wurden im Messnetz wieder mehrere hundert Messstellen umgerüstet. Die Integration einer kleinen Anzahl von autarken Sonden ohne Strom- und festem Telekommunikationsanschluss in den operationellen Betrieb des ODL-Messnetzes konnte in 2011 ebenfalls fortgesetzt werden. Durch den Einsatz der neuen Technik konnten bisher 106 ODL-Messstellen an Liegenschaften des DWD kostenneutral durch Nutzung des DWD-WAN integriert werden. Diese Messstellen liefern ihre Daten im Routinebetrieb alle 10 Minuten.

Gemäß BMU-Erlass wurde seit dem zweiten Halbjahr 2007 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 ergibt sich daher ab Ende 2010 eine reduzierte Gesamtanzahl von ODL-Messstellen in Deutschland von rund 1700.

Literatur

- [1] Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland, Stand 2011. Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz ISSN 1864-2810 (www.bmu.de/strahlenschutz/ueberwachung_der_umweltradioaktivitaet/leitstellen/doc/39554.php)



Daten aus dem Messnetz des Bundes
 Bundesamt für Strahlenschutz

Abbildung 2.1.3-1 Externe Strahlenexposition im Jahr 2011 in Deutschland bei täglich 5 Stunden Aufenthalt im Freien
(External radiation exposure 2011, 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 (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen) 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. Im Berichtsjahr wurden aber in den Monaten März und April an einzelnen Messstellen der Umgebungsüberwachung auch Konzentrationen von wenigen Millibecquerel des gasförmigen I-131 festgestellt, das durch den Unfall in Fukushima/Japan freigesetzt wurde. Auch an den Spurenmessstellen im Rahmen der allgemeinen Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt wurden Aktivitätskonzentrationen des I-131 in dieser Größenordnung gemessen. Insgesamt hat sich die Konzentration des emittierten I-131 nicht verändert. (Tabelle 2.1.4-1a). Die einzelnen erhöhten Messwerte zeigt Tabelle 2.1.4-1b.

Die Aktivitätskonzentrationen der schwebstoffpartikelgebundenen Radionuklide lagen 2011, wie im Vorjahr, an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen. Die geringen Aktivitätskonzentrationen der durch den Reaktorunfall freigesetzten und nach Europa verfrachteten aerosolpartikelgebundenen Radionuklide waren nur an den Spurenmessstellen im Rahmen der allgemeinen Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt messbar. Die Messergebnisse sind in Tabelle 2.1.4-2 für das Bezugsnuklid Co-60 zusammengefasst.

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der kontinuierlich gemessenen γ -Dosisleistung (Tabelle 2.1.4-3) sind im Vergleich zum Vorjahr im Allgemeinen gering und entsprechen den natürlichen Schwankungen. Durch den Austausch von Messsystemen können durch die verschiedene Bauart und den unterschiedlichen Empfindlichkeitsbereich der Messgeräte Veränderungen des gemessenen Grundpegels der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung auftreten. Durch die kontinuierliche Registrierung der Messwerte sind jedoch Veränderungen des Pegels unabhängig vom jeweiligen gemessenen Absolutwert jederzeit erkennbar.

Seit dem 1. August 2011 gilt verbindlich die neue dosimetrische Messgröße Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $dH^*(10)/dt$.

Niederschlag

Gemäß REI ist die Aktivitätskonzentration des Niederschlags gammaspektrometrisch zu ermitteln. 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. Ein Einfluss auf den Jahresmittelwert durch deponierte Radionuklide resultierend aus der Freisetzung in Fukushima/Japan zeigte sich nicht. In Tabelle 2.1.4-4 sind die 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.

Tabelle 2.1.4-1a Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131)
(in mBq/m^3 , Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	I-131 (mBq/m^3)						
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
BER Berlin	2	[< 0,32] ⁹	< 0,26	[< 0,40] ⁹	< 0,4	< 0,5	< 0,38	< 0,38
KKB Brunsbüttel	2	[< 0,29] ⁹	< 0,3	< 0,31	< 0,29	< 0,29	< 0,29	< 0,3
KBR Brokdorf	2	[< 0,36] ⁹	< 0,39	< 0,50	< 0,57	< 0,39	< 0,35	< 0,7
KKK Krümmel	3	[< 0,39] ⁹	< 0,36	< 0,35	< 0,33	< 0,31	< 0,27	< 0,26
GKSS Geesthacht	1	[< 0,24] ⁹	< 0,24	< 0,23	< 0,20	< 0,19	< 0,19	< 0,19
KKS Stade	1	[< 0,28] ⁹	*	*	*	*	*	*
KKU Unterweser	2	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	-
KWG Grohnde	3	< 0,61	< 0,65	< 0,80	< 0,82	< 1,7	< 1,4	-
KKE Emsland	2	< 0,32	< 0,33	< 0,30	< 0,32	< 0,35	< 0,32	-
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	3	0,36**	0,47**	0,11**	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*

Probenahmestelle	N	I-131 (mBq/m ³)						
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
KWB Biblis	2	[< 0,7] ³	< 0,66	< 0,80	< 0,66	< 0,63	< 0,61	< 0,58
KKP Philippsburg	4	< 0,49	< 0,5	< 0,49	< 0,49	< 0,5	< 0,48	< 0,53
KWO Obrigheim	3	< 0,34	< 0,18	< 0,16	< 0,22	*	*	*
GKN Neckarwestheim	2	< 0,73	< 0,68	< 0,66	< 0,66	< 0,64	< 0,72	< 0,64
FZ Karlsruhe		*	-	-	-	-	-	*
KKI Isar	3	-	[< 0,29] ⁹	< 0,30	[< 0,29] ⁹	< 0,25	< 0,27	< 0,26
KKG Grafenrheinfeld					[< 0,54] ⁹	[< 0,48] ⁹	< 0,45	< 0,61
KRB Gundremmingen II	3	-	[< 0,5] ⁹	< 0,52	[< 0,26] ⁹	[< 0,34] ⁹	< 0,37	< 0,36
KGR Greifswald	2	*	*	*	*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	[< 0,35] ⁶	+	-	-	-	-	*
KKR Rheinsberg		*	-	-	-	-	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	*	*	-	-	-	*	*

N Zahl der Messstationen

- keine Messwerte

[]ⁱ unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate)

* Messungen eingestellt

+ keine Messung im bestimmungsgemäßen Betrieb

** Mittelwert aus 2 Messwerten im 3. Quartal einer Messstelle,

die Werte lagen sonst unterhalb der geforderten Nachweisgrenze von 2 mBq/m³

Tabelle 2.1.4-1b Messwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131 als Folge des Unfalls in Fukushima/Japan
(Measurement results for activity concentrations of gaseous I-131 related to the accident in Fukushima/Japan)

(in mBq/m³, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	I-131 (mBq/m ³)	
		März 2011	April 2011
BER Berlin	2	14	3,0
		0,95	7,7
KKB Brunsbüttel	2	8,3	4,0
		4,9	2,8
KBR Brokdorf	2	-	1,5
		-	1,1
KKK Krümmel	3	3,3	0,54
		2,6	0,61
		3,0	0,65
GKSS Geesthacht	1	3,8	1,1
FZ Jülich	2	1,6	1,5
		1,7	1,5
KWB Biblis	3	3,1	0,84
		2,1	1,5
		2,0	-
GKN Neckarwestheim	2	1,5	0,94
		1,3	0,71
KKI Isar	3	-	0,98
		-	1,2
		-	1,2
KRB Gundremmingen II	2	-	0,61
		-	0,64
VKTA Rossendorf	1	0,11	-

N Zahl der Messstationen

Tabelle 2.1.4-2 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60)
(in mBq/m³, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	Co-60 (mBq/m ³)						
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
BER Berlin	2	[< 0,02] ⁹	< 0,02	[< 0,25] ⁹	< 0,3	< 0,29	< 0,28	< 0,27
KKB Brunsbüttel	2	[< 0,05] ⁹	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,06	< 0,08
KBR Brokdorf	2	[< 0,17] ⁹	< 0,18	< 0,18	< 0,21	< 0,18	< 0,18	< 0,24
KKK Krümmel	3	[< 0,06] ⁹	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,07	< 0,03	< 0,03
GKSS Geesthacht	1	[< 0,06] ⁹	< 0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
KKS Stade	1	[< 0,15] ⁹	< 0,26	< 0,31	< 0,23	< 0,2	< 0,21	-
KKU Unterweser	2	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,4	< 0,4	-
KWG Grohnde	3	< 0,12	< 0,11	< 0,11	< 0,12	< 0,14	< 0,13	-
KKE Emsland	2	< 0,18	< 0,21	< 0,18	< 0,20	< 0,19	< 0,18	-
KWW Würgassen	2	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,1	< 0,1	< 0,1
FZ Jülich	3	< 0,4	< 0,4	< 0,40	< 0,40	< 0,4	< 0,4	< 0,4
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	3	[< 0,18] ³	< 0,2	< 0,22	< 0,18	< 0,19	< 0,19	< 0,17
KKP Philippsburg	4	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
KWO Obrigheim	3	< 0,05	< 0,06	< 0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
GKN Neckarwestheim	2	< 0,15	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,12	< 0,14	< 0,11
FZ Karlsruhe	3	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,006	< 0,007	< 0,006	< 0,007
KKI Isar	3	-	[< 0,21] ⁹	< 0,22	[< 0,21] ⁹	< 0,21	< 0,23	< 0,21
KKG Grafenrheinfeld	3	-	[< 0,062] ⁹	< 0,064	[< 0,067] ⁹	[< 0,06] ⁹	< 0,058	< 0,066
KRB Gundremmingen II	3	-	[< 0,14] ⁶	< 0,18	[< 0,14] ⁹	[< 0,18] ⁹	< 0,2	< 0,19
KGR Greifswald	2	< 0,002	[< 0,002] ⁹	< 0,28	[< 0,25] ⁹	[< 0,08] ⁹	< 0,0007	[< 0,0008] ⁹
VKTA Rossendorf	3	[< 0,002] ⁶	< 0,002	< 0,016	< 0,01	< 0,013	< 0,015	< 0,011
KKR Rheinsberg	2	< 0,08	< 0,08	< 0,09	< 0,09	< 0,10	< 0,1 +	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	[< 0,2] ⁶	< 0,14	< 0,12	< 0,18	< 0,19	< 0,19	< 0,21

N Zahl der Messstationen

- keine Messwerte

[]ⁱ unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate)

* Messungen eingestellt

+ ab Q2 eingestellt

Tabelle 2.1.4-3 Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors)
(γ -Ortsdosisleistung in nSv/h, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	γ -Ortsdosisleistung in nSv/h						
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
BER Berlin	2	72	72	73	a	[73] ⁹	70	70
KKB Brunsbüttel	2	82	84	82	85	83	91	88
KBR Brokdorf	2	60	59	58	59	58	56	74 ^{MT}
KKK Krümmel	3	57	58	61	57	53	54	64 ^{MT}
GKSS Geesthacht	1	84	85	86	89	88	84	84
KKS Stade	1	87 ^{MT}	97	99	107	104	104	a
KKU Unterweser	2	94	98	101	102	104	101	a
KWG Grohnde	3	83	86	80	77	84	92 ^{MT}	a
KKE Emsland	2	75	75	75	76	76	74	a
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	12	62 ^{MT}	79	83	84	97 ^{MT}	109	111
THTR Hamm-Uentrop	2	85	86	88	100 ^l	103 ^l	101 ^l	99 ^l
KWB Biblis	3	[95] ³	96	103	106	106	105	105
KKP Philippsburg	4	106	105	99	100	100	98	95
KWO Obrigheim	2	101	102	115	120	120	119	120

2.1.5 Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Anlagen nach Atomgesetz (Discharges of radioactive substances with exhaust air from facilities according to the Atomic Energy Act)

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 Strahlenschutzverordnung (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 (Tabellen 2.1.5-1 bis 2.1.5-8).

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft der Kernkraftwerke im Jahr 2011 sind in Tabelle 2.1.5-1 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. Die Jahresaktivitätsableitungen der Reaktoren MZFR, KNK und AVR (siehe Tabelle 1.3-1) sind in den Ableitungswerten der Forschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 2.1.5-5). 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 2011 abgeleiteten radioaktiven Edelgase ist aus Tabelle 2.1.5-2 zu ersehen. Tabelle 2.1.5-3 enthält die nuklidspezifischen Aktivitätsableitungen der an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide einschließlich der Betastrahler Sr-89 und Sr-90 sowie der Alphastrahler Pu-238, Pu-(239+240), Am-241, Cm-242 und Cm-244.

Tabelle 2.1.5-4 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 2011 mit $1,9 \cdot 10^{13}$ Becquerel (Bq) kleiner als 2010 mit $2,3 \cdot 10^{13}$ Bq, die Summe der Jahresaktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden war mit $3,4 \cdot 10^7$ Bq kleiner als im Vorjahr mit $4,6 \cdot 10^7$ Bq. Die Gesamtaktivitätsableitung von I-131 lag 2011 mit $3,9 \cdot 10^7$ Bq unter dem Vorjahreswert von $8,7 \cdot 10^7$ Bq. Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Kernkraftwerke.

In Tabelle 2.1.5-5 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 2011 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 2.1.5-6). Die 2011 abgeleitete Gesamt-Alpha-Aktivität der Anlagen in Lingen und Gronau betrug $< 9,4 \cdot 10^4$ Becquerel.

Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Endlager Morsleben ist in Tabelle 2.1.5-7 zusammengestellt. Am Schacht Bartensleben, welcher Teil der Anlage „Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben“ (ERAM) und der genehmigte Emittent ist, werden jährlich etwa 1 Milliarde Kubikmeter Abwetter aus dem untertägigen Kontrollbereich über Stahlblech-Rohrleitungen (Abwetterlütten) nach Übertage gefördert und in die Umgebung abgegeben.

Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachanlage Asse II ist in der Tabelle 2.1.5-7 für gasförmige Verbindungen von H-3, C-14 und Rn-222 sowie für die an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide zusammengestellt.

Die für das Jahr 2011 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 2.1.5-1 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Bq für radioaktive Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für an Schwebstoffen gebundene Radionuklide und ca. 10^{10} Bq für I-131. Auch zusätzlich auftretende Strahlenexposition z. B. durch Direktstrahlung führt nicht zu einer Überschreitung des Dosisgrenzwertes von 1 mSv nach §46 StrlSchV.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung ermittelten jährlichen Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen. Maß des Strahlenrisikos ist nicht die abgeleitete Aktivität, sondern die effektive Dosis (Anhang, Abschnitt 1). Die aus den Jahresaktivitätsableitungen unter Berücksichtigung von meteorologischen, ökologischen und biologischen Parametern berechneten Jahresdosen sind in Teil B - II - 1.3.1 angegeben.

Aktivitätsableitungen aus Anlagen mit beendetem Betrieb 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 Tabelle 2.1.5-1 als chemische Verbindung Kohlenstoffdioxid angegeben, hauptsächlich deshalb, 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. Die gesamte abgeleitete Aktivität von C-14 in allen chemischen Verbindungen über die Fortluft im Jahr 2011 beträgt an den in Tabelle 2.1.5-1 aufgeführten Standorten etwa $4,0 \cdot 10^{12}$ Bq.

Tabelle 2.1.5-1 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2011 (Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2011)

Kernkraftwerk	Aktivitätsableitung in Bq				
	Radioaktive Edelgase	An Schwebstoffen gebundene Radionuklide ^{a)}	I-131	C-14 (als Kohlenstoffdioxid)	H-3
VAK Kahl ^{b)}	-	-	-	-	-
KKR Rheinsberg ^{c)}	-	8,0 E05	-	-	-
KRB Gundremmingen A ^{d)}	-	7,5 E03	-	-	2,9 E08
KWL Lingen ^{d)}	-	nn	-	nn	nn
KWO Obrigheim ^{h)}	-	nn	-	6,5 E08	4,2 E09
KKS Stade ^{g)}	-	nn	-	nn	1,3 E10
KWW Würgassen ^{e)}	-	4,3 E06	-	4,3 E08	2,4 E07
KGR Greifswald ^{c)}	-	1,4 E06	-	-	-
KWB Biblis A	9,8 E09	nn	2,3 E04	1,4 E10	3,2 E11
KWB Biblis B	1,6 E11	1,5 E05	2,3 E04	3,6 E10	5,2 E11
GKN Neckarwestheim 1	9,7 E10	3,1 E04	9,8 E04 ¹⁾	4,0 E09	8,2 E10
KKB Brunsbüttel	nn	4,6 E06	nn	1,5 E09	2,3 E09
KKI Isar 1	2,4 E11	nn	2,3 E06	1,1 E11	3,6 E10
KKU Unterweser	3,8 E12	1,2 E05	1,7 E05	1,8 E10	2,1 E11
KKP Philippsburg 1	8,0 E11	6,3 E06	1,8 E07 ²⁾	1,1 E11	2,2 E10
KKG Grafenrheinfeld	1,0 E11	1,5 E07	5,4 E04	7,0 E10	1,9 E11
KKK Krümmel	nn	5,4 E05	nn	5,4 E09	nn
KRB Gundremmingen B, C	1,0 E13	9,8 E04	9,5 E06	1,0 E12	6,4 E11
KWG Grohnde	1,5 E12	1,8 E05	2,1 E06	7,2 E10	3,4 E11
THTR Hamm-Uentrop ^{f)}	-	nn	-	nn	6,8 E07
KKP Philippsburg 2	3,8 E11	1,2 E05	1,6 E05 ²⁾	4,8 E10	1,2 E12
KMK Mülheim-Kärlich ^{f)}	-	nn	-	1,3 E08	nn
KBR Brokdorf	9,7 E11	nn	6,1 E06	2,1 E11	4,0 E11
KKI Isar 2	3,4 E11	nn	nn	1,3 E11	2,3 E11
KKE Emsland	1,5 E11	nn	nn	2,1 E11	9,9 E11
GKN Neckarwestheim 2	3,2 E11	6,0 E03	6,4 E04 ¹⁾	1,2 E11	7,7 E10

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Sr-89, Sr-90 und Alphastrahler

b) Betrieb beendet 1985; wurde im Mai 2010 aus dem Atomgesetz entlassen

c) Betrieb beendet 1990

f) Betrieb beendet 1988

d) Betrieb beendet 1977

g) Betrieb beendet 2003

e) Betrieb beendet 1994

h) Betrieb beendet 2005

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

1) Dieser Wert wird auf den Reaktorunfall in Fukushima (Japan) zurückgeführt.

2) Dieser Wert enthält Aktivitätsableitungen, die auf den Reaktorunfall in Fukushima (Japan) zurückgeführt werden

Tabelle 2.1.5-2 Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2011
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2011)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Kahl/ Rheins- berg	Gundremmingen A / Lingen	Obrigheim	Würgas- sen	Stade	Greifswald	Biblis A	Biblis B
Ar-41	-	-	-	-	-	-	7,2 E09	9,2 E09
Kr-85m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-85	-	-	-	-	-	-	nn	1,5 E11
Kr-87	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-88	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-89	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-131m	-	-	-	-	-	-	1,1 E09	nn
Xe-133m	-	-	-	-	-	-	2,1 E08	nn
Xe-133	-	-	-	-	-	-	2,7 E08	6,0 E07
Xe-135m	-	-	-	-	-	-	1,3 E08	nn
Xe-135	-	-	-	-	-	-	8,8 E08	nn
Xe-137	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-138	-	-	-	-	-	-	nn	nn

Radionu- klid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Neckar- westheim 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unter- weser	Philippsburg 1	Grafen- rheinfeld	Krümmel	Gundrem- mingen B, C
Ar-41	9,6 E10	nn	2,4 E08	3,4 E10	2,3 E08	8,3 E10	nn	3,5 E11
Kr-85m	nn	nn	1,7 E07	nn	1,9 E09	nn	nn	9,5 E07
Kr-85	nn	nn	4,4 E10	1,2 E12	7,9 E10	2,0 E10	nn	1,3 E12
Kr-87	nn	nn	nn	nn	1,5 E10	nn	nn	1,8 E08
Kr-88	nn	nn	7,2 E10	nn	2,2 E08	nn	nn	nn
Kr-89	nn	nn	5,0 E08	nn	1,7 E10	nn	nn	1,9 E10
Xe-131m	nn	nn	9,8 E08	1,5 E12	nn	nn	nn	3,9 E11
Xe-133m	nn	nn	1,7 E08	4,0 E09	1,4 E09	nn	nn	9,9 E10
Xe-133	nn	nn	6,8 E09	1,1 E12	1,5 E11	nn	nn	7,1 E12
Xe-135m	nn	nn	5,3 E10	nn	1,6 E11	nn	nn	3,4 E11
Xe-135	1,3 E09	nn	1,7 E10	3,7 E10	1,6 E11	nn	nn	2,2 E11
Xe-137	nn	nn	3,4 E10	nn	1,1 E11	nn	nn	3,4 E11
Xe-138	nn	nn	8,8 E09	nn	1,1 E11	nn	nn	1,0 E11

Radio- nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm- Uentrop	Philippsburg 2	Mülheim- Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar- westheim 2
Ar-41	2,5 E10	-	1,6 E11	-	1,3 E11	1,2 E11	1,5 E11	8,2 E10
Kr-85m	nn	-	2,2 E07	-	2,4 E10	2,2 E07	nn	nn
Kr-85	8,5 E10	-	7,2 E10	-	nn	2,0 E11	nn	2,0 E11
Kr-87	nn	-	7,6 E08	-	1,3 E10	4,0 E07	nn	1,2 E08
Kr-88	nn	-	5,4 E08	-	nn	1,2 E08	nn	7,6 E07
Kr-89	nn	-	1,6 E09	-	nn	nn	nn	nn
Xe-131m	3,3 E10	-	1,4 E11	-	6,1 E09	1,4 E10	nn	4,1 E10
Xe-133m	1,4 E10	-	2,7 E09	-	3,8 E08	8,6 E08	nn	8,7 E07
Xe-133	1,3 E12	-	2,0 E09	-	7,7 E11	1,1 E09	nn	3,6 E07
Xe-135m	nn	-	9,9 E07	-	nn	nn	nn	6,7 E07
Xe-135	6,3 E10	-	1,0 E09	-	3,1 E10	3,3 E08	nn	6,0 E07
Xe-137	nn	-	6,5 E08	-	nn	nn	nn	8,9 E08
Xe-138	nn	-	8,8 E08	-	nn	4,5 E08	nn	nn

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle 2.1.5-3 Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2011 (I-131: Tabelle 2.1.5-1)
(Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2011 - I-131: Table 2.1.5-1)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq								
	Kahl	Rheins-berg	Gundrem-mingen A	Lingen	Obrig-heim	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
Fe-59	-	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
Co-60	-	4,1 E04	7,5 E03	nn	nn	2,4 E06	nn	1,2 E06	nn
Zn-65	-	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	-	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	-	1,8 E05	nn	nn	nn	2,1 E05	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	-	2,9 E05	nn	nn	nn	1,7 E06	nn	2,1 E05	nn
Ba-140	-	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	-	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	-	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	-	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	-	1,8 E05	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	-	3,4 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	-	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	-	nn	nn	nn	nn	3,7 E03	nn	nn	nn
Pu-(239 +240)	-	nn	nn	nn	nn	1,9 E03	nn	nn	nn
Am-241	-	nn	nn	nn	nn	1,1 E04	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	2,5 E03	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq								
	Bibilis B	Neckar-westheim 1	Brunsbüt-tel	Isar 1	Unter-weser	Philipps-burg 1	Grafen-rheinfeld	Krüm-mel	Gundrem-mingen B, C
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	6,4 E05	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	1,5 E05	nn	nn	8,1 E04	7,5 E04	7,8 E03	3,5 E04
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	8,5 E03	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	4,8 E03	1,6 E05	nn	nn
Co-60	nn	3,1 E04	3,3 E06	nn	1,2 E05	4,2 E05	1,5 E07	5,3 E05	1,9 E04
Zn-65	nn	nn	2,0 E05	nn	nn	4,0 E04	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	3,0 E06	nn	nn	2,7 E04
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	1,8 E04
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sn-113	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	1,5 E05	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	nn	nn	1,0 E06	nn	nn	1,1 E05	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	1,3 E06	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	8,0 E05	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

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uen-trop	Philippsburg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	6,2 E03	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	nn	nn	4,5 E04	nn	nn	nn	nn	6,0 E03
Zn-65	nn	nn	1,7 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	4,6 E04	nn	2,7 E04	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	1,3 E05	nn	1,1 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Sn-113	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	8,4 E03	nn	nn	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	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

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle 2.1.5-4 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 2001 bis 2011 (*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 2001 to 2011*)

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostromerzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	
2001	1,5 E13	2,8 E08	7,4 E07	19.552
2002	1,8 E13	3,3 E08	5,7 E07	18.816
2003	1,4 E13	1,4 E08	6,2 E07	18.847*

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostrom- erzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radio- nuklide	
2004	2,8 E13	2,5 E08	8,3 E07	19.071*
2005	2,8 E13	1,7 E08	1,5 E08	18.612*
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*

* Quelle: atw, International Journal for Nuclear Power, Betriebsergebnisse, Berlin

Tabelle 2.1.5-5 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren und Forschungsreaktoren von Universitäten im Jahr 2011
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2011)

Forschungszentrum	Aktivitätsableitung in Bq					
	Radioak- tive Edel- gase	an Schwebstof- fen gebundene Radionuklide ^{a)}	I-131	I-129	C-14	H-3
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	1,1 E12	1,5 E07 ^{b)}	1,4 E05 ¹⁾	4,2 E05	5,1 E10	1,5 E12
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	1,8 E09	2,0 E06	nn	-	9,2 E11	2,7 E12
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	2,2 E10	3,9 E05	1,5 E07	nn	1,4 E09	1,3 E11
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)	nn	5,2 E03	1,4 E04 ²⁾	-	1,8 E08	1,6 E10
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	nn	3,3 E03	nn	-	2,1 E09	1,7 E10
Garching, FRM I	-	nn	nn	-	1,9 E07	9,7 E08
Garching, FRM II	4,8 E10	nn	nn	-	2,2 E09	6,3 E11
Forschungsreaktor Mainz	1,5 E11	nn	nn	-	-	3,0 E06

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler

b) davon Alphastrahler: 7,4 E04 Bq - Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

1) Dieser Wert enthält Aktivitätsableitungen, die auf den Reaktorunfall in Fukushima (Japan) zurückgeführt werden

2) Dieser Wert wird auf den Reaktorunfall in Fukushima (Japan) zurückgeführt

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 2.1.5-5).

Tabelle 2.1.5-6 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	
	2011	2010
ANF GmbH (Lingen)	< 1,5 E04	< 1,5 E04
URENCO D (Gronau)	7,9 E04	7,2 E04

< Messwert kleiner Erkennungsgrenze; der angegebene Wert entspricht der Erkennungsgrenze

Tabelle 2.1.5-7 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Endlagern Morsleben und Schachtanlage Asse II
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Morsleben and the Asse final disposal facilities)

Radionuklid	Aktivitätsableitung in Bq	
	2011	2010
Morsleben		
H-3	8,4 E09	1,2 E10
C-14	7,1 E08	6,4 E08
Rn-222 ^{a)}	3,3 E09	8,9 E09
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	1,7 E06	1,8 E06
Schachtanlage Asse II		
H-3	4,2 E10	3,8 E10
C-14	1,3 E09	9,0 E08
Rn-222 (Gas)	1,1 E11	1,1 E11
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	2,3 E06 ¹⁾	2,0 E06

a) gleichgewichtsäquivalente Radon-222-Aktivitätskonzentration

1) Dieser Wert enthält Aktivitätsableitungen, die auf den Reaktorunfall in Fukushima (Japan) zurückgeführt werden

2.2 Meerwasser und Binnengewässer (*Seawater and inland water*)

2.2.1 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment (*Seawater, suspended matter, sediment*)

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

Meerwasser in der Nordsee

Die Probenahme zur Überwachung der Nordsee erfolgte 2011 auf einer Fahrt im August. Zusätzlich wurden an den Positionen der früheren Feuerschiffe Borkumriff und Elbe 1 in der Deutschen Bucht Proben möglichst monatlich entnommen.

Die Zeitreihen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Sr-90 an den beiden Stationen seit 1961 bzw. 1980 (Abbildung 2.2.1-1 und 2.2.1-2) lassen seit einigen Jahren nur noch sehr niedrige Werte erkennen. Der Grund dafür ist, dass aus den Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield und La Hague 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, wie auch in den Abbildungen 2.2.1-3 und 2.2.1-4 zu erkennen ist. Der Fallout von Tschernobyl mit seinem charakteristischen Nuklidverhältnis Cs-134/Cs-137 war in der deutschen Bucht zwei bis drei Jahre nach dem Unfall nicht mehr zu messen. Cs-134 ist im Wasser der Nordsee ebenfalls nicht mehr nachweisbar (NWG ca. $0,2 \text{ Bq/m}^3$).

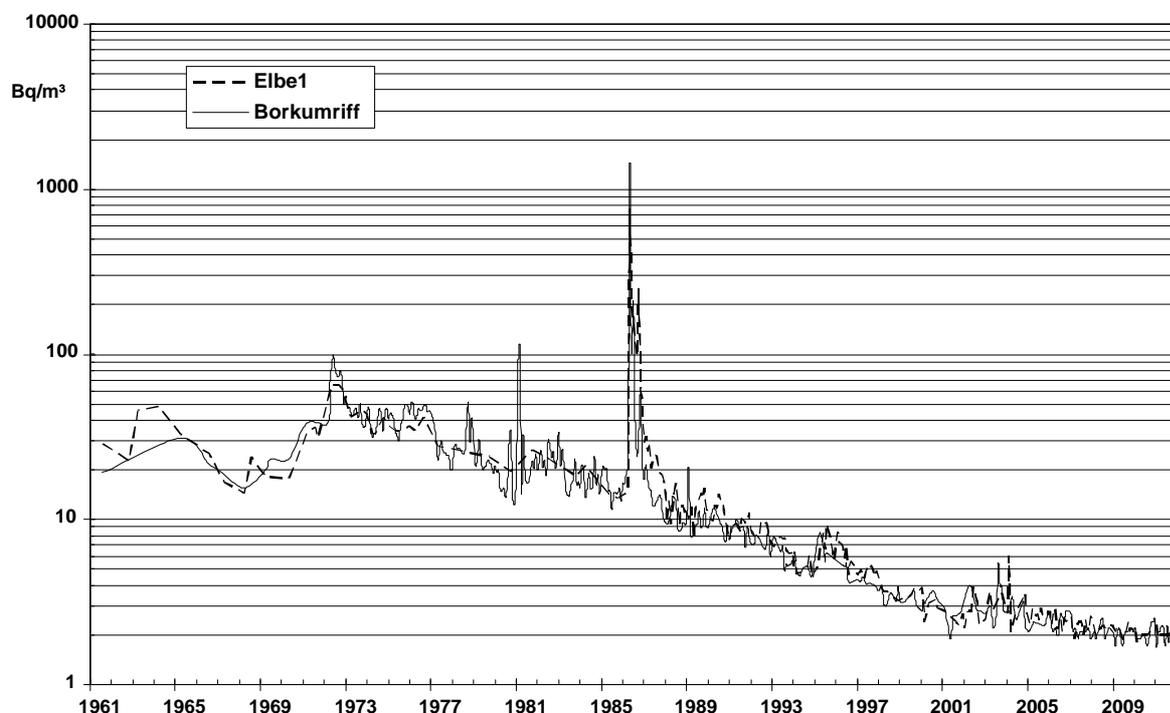


Abbildung 2.2.1-1 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961
(*Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1961*)

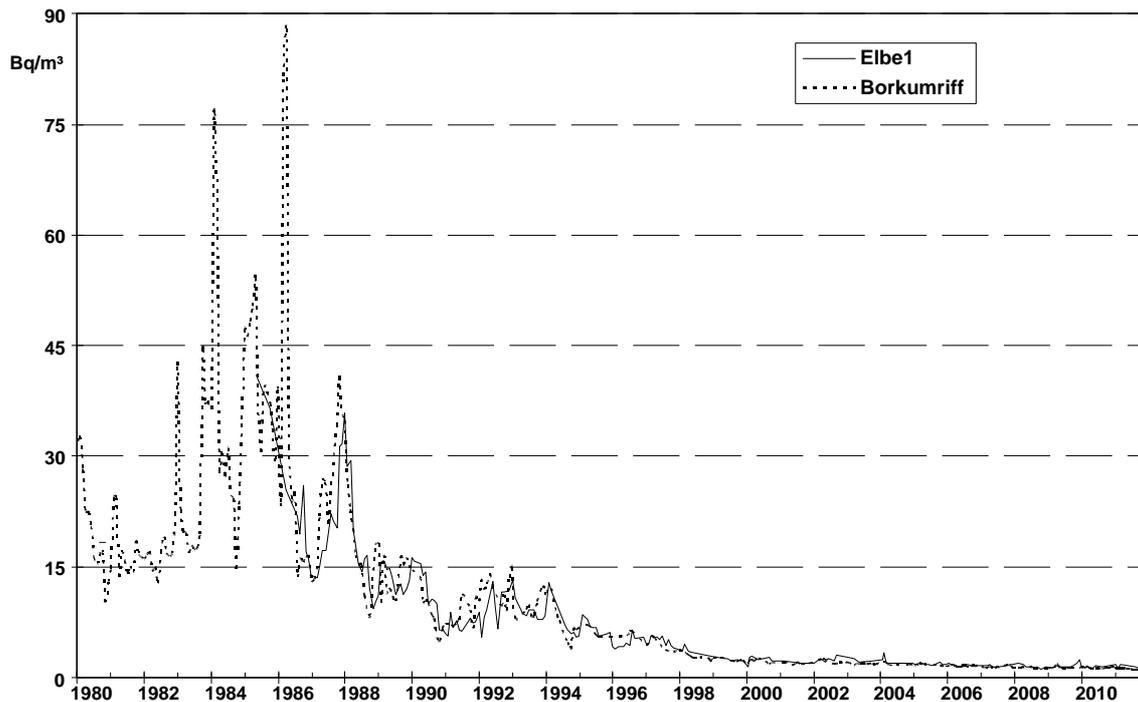


Abbildung 2.2.1-2 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980

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

In den Abbildung 2.2.1-3 und 2.2.1-4 wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 an der Wasseroberfläche der Nordsee vom Englischen Kanal bis nördlich der Shetlandinseln in den Jahren 2010 und 2011 dargestellt. Im Jahre 2010 wurden dabei Proben zu Vergleichszwecken aus Tiefen bis 1000 m genommen.

Insgesamt befinden sich die Konzentrationen dieses Radionuklids für die gesamte Nordsee auf einem sehr niedrigen Niveau. Die höchsten Aktivitätskonzentrationen an Cs-137 werden seit Jahren im Skagerrak und dem darauf folgenden norwegischen Küstenstrom nachgewiesen, mit bis zu $10,6 \text{ Bq/m}^3$ im Jahr 2011. Ursache ist der Ausstrom relativ hoch kontaminierten Ostseewassers durch das Kattegat (siehe Kapitel Meerwasser in der Ostsee weiter unten im Text). In der westlichen und südlichen Nordsee finden sich Aktivitätskonzentrationen um 4 Bq/m^3 , die gegenüber den Messwerten im Atlantik nördlich Schottlands (ca. $1,5 \text{ Bq/m}^3$) leicht erhöht sind. Ursache sind in diesem Fall nicht die aktuellen Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen für Kernbrennstoffe in Sellafield und La Hague, sondern die Resuspension vor allem aus dem Sediment der Irischen See, welches in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts massiv durch damals legale Einleitungen kontaminiert wurde.

In Abbildung 2.2.1-5 wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 im Oberflächenwasser der Nordsee bis $62^\circ 30'$ nördlicher Breite im Jahr 2010 dargestellt. Insgesamt sind auch hier die Konzentrationen sehr gering mit minimalen Erhöhungen im Skagerrak als Resultat des aus der Ostsee fließenden Oberflächenwassers. Die Vergleichsprobe aus der Elbe bei Stade zeigt für dieses Radionuklid, wie auch in allen Vorjahren, ebenfalls eine minimale Erhöhung, die als Spätfolge der atmosphärischen Nukleartests zu sehen ist. Sr-90 ist in der Umwelt relativ mobil und wird auch heutzutage noch im Einzugsgebiet der Elbe ausgewaschen. Während bei den bisher behandelten Nukliden, Cs-137 und Sr-90, keine aktuellen Einleitungen der Wiederaufarbeitungs- oder anderer Nuklearanlagen zu erkennen sind, ist dies im Fall des Tritiums anders.

In Abbildung 2.2.1-6 ist die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Tritium (H-3) im Oberflächenwasser der Nordsee im August 2010 dargestellt. Während an der englischen Ostküste nur eine geringfügige Erhöhung der Konzentration gegenüber den Hintergrundwerten im Atlantik festzustellen ist, lässt sich an der Festlandsküste der Einfluss der Einleitungen der WAA La Hague deutlich sehen. Hier treten Werte bis zu $3,6 \text{ Bq/L}$ auf. Obwohl Tritium bei diesen Aktivitätskonzentrationen als radiologisch unbedenklich angesehen wird, strebt die grundsätzliche Strategie für radioaktive Substanzen im Geltungsbereich der OSPAR-Kommission eine Verminderung auch dieser legalen Einleitungen an.

Zum Redaktionsschluss waren die Analysen aus dem Jahr 2011 für die Radionuklide Sr-90, Tritium und der Transurane nur zu einem geringen Grad fertiggestellt, so dass eine Darstellung hier nicht sinnvoll ist. Die bisher vorliegenden Messwerte lassen jedoch nichts Ungewöhnliches erkennen.

Es ist festzuhalten, dass es sich wie bei allen hier dargestellten Messwerten um extrem geringe Aktivitätskonzentrationen handelt, von denen keine Gefahr für Mensch oder Umwelt ausgeht.

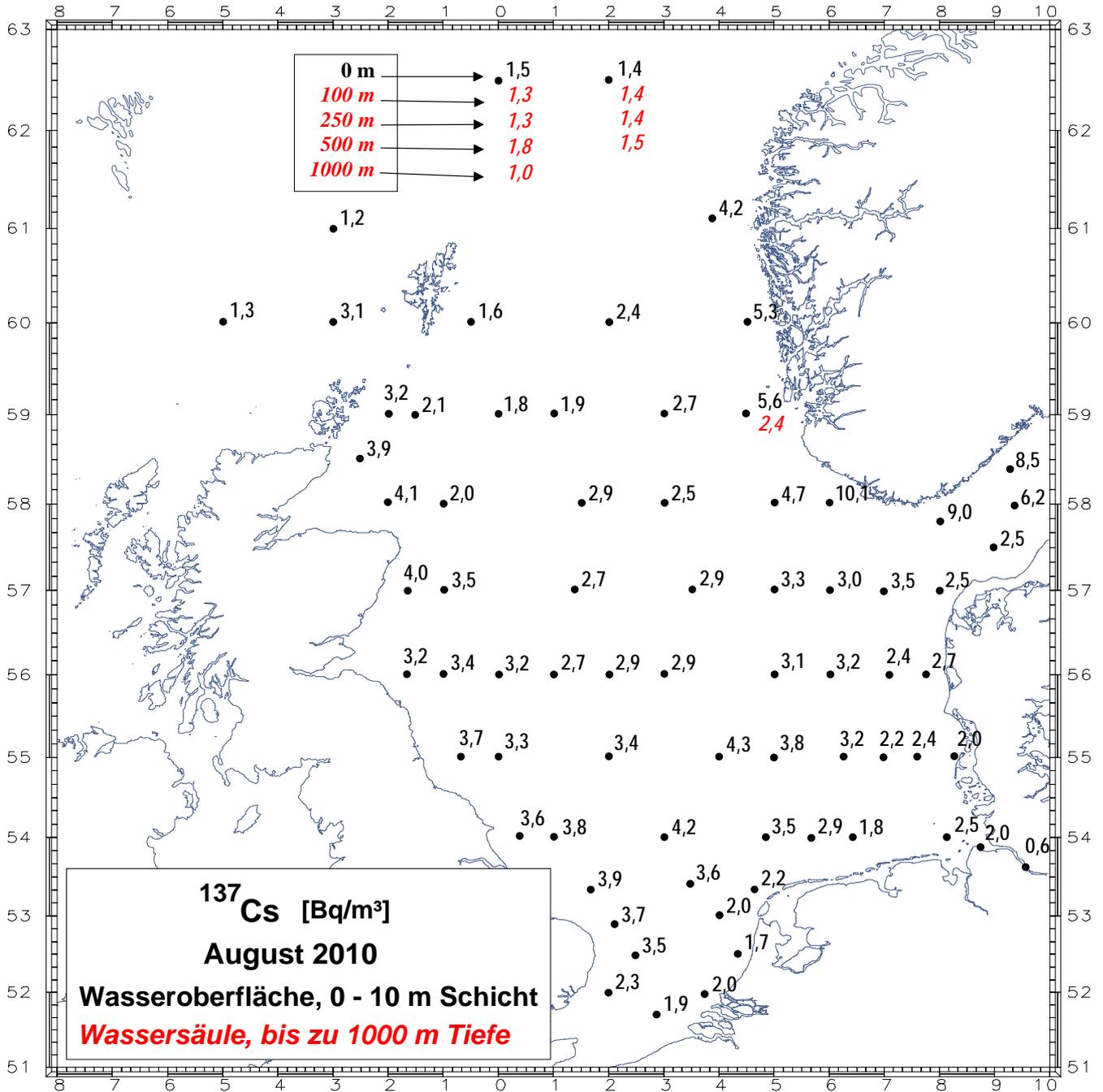


Abbildung 2.2.1-3 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2010
 (Distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2010)

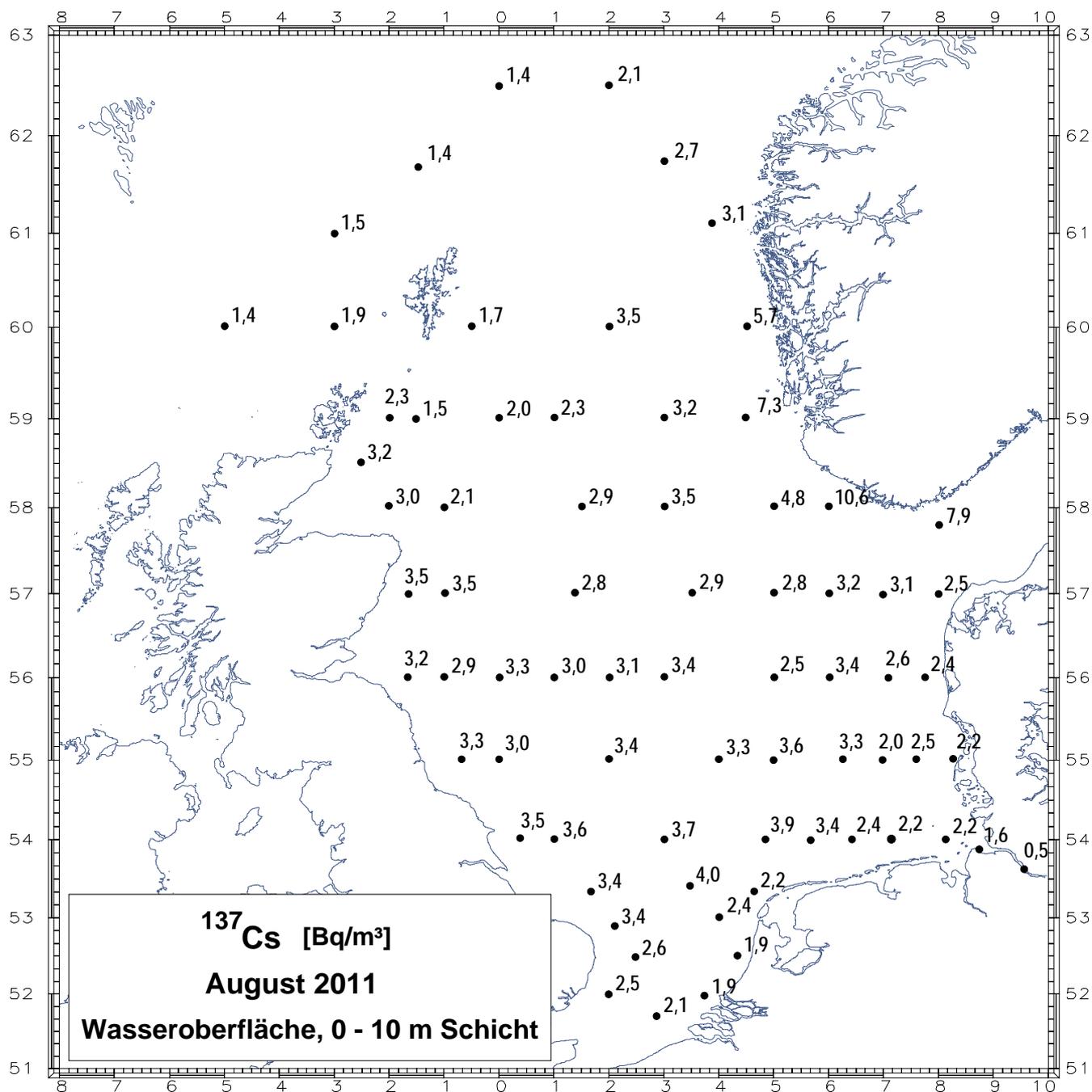


Abbildung 2.2.1-4 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2011
(Distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2011)

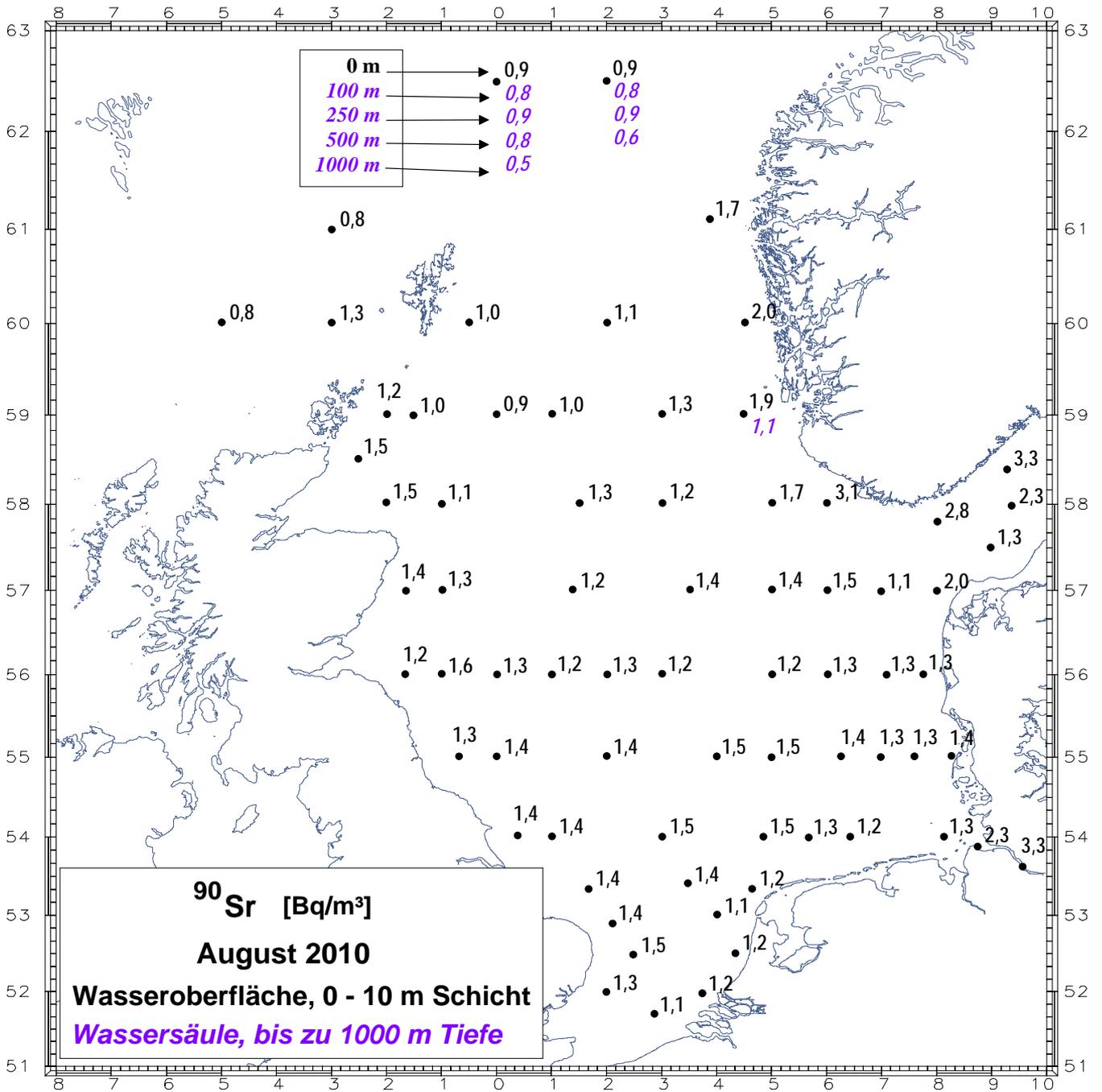


Abbildung 2.2.1-5 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2010
 (Distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2010)

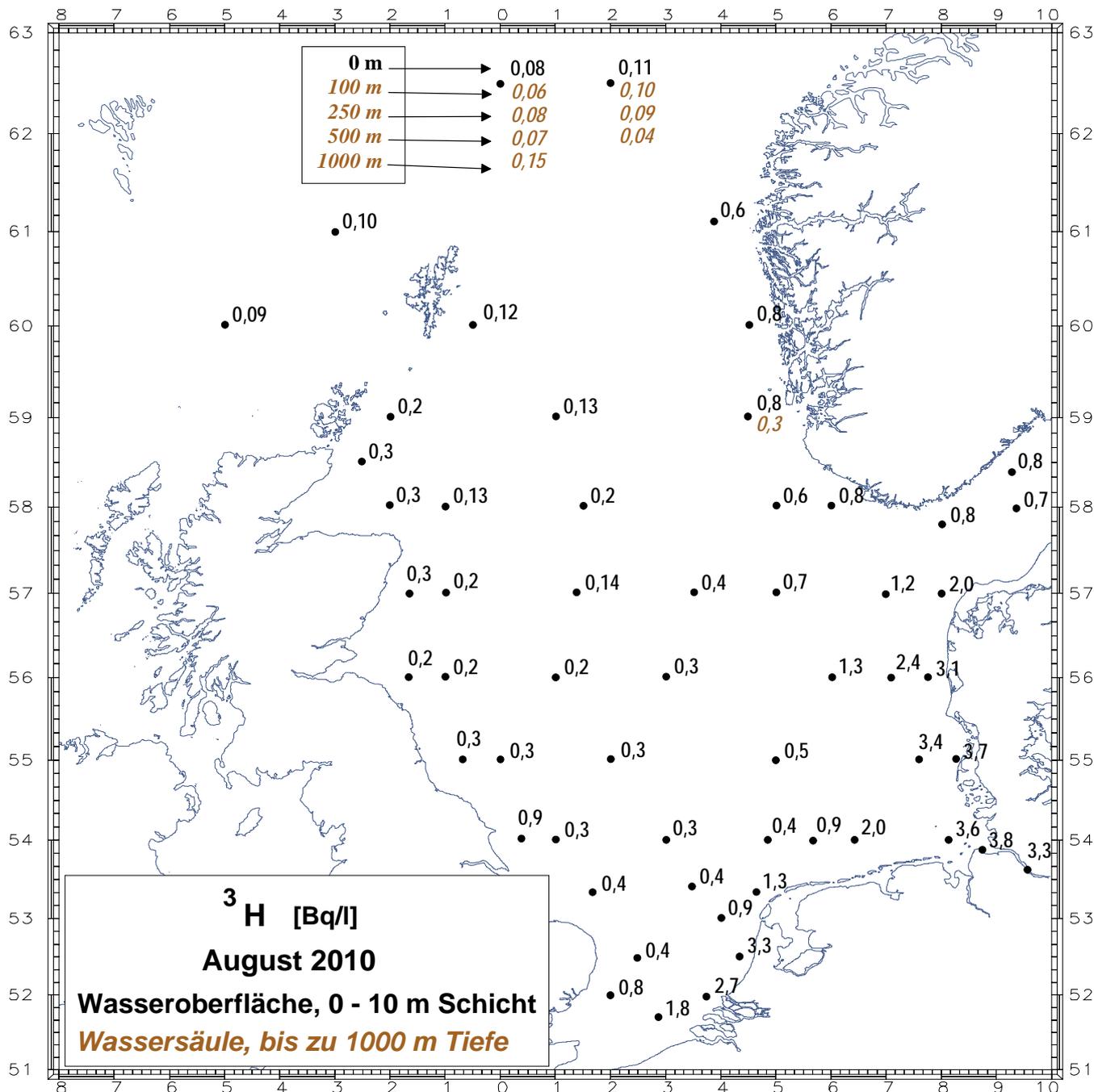


Abbildung 2.2.1-6 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (Bq/L) im Wasser der Nordsee im August 2010
 (Distribution of the activity concentration of H-3 (Bq/L) in seawater of the North Sea in August 2010)

Meerwasser der Ostsee

Die Ostsee erfuhr nach dem Unfall von Tschernobyl einen hohen Eintrag von Fallout. Der Schwerpunkt des Eintrages lag 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 20 Jahren auch für das Cs-137 aus dem Tschernobylunfall zu beobachten. 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 wieder. Im Oberflächenwasser befinden sich die höheren Konzentrationen aus dem Tschernobylfallout, im Tiefenwasser finden sich durchweg niedrigere Konzentrationen bei höherem Salzgehalt.

Abbildung 2.2.1-7 stellt den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser an der Position Schleimündung in der westlichen Ostsee dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und an Cs-137 seit dem Tschernobyl-Unfall. Die Schwankungen der Cs-137-Konzentrationen sind durch den jahreszeitlich bedingten Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegt an der Wasseroberfläche der westlichen Ostsee, praktisch gleichbleibend mit dem Vorjahr, zwischen etwa 22 Bq/m^3 im westlichen und 34 Bq/m^3 im östlichen Teil des im Juli 2011 überwachten Gebietes (Abbildung 2.2.1-8). Die Konzentrationen nehmen in west-östlicher Richtung nach wie vor leicht zu - in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallout. 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.

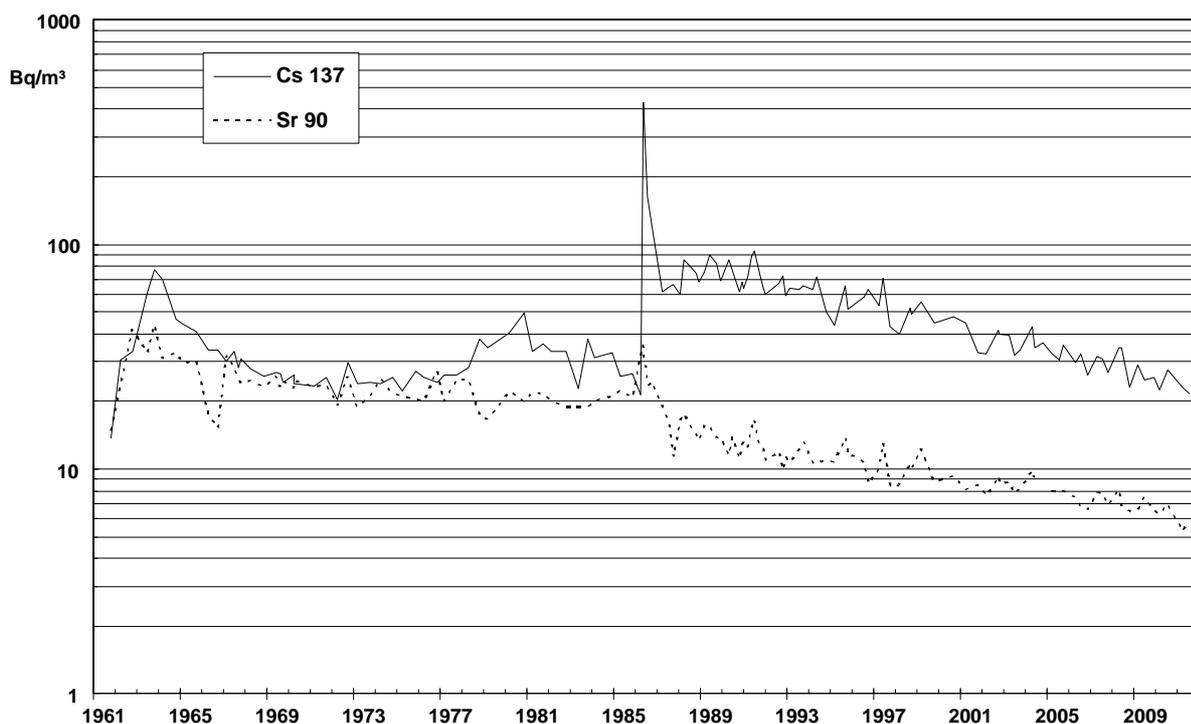


Abbildung 2.2.1-7 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Schleimündung“ ($54^{\circ}40'N$, $010^{\circ}05'O$) seit 1961

(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Schleimündung“ ($54^{\circ}40'N$, $010^{\circ}05'E$) since 1961)

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch den Tschernobylunfall 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. Um diesen Einstrom besser zu charakterisieren, wurden sieben sogenannte Indikatorstationen entlang des Haupteinstrombereiches ausgewählt. Die Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentration, jeweils getrennt für Oberflächen- und Bodenwasser

ser, wurden in Abbildung 2.2.1-9 dargestellt. Neben dem generellen Trend zu geringeren Konzentrationen kann man sowohl die Differenzen zwischen Oberflächen- und Bodenwasser als die Homogenität über die gewählte Einstromgrenze als Indikator für die unterschiedlichen Einstromsituationen heranziehen. In den letzten Jahren ist eine stetige Einstromsituation im Bodenwasser mit ausgeprägten Differenzen zwischen Oberfläche und Bodenwasser im Cs-137-Gehalt festzustellen, die von Jahren mit geringen Differenzen (2004, 2007, 2009) oder großer Inhomogenität (1999) unterbrochen wurde. Letztere werden als Jahre mit geringem oder unvollständigem Einstrom von Nordseewasser interpretiert. Festzuhalten ist, dass auch in 2011 im Bodenwasser des Fehmarnbelt eine Cs-137-Aktivitätskonzentration von unter 15 Bq/m^3 gemessen wurde. Diese Konzentrationsgrenze wurde von HELCOM als ökologisches Qualitätsziel für die Ostsee festgelegt und wird bislang in kaum einem Untergebiet der Ostsee erreicht.

Die räumliche Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) im Oberflächenwasser auf einigen ausgewählten Stationen im Untersuchungsgebiet im Juli 2011 ist in Abbildung 2.2.1-10 dargestellt. Die Verteilung von Sr-90 ist sehr homogen, weil sie vom globalen Fallout und nicht vom Tschernobyl-Unfall bestimmt wird. Gleiches gilt für die in Abbildung 2.2.1-11 dargestellte Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m^3) im Jahr 2011. Die im Verhältnis zur Nordsee geringen H-3-Messwerte zeigen, dass in der Ostsee H-3 nur in sehr geringem Maße von kerntechnischen Anlagen eingeleitet wird. Die relativ hohen Sr-90-Aktivitätskonzentrationen sind ausschließlich auf Kernwaffenfallout zurückzuführen.

Es ist festzuhalten, dass während der über 20-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.

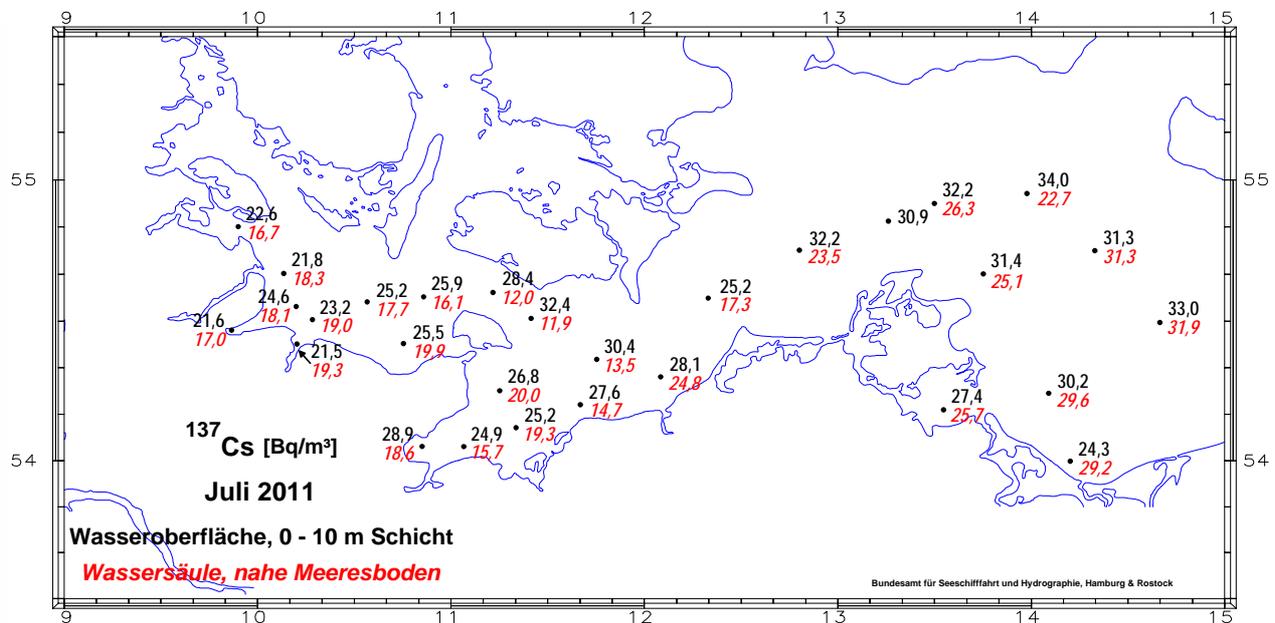


Abbildung 2.2.1-8 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juli 2011

(Spatial distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m^3) in surface and bottom sea water of the western Baltic Sea in July 2011)

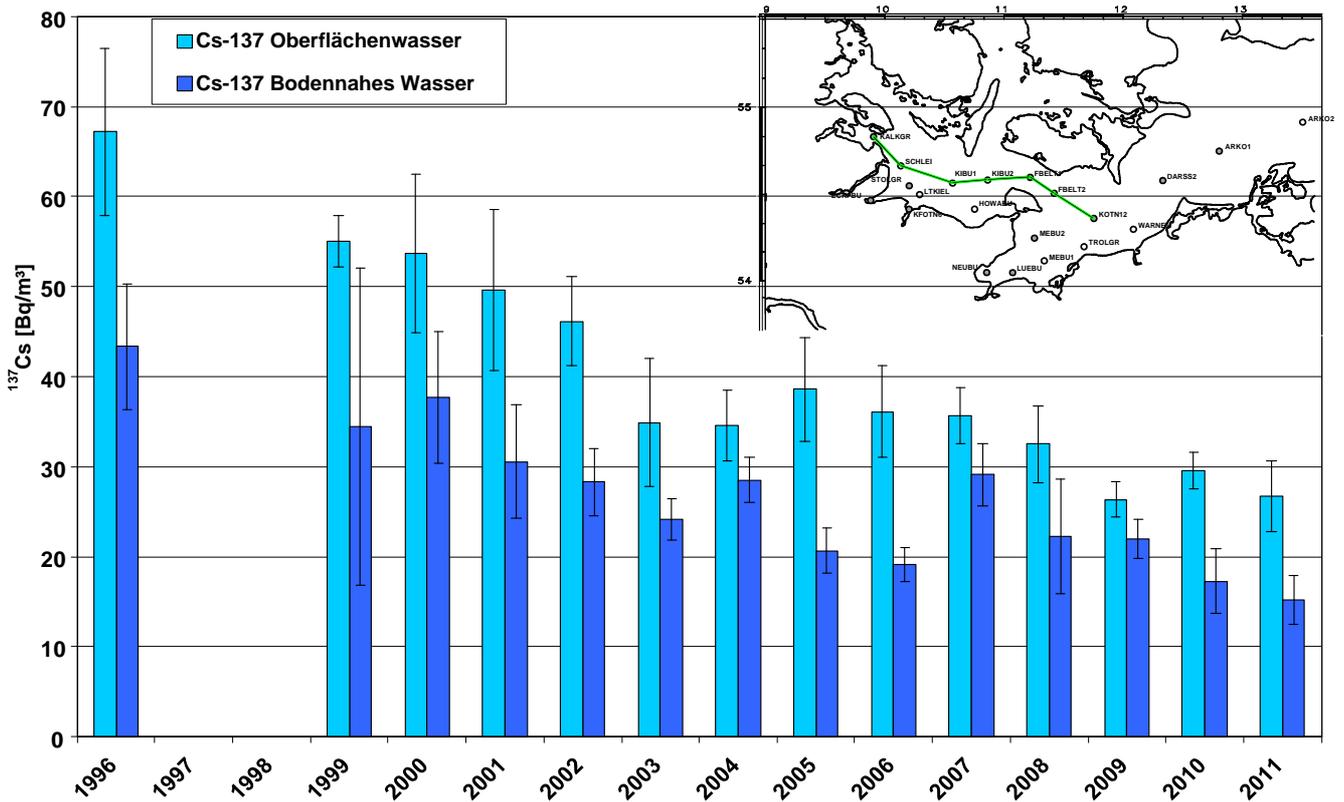


Abbildung 2.2.1-9 Zeitreihe der Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentrationen an 7 Indikatorstationen in der westlichen Ostsee
(Timeseries of mean values of Cs-137-activity concentrations from 7 indicator stations in the western Baltic Sea)

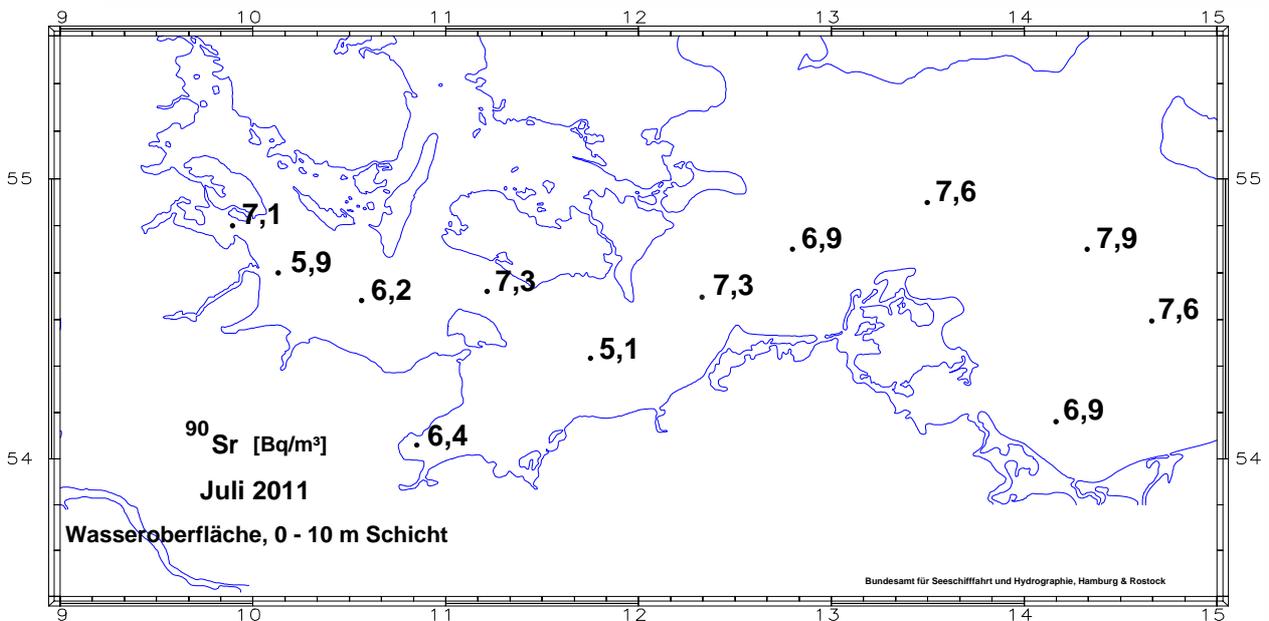


Abbildung 2.2.1-10 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juli 2011
(Spatial distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in surface sea water of the western Baltic Sea in July 2011)

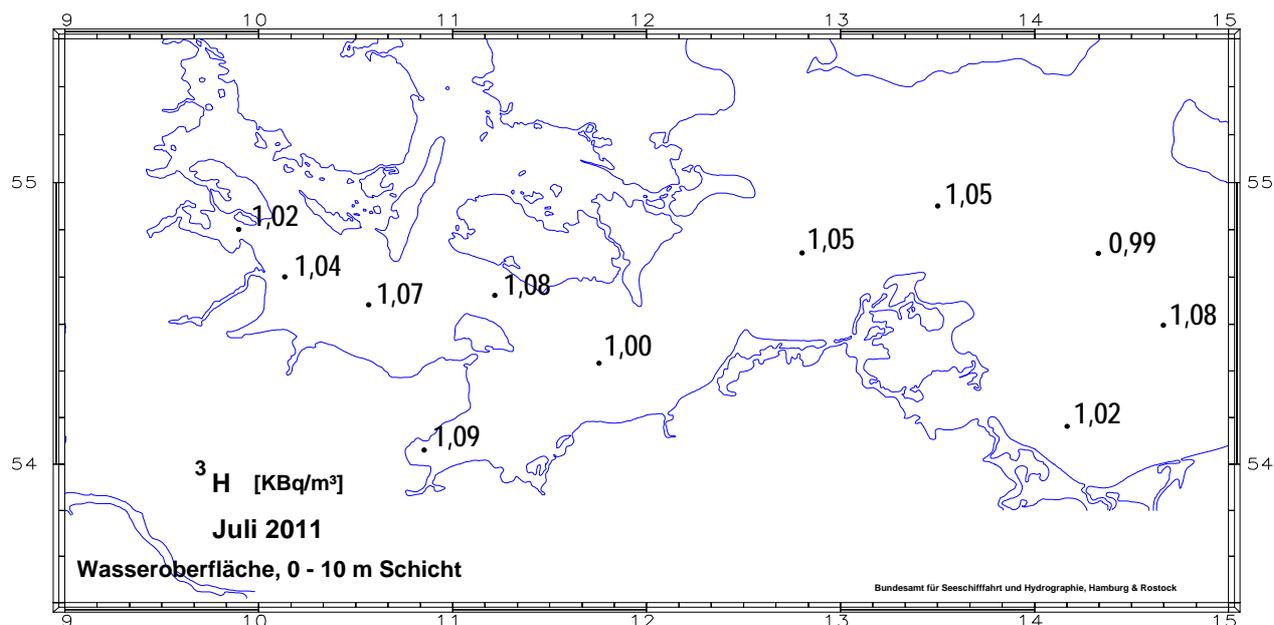


Abbildung 2.2.1-11 Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m³) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juli 2011
(Spatial distribution of the activity concentration of H-3 (kBq/m³) in surface sea water of the western Baltic Sea in July 2011)

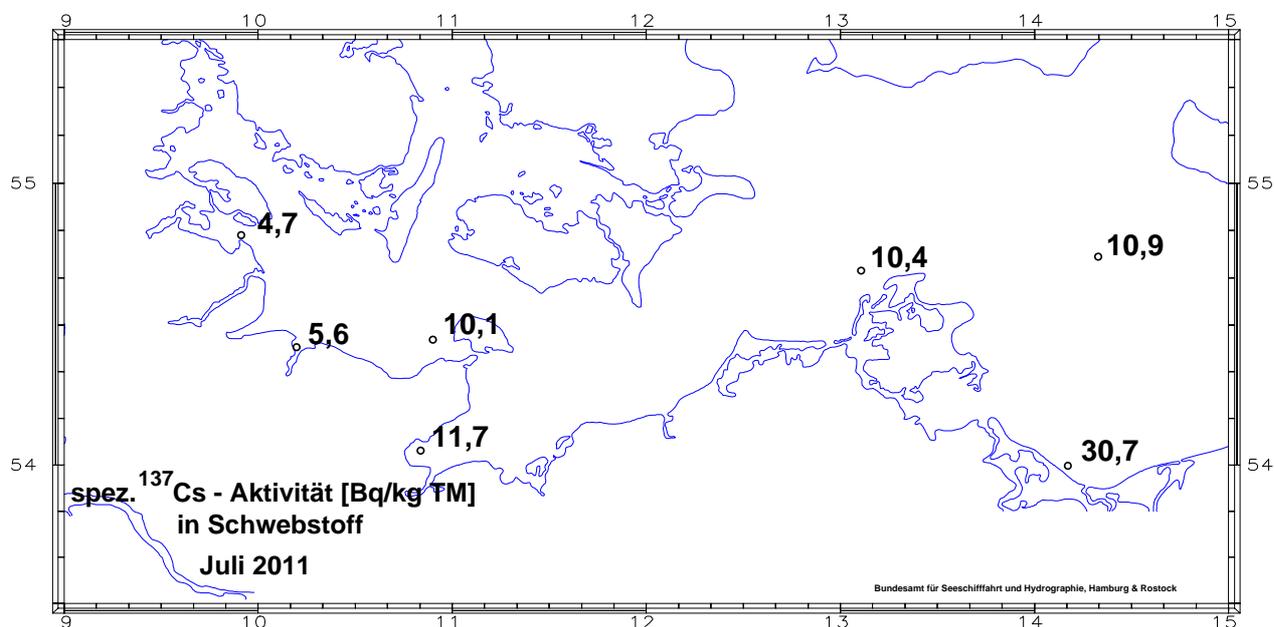


Abbildung 2.2.1-12 Verteilung der spezifischen Aktivität von Cs-137 (Bq/kg TM) in Schwebstoffproben aus der westlichen Ostsee im Juli 2011
(Spatial distribution of the specific activity of Cs-137 (Bq/kg DW) in suspended matter from the western Baltic Sea in July 2011)

Schwebstoffe

In Abbildung 2.2.1-12 ist die spezifische Aktivität von Cs-137 (Bq/kg Trockenmasse) in Schwebstoff an einigen ausgewählten Stationen der westlichen Ostsee dargestellt. Die Schwebstoffproben wurden mittels einer Durchflusszentrifuge aus jeweils ca. 8 m³ Meerwasser gewonnen. Die in 2011 gefundenen Aktivitäten im Bereich von 5 - 30 Bq/kg TM sind im langjährig gefundenen Schwankungsbereich der Cs-137-Konzentrationen im Schwebstoff, der sich bis ca. 50 Bq/kg TM erstreckt. Falls ein nennenswerter Eintrag aus dem Fukushima-Unfall in der westlichen Ostsee stattgefunden hätte, hätte das Nuklid Cs-134 nachweisbar sein müssen. Dies war bei keiner der gewonnenen Schwebstoffproben der Fall.

Sedimente

Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall wurde in den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee 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. In der Abbildung 2.2.1-13 ist das Inventar in kBq/m² einiger ausgewählter Sedimentstationen der westlichen Ostsee bis in 24 cm Tiefe im Jahre 2011 dargestellt. Die höchsten Werte mit bis zu 4,7 kBq/m² (Eckernförder Bucht) sind in den wasseraustauscharmen Buchten, Bodden und dem als Senke fungierenden Arkonabekken zu finden. Es zeigt sich, dass auch über 20 Jahre nach dem Tschernobyl-Unfall noch beachtliche Depositionen gefunden werden können. Dabei wurden spezifische Aktivitäten von bis zu 124 Bq/kg Trockenmasse festgestellt.

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.

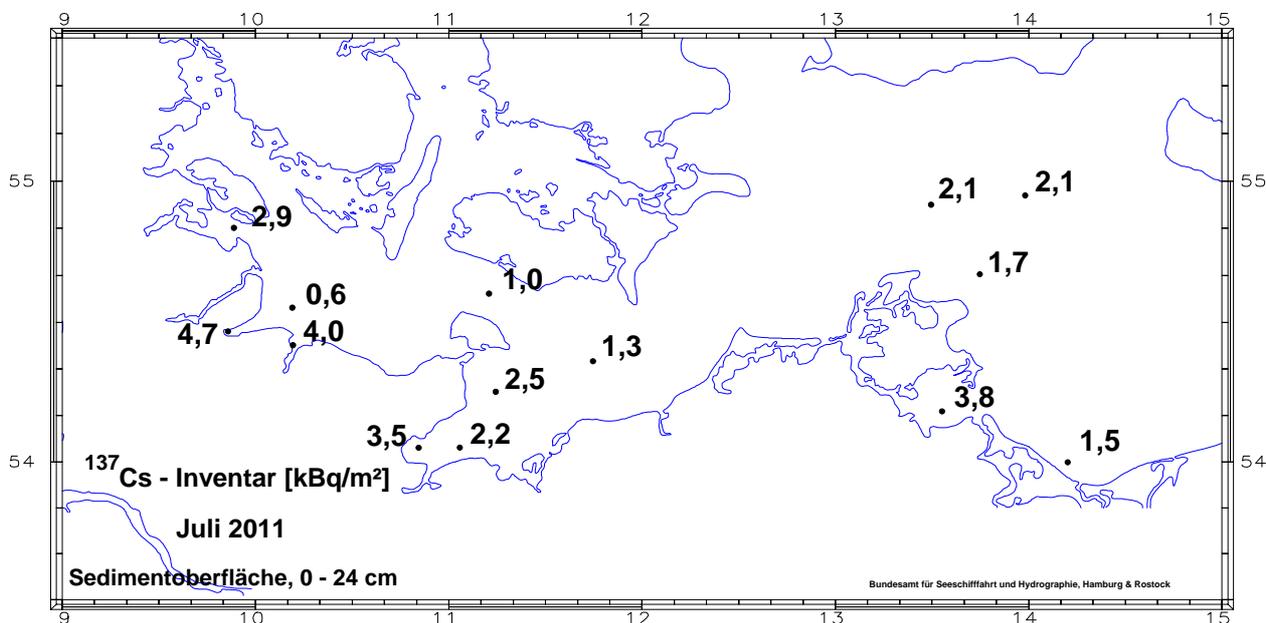


Abbildung 2.2.1-13 Cs-137 Inventar (kBq/m²) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juli 2011

Das Inventar wird bis 24 cm Sedimenttiefe erfasst

(Cs-137 Inventory (kBq/m²) in sediment cores of the western Baltic Sea in July 2011

The inventory is calculated down to 24 cm depth)

2.2.2 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 2011 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 im nachfolgenden Kapitel zusammengefasst und bewertet.

Hinweise zu den insgesamt erhaltenen Ergebnissen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG bzw. REI können der Tabelle 2.2.2-1 entnommen werden.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG wurden im Berichtsjahr Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 159 Gewässern - davon 79 Flüsse und 80 Seen bzw. Talsperren - mit insgesamt ca. 20 700 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 2.2.2-2 enthält die Auswertungen für Fließgewässer und Tabelle 2.2.2-3 die für Seen bzw. Talsperren. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte ausgewählter Entnahmestellen in den Abbildungen 2.2.2-1 bis 2.2.2-8 beispielhaft aufgezeigt.

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 2011 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 32 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 0,12 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 zwischen 0,0002 und 0,11 Bq/l.

In **Schwebstoffproben** lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 vorwiegend unter 100 Bq/kg TM. Höhere Werte für Cs-137 wurden wiederum von einzelnen Seen berichtet: der maximale Jahresmittelwert lag bei 255 Bq/kg TM (Steinhuder Meer, Niedersachsen). Co-58 und Co-60 konnten in Main, Mosel und Rhein nachgewiesen werden, wobei die Werte im Mittel bis 7,2 Bq/kg TM betragen und damit geringfügig über der geforderten Nachweisgrenze des RMP. Für I-131 wurden Einzelwerte bis 52 Bq/kg TM (Naab) gemessen.

In **Sedimentproben** betragen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 meist unter 100 Bq/kg TM. In einzelnen Seen traten auch hier noch höhere mittlere Gehalte an Cs-137 auf: der maximale Jahresmittelwert ergab sich zu 211 Bq/kg TM (Wittensee, Schleswig-Holstein). Co-60 - in Mosel und Weser (Unterweser) gemessen - lag jeweils deutlich unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

Aus radiologischer Sicht ist der Gütezustand der Binnengewässer in 2011 mit dem der letzten Vorjahre vergleichbar. Relevante Auswirkungen des Reaktorunfalls von Fukushima waren nicht zu verzeichnen: Lediglich in einer Schwebstoff- und in einer Sedimentprobe wurde Cs-134 mit unter 1 Bq/kg TM nachgewiesen. Ansonsten können die Schwankungen der mittleren spezifischen Aktivitäten bzw. Aktivitätskonzentrationen der langlebigen künstlichen Radionuklide - 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 Teil A). 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 Oberflächenwasser mit H-3 von 10 Bq/l sowie mit Sr-90 und Cs-137 von jeweils 0,01 Bq/l an, so errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a; 350 l/a Konsum) auf dem

„Trinkwasser“-Pfad zu ca. 0,21 $\mu\text{Sv/a}$, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (≤ 1 a; 170 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,54 $\mu\text{Sv/a}$. 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 bzw. 4,2 $\mu\text{Sv/a}$ deutlich darüber.

Insbesondere Cs-137 war auch 2011 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 $\mu\text{Sv/a}$ 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 $\mu\text{Sv/a}$ wesentlich höher.

Tabelle 2.2.2-1 Übersicht über die für 2011 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 2011, 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 Werte	Maximalwert	Gewässer	Ort / KT-Anlage	Datum / Zeitraum	Überwachungsprogramm
Oberflächenwasser (Bq/l)	$G\alpha^1$ -Aktivität	192	0,19	Oder	Schwedt, km 690,55	Februar	StrVG
	$G\beta^2$ / $R\beta^3$ -Aktivität	111	5,3	Salzbach	ERAM Morsleben	Juli	REI
	H-3	1627	3000	Ems	KKE Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
	Co-60	1621	0,185	Isar	HML München, Garching, km 130,3	18.10.	REI
	Sr-90	299	0,02	Marbach-Talsperre	Erbach	04.10.	StrVG
	I-131	653	0,12	Sauer	Bollendorf, km 80,0	15.11.	StrVG
	Cs-137	1557	0,062	Arendsee	Arendsee	05.05.	StrVG
	Pu-(239+240)	108	0,000004	Elbe	HH (Bunthaus), km 609,8	März	StrVG
CSchwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	50	10,2	Mosel	Perl, km 241,96	November	StrVG
	Co-60	505	35,6	Mosel	Perl, km 241,96	November	StrVG
	I-131	290	52,1	Naab	Wernberg-Köblitz, km 87,2	I. Quartal	StrVG
	Cs-134	505	0,6	Teschendorfer See	Teschendorf	20.06.	StrVG
	Cs-137	505	373	Steinhuder Meer	Wunstorf	III. Quartal	StrVG
Sediment (Bq/kg TM)	$G\alpha$ -Aktivität	4	601	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	I. Quartal	REI
	$G\beta$ -Aktivität	4	2220	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	III. Quartal	REI
	Co-58	28	1,42	Rhein	KKP Philippsburg, Auslaufbauwerk	II. Quartal	REI
	Co-60	1026	6,27	Donau	KRB Gundremmingen, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
	I-131	643	150	Rhein	KKP Philippsburg, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
	Cs-134	901	0,88	Geestezufluss	Bremerhaven	07.07.	StrVG
	Cs-137	1026	278	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	12.05.	REI
	Am-241	20	19,4	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	12.05.	REI

- 1) Gesamt-Alpha-Aktivität
- 2) Gesamt-Beta-Aktivität
- 3) Rest-Beta-Aktivität

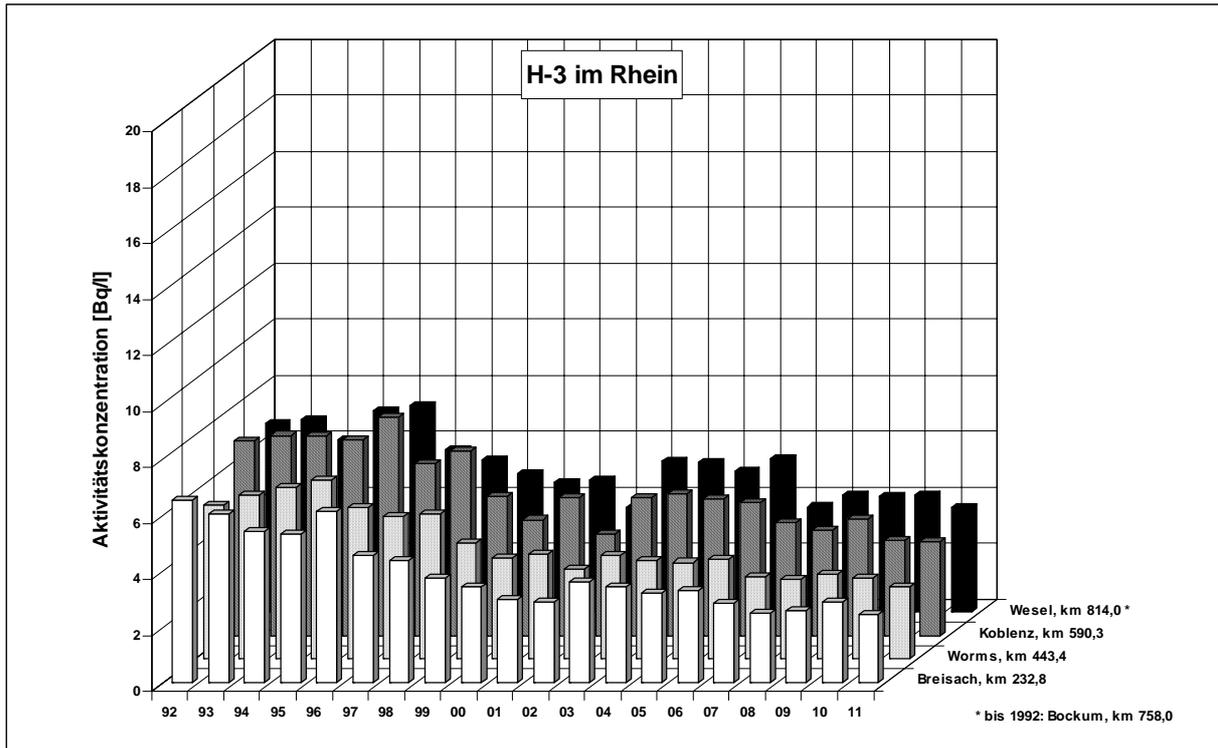


Abbildung 2.2.2-1 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)
 (Contents of H-3 (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

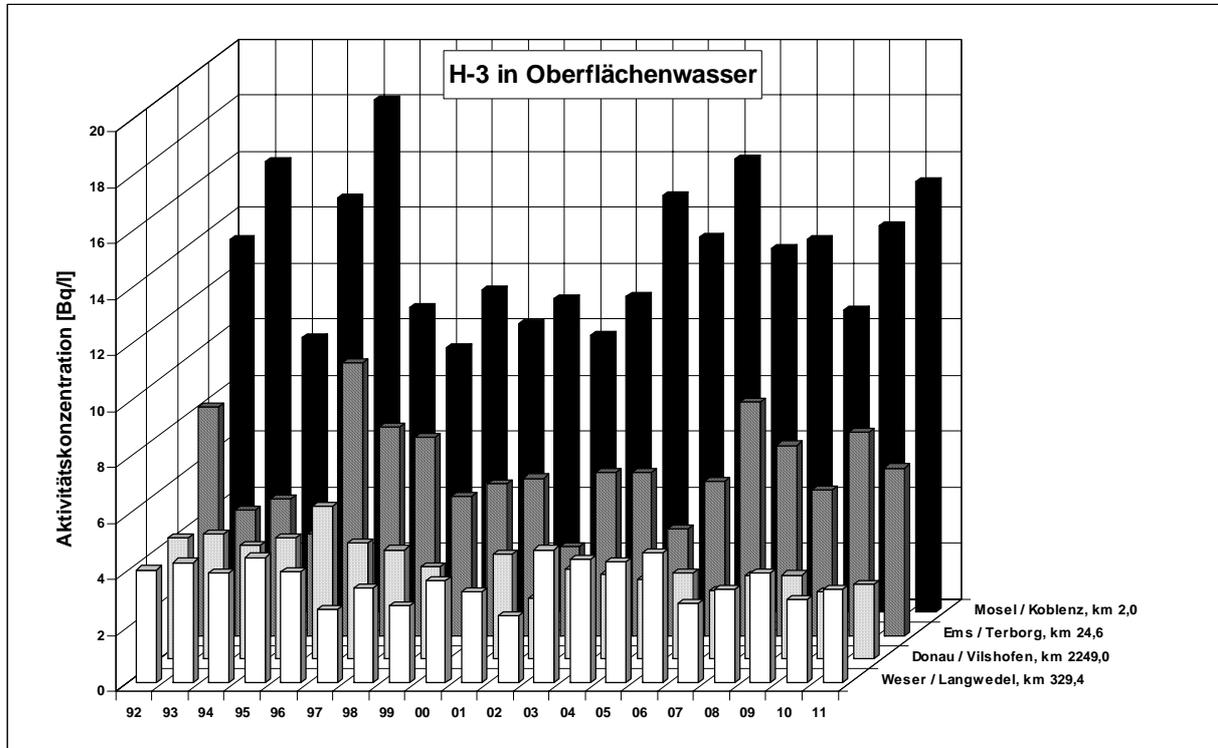


Abbildung 2.2.2-2 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer
 (Jahresmittelwerte)
 (Contents of H-3 (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

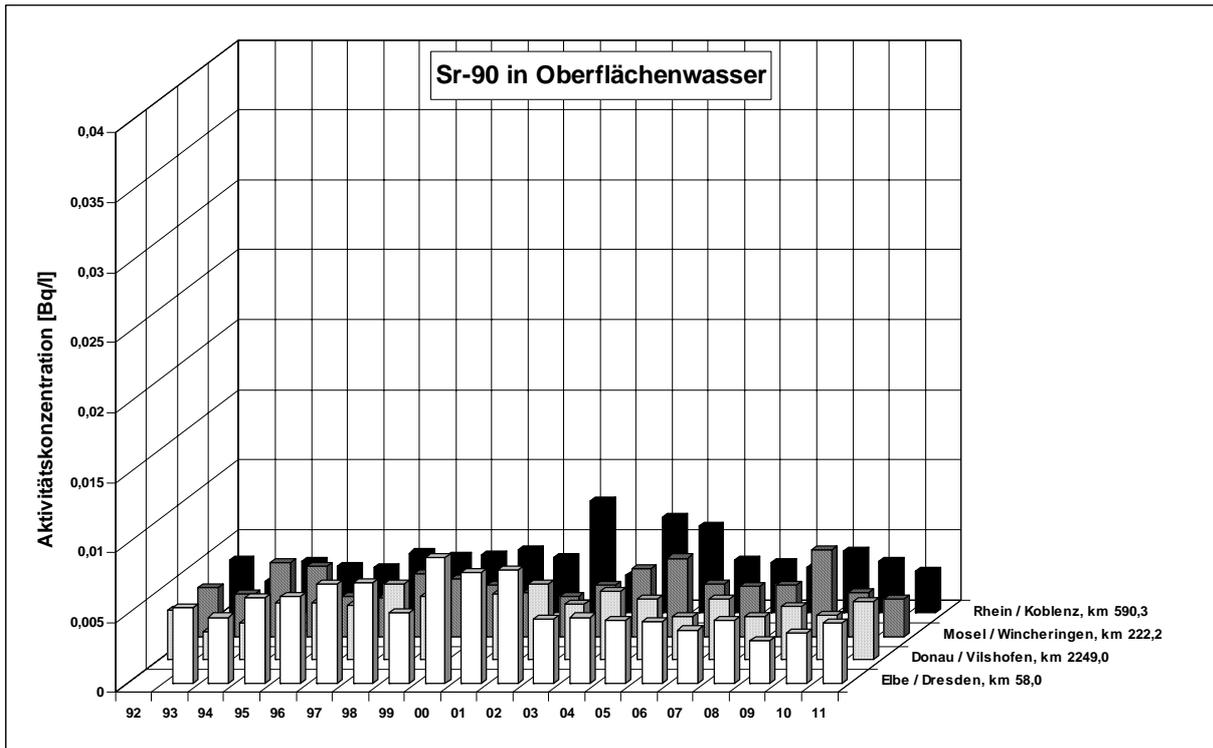


Abbildung 2.2.2-3 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Sr-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

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

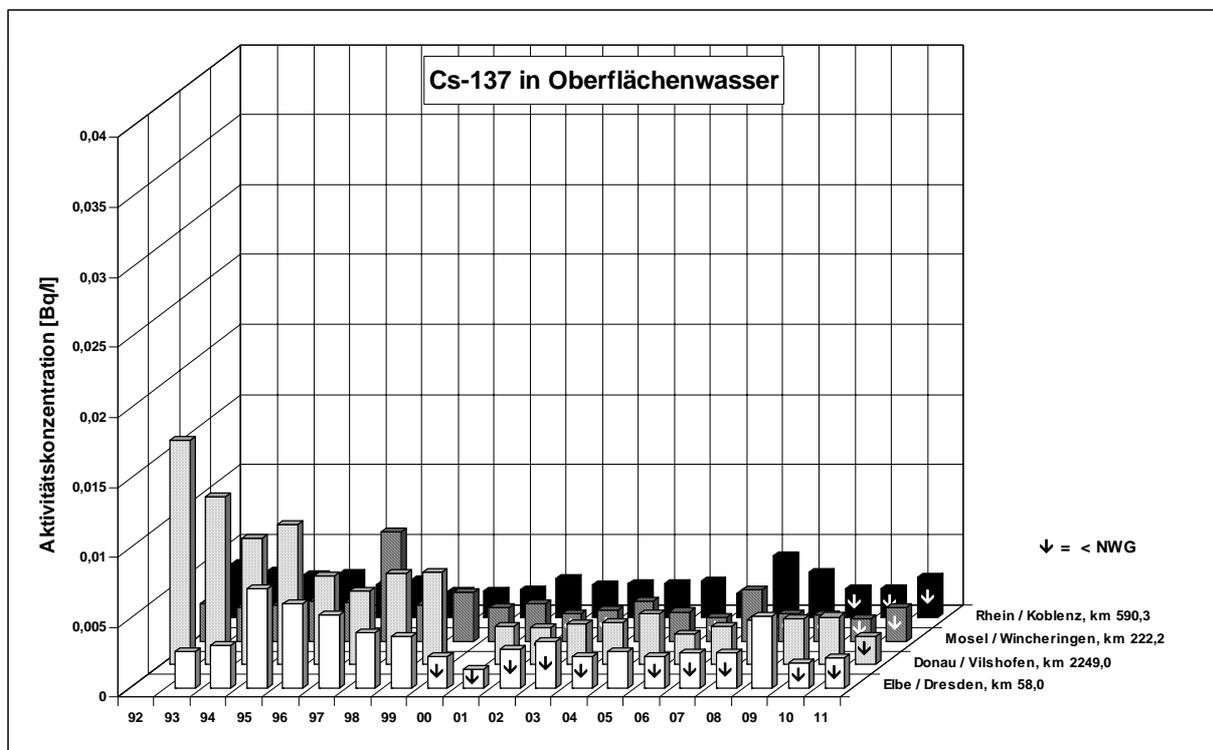


Abbildung 2.2.2-4 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cs-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Cs-137 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

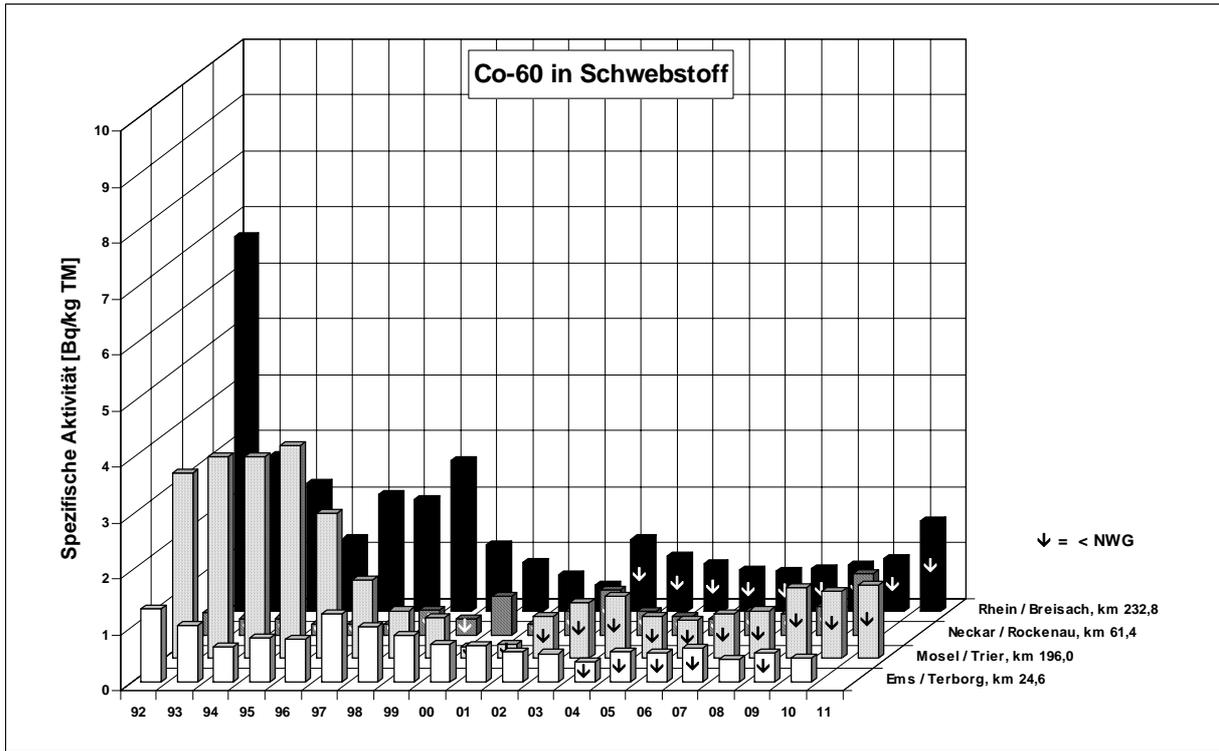


Abbildung 2.2.2-5 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (Co-60 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

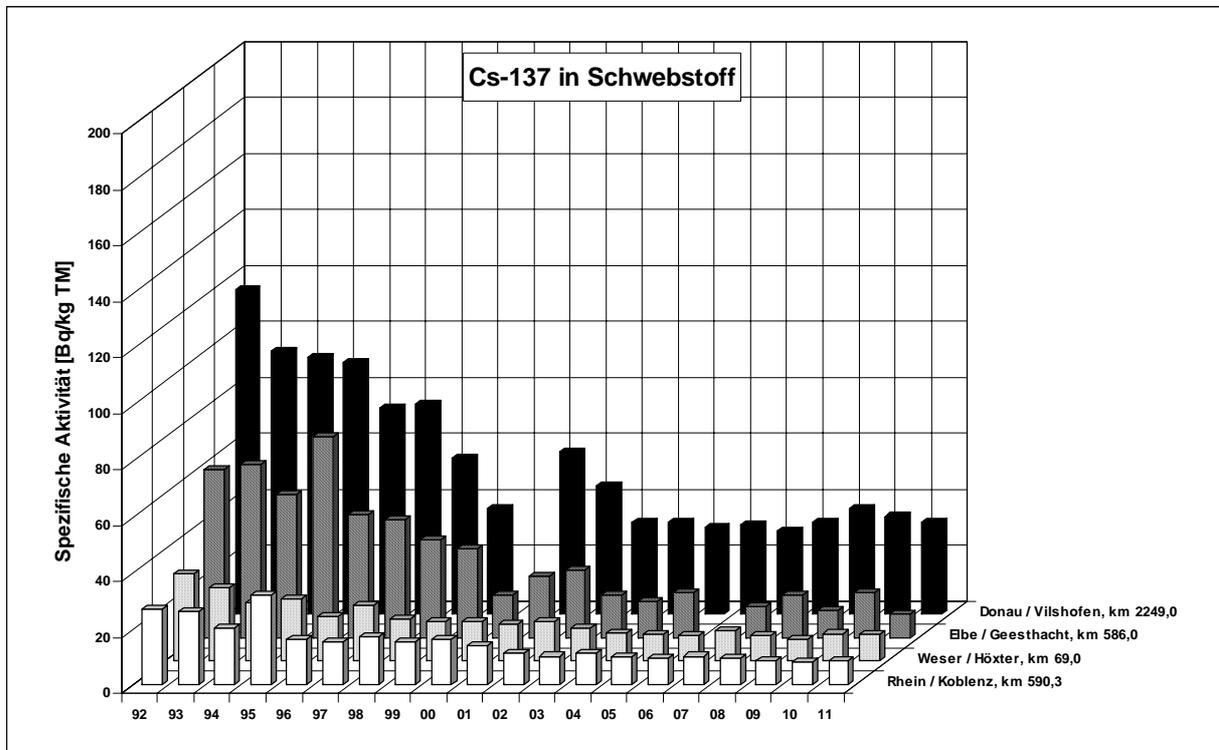


Abbildung 2.2.2-6 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (Cs-137 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

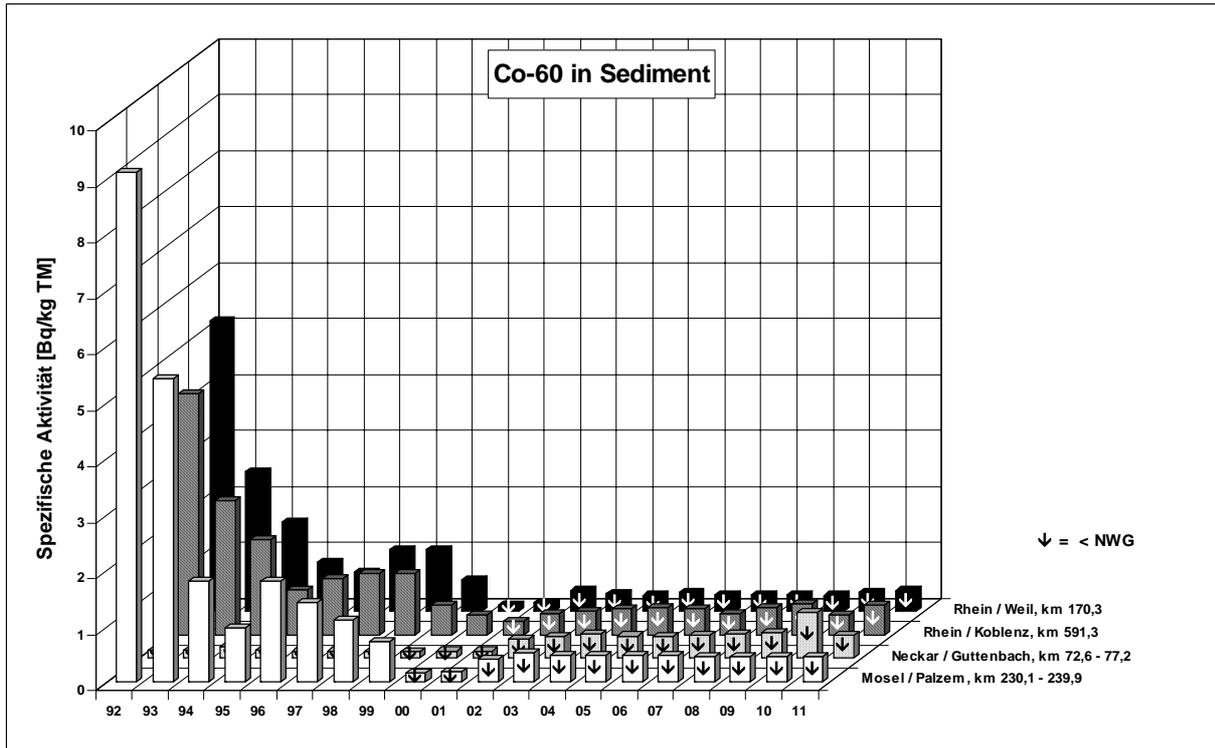


Abbildung 2.2.2-7 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Co-60 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

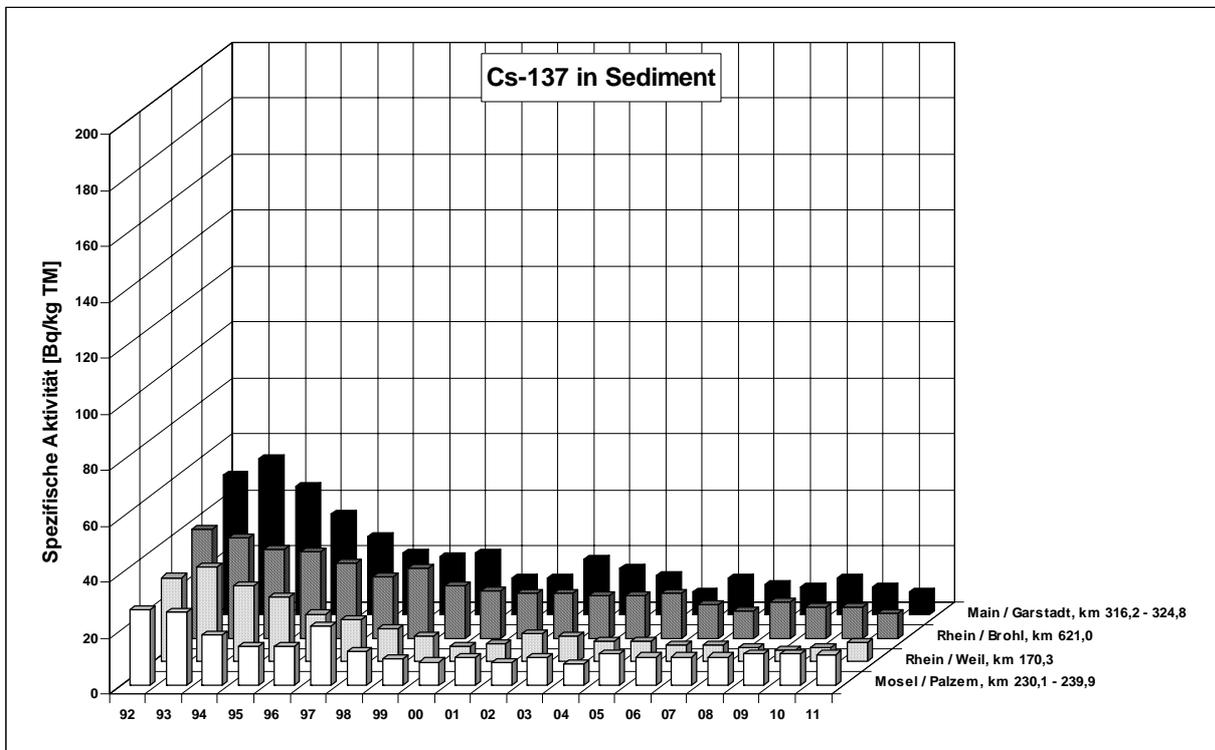


Abbildung 2.2.2-8 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters annual mean values)

Tabelle 2.2.2-2 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)

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2011	2010
RHEIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	6	0	1,11	1,80	1,49	1,85
		Koblenz, km 590,3	11	0	1,71	5,70	3,37	3,40
		Wesel, km 814,0	10	0	2,72	4,75	3,75	4,18
	Sr-90	Weil, km 172,97	4	0	0,0015	0,0051	0,0030	0,0041
		Koblenz, km 590,3	4	0	0,0017	0,0049	0,0030	0,0037
		Wesel, km 814,0	3	0	0,0021	0,0033	0,0026	0,0040
	Cs-137	Weil, km 172,97	8	8	<0,0011	<0,0028	nn	<0,0024
		Koblenz, km 590,3	12	11	<0,0011	0,015	<0,0029	<0,0021
		Wesel, km 814,0	12	12	<0,0011	<0,0033	nn	<0,0020
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 172,97	9	9	<0,27	<3,14	nn	<3,04
		Koblenz, km 590,3	12	12	<0,32	<0,94	nn	<0,45
		Wesel, km 814,0	10	10	<1,37	<9,25	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	9	0	3,09	12,0	6,1	8,9
		Koblenz, km 590,3	12	0	4,71	11,5	8,6	8,0
		Wesel, km 814,0	10	4	<4,60	11,5	9,0	9,2
	I-131	Weil, km 172,97	9	6	<2,00	<13,8	<7,0	6,3
Koblenz, km 590,3		12	3	<1,53	20,2	8,8		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 170,3	6	6	<0,34	<0,44	nn	nn
		Worms, km 444,50-446,60	12	12	<0,19	<0,53	nn	nn
		Koblenz, km 591,3	4	4	<0,48	<0,62	nn	nn
	Cs-137	Düsseldorf, km 740,3-748,9	16	16	<0,19	<2,38	nn	nn
		Weil, km 170,3	6	0	6,13	7,46	6,66	5,23
		Worms, km 444,50-446,60	12	3	0,31	8,19	3,47	3,25
		Koblenz, km 591,3	4	0	6,57	8,36	7,75	8,35
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	16	0	0,54	25,6	7,2	8,1
NECKAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	0	2,57	28,8	16,6	7,0
		Rockenau, km 61,4	-	-				6,25
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	0	0,0028	0,0039	0,0035	0,0036
		Rockenau, km 61,4	-	-				0,0034
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	11	9	<0,0011	<0,0035	<0,0022	<0,0022
Rockenau, km 61,4		-	-				<0,0017	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Rockenau, km 61,4	-	-				1,13
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	1	0	9,41	9,41	9,41	8,50
		Rockenau, km 61,4	-	0				4,95
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Guttenbach, km 72,0-77,2	13	11	0,12	<0,72	<0,42	<0,82
	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	22	0	1,68	7,77	5,26	8,00
		Neckarzimmern, km 85,8-86,2	6	0	6,49	7,07	6,77	7,70
		Guttenbach, km 72,0-77,2	13	0	0,57	10,1	5,3	6,31
MAIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	11	0	0,76	5,17	1,99	4,4
		Eddersheim, km 15,3	10	0	1,07	2,98	1,80	2,69
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	3	0	0,0030	0,0043	0,0037	0,0035
		Eddersheim, km 15,3	4	0	0,0028	0,0048	0,0034	0,0025
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	12	7	0,0016	0,0040	<0,0024	0,0031
		Eddersheim, km 15,3	11	11	<0,0012	<0,0030	nn	<0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 323,7	4	3	<0,44	0,92	<0,72	4,33
	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	4	0	18,2	22,4	20,2	17,4
		Garstadt, km 323,7	4	0	7,23	15,5	11,1	12,9

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2011	2010
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 316,2-324,8	10	10	<0,16	<0,71	nn	<0,97
	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	6,91	25,5	14,1	9,7
		Garstadt, km 316,2-324,8	10	1	0,23	16,9	8,1	9,9
MOSEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	0	12,9	50,6	32,3	32,6
		Koblenz, km 2,0	11	0	7,19	25,7	15,4	13,8
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	3	0	0,0023	0,0031	0,0027	0,0031
		Koblenz, km 2,0	4	0	0,0033	0,0051	0,0043	0,0041
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	11	8	<0,0010	<0,0039	<0,0024	<0,0016
Koblenz, km 2,0		10	8	<0,0011	0,0080	<0,0023	<0,0017	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	5	0	3,42	10,2	5,5	3,16
	Co-60	Perl, km 241,96	11	4	<0,44	35,6	7,2	1,96
		Trier, km 196,3	8	8	<0,38	<1,40	nn	-
	Cs-137	Perl, km 241,96	11	0	6,23	12,6	9,7	12,9
		Trier, km 196,3	8	0	4,22	12,9	9,0	-
	I-131	Perl, km 241,96	11	5	3,90	25,2	11,9	13,5
Trier, km 196,3		8	8	<1,46	<9,40	nn	-	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	15	15	<0,20	<0,68	nn	<0,45
		Trier, km 184,1-196,1	8	8	<0,23	<0,71	nn	nn
		Koblenz/Güls km 4,05	4	4	<0,46	<0,53	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	15	0	7,94	15,0	11,1	14,0
		Trier, km 184,1-196,1	8	0	3,55	10,6	7,2	9,5
		Koblenz/Güls, km 4,05	4	0	8,44	11,3	10,0	9,5
SAAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	11	0	0,76	1,79	1,10	1,04
	Sr-90		4	0	0,0022	0,0033	0,0027	0,0037
	Cs-137		11	10	<0,0011	<0,0023	<0,0019	<0,0024
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	12	0	7,45	21,9	13,5	13,1
	I-131		12	8	7,12	<50,2	<21,8	-
DONAU								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	12	0	0,89	1,90	1,44	1,34
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	1,60	4,92	2,67	2,39
	Sr-90	Regensburg, km 2381,3	4	1	<0,0015	0,0041	0,0036	0,0032
		Vilshofen, km 2249,0	4	1	<0,0015	0,0047	0,0042	0,0032
	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<0,0043	<0,012	nn	nn
Regensburg, km 2381,3		11	11	<0,0012	<0,0028	nn	<0,0023	
Vilshofen, km 2249,0		12	9	<0,0013	0,0028	<0,0020	0,0034	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Böfingen, km 2582,4	4	0	44,4	71,2	54,3	61,9
		Regensburg, km 2381,3	4	0	25,5	51,1	39,1	38,5
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	19,3	50,2	32,5	35,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Böfingen, km 2582,4	4	0	19,0	47,0	33,7	35,0
		Regensburg, km 2379,1-2381,4	6	0	3,08	38,2	18,3	24,6
		Straubing, km 2326,7	4	0	27,9	38,0	35,0	40,8
		Grünau, km 2205,5	2	0	27,7	33,9	30,8	16,1
ISAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
		Platting, km 9,1	4	3	<5,2	<5,2	nn	nn
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0043	<0,022	nn	nn
		Platting, km 9,1	4	4	<0,0041	<0,0060	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	19,7	24,3	22,1	20,1
		Platting, km 9,1	4	0	15,3	46,0	37,0	36,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	5	0	20,0	35,7	29,3	23,0
		Platting, km 9,1	2	0	3,86	33,2	18,5	19,1

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2011	2010
EMS								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	10	0	0,97	43,9	17,8	18,5
		Terborg, km 24,64	6	0	2,21	12,9	6,0	7,3
	Co-60	Terborg, km 24,64	6	5	<0,0016	<0,0022	<0,0019	nn
		Sr-90	Geeste, km 106,3	4	1	<0,0015	0,0068	0,0055
	Cs-137	Terborg, km 24,64	2	1	<0,0015	0,0030	0,0030	0,0039
		Geeste, km 106,3	12	9	<0,0013	0,0086	<0,0027	<0,0021
		Terborg, km 24,64	6	0	0,0069	0,028	0,016	0,0060
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Terborg, km 24,64	-					0,42
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	0	9,14	22,2	15,5	17,2
		Terborg, km 24,64	-					4,55
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Herbrum, km 212,75	2	0	3,65	4,72	4,19	5,13
WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	1,28	8,95	5,44	4,43
		Langwedel, km 329,4	12	0	1,19	5,89	3,33	2,95
		Blexen, km 430,00	12	0	1,05	4,80	3,21	4,68
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	4	1	<0,0015	0,0031	0,0027	0,0034
		Langwedel, km 329,4	3	0	0,0033	0,0038	0,0036	0,0033
		Blexen, km 430,0	4	0	0,0022	0,0042	0,0030	0,0029
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	12	10	<0,0015	0,0058	<0,0024	<0,0017
		Langwedel, km 329,4	11	9	<0,0014	0,0052	<0,0025	<0,0023
		Blexen, km 430,0	12	4	0,0012	0,0085	0,0034	0,0021
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Wilhelmshaven/Jadebusen	4	4	<0,25	<0,53	nn	<0,35
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	4,32	12,0	8,2	7,19
		Langwedel, km 329,4	11	0	5,26	14,0	7,9	8,4
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	0	1,13	2,45	2,05	2,13
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Nordenham, km 422,9	5	3	0,23	<0,66	<0,38	-
	Cs-137	Minden, km 204,40	4	0	3,04	6,94	5,54	10,1
		Bremen, km 373,97	4	0	4,51	5,93	5,22	6,2
		Nordenham, km 422,9	5	0	3,83	5,21	4,54	-
ELBE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	8	0	2,39	9,08	4,39	4,19
		Tangermünde, km 389,10	11	0	1,40	5,46	2,93	3,01
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	3,90	4,99	4,43	3,24
		Cuxhaven, km 724,5	12	0	1,37	3,84	2,77	3,38
	Sr-90	Dresden, km 58,0	3	0	0,0033	0,0049	0,0043	0,0036
		Tangermünde, km 389,10	4	0	0,0034	0,0051	0,0043	0,0046
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0027	0,0039	0,0031	0,0032
		Cuxhaven, km 724,5	4	0	0,0019	0,0036	0,0026	0,0027
	Cs-137	Dresden, km 58,0	8	7	<0,0013	0,0031	<0,0021	<0,0018
		Tangermünde, km 389,10	10	10	<0,0016	<0,0031	nn	<0,0024
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	2	0,0010	0,0019	0,0014	<0,0019
		Cuxhaven, km 724,5	10	9	<0,0012	<0,0032	<0,0020	nn
		Pu-(239+240)	HH (Bunthaus), km 609,8	2	1	<0,000002	0,000004	0,000004
Schwebstoff (Bq/kg TM)	I-131	HH (Bunthaus), km 609,8	4	3	<1,27	<7,04	<3,88	nn
	Cs-137	Dresden, km 58,0	6	0	14,0	20,7	17,5	19,2
		Geesthacht, km 586,0	4	0	4,95	15,4	8,4	16,4
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	9,34	27,8	17,1	24,6
		Cuxhaven, km 724,5	4	0	0,37	0,42	0,39	0,36
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	4	0	7,32	15,7	11,6	22,8
		Arneburg, km 403,5	5	0	1,09	32,6	16,0	20,9
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	15,5	24,7	20,6	21,0
		Cuxhaven, km 726,3	3	0	2,76	6,96	4,58	4,28

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2011	2010
ODER								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,20	9	0	0,57	1,38	0,98	1,03
		Schwedt, km 690,55	9	0	0,69	1,41	1,01	0,94
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,20	2	0	0,0031	0,0051	0,0041	0,0037
		Schwedt, km 690,55	4	0	0,0051	0,0063	0,0056	0,0046
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	11	8	0,0014	<0,0040	<0,0023	nn
Schwedt, km 690,55		11	3	<0,0015	0,0097	0,0049	0,005	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	4	0	9,68	16,9	13,8	12,2
		Schwedt, km 690,55	1	0	11,4	11,4	11,4	15,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hohensaaten, km 667,5	3	0	9,48	11,1	10,6	10,8
SPREE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<2,10	<4,00	nn	nn
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	10	0	0,49	1,28	0,86	0,73
	Sr-90	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	4	0	0,0039	0,0049	0,0043	0,0045
		Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	0	0,0010	0,0017	0,0014	0,0015
	Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	12	7	<0,0019	0,0079	<0,0031	0,0022
I-131		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	10	8	<9,73	<150	<44	-
	Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)		4	4	<1,15	<11,6	nn	<1,03
Cs-137		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	10	0	14,9	31,2	22,2	20,2
	Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	4,41	17,0	9,9	6,5	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Fürstenwalde, km 74,7	-					3,67
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	11,5	21,1	16,7	19,6
HAVEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	9	0	0,76	1,66	0,96	0,80
	Sr-90		4	0	0,0027	0,0047	0,0035	0,0031
		Cs-137		10	5	<0,0011	0,0058	<0,0030
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	34,9	49,9	43,3	38,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	5	0	27,0	33,0	29,4	33,8
SAALE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Halle/Planena, km 104,5	11	0	0,50	3,96	1,15	0,89
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,7	<4,0	nn	nn
	Sr-90	Halle/Planena, km 104,5	4	0	0,0030	0,0048	0,0038	0,0041
		Camburg, km 187,0	4	2	<0,0026	<0,0039	0,0035	0,0045
	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	11	9	<0,0011	0,0046	<0,0021	nn
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,015	<0,018	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	4	0	10,2	11,9	10,9	11,2
		Camburg, km 187,0	4	0	14,8	25,9	21,1	26,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 105,5	5	0	3,0	9,01	6,51	8,5
		Dorndorf-Stednitz, km 192,0	4	0	10,5	14,4	11,8	14,9
PEENE								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	11	0	0,65	1,30	0,86	0,78
	Sr-90		4	0	0,0020	0,0061	0,0046	0,0034
		Cs-137		10	6	<0,0017	0,015	<0,0038
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	34,6	39,5	29,8	36,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	5	0	30,6	87,9	43,3	31,9

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2011	2010
TRAVE / UNTERTRAVE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	11	0	0,53	1,44	0,95	1,10
	Sr-90		4	0	0,0027	0,0056	0,0045	0,0045
	Cs-137		12	3	<0,0015	0,019	0,0096	0,007
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	4	0	25,7	69,6	49,3	40,3
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	10	0	0,76	1,44	1,14	1,04
	Sr-90		3	0	0,0039	0,0058	0,0046	0,0062
	Cs-137		12	2	0,0013	0,018	0,0078	0,0050
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	7,18	27,1	19,5	44,9

nn nicht nachweisbar/nachgewiesen

- Messung/Angabe nicht erforderlich

Tabelle 2.2.2-3 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	Probe- nahmeort	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
BADEN-WÜRTTEMBERG/BAYERN / Bodensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<8,0	<8,0	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Cs-137	Langenargen	8	8	<0,0043	<0,0083	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<0,0043	<0,0063	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	2	<0,94	2,63	1,90	6,4
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seeon-See- bruck	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0030	0,0052	0,0042	0,0044
	Cs-137		4	4	<0,0059	<0,0070	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-See- bruck	4	0	28,6	42,9	36,6	39,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-See- bruck	5	0	4,74	23,4	11,3	9,5
Starnberger See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0072	0,0081	0,0075	0,0085
	Cs-137		4	4	<0,0058	<0,0073	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	129	166	148	166
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	109	133	126	103
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle41035	4	4	<2,10	<4,00	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0039	0,0063	0,0050	0,0040
	Cs-137		4	3	<0,0016	0,0031	<0,0022	0,0017
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	0	0,30	4,01	1,90	1,84
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	0	18,9	30,3	23,7	28,7

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Probe- nahmeort	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
Stößensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<2,10	<4,00	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0036	0,0056	0,0046	0,0042
	Cs-137		4	2	0,0015	<0,0026	0,0020	0,0019
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	2,29	10,6	5,4	6,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	60,1	99,8	78,4	76,6
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<6,14	<7,32	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0012	0,016	0,014	0,013
	Cs-137		4	4	<0,0053	<0,0091	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	11	17	14	14
Neuendorfer See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	4	4	<8,95	<9,95	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,004	0,005	0,005	0,006
	Cs-137		4	4	<0,0098	<0,019	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	3	0	18	20	19	21
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	0,80	1,0	0,9	1,1
HESSEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<5,15	<5,36	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,007	0,020	0,014	0,009
	Cs-137		4	4	<0,005	<0,007	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	15,0	25,4	21,0	16,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	3,11	5,25	4,00	5,21
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	4	<4,53	<4,67	nn	<4,33
	Cs-137		4	4	<0,0060	<0,082	nn	<0,010
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	3	0	1,58	4,47	3,46	12,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	3,18	7,77	4,95	8,5
Schweriner See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<4,57	<5,22	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0039	0,0146	0,010	0,011
	Cs-137		4	2	0,0047	<0,010	0,0065	<0,008
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	28,3	61,1	39,7	49,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	27,9	48,6	37,4	47,2
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	4	<1,58	<1,63	nn	<1,67
	Sr-90		4	0	0,0016	0,0023	0,0020	0,0022
	Cs-137		4	4	<0,0008	<0,0014	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	31,4	36,6	33,9	32,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	38,4	48,8	44,6	57,0

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Probe- nahmeort	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
Steinhuder Meer								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	3	<1,53	<1,56	<1,54	<1,52
	Cs-137		4	0	0,0036	0,017	0,010	0,008
Schwefstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	207	373	255	216
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	97,6	121	110	183
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<3,20	<3,23	nn	nn
	Sr-90		1	0	0,016	0,016	0,016	nn
	Cs-137		4	4	<0,0023	<0,0030	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0002	<0,0004	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	0	5,0	12,6	8,7	6,6
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	4	<3,3	<3,0	nn	<1,9
	Cs-137		4	0	0,027	0,030	0,028	0,030
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	57	67	63	69
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0049	<0,0058	nn	nn
Schwefstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	1	<9,26	34,6	23,0	28,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	45,2	50,3	47,4	56,7
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,042	0,062	0,048	0,054
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	47,5	80,6	61,2	61,6
Schollener See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,013	0,023	0,017	0,025
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	151	251	209	268
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<10	<10	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,01	<0,01	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,013	<0,026	nn	<0,014
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	29,1	155	118	100
Wittensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Groß Wittensee	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,015	<0,027	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Groß Wittensee	4	0	186	254	211	109
THÜRINGEN / Talsperre Ohra								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Luisenthal	4	4	<3,7	<4,2	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,017	<0,021	nn	nn

2.2.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung der Anlagen nach 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 gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) aus dem Jahr 2011. Insgesamt lagen ca. 4800 Einzelwerte von Messungen an Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben vor. 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.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in Oberflächenwasserproben aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte in Einzelfällen nachweisbar (Tabelle 2.2.3-1). Erhöhte H-3-Konzentrationen wurden in Proben gemessen, die direkt an Auslaufbauwerken genommen wurden: Die Werte betragen hier im Mittel ca. 1900 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 2.2.2). Die Aktivitätskonzentrationen anderer relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten meist die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l. Maximal wurde Co-60 in der Isar (Forschungsneutronenquelle HML München, Auslauf) mit 0,11 Bq/l im Mittel gemessen. Insbesondere Sr-90 und Cs-137 waren wegen der Vorbelastung aus anderen Quellen (Kernwaffen-Fallout und Reaktorunfall in Tschernobyl) nicht explizit aufzeigbar. 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 unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. I-131, Cs-134 und Cs-137 wurden nachgewiesen. Einflüsse der jeweiligen kerntechnischen Anlagen waren auf Grund anderweitiger Vorbelastung praktisch nicht aufzuzeigen bzw. auszuschließen. Für Alpha-Strahler wurden im Hirschkanal (FZ Karlsruhe) etwas erhöhte mittlere Werte der Gesamt-Alpha-Aktivität ($Ges\alpha$) mit 494 und für Am-241 mit 13 Bq/kg TM im Mittel gemessen. Ansonsten wurden Transurane 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 z. B. als Folge von Ableitungen aus dem französischen KKW Cattenom in Proben aus der Mosel auf mit Jahresmittelwerten von ca. 36 Bq/l. Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich die auf dem „Trinkwasser-Pfad“ für Erwachsene (> 17 a; 700 l/a Konsum) von H-3 resultierende effektive Dosis zu ca. 0,5 μ Sv/a. Für Kleinkinder (\leq 1 a; 340 l/a Konsum) beträgt der entsprechende Wert 0,8 μ Sv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 μ Sv/a nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu ca. 0,1 bzw. 0,3% 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 μ Sv/a abschätzen. Sie würde damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 47 StrlSchV von 300 μ Sv/a liegen.

**Tabelle 2.2.3-1 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 Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
RHEIN / KKW Beznau und KKW Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0072	<0,011	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,018	<0,024	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,015	<0,025	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0060	<0,010	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,015	<0,022	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,013	<0,026	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,40	<0,53	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	2	2	<0,45	<0,49	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,41	<0,71	nn	0,13
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	0	4,98	5,15	5,07	3,71
		vor KKW Leibstadt	2	0	4,32	8,02	6,17	4,64
		nach KKW Leibstadt	2	0	3,13	4,03	3,58	3,10
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil	13	13	<8,0	<8,0	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	Weil	13	13	<0,010	<0,026	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0081	<0,030	nn	nn
	Cs-137	Weil	13	13	<0,010	<0,025	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0082	<0,026	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Neuenburg/Grißheim km 206,5	2	2	<0,21	<0,54	nn	nn
		Breisach, km 232,0	2	2	<0,35	<0,45	nn	0,23
	Cs-137	Neuenburg/Grißheim km 206,5	2	0	1,24	2,26	1,75	4,64
		Breisach, km 232,0	2	0	3,84	6,32	5,08	4,9
RHEIN / HIRSCHKANAL / Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Ges- α	Hirschkanal	51	0	0,017	0,051	0,035	0,034
	Ges- β		51	11	0,060	0,165	0,100	0,107
	H-3		63	61	1,68	<8,0	<3,7	<3,9
	Co-60		4	4	<0,0043	<0,0086	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0038	<0,0072	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Ges- α	Hirschkanal	4	0	216	601	494	639
	Ges- β		4	0	1240	2220	1810	1980
	Co-60		8	6	0,21	<2,91	<1,41	<1,49
	Cs-137		8	0	58,1	278	145	273
	Am-241		5	0	6,22	19,4	13,1	27,0
RHEIN / KKP Philippsburg								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	15	<2,8	8,3	<7,1	<7,5
		Auslaufbauwerke I u. II	32	13	4,9	148	29	<20
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0058	<0,029	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	16	16	<0,0053	<0,029	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0054	<0,032	nn	nn
Auslaufbauwerke I u. II	16	16	<0,0046	<0,033	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Auslaufbauwerk	2	1	<0,81	1,42	1,42	1,43
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,32	<0,63	nn	<0,69
		Auslaufbauwerk	4	0	0,37	3,76	1,46	1,21
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	10,2	11,7	10,8	11,9
Auslaufbauwerk	4	0	7,50	13,3	10,2	9,2		
RHEIN / KWB Biblis und BE-Zwischenlager								

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	5	<4,63	10,0	<6,7	<6,39
		Auslaufbauwerke A u. B	16	2	<4,60	137	65	81
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,016	<0,044	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,017	<0,049	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,015	<0,039	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,50	<0,56	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,37	<0,40	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	7,5	7,9	7,7	12
		nach Auslaufbauwerk	2	0	7,3	12	10	16
RHEIN / KMK Mülheim-Kärlich (außer Betrieb)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	2	7,1	9,5	8,3	8,7
		Auslaufbauwerk	6	3	2,6	<8,7	4,2	4,7
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,019	<0,023	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,0093	<0,023	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,017	<0,021	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,42	<0,58	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,52	<0,53	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	12	13	12,5	7,8
		nach Auslaufbauwerk	2	0	9,0	12	10,5	12
NECKAR / GKN Neckarwestheim								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	10	<4,8	17	<7,6	<5,8
		Auslaufbauwerk	12	1	4,1	410	190	93
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0051	<0,043	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	12	<0,0065	<0,049	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	12	<0,0051	<0,048	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,27	<0,36	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,27	<0,44	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	3,89	4,44	4,17	6,69
		nach Auslaufbauwerk	4	0	3,00	7,98	5,46	7,7
NECKAR / KKO Obrigheim (außer Betrieb)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	4	<7,4	24,5	15,1	12,7
		Auslaufbauwerk	8	3	<7,4	28,7	15,4	126
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0051	<0,018	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	5	0,0032	<0,016	<0,010	0,078
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0045	<0,022	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,23	<0,27	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,41	<0,45	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	0,20	0,90	0,55	0,66
		nach Auslaufbauwerk	4	0	4,88	7,56	6,08	7,42
MAIN / KKG Grafenrheinfeld								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<5,8	<10	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	2	<5,9	263	166	182
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,035	<0,049	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,044	<0,050	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,043	<0,048	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,047	<0,062	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,39	<2,4	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	3	<0,53	<2,5	<1,6	11,9
		nach Auslaufbauwerk	4	0	21,4	28,7	26,0	19,6
		nach Auslaufbauwerk	4	0	24,3	26,9	25,5	24,2
MAIN / AREVA NP GmbH Karlstein								

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	oberhalb Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,71	<0,71	nn	nn
		unterhalb Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,73	<0,73	nn	nn
	Cs-137	oberhalb Kläranl. Schleifbach	1	0	1,30	1,30	1,30	nn
		unterhalb Kläranl. Schleifbach	1	0	1,25	1,25	1,25	nn
MOSEL / KKW Cattenom (Frankreich)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Palzem, km 230	9	0	18	49	36	36
	Co-60		9	9	<0,016	<0,032	nn	nn
	Cs-137		9	9	<0,015	<0,029	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Palzem, km 230	1	1	<0,36	<0,36	nn	nn
	Cs-137		1	0	7,1	7,1	7,1	12,0
DONAU / KRB Gundremmingen								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<3,12	<7,24	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	0	103	166	141	145
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0031	<0,035	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	4	0,0056	<0,032	0,0069	0,010
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0032	<0,035	nn	nn
Auslaufbauwerk I		8	6	<0,0024	<0,037	<0,020	<0,020	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,31	<0,40	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	0	2,70	6,27	4,22	1,28
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	68,1	81,8	76,4	79,2
		nach Auslaufbauwerk	4	0	44,2	49,9	47,0	36,4
ISAR / KKI Isar 1 und 2								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<3,05	<8,2	nn	nn
		Auslaufbauwerke	16	7	<2,93	340	196	167
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0032	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerke	16	16	<0,0026	<0,043	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0033	<0,0037	nn	nn
Auslaufbauwerke		8	8	<0,0026	<0,0039	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,27	<0,30	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,18	<0,23	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	41,1	44,6	42,5	34,6
		nach Auslaufbauwerk	4	0	33,9	37,0	35,6	28,1
ISAR / FRM II Forschungsneutronenquelle HML München								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	nach FRM II, km 130,3	8	2	<3,63	59,0	40,4	20,8
	C-14		7	7	<0,091	<5,79	nn	nn
	Co-60		8	3	<0,0019	0,185	0,107	nn
	Cs-137		4	4	<0,0046	<0,016	nn	nn
	U-235		2	2	<0,0043	<0,0062	nn	nn
	Pu-238		2	2	<0,0038	<0,0098	nn	nn
	Am-241		2	2	<0,0024	<0,0097	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	nach FRM II, km 124,6	4	4	<0,31	<1,21	nn	nn
	Cs-137		4	0	22,7	30,8	27,0	28,1
	U-235		1	0	1,23	1,23	1,23	nn
	Pu-238		1	1	<0,084	<0,084	nn	nn
	Am-241		1	1	<0,13	<0,13	nn	nn
EMS / KKE Emsland								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	5	5	<1,5	<7,0	nn	nn
		Auslaufbauwerk	5	0	890	3000	1910	2230
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,011	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerk	5	5	<0,011	<0,031	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,0091	<0,0091	nn	nn
Auslaufbauwerk		1	1	<0,011	<0,011	nn	nn	

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	1	1	<0,45	<0,45	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	1	1	<0,70	<0,70	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	1	0	17	17	17	27
		nach Auslaufbauwerk, km 106	1	0	29	29	29	32
WESER / KWW Würgassen (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	a					nn
		Auslaufbauwerk	a					nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	a					nn
		Auslaufbauwerk	a					nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47,2	a					nn
		Auslaufbauwerk	a					42
		Wehrden, km 60,2	a					nn
	Cs-137	Herstelle, km 47,2	a					18
		Auslaufbauwerk	a					69
		Wehrden, km 60,2	a					13
WESER / KWG Grohnde								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	5	2	<1,5	6,8	5,5	<3,86
		Auslaufbauwerk	5	0	6,6	130	48	45
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,010	<0,037	nn	nn
		Auslaufbauwerk	5	5	<0,0072	<0,033	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,010	<0,030	nn	nn
		Auslaufbauwerk	5	5	<0,0063	<0,032	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	1	1	<0,24	<0,24	nn	nn
		Hess. Oldendorf, km 147	1	1	<0,19	<0,19	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	1	0	9,3	9,3	9,3	11
		Hess. Oldendorf, km 147	1	0	5,8	5,8	5,8	7,6
UNTERWESER / KKU Unterweser								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	5	4	3,6	<10	<8,7	<7,2
		Auslaufbauwerk	5	3	4,2	17	<10	19
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,0057	<0,050	nn	nn
		Auslaufbauwerk	5	7	<0,0064	<0,050	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,0050	<0,0050	nn	nn
		Auslaufbauwerk	1	1	<0,0062	<0,0062	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	1	1	<2,5	<2,5	nn	0,32
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	1	1	<0,17	<0,17	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	1	0	5,8	5,8	5,8	6,4
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	1	0	5,7	5,7	5,7	4,6
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Selhausen	4	4	<10	<10	nn	nn
		Jülich-Süd	4	2	<10	97	63	nn
	Co-60	Selhausen	4	5	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
	Ges-α	Selhausen	-					nn
Jülich-Süd	-						nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Selhausen	a					
		Jülich-Süd	a					
	Cs-137	Selhausen	a					
		Jülich-Süd	a					
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Ges-α	Hauptentwässerungsleitungen	2	2	<0,22	<0,24	nn	nn
		Retentionsanlage	-					nn
		Goorbach ,unterhalb der Straßenkreuzung	-					nn
Sediment (Bq/kg TM)	Uran	Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	0	15	19	17	19

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
AHAUSER AA / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Ges- α Rest- β H-3 Co-60	Ahauser Aa	a					nn
			a					nn
			a					nn
			a					nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Einleitung Moorbach	a					nn
		Ahauser Aa	a					nn
	Cs-137	Einleitung Moorbach	a					22
		Ahauser Aa	a					25
		Retentionsbecken	4	0	9,49	11,0	9,6	11,5
Ra-226	Retentionsbecken	4	0	8,8	17,4	12,4	7,9	
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<5,4	<10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<5,4	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,012	<0,032	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,012	<0,026	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,013	<0,036	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,012	<0,031	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,47	<1,1	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,49	<1,1	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,46	<1,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,45	<1,1	nn	nn
ELBE / KKK Krümmel								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	16	<5,3	<6,5	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<5,3	<6,5	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0056	<0,045	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0058	<0,045	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0061	<0,045	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0058	<0,043	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,15	<1,1	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,14	<0,9	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	2	0,57	1,8	1,0	0,9
		Auslaufbauwerk	8	4	0,38	<0,96	0,56	0,5
ELBE / KBR Brokdorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	16	<5,3	<5,81	nn	<5,5
		Auslaufbauwerk	16	3	<5,57	54,3	21,6	21,4
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,0107	<0,036	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,0104	<0,045	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,047	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,93	<1,2	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,89	<1,6	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,1	<1,3	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	0	1,4	3,6	2,3	2,2
ELBE / KKS Stade (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	0	1,8	4,7	3,9	3,28
		Auslaufbauwerk	-					3,5
	Co-60	Grauerort, km 660,6	1	0	1,8	1,8	1,8	-
		vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	13	<0,0009	<0,0049	nn	nn
	Cs-137	Auslaufbauwerk	-					nn
		Grauerort, km 660,6	1	1	<0,001	<0,001	nn	-
		vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	8	<0,0009	<0,0051	<0,0019	0,0029
		Auslaufbauwerk	-					nn
Grauerort, km 660,6	1	1	<0,0008	<0,0008	nn	-		

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	1	1	<0,21	<0,21	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	4	<0,90	<1,3	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	1	0	4,5	4,5	4,5	4,9
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	1	0,92	2,1	1,7	3,3
ELBE / KKB Brunsbüttel								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	24	24	<3,74	<5,5	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<3,74	<5,5	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0089	<0,021	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0094	<0,023	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0028	0,0043	0,0034	0,0036
		Auslaufbauwerk	12	0	0,0028	0,0048	0,0036	0,0036
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0099	<0,026	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	24	24	<0,0091	<0,026	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,83	<1,6	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,63	<1,1	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	1	<0,9	3,4	3,3	3,8
		nach Auslaufbauwerk	4	2	0,51	1,2	0,9	3,3
ELBE / GNS Gorleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schnackenburg, km 474,6	a					4,0
		Dömitz, km 504,4	a					3,2
	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	a					nn
		Dömitz, km 504,4	a					nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	a					<0,0007
		Dömitz, km 504,4	a					0,0008
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	a					nn
		Dömitz, km 504,4	a					nn
Pu-(239 +240)	Schnackenburg, km 474,6	a					nn	
	Dömitz, km 504,4	a					nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	a					nn
		Dömitz, km 504,4	a					nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	a					11
		Dömitz, km 504,4	a					12
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	a					nn
		Dömitz, km 504,4	a					nn
Pu-(239 +240)	Schnackenburg, km 474,6	a					nn	
	Dömitz, km 504,4	a					nn	
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungsstandort Rossendorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kalter Bach	24	22	3,5	7,3	<5,1	<5,1
		Wesenitz	2	2	<5,0	<5,0	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	24	21	<0,0013	<0,019	<0,010	<0,009
		Wesenitz	2	2	<0,0073	<0,0076	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	17	14	<0,0013	<0,016	<0,011	<0,008
		Wesenitz	2	2	<0,0066	<0,0067	nn	nn
Pu-238 Pu-(239 +240)	Kalter Bach	-					nn	
	Kalter Bach	-					<0,000030	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	3	2	<0,16	0,49	<0,33	1,2
		Wesenitz	2	2	<0,33	<0,48	nn	nn
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	2	<0,32	<0,36	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	3	0	4,9	19	10	15
		Wesenitz	2	0	2,8	3,1	3,0	3,8
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	0	1,8	2,4	2,1	7,2
ALLER / Endlager Morsleben								

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2011		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2011		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2011	2010
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Salzbach	4	4	<5,0	<6,0	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<5,0	<6,0	nn	nn
	Co-60	vor Salzbach	4	4	<0,006	<0,007	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,006	<0,007	nn	nn
	Cs-137	vor Salzbach	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
Ges-β	vor Salzbach	12	0	0,27	0,41	0,35	0,37	
	nach Salzbach	12	0	0,34	0,54	0,40	0,42	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Belsdorf	1	1	<0,19	<0,19	nn	nn
		Schwanefeld	1	1	<0,23	<0,23	nn	nn
	Cs-137	Belsdorf	1	0	3,6	3,6	3,6	4,4
		Schwanefeld	1	0	2,4	2,4	2,4	3,5
Diverse Vorfluter / SchachtanlageASSE II								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Rest-β	Vorfluter b. Vahlberg	4	1	<0,09	0,17	0,14	nn
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,29	<0,43	nn	nn
		Vorfluter b. Denkte	4	2	0,12	<0,72	0,13	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Vorfluter b. Bansleben	1	1	<0,19	<0,19	nn	nn
		Vorfluter b. Denkte	1	1	<0,25	<0,25	nn	nn
	Cs-137	Vorfluter b. Bansleben	1	0	2,0	2,0	2,0	3,9
		Vorfluter b. Denkte	1	0	4,2	4,2	4,2	3,1
HAVEL / KKR Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	50m vor Auslauf	5	5	<5,2	<8,3	nn	nn
		50m nach Auslauf	5	5	<5,4	<8,3	nn	nn
	Co-60	50m vor Auslauf	16	16	<0,0012	<0,018	nn	nn
		50m nach Auslauf	16	16	<0,0014	<0,018	nn	nn
	Cs-137	50m vor Auslauf	16	9	0,0020	<0,017	<0,008	<0,005
		50m nach Auslauf	16	10	<0,0025	<0,017	<0,007	0,005
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	50m vor Auslauf	2	2	<0,097	<0,097	nn	nn
		50m nach Auslauf	2	2	<0,91	<0,11	nn	nn
	Cs-137	50m vor Auslauf	2	0	13	13	13	9
		50m nach Auslauf	2	0	1,3	7,0	4,2	10
GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslauf	12	12	<4,63	<10	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	12	12	<4,59	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslauf	12	12	<0,0038	<0,047	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	12	12	<0,0043	<0,048	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	12	9	0,0077	<0,049	<0,033	<0,032
		nach Auslauf (Hafenbecken)	12	9	<0,014	<0,069	<0,038	<0,034
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufkanal	2	2	<0,19	<0,21	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	2	<0,14	<0,20	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	2	0	6,3	27	16,6	4,1
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	0	2,5	4,2	3,3	3,9

a Daten lagen nicht vor

nn nicht nachgewiesen/nachweisbar

- Messung/Angabe nicht erforderlich

2.2.4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Anlagen nach Atomgesetz

(Discharges of radioactive substances with waste water from facilities according to the Atomic Energy Act)

In den Tabellen 2.2.4-1 bis 2.2.4-3 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2011 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Im Jahr 2011 wurden aus dem Kontrollbereich des ERAM insgesamt 9 m³ Abwasser abgeleitet (Vorjahr: 14 m³).

Sämtliche Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken (Tabelle 2.2.4-1) liegen in der Größenordnung der Abgaben der Vorjahre und unterschreiten die entsprechenden Genehmigungswerte deutlich.

Aus Druck- und Siedewasserreaktoren wurden mit dem Abwasser insgesamt 0,4 GBq bzw. 0,8 GBq Spalt- und Aktivierungsprodukte abgegeben. Die H-3-Abgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 152 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 4 TBq.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Forschungszentren (Tabelle 2.2.4-2), den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben (Tabelle 2.2.4-3) und des Endlagers Morsleben (Tabelle 2.2.4-4) liegen bezüglich der einzelnen Radionuklidgruppen ebenfalls in der Größenordnung der Abgaben der letzten Jahre.

Im Jahr 2011 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- 2.1.5). Für die dem Endlager aus dem Nebengestein zutretende Salzlösung wurde das Lösungsmanagement der Schachanlage Asse II umgestellt und für die Entsorgung der abzugebenden Zutrittslösung ein Freigabekonzept nach § 29 StrlSchV erarbeitet, das seit Ende 2008 zur Anwendung kommt.

Tabelle 2.2.4-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2011 (Summenwerte, H-3 und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2011 - summation values, H-3 and alpha sources)

Kernkraftwerk	Aktivität in Bq		
	Spalt und Aktivierungsprodukte (außer H-3)	H-3	α-Strahler
Siedewasserreaktoren			
KWL Lingen ^b	7,9 E05	2,9 E06	6,4 E03
KWW Würgassen ^b	9,6 E05	1,3 E08	nn
KKB Brunsbüttel	1,3 E07	3,3 E09	nn
KKI Isar 1	2,3 E07	2,5 E11	nn
KKP Philippsburg 1	6,8 E07	3,6 E11	nn
KKK Krümmel	nn	7,3 E09	nn
KRB Gundremmingen	7,4 E08	3,6 E12	nn
Druckwasserreaktoren			
KWO Obrigheim ^b	1,1 E08	3,5 E09	1,3 E04
KKS Stade ^b	1,8 E07	2,2 E09	4,5 E03
KWB Biblis Block A	1,6 E07	7,1 E12	nn
KWB Biblis Block B	9,4 E07	1,2 E13	nn
GKN Neckar 1	nn	6,0 E12	nn
KKU Unterweser	3,2 E07	1,3 E12	nn
KKG Grafenrheinfeld	6,6 E07	1,5 E13	nn
KWG Grohnde	5,3 E06	1,8 E13	nn
KKP Philippsburg 2	2,9 E07	1,5 E13	nn
KMK Mülheim-Kärlich ^b	2,0 E06	3,1 E07	nn
KBR Brokdorf	2,6 E06	1,4 E13	nn
KKI Isar 2	nn	2,4 E13	nn
KKE Emsland	7,9 E05	1,8 E13	nn
GKN Neckar 2	5,6 E04	2,3 E13	nn
KGR Greifswald Block 1 bis 5 ^b	2,2 E05	4,2 E08	nn
KKR Rheinsberg ^b	6,4 E06	5,5 E07	6,6 E04

^b Anlage stillgelegt

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung liegt unterhalb der Nachweisgrenze)

Tabelle 2.2.4-2 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	
	2011	2010	2011	2010	2011	2010
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	1,9 E08	5,9 E08	3,9 E11	8,6 E10	2,1 E06	2,5 E06
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	1,3 E08	1,9 E08	1,0 E12	5,6 E11	nn	nn
GKSS Forschungszentrum Geesthacht	8,1 E06	7,8 E06	4,5 E08	1,8 E08	2,4 E04	3,9 E04
Helmholtz-Zentrum Berlin (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	1,7 E05	4,5 E04	2,2 E08	4,3 E08	1,5 E04	1,2 E04
Garching FRM I	-	-	-	-	-	-
Garching FRM II	1,4 E08	4,1 E08	8,0 E09	1,2 E10	nn	nn
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	2,0 E06	1,8 E06	3,1 E08	9,0 E08	7,3 E04	1,6 E05

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung liegt unterhalb der Nachweisgrenze)

- Keine Ableitung von Abwasser

Tabelle 2.2.4-3 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	
	2011	2010
ANF GmbH (Lingen)	nn	nn
URENCO (Gronau)	4,6 E03	4,1 E03

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung liegt unterhalb der Nachweisgrenze)

Tabelle 2.2.4-4 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben
(Discharges of radioactive substances with waste water from the final repository Morsleben)

Radionuklid	Aktivität in Bq	
	2011	2010
H-3	3,1 E03	5,6 E04
Nuklidgemisch (außer H-3)	1,3 E02	1,2 E02

2.3 Böden (Soil)

2.3.1 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 nachfolgenden Tabellen für Boden und Bewuchs ausgewiesen sind, gehen auf Probenahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 war natürlich auch im Jahr 2011 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

In Tabelle 2.3.1-1 sind Messwerte für als Weiden oder Wiesen genutzte Böden zusammengefasst. In Tabelle 2.3.1-2 sind entsprechende Werte für Ackerböden und in Tabelle 2.3.1-3 für Waldböden wiedergegeben. Für nicht genannte Bundesländer liegen jeweils keine vergleichbaren Daten vor.

In der Vegetationsperiode 2011 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 2.3.1-4 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 den Tabellen 2.3.1-5 und 2.3.1-6 zusammengestellt. In Tabelle 2.3.1-7 sind Messergebnisse von pflanzlichen Indikatoren (Blätter, Nadeln, Gras, Farne) wiedergegeben. In den Tabellen 2.3.1-5 bis 2.3.1-7 sind die Ergebnisse aus Platzgründen nur summarisch für das Bundesgebiet und nicht für einzelne Länder aufgeführt.

**Tabelle 2.3.1-1 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	2009	0 - 10	6	31,5	101,0	4	2,1	2,8
	2010	0 - 10	6	32,2	77,7	7	2,2	3,5
	2011	0 - 10	11	26,4	64,2	8	1,7	2,6
Bayern	2009	0 - 10	20	92,1	377,7	17	3,3	8,1
	2010	0 - 10	20	83,8	374,1	17	3,0	5,9
	2011	0 - 10	20	87,3	379,4	17	3,8	6,7
Berlin	2009	0 - 10	4	12,9	16,8	1	1,0	
	2010	0 - 10	4	8,2	15,0	1	0,6	
	2011	0 - 10	3	6,0	6,8	1	0,6	
Brandenburg	2009	0 - 10	9	14,4	32,0	4	1,0	1,6
	2010	0 - 10	9	15,7	46,0	4	2,1	4,1
	2011	0 - 10	9	15,7	56,0	4	1,3	2,0
Bremen	2009	0 - 10	2	17,4	25,7	-	-	-
	2010	0 - 10	2	14,3	18,7	-	-	-
	2011	0 - 10	2	19,6	32,1	-	-	-
Hamburg	2009	0 - 10	1	4,8	-	-	-	-
	2010	0 - 10	a	a	a	-	-	-
	2011	0 - 10	1	5,3	-	-	-	-

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	2009	0 - 10	2	9,3	10,9	-	-	-
	2010	0 - 10	2	17,4	25,9	-	-	-
	2011	0 - 10	2	14,5	16,0	-	-	-
Mecklenburg-Vorpommern	2009	0 - 10	10	16,7	57,7	3	0,7	1,5
	2010	0 - 10	10	11,2	41,5	3	0,5	0,9
	2011	0 - 10	10	10,6	26,5	3	0,5	0,9
Niedersachsen	2009	0 - 10	14	<23,4	62,8	11	2,8	6,3
	2010	0 - 10	15	21,2	60,2	11	1,8	3,7
	2011	0 - 10	16	19,7	36,4	13	1,9	4,1
Nordrhein-Westfalen	2009	0 - 10	13	12,6	25,6	4	2,2	6,7
	2010	0 - 10	14	15,1	42,0	4	1,7	5,3
	2011	0 - 10	12	11,1	35,0	4	1,1	2,8
Rheinland-Pfalz	2009	0 - 10	7	16,3	23,6	3	1,0	1,1
	2010	0 - 10	7	14,5	20,9	3	1,0	1,3
	2011	0 - 10	7	13,4	24,2	3	1,0	1,0
Saarland	2009	0 - 10	4	23,1	33,8	2	7,5	12,8
	2010	0 - 10	4	22,4	33,7	2	1,3	1,7
	2011	0 - 10	4	19,6	36,9	2	3,0	3,0
Sachsen	2009	0 - 10	8	12,6	27,0	5	0,8	1,3
	2010	0 - 10	8	11,7	28,2	5	1,1	2,3
	2011	0 - 10	8	11,6	39,1	5	0,9	2,1
Sachsen-Anhalt	2009	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2010	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2011	0 - 10	a	a	a	a	a	a
Schleswig-Holstein	2009	0 - 10	8	11,1	17,8	6	0,9	1,3
	2010	0 - 10	7	11,6	16,3	5	0,8	1,1
	2011	0 - 10	8	10,5	17,1	6	0,8	1,0
Thüringen	2009	0 - 10	7	19,6	31,4	3	1,1	1,4
	2010	0 - 10	7	18,5	28,2	3	1,2	1,6
	2011	0 - 10	7	18,9	30,3	3	1,0	1,3

a Messwerte lagen nicht vor

- Messung / Angabe nicht erforderlich

**Tabelle 2.3.1-2 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	2009	0 - 30	13	22,2	73,5	3	2,3	2,9
	2010	0 - 30	9	18,6	74,9	1	<0,2	-
	2011	0 - 30	12	19,4	73,3	1	0,9	-
Bayern	2009	0 - 30	30	27,0	183,1	3	6,6	17,8
	2010	0 - 30	30	27,4	174,9	3	<3,7	10,4
	2011	0 - 30	30	26,8	168,4	3	4,8	10,5
Berlin	2009	0 - 30	2	6,6	7,6	1	0,6	-
	2010	0 - 30	2	6,7	7,7	1	0,7	-
	2011	0 - 30	2	6,2	7,4	1	0,4	-
Brandenburg	2009	0 - 30	a	a	a	a	a	a
	2010	0 - 30	9	6,9	16,0	3	0,5	0,7
	2011	0 - 30	9	6,7	21,0	3	0,4	0,4
Bremen	2009	0 - 30	3	7,7	10,1	2	1,2	1,3
	2010	0 - 30	3	8,3	11,6	2	1,0	1,4
	2011	0 - 30	3	6,8	9,3	2	2,0	2,4
Hamburg	2009	0 - 30	1	6,6	-	1	0,6	-
	2010	0 - 30	a	a	a	a	a	a
	2011	0 - 30	1	6,3	-	1	0,8	-
Hessen	2009	0 - 30	6	8,8	18,9	1	1,5	-
	2010	0 - 30	6	9,0	22,0	2	<0,6	0,9
	2011	0 - 30	6	8,0	14,3	2	0,3	0,4
Mecklenburg-Vorpommern	2009	0 - 30	7	8,6	16,2	2	0,4	0,6
	2010	0 - 30	7	7,5	13,4	2	0,5	0,6
	2011	0 - 30	7	7,7	15,3	2	0,9	1,5
Niedersachsen	2009	0 - (25/30)	21	10,5	38,1	4	1,7	3,3
	2010	0 - (25/30)	24	9,3	50,8	4	1,0	1,3
	2011	0 - (25/30)	24	8,2	28,4	3	1,0	1,4
Nordrhein-Westfalen	2009	0 - 30	10	8,7	14,5	4	<0,9	1,8
	2010	0 - 30	10	8,3	15,4	5	<1,4	4,0
	2011	0 - 30	9	8,1	12,5	4	<1,4	3,7
Rheinland-Pfalz	2009	0 - (25/30)	8	6,6	15,1	2	0,8	0,8
	2010	0 - (25/30)	8	8,3	30,1	2	0,9	1,2
	2011	0 - (25/30)	8	7,3	16,2	2	0,7	0,9
Saarland	2009	0 - 30	1	13,8	-	a	a	a
	2010	0 - 30	1	16,2	-	a	a	a
	2011	0 - 30	1	10,2	-	a	a	a
Sachsen	2009	0 - 30	7	8,0	20,1	a	a	a
	2010	0 - 30	7	7,4	16,6	a	a	a
	2011	0 - 30	7	6,9	17,1	a	a	a

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Sachsen-Anhalt	2009	0 - 30	15	9,8	46,3	5	<0,7	1,1
	2010	0 - 30	15	10,5	46,8	5	<0,6	1,4
	2011	0 - 30	15	9,7	37,5	5	<1,0	1,8
Schleswig-Holstein	2009	0 - 30	5	7,9	10,7	a	a	a
	2010	0 - 30	5	7,0	8,6	a	a	a
	2011	0 - 30	5	6,7	9,2	a	a	a
Thüringen	2009	0 - 30	6	8,6	12,0	2	1,1	1,1
	2010	0 - 30	6	8,3	11,5	2	0,9	1,0
	2011	0 - 30	6	7,5	12,6	2	0,9	0,9

a Messwerte lagen nicht vor

- Messung / Angabe nicht erforderlich

**Tabelle 2.3.1-3 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	2009	0 - 10	4	34,2	56,1	2	3,0	5,5
	2010	0 - 10	4	40,9	67,2	1	0,8	-
	2011	0 - 10	4	57,0	126,0	1	2,8	-
Niedersachsen	2009	0 - 10	2	24,3	30,5	1	3,6	-
	2010	0 - 10	2	98,6	119,0	1	9,0	-
	2011	0 - 10	2	119,5	131,0	1	23,0	-
Nordrhein-Westfalen	2009	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2010	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2011	0 - 10	a	a	a	a	a	a

a Messwerte lagen nicht vor

**Tabelle 2.3.1-4 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	2009	22	<0,3	0,7	11	0,3	0,5
	2010	20	<0,5	2,8	6	0,3	0,4
	2011	25	<0,14	0,5	13	0,2	0,6
Bayern	2009	57	<0,8	12,2	29	0,5	1,6
	2010	57	<0,7	5,2	28	<0,5	1,7
	2011	57	<0,6	6,8	30	0,4	2,0
Berlin	2009	4	<0,6	1,2	1	0,6	-
	2010	4	<0,3	0,5	1	0,3	-
	2011	3	0,4	0,6	1	2,2	-
Brandenburg	2009	17	<1,6	11,0	8	0,4	0,8
	2010	17	<1,1	6,1	9	0,5	1,2
	2011	18	<1,1	6,6	9	0,3	0,4

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Bremen	2009	2	0,4	0,6	1	2,4	-
	2010	2	0,3	0,3	1	0,4	-
	2011	2	<0,3	0,4	1	0,3	-
Hamburg	2009	1	0,1	-	a	a	a
	2010	1	0,1	-	a	a	a
	2011	2	<0,1	0,2	a	a	a
Hessen	2009	15	<0,5	2,1	8	0,4	1,0
	2010	15	<0,3	0,8	8	0,4	1,3
	2011	15	<0,3	0,4	8	0,3	1,2
Mecklenburg-Vorpommern	2009	20	<0,4	5,1	8	0,3	0,5
	2010	20	<1,5	26,1	8	0,3	1,0
	2011	23	<0,3	2,6	8	0,3	0,6
Niedersachsen	2009	42	<1,4	13,8	21	0,3	2,2
	2010	42	<0,8	7,5	21	0,3	1,0
	2011	45	<0,7	5,2	21	1,2	2,6
Nordrhein-Westfalen	2009	21	<0,3	0,9	10	0,5	2,0
	2010	27	<0,7*	<5,9**	10	0,7	2,5
	2011	8	<0,5	1,5	3	0,3	0,7
Rheinland-Pfalz	2009	14	<0,2	0,4	7	0,4	0,7
	2010	14	<0,2	0,6	7	0,3	0,4
	2011	14	<0,2	0,6	7	0,5	0,9
Saarland	2009	4	<0,5	<0,5	2	0,3	0,4
	2010	5	<0,5	<0,5	2	0,5	0,7
	2011	4	<0,5	<0,5	2	0,4	0,6
Sachsen-Anhalt	2009	10	<0,5	2,1	5	<0,1	0,5
	2010	10	<0,5	2,0	5	0,1	0,2
	2011	10	<0,5	2,2	5	0,1	0,2
Sachsen	2009	14	<0,7	6,2	6	0,2	0,3
	2010	14	<0,3	1,5	6	0,2	0,3
	2011	14	<0,5	4,1	6	0,2	0,4
Schleswig-Holstein	2009	22	<0,3	1,6	12	0,4	0,7
	2010	22	<0,4	2,5	11	0,3	0,6
	2011	21	<0,3	0,8	11	0,3	0,5
Thüringen	2009	17	<0,1	0,5	5	0,2	0,3
	2010	17	<0,2	0,4	5	0,2	0,3
	2011	17	<0,1	0,2	5	0,1	0,2

a Messwerte lagen nicht vor

* Der Wert ist nicht repräsentativ. Mittelwert ohne hohe Nachweisgrenzen < 0,3

** Der Wert ist nicht repräsentativ

Tabelle 2.3.1-5 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	2009	251	<0,4	5,3	2	3,2	6,3
	2010	236	<0,6	10,7	1	0,3	-
	2011	211	<0,5	4,8	-	-	-
Futterrüben	2009	27	<0,6	2,4	-	-	-
	2010	24	<0,6	1,7	-	-	-
	2011	21	<0,4	1,5	-	-	-
Futtergetreide	2009	143	<0,2	0,7	1	0,1	-
	2010	131	<0,2	<0,8	-	-	-
	2011	124	<0,2	1,9	-	-	-
Grünfütterpflanzen (ohne Mais)	2009	6	<1,8	9,5	1	1,1	-
	2010	6	<0,3	<0,4	-	-	-
	2011	5	<0,2	<0,3	-	-	-
Futterkartoffeln	2009	72	<0,5	2,4	-	-	-
	2010	76	<0,5	2,4	-	-	-
	2011	65	<0,5	3,9	-	-	-
Erbsen	2009	4	<0,2	<0,3	-	-	-
	2010	1	<0,2		-	-	-
	2011	3	<0,2	<0,3	-	-	-
Raps	2009	34	<0,2	0,5	-	-	-
	2010	36	<0,3	1,3	-	-	-
	2011	20	<0,3	1,0	-	-	-
Ölkuchen/ Ölschrote	2009	11	<0,3	<0,5	-	-	-
	2010	7	<0,3	0,4	-	-	-
	2011	7	<0,3	0,6	-	-	-
Sonnenblumen	2009	2	<0,3	<0,3	-	-	-
	2010	1	0,9		-	-	-
	2011	a	a	a	-	-	-
Krafftutter- mischung	2009	a	a	a	-	-	-
	2010	a	a	a	-	-	-
	2011	1	<0,2		-	-	-
Silage	2011	14	<0,3	0,5	-	-	-

a Messwerte lagen nicht vor

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 2.3.1-6 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten
(*Radioactive contamination of imported feedstuffs*)

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	2009	13	<0,4	1,8
	2010	16	<0,3	1,4
	2011	12	<0,4	1,9
Mais, Maisprodukte	2009	12	<0,5	3,3
	2010	7	<0,2	<0,4
	2011	11	<0,2	<0,5
Heu, Cobs	2009	2	<0,4	0,5
	2010	a	a	a
	2011	1	<0,5	-
Maniok, Tapioka	2009	a	a	a
	2010	1	<0,1	-
	2011	a	a	a
Ölkuchen, Ölschrote	2009	46	<0,3	<0,9
	2010	45	<0,3	0,8
	2011	37	<0,3	0,7
Sonnenblumen	2009	3	<0,2	0,4
	2010	4	<0,3	0,4
	2011	1	<0,1	
Sojabohnen	2009	9	<0,4	0,8
	2010	6	<0,4	1,0
	2011	8	<0,4	1,0
Krafftuttermischung	2009	1	<0,1	-
	2010	a	a	a
	2011	3	<0,2	<0,5
Mühlennachprodukte	2010	4	<0,2	<0,2
	2011	a	a	a
Citrustrester	2009	a	a	a
	2010	1	<0,2	-
	2011	1	0,6	-

a Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 2.3.1-7 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)
(*Radioactive contamination of plants (indicators)*)

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Blätter	2009	107	<8,8	392,1
	2010	108	<10,9	491,9
	2011	106	<11,8	705,6

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Nadeln	2009	54	<39,1*	1274,0**
	2010	54	<40,7*	1126,0**
	2011	54	<32,7*	1010,0**
Gras	2009	105	<13,3	222,6
	2010	106	<13,3*	568,5**
	2011	103	<7,6	120,4
Farne (Thüringen)	2009	2	36,9	73,1
	2010	2	33,6	66,4
	2011	2	37,6	73,8

* Der Wert ist nicht repräsentativ

Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Nadeln: <15,8 in 2009; <20,2 in 2010; <14,2 in 2011

Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Gras: <7,0 in 2010

** Der Wert ist nicht repräsentativ

2.3.2 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 Jahre 1986 geprägt, wobei die aktuellen Aktivitätskonzentrationen auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Boden und Bewuchs in den Tabellen 2.3.2-1 und 2.3.2-2 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

**Tabelle 2.3.2-1 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz
(Radioactivity of the soil in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)**

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	9	12,8	8	12,4	8	12,0 (4,0 - 41,0)
	Pu-238	8	<0,69	6	<0,95	6	<1,1 (<1,3 - <1,6)
	Pu-(239+240)	8	<0,44	6	<0,58	6	<0,7 (<0,3 - 1,9)
	Sr-90	3	0,8	2	0,3	2	1,2 (0,3 - 2,1)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	5,9	6	6,1	4	5,3 (2,3 - 7,9)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	6,2	6	7,4	4	7,8 (3,1 - 11,0)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	11,1	6	11,1	6	11,5 (1,1 - 21,0)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	15,4	6	16,3	6	15,3 (10,9 - 20,6)
KKW Fessenheim (Frank- reich)	Cs-137	2	11,0	2	17,7	2	14,1 (12,1 - 16,0)
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	38,5	10	33,8	10	36,7 (25,3 - 54,9)
KKI Isar	Cs-137	12	51,3	12	37,6	12	47,5 (8,6 - 80,9)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	7,8	10	5,1	10	5,9 (3,7 - 10,1)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	118,3	3	39,5	4	38,4 (32,3 - 43,9)
Framatome ANP Erlangen KWU	Cs-137	4	13,6	4	15,2	4	13,1 (5,2 - 21,3)
	Pu-238	4	<0,05	4	<0,13	4	<0,05 (<0,04 - <0,05)
	Pu-(239+240)	4	<0,31	4	<0,21	4	<0,14 (<0,06 - 0,18)
	U-235	4	<0,26	4	<0,25	4	0,37 (0,06 - 0,61)
	U-238	4	5,5	4	5,1	4	7,2 (0,9 - 12,0)
	Am-241	4	<0,08	4	<0,1	4	<0,1 (<0,07 - <0,18)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	a		2	11,0	a	
	Pu-238	a		a		a	
	Pu-(239+240)	a		a		a	
	U-235	a		a		a	
	U-238	a		a		a	
SBWK Karlstein	Gesamt- α	a		a		a	
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	4	10,1	6	9,4	4	7,5 (6,9 - 8,4)
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	8	8,6	8	8,4	8	7,2 (4,1 - 12,0)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	6	7,0	6	6,3	10	6,2 (3,0 - 7,6)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	8	<8,4	8	11,2	4	8,7 (6,0 - 13,9)
	U-235					2	0,55 (0,41 - 0,69)
Zwischenlager Nord	Cs-137	12	7,9	12	7,1	6	6,4 (0,9 - 9,8)
	U-235					6	0,64 (0,51 - 0,80)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	6	10,3	5	12,4	4	10,9 (5,9 - 16,0)
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	12	13,4	10	10,7	6	13,0 (8,8 - 16,8)
	Sr-90	a		a		a	
KWG Grohnde	Cs-137	8	13,2	8	15,7	4	6,3 (4,0 - 9,6)
	Sr-90	a		a		a	
KKE Emsland	Cs-137	10	12,1	10	13,2	4	15,8 (11,7 - 20,8)
	Sr-90	a		a		a	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	26	24,2	23	20,4	4	21,6 (10,7 - 29,5)
	Sr-90	4	<0,8	4	6,1	a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
FMRB Braunschweig Schacht Konrad II ^c Advanced Nuclear Fuels Lingen Schachtanlage Asse	Pu-238	2	^b <0,10; <0,12	2	^b <0,10; <0,10	a	
	Pu-(239+240)	2	^b <0,10; <0,12	2	^b <0,10; <0,10	a	
	Cs-137						
	Gesamt- α						
	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
	Cs-137	a		12	6,7	a	
	U-234	a		a		a	
	U-235	a		a		a	
	U-238	a		a		a	
Cs-137	4	8,2	8	15,0	4	20,5 (7,8 - 33,0)	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	8	9,6	8	11,3	8	7,5 (3,4 - 20,3)
	Sr-90	6	0,5	6	0,5	6	0,3 (0,08 - 0,56)
KWW Würgassen	Cs-137	18	12,6	18	12,0	14	12,0 (5,2 - 27,4)
THTR Uentrop	Cs-137	6	18,2	6	16,2	4	17,8 (13,4 - 24,1)
	Sr-90	a		a			
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	5	8,5	5	8,8	5	9,6 (8,3 - 11,9)
	Sr-90	5	0,6	5	0,5	5	0,7 (0,5 - 0,8)
UAG Gronau	U-238	10	<0,2	10	<0,1	a)	
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	9,2 (2,8 - 13,0)	4	7,1	3	4,9 (3,3 - 5,7)
KKW Cattenom (Frankreich)				11	9,3	11	7,6 (1,7 - 12,1)
SACHSEN							
VKTA Dresden-Rosendorf	Cs-137	10	4,7	10	5,6	8	4,8 (1,8 - 11,0)
	Sr-90	2	8,9	a			
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	2	3,8	8	5,9	4	5,1 (3,9 - 6,1)
	Sr-90	a		4	0,2	4	0,2 (0,1 - 0,3)
	Gesamt- β	a		4	595	2	580 (570 - 590)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	6	6,7	6	6,8	6	7,6 (6,1 - 9,0)
	Sr-90	2	0,3	2	0,3	2	0,2 (0,2 - 0,3)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	21,7	6	22,4	6	20,4 (7,8 - 37,5)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKK Krümmel	Sr-90	1	3,4	1	2,6	1	3,3
	Cs-137	8	5,4	10	5,9	8	5,7 (5,3 - 6,1)
	Sr-90	6	0,6	5	0,6	4	0,7 (0,6 - 0,9)
KBR Brokdorf	Cs-137	13	13,0	10	11,5	10	11,8 (2,4 - 24,0)
	Sr-90	5	1,9	4	1,8	4	2,0 (1,8 - 2,4)

a Messwerte lagen nicht vor

b Mittelwertberechnung nicht sinnvoll

c Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

**Tabelle 2.3.2-2 Radioaktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz
(Radioactivity of vegetation in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act)**

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	10	<0,18	9	<0,12	10	<0,16 (0,1 - <0,3)
	Pu-238	4	<0,05	4	<0,04	4	<0,05 (<0,03 - <0,07)
	Pu-(239+240)	4	<0,02	4	<0,01	4	<0,02 (<0,01 - <0,03)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,41	4	<0,20	6	<0,22 (0,03 - <0,33)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,32	6	<0,39	6	<0,25 (0,06 - 0,39)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	<0,36	6	<0,40	6	<0,44 (0,04 - 0,86)
	Sr-90	a		a			
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	0,75	6	0,21	6	0,32 (0,07 - 0,83)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	0,12	2	0,28	2	0,41 (0,16 - 0,65)
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	<0,40	10	<0,31	10	<0,35 (0,07 - 0,7)
KKI Isar	Cs-137	12	0,44	12	0,46	12	0,64 (0,07 - 1,99)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	<0,17	10	<0,17	10	<0,22 (<0,11 - <0,36)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	0,71	4	1,78	4	1,30 (0,98 - 1,61)
Framatome ANP Erlangen KWU	Cs-137	4	<1,22	4	<0,89	4	<0,47 (<0,04 - 1,2)
	Pu-238	4	<0,02	4	<0,01	4	<0,01 (<0,01 - <0,01)
	Pu-(239+240)	4	<0,02	4	<0,03	4	<0,03 (<0,01 - <0,04)
	U-235	4	<0,06	4	<0,04	4	<0,03 (<0,01 - <0,07)
	U-238	4	<0,08	4	<0,04	4	<0,03 (<0,03 - 0,09)
	Am-241	4	<0,02	4	<0,02	4	<0,03 (<0,01 - <0,04)
Framatome ANP Karlstein	Cs-137	a		2	<0,16	a	
	Pu-238	a		a		a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
SBWK Karlstein	Pu-(239+240)	a		a		a	
	U-235	a		a		a	
	U-238	a		a		a	
	Am-241	a		a		a	
	Gesamt- α	a		a		a	
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	4	1,1	6	<0,72	4	0,83 (0,39 - 1,03)
	Sr-90	a		a		a	
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	8	2,13	8	2,4	8	3,51 (0,1 - 9,8)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	6	<0,13	6	<0,15	6	<0,11 (<0,04 - <0,2)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	8	<0,39	8	<0,19	4	<0,18 (<0,1 - 0,27)
Zwischenlager Nord	Cs-137	12	<0,20	12	<0,25	6	<0,16 (0,07 - 0,41)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	6	<0,11	6	<0,07	2	<0,16 (<0,1 - 0,21)
KKU Unterweser	Cs-137	12	<0,19	12	<0,21	6	<0,19 (0,12 - 0,29)
	Sr-90	a		a		a	
KWG Grohnde	Cs-137	8	<0,12	8	<0,10	4	<0,18 (<0,18 - <0,18)
Zwischenlager Grohnde	Cs-137	1	0,18	a		a	
KKE Emsland	Cs-137	10	<0,24	10	<0,25	4	<0,29 (<0,26 - 0,33)
Zwischenlager Lingen	Cs-137	a		a		a	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	20	3,96	20	2,65	4	3,15 (1,53 - 5,63)
	Sr-90	4	2,8	4	1,73	a	
FMRB Braunschweig	Cs-137						
Schacht Konrad II ^c	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
	Gesamt- α	a		a		a	
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Cs-137	a		4	0,1	a	
	Pu-238 ^d	a		a		a	
	Pu-(239+240)	a		a		a	
	U-234 ^d	1	0,013	5	0,11	a	
	U-235 ^d	1	<0,002	5	<0,01	a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Schachtanlage Asse	U-238 ^d	1	0,016	5	0,09	a	
	Cs-137	4	<0,06	10	<0,51	4	<0,26 (<0,11 - 0,69)
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	8	<0,31	8	<0,11	8	<0,06 (0,04 - 0,09)
	Sr-90	a		a		a	
KWW Würgassen	Cs-137	10	<0,06*	10	<0,06	6	<0,15 (<0,06 - 0,29)
	Sr-90	a		a			
THTR Uentrop	Cs-137	6	<0,31*	6	<0,51*	4	<0,24*(0,02 - 0,69)
	Sr-90	a		a			
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	10	0,76	5	<0,10	10	0,19 (0,06 - 0,48)
	Sr-90	10	0,43	5	0,23	10	0,86 (0,15 - 2,58)
UAG Gronau	U-238	4	<0,4*	5	<0,5*	a	
	Uran	12	<0,22*	12	<0,16*	a	
	Fluor (mg/kg TM)	12	<1,5	12	<2,3	a	
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	<0,24	4	<0,22	3	<0,21 (<0,07 - 0,48)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137			6	<0,10	6	<0,09 (<0,07 - 0,13)
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	10	0,21*	10	<0,27*	10	0,16*(0,04 - <0,49)
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	2	<0,45	4	<0,30	4	<0,28 (<0,1 - <0,47)
	Gesamt-β	a		4	190	2	255 (250 - 260)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,25	4	<0,15	4	<0,24 (<0,15- 0,35)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	<0,16	6	<0,12	6	<0,08 (0,05 - 0,13)
	Sr-90						
KKK Krümmel	Cs-137	4	0,30	4	0,18	4	0,25 (0,16 - 0,35)
	Sr-90	4	0,63	4	0,40	4	0,37 (0,27 - 0,48)
KBR Brokdorf	Cs-137	10	<0,48	10	<0,46	10	<0,48 (<0,06 - 1,99)
	Sr-90						

a Messwerte lagen nicht vor

b Mittelwertberechnung nicht sinnvoll; Angabe der Einzelwerte

c Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

d Bq/kg Feuchtmasse (FM)

* In Bq/kg TM angegebene Messwerte wurden mit dem Faktor 0,2 in Bq/kg FM umgerechnet. Nachweisgrenzen wurden nicht umgerechnet

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

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

Bezüglich allgemeiner Aspekte der Radioaktivitätsüberwachung von Grund- und Trinkwasser wird auf Teil A - II - 2.4 verwiesen.

Die von den amtlichen Messstellen der Länder im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz im Jahr 2011 ermittelten Messwerte sind in Tabelle 2.4.1-1 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an K-40, Cs-137, Sr-90 und H-3.

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 47 Probenahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 liegen ausschließlich unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen (NWG) von 0,97 mBq/l bis 49 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Werte beträgt <6,5 mBq/l (2010: <6,7 mBq/l).

In 23 % der gemessenen Proben konnte Sr-90 mit Aktivitätskonzentrationen von 0,3 mBq/l bis 25 mBq/l (2010: 0,70 bis 17 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei <2,3 mBq/l (2010: <3,1 mBq/l).

In den auf H-3 untersuchten Grundwasserproben wurden ebenfalls ausschließlich Messwerte unterhalb der Nachweisgrenzen zwischen 1,1 Bq/l und 10 Bq/l (55 Proben) ermittelt.

Trinkwasser

Die Überwachung von Roh- und Reinwässern wurde an 81 bzw. 83 Probenahmestellen vorgenommen.

In der Tabelle 2.4.1-1 wird zwischen Rohwasser (Grund- oder Oberflächenwasser als Zulauf der Wasserwerke) und Reinwasser (wird von den Wasserwerken als Trinkwasser in das Netz eingespeist) unterschieden. Für die weiteren Betrachtungen werden die Reinwasserwerte benutzt.

Für Cs-137 liegen 99 % aller Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,098 mBq/l bis 53 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen bei 1,3 und 4,4 mBq/l (2010: 5,8 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <6,2 mBq/l (2010: <7,0 mBq/l).

In 56 % der untersuchten Proben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,047 mBq/l und 12 mBq/l (2010: 0,046 und 12 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei <2,8 mBq/l (2010: <3,0 mBq/l). Diese Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche in den 60er Jahren herrührenden Einfluss auf Oberflächenwässer, oberflächennahe Grundwässer und damit auch auf Trinkwässer.

Im Rahmen des Routinemessprogramms für Grundwasser und Trinkwasser wurden auch alpha-spektrometrische Messungen von Uran- und Plutoniumisotopen durchgeführt. Die Messwerte für die Uranisotope liegen in dem für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland bekannten Schwankungsbereich (Normalbereich) von bis zu etwa 90 mBq/l. in der Wasserversorgungsanlage Friedland (Mecklenburg-Vorpommern) wurden noch etwas höhere Maximalwerte gefunden, U-234: 290 mBq/l, U-238: 170 mBq/l. Es handelt sich um geogenes Uran, das durch den Eintrag an Nitrat in den Boden mobilisiert wird. Dieser Effekt wurde in den letzten Jahren intensiv untersucht und ist auch an anderer Stelle in Mecklenburg-Vorpommern zu beobachten. Plutoniumisotope konnten nicht nachgewiesen werden.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Wege über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr klein. Legt man die Maximalwerte für Cs-137 von 4,4 mBq/l und für Sr-90 von 12 mBq/l zu Grunde, ergeben sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 700 Liter (für die Referenzperson gemäß StrlSchV Anlage VII Teil B) für den Erwachsenen Ingestionsdosen von 0,040 bzw. 0,24 μ Sv/a. Für den Säugling (0 bis 1 Jahr) errechnen sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 340 Liter Ingestionsdosen von 0,031 bzw. 0,094 μ Sv/a pro Jahr.

**Tabelle 2.4.1-1 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in Deutschland
(General monitoring of groundwater and drinking water in Germany)**

	Nuklid	2011						2010
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^a	Maximal- wert ^a	Mittel- einzel- wert ^a	Median	Median
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	94	49	25	1100		< 160	160
	Cs-137	94	94				< 6,5	< 6,7
	Sr-90	44	34	0,3	25		2,3	< 3,1
	H-3	55	55				< 4600	< 4200
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	105	68	21	820		< 150	< 160
	Cs-137	110	105	2,5	10		<4,9	<6,0
	Sr-90	52	27	0,045	9		3	3,0
	H-3	63	53	560	14 000		< 3500	4400
Reinwasser	K-40	239	171	20	980		150	< 160
	Cs-137	239	237	1,3	4,4		< 6,2	< 7,0
	Sr-90	72	32	0,047	12	0,0031	< 2,8	< 3,0
	H-3	79	68	170	8200		< 3700	4300

a Liegen mehr als 50 % der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert-, der Maximalwert und der Median angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet

2.4.2 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 2011 ermittelten Messwerte sind in Tabelle 2.4.2-1 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Co-60, K-40, Cs-137, Sr-90 und H-3, sowie - wenn vorhanden - Rest-Beta- und Gesamt-Alpha-Aktivität.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden der Leitstelle Messwerte von 99 Grundwassermessstellen mitgeteilt.

Für Cs-137 liegt (von 170 untersuchten Wasserproben) ein Messwert über den angegebenen Nachweisgrenzen von 5,3 mBq/l bis 49 mBq/l. Der Messwert liegt bei 18 mBq/l, der Median aller angegebenen Werte liegt bei <24 mBq/l (2010: <21 mBq/l).

Die Werte für die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen liegen alle unter den Nachweisgrenzen von 3,4 mBq/l bis 10 mBq/l. Der Median liegt bei 4,5 mBq/l (2010: 3,6 mBq/l).

Die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 19 mBq/l und 200 mBq/l (2010: 9 bis 83 mBq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von <36 mBq/l (2010: <47 mBq/l).

In 11 % der untersuchten Wasserproben wurde H-3 im Konzentrationsbereich von 1,6 Bq/l bis 17 Bq/l nachgewiesen (2010: 1,6 Bq/l bis 21 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei <5,5 Bq/l (2010: <7,1 Bq/l). Einige Werte liegen damit teilweise deutlich über den derzeitigen Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag in der Größenordnung zwischen 1 Bq/l und 2 Bq/l.

Die höchsten H-3-Konzentrationen bis 17 Bq/l (2010: 31 Bq/l) wurden auf dem Gelände des Freilagers für radioaktive Abfälle des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf sowie bei der Überwachung des Kernkraftwerkes Philippsburg gemessen. In Dresden-Rossendorf wurden auch wieder geringe Co-60-Kontaminationen von bis zu 94 mBq/l (2010: 120 mBq/l) ermittelt. Die erhöhten H-3- und Co-60-Aktivitätskonzentrationen im Grundwasser auf dem Betriebsgelände des Freilagers sind auf eine Kontamination des Untergrundes infolge von Leckagen an (inzwischen nicht mehr genutzten) Beton-Abklingbecken für kontaminierte Wässer zurückzuführen. Alle Proben außerhalb des Forschungsstandortes Dresden-Rossendorf und des Kernkraftwerkes Philippsburg weisen H-3-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 10 Bq/l auf.

Trinkwasser

Im Jahr 2011 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz Messwerte von 19 Rohwasser- und 31 Reinwasser-Entnahmestellen beprobt.

In der Tabelle 2.4.2-1 wird zwischen Rohwasser (Grund- oder Oberflächenwasser als Zulauf der Wasserwerke) und Reinwasser (wird von den Wasserwerken als Trinkwasser in das Netz eingespeist) unterschieden. Für die weiteren Betrachtungen werden die Reinwasserwerte benutzt.

Für Cs-137 wurden im Reinwasser (und auch im Rohwasser) keine Messwerte oberhalb der angegebenen Nachweisgrenzen von 0,64 mBq/l bis 57 mBq/l (2010: ebenfalls keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen) ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte lag bei <8,6 mBq/l (2010: <9 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentration für Sr-90 (von 18 Proben ein Messwert über der Nachweisgrenze) lag bei 3 mBq/l (2010: 0,22 bis 3,3 mBq/l), mit einem Median aller Werte von <2,2 mBq/l.

In 2 von 120 gemessenen Proben wurde H-3 in Konzentrationen bei 20 Bq/l und 22 Bq/l (2010: 26 bis 34 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte lag bei <3,5 Bq/l (2010: <8 Bq/l). Werte über den derzeitigen Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l sind auf den Eintrag von Oberflächenwasser (z. B. als Uferfiltrat) zurückzuführen, das durch H-3-Emissionen kerntechnischer Anlagen geringfügig belastet ist. 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 Forschungszentrums Karlsruhe liegt. Das Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen in den Ortschaften beim Forschungszentrum wies 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.

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

Tabelle 2.4.2-1 Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen in Deutschland (Grundwasser und Trinkwasser)
(*Surveillance of the surroundings of nuclear facilities in Germany-groundwater and drinking water*)

	Nuklid	2011						2010
		Anzahl gesamt ^a	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^b	Maximal- wert ^b	Mittel- wert ^b	Median	Median
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	161	102	18	2800		<480	< 460
	Co-60	248	240	11	94		<31	< 28
	Cs-137	170	169	18	18		<24	< 21
	H-3	270	241	1600	17 000		< 5500	< 7100
	Sr-90	8	8				4,5	3,6
	R-Beta							< 70
	G-Alpha	23	0	19	200	4,3	36	< 47
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	55	41	31	460		< 350	< 250
	Co-60	53	53				< 14	< 15
	Cs-137	55	55				< 11	< 9,2
	H-3	61	57	7700	9000		< 3200	< 3100
	Sr-90	7	2	0,14	6,2	3	4	4,5
	G-Alpha	6	0	46	65	56	58	54
Reinwasser	K-40	108	74	36	2100		< 140	< 120
	Co-60	109	109				< 11	< 8,7
	Cs-137	108	108				< 8,6	< 7,2
	H-3	122	120	20 000	22 000		< 3500	< 8000
	Sr-90	18	17	3	3		< 2,2	< 2

a Gemäß REI-Messprogramm ist bei der γ -Spektrometrie die Einhaltung der Nachweisgrenze nur für das Radionuklid Co-60 vorgeschrieben, d. h. für andere γ -strahlende Radionuklide müssen die Nachweisgrenzen von der Messstelle nicht angegeben werden. Da nicht alle Messstellen die Nachweisgrenzen für Cs-137 und K-40 mitteilen, kann für diese Nuklide die Anzahl der gemeldeten Werte kleiner als bei Co-60 sein

b Liegen mehr als 50 % der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert- und der Maximalwert angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet

2.4.3 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 seit einigen Jahren 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 2.4.3-1 sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, 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 Sammel tanks 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. Die Mittelwerte für das Radionuklid Sr-90, die für Rohmilch in Tabelle 2.4.3-1 angegeben werden, basieren auf Messergebnissen der Landesmessstellen und auf zusätzlichen Messungen der Leitstelle an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich das gesamte Jahr über durchgeführt wurden. Abbildung 2.4.3-1 gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte des Sr-90- und Cs-137-Gehaltes der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 2011.

Tabelle 2.4.3-2 gibt für das gesamte Bundesgebiet einen Überblick über die Anzahl der Messwerte N und die Bereiche der Einzelwerte für wichtige Radionuklide in einigen Milchprodukten.

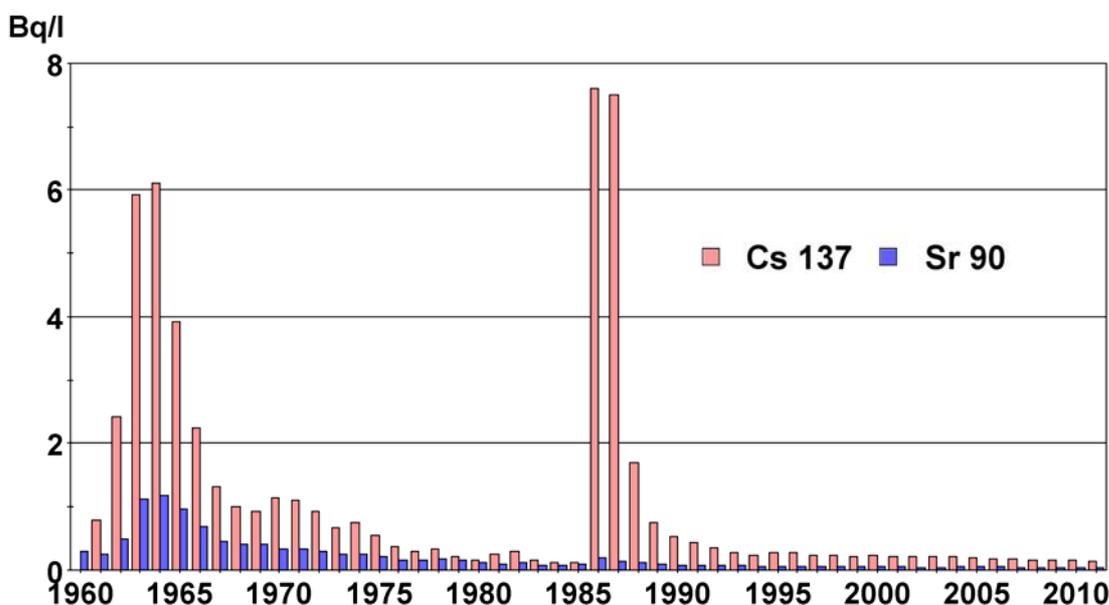


Abbildung 2.4.3-1 Jahresmittelwerte der Sr-90- und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland
(Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)

Tabelle 2.4.3-1 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	2009	21	0,06	85	< 0,12
	2010	8	<0,06	82	<0,11
	2011	22	0,06 (0,01 - 0,11)	77	< 0,12 (< 0,02 - 0,29)
Bayern	2009	33	<0,05	223	<0,16
	2010	24	<0,04	214	<0,15
	2011	30	< 0,04 (< 0,01 - 0,06)	214	< 0,15 (0,04 - < 0,35)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Berlin	2009	12	0,02	24	<0,59
	2010	12	0,02	24	<0,50
	2011	12	0,02 (0,01 - 0,03)	24	0,29 (0,02 - 1,63)
Brandenburg	2009	18	0,03	50	<0,23
	2010	17	0,03	51	<0,16
	2011	16	0,02 (0,01 - 0,03)	51	< 0,16 (< 0,05 - 0,60)
Bremen	2009	12	0,03	12	<0,63
	2010	12	<0,02	12	<0,34
	2011	12	< 0,12 (0,01 - 0,91)	12	< 0,32 (0,07 - 1,59)
Hamburg	2009	12	0,02	12	<0,07
	2010	6	0,02	12	<0,07
	2011	12	0,01 (0,01 - 0,02)	12	< 0,06 (< 0,05 - < 0,07)
Hessen	2009	18	0,05	50	<0,09
	2010	15	0,03	50	<0,08
	2011	21	0,03 (0,01 - 0,05)	48	< 0,08 (0,05 - < 0,15)
Mecklenburg-Vorpommern	2009	12	<0,02	48	<0,17
	2010	12	0,02	48	<0,14
	2011	12	< 0,02 (< 0,01 - 0,07)	48	< 0,12 (0,05 - 0,27)
Niedersachsen	2009	46	0,03	190	<0,23
	2010	29	0,04	198	<0,26
	2011	65	< 0,05 (0,02 - <1,00)	154	< 0,19 (< 0,06 - 1,14)
Nordrhein-Westfalen	2009	18	0,04	107	<0,12
	2010	13	<0,03	116	<0,12
	2011	23	0,03 (0,02 - 0,11)	94	< 0,11 (< 0,03 - 0,51)
Rheinland-Pfalz	2009	20	0,03	49	<0,06
	2010	11	0,03	50	<0,06
	2011	22	0,02 (0,01 - 0,03)	39	< 0,06 (0,02 - < 0,10)
Saarland	2009	12	<0,04	17	<0,20
	2010	12	<0,05	15	<0,20
	2011	10	< 0,08 (< 0,02 - 0,20)	13	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
Sachsen	2009	12	0,02	60	<0,09
	2010	12	0,02	60	<0,09
	2011	12	0,02 (0,02 - 0,03)	60	< 0,09 (0,04 - 0,21)
Sachsen-Anhalt	2009	12	<0,02	72	<0,54
	2010	12	<0,02	72	<0,37

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Schleswig-Holstein	2011	12	< 0,02 (< 0,02 - 0,35)	71	< 0,39 (< 0,07 - 5,18)
	2009	18	0,03	93	< 0,13
	2010	12	0,04	88	< 0,15
	2011	24	0,03 (0,02 - 0,05)	84	< 0,13 (< 0,06 - 0,22)
Thüringen	2009	12	0,01	36	< 0,10
	2010	12	0,01	36	< 0,09
	2011	12	< 0,01 (0,01 - 0,02)	36	< 0,09 (< 0,06 - < 0,12)
Bundesrepublik (gesamt)	2009	288	< 0,03	1128	< 0,19
	2010	219	< 0,03	1128	< 0,17
	2011	317	< 0,04 (< 0,01 - < 1,00)	1037	< 0,16 (< 0,02 - 5,18)

Tabelle 2.4.3-2 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2011
(Areas of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2011)

Produkt	N	Cs-134 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1037	< 0,25	< 0,01	5,18	< 0,02
Käse	5	< 0,23	< 0,10	< 0,27	< 0,11
Sauermilcherzeugnisse	3	< 0,07	< 0,06	< 0,18	< 0,09
Importe					
Käse	49	< 0,27	< 0,06	0,60	< 0,06
Frischkäse	7	< 0,19	< 0,04	< 0,30	< 0,09
Schafskäse	7	< 0,20	< 0,05	< 0,20	< 0,05
Ziegenkäse	4	0,14	< 0,06	25,72	< 0,14
Lakenkäse	4	< 0,15	< 0,07	< 0,23	< 0,11

2.4.4 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 2.4.4-1 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.

Tabelle 2.4.4-1 Radioaktive Kontamination der Milch aus unmittelbarer Nähe kerntechnischer Anlagen
(Radioactive contamination of milk from the close vicinity of nuclear power plants)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2010		2011	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG					
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	< 0,08	2	< 0,02 (< 0,02 - < 0,02)
	Sr-90	2	0,04	2	0,03 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	2	< 0,14 - < 0,27	2	< 0,039 - 0,07
KWO Obrigheim	Cs-137	4	< 0,05	4	< 0,03 (< 0,03 - < 0,04)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,02 - 0,04)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2010		2011	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
GKN Neckarwestheim	I-131 (nur Bereich)	10	< 0,003 - < 0,008	10	< 0,005 - < 0,013
	Cs-137	4	< 0,03	4	< 0,06 (< 0,02 - 0,15)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	10	< 0,003 - < 0,009	10	< 0,005 - < 0,009
KKP Philippsburg	Cs-137	4	< 0,07	4	< 0,04 (0,01 - 0,12)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	11	< 0,005 - < 0,008	11	< 0,004 - < 0,008
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	8	< 0,11	7	< 0,04 (0,02 - < 0,07)
	Sr-90	5	0,03	5	0,03 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	12	< 0,004 - < 0,008	11	< 0,004 - < 0,012
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	5	< 0,03	4	< 0,04 (< 0,03 - < 0,07)
	Sr-90	4	0,02	4	0,03 (0,03 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	8	< 0,005 - < 0,011	10	< 0,008 - < 0,098
BAYERN					
KRB Gundremmingen	Cs-137	6	< 0,02	6	< 0,02 (< 0,02 - 0,04)
	Sr-90	6	< 0,01	6	< 0,02 (< 0,01 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	18	< 0,003 - < 0,007	18	< 0,004 - < 0,007
KKI Isar	Cs-137	4	0,05	4	0,07 (0,05 - 0,08)
	Sr-90	4	< 0,01	4	< 0,02 (0,01 - 0,05)
	I-131 (nur Bereich)	12	< 0,004 - < 0,008	12	< 0,004 - < 0,007
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	6	< 0,18	6	< 0,18 (< 0,14 - < 0,25)
	Sr-90	6	< 0,02	6	< 0,02 (< 0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	< 0,004 - < 0,008	18	< 0,004 - < 0,009
FRM II	Cs-137	2	< 0,08	2	0,030 (0,24 - 0,35)
	Sr-90	2	< 0,02	2	< 0,01 (< 0,01 - 0,01)
BRANDENBURG					
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	< 0,09	4	< 0,09 (< 0,07 - < 0,12)
	Sr-90	4	0,03	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	4	< 0,08 - < 0,10	4	0,07 - 0,23
HESSEN					
KWB Biblis	Cs-137	8	< 0,09	10	< 0,07 (< 0,02 - < 0,14)
	Sr-90	8	0,01	6	0,01 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	24	< 0,004 - < 0,008	31	< 0,003 - < 0,14
MECKLENBURG-VORPOMMERN					
KGR Greifswald	Cs-137	4	0,13	2	< 0,12 (0,09 - < 0,14)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2010		2011	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	Sr-90	4	0,02	2	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)			2	< 0,088 - < 0,138
NIEDERSACHSEN					
KKS Stade	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
	I-131 (nur Bereich)	a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	4	< 0,12	a	
	Sr-90	4	0,03	a	
	I-131 (nur Bereich)	12	< 0,002 - < 0,012	a	
KWG Grohnde	Cs-137	4	< 0,07	a	
	Sr-90	4	0,03	a	
	I-131 (nur Bereich)	12	< 0,005 - < 0,011	a	
KKE Emsland	Cs-137	4	< 0,06	a	
	Sr-90	4	0,03	a	
	I-131 (nur Bereich)	12	< 0,004 - < 0,017	a	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	24	0,27	a	
	Sr-90	12	0,03	a	
	I-129 ($\mu\text{Bq/l}$)	a		a	
Schacht Konrad II ^b	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
	I-131 (nur Bereich)	a		a	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137			1	< 0,11
NORDRHEIN-WESTFALEN					
FZ Jülich	Cs-137	4	< 0,05	4	< 0,2 (< 0,1 - < 0,2)
	Sr-90	4	0,03	4	0,03 (0,03 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	32	< 0,005 - < 0,010	50	< 0,003 - 0,078
KWW Würgassen	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
THTR Uentrop	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
UAG Gronau	Uran (Bq/l)	12	< 0,23	a	
	Fluor (mg/l)	12	< 0,42	a	
RHEINLAND-PFALZ					
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	< 0,07	1	< 0,09

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2010		2011	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
KKW Cattenom	Sr-90	a			
	I-131 (nur Bereich)	a			
	Cs-137	6	<0,02	2	< 0,02 (< 0,02 - < 0,02)
	Sr-90	6	<0,03	2	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	< 0,006 - < 0,009	6	< 0,008 - < 0,008
SACHSEN					
VKTA Rossendorf	Cs-137	2	<0,08	2	< 0,09 (0,05 - < 0,13)
	Sr-90	2	0,02	2	0,03 (0,02 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	2	< 0,078 - < 0,079	2	< 0,067 - < 0,097
SACHSEN-ANHALT					
Endlager Morsleben	Cs-137	2	0,39	2	< 0,11 (< 0,1 - < 0,12)
	Sr-90	a		a	
SCHLESWIG-HOLSTEIN					
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,13	4	< 0,14 (< 0,13 - < 0,15)
	Sr-90	4	0,03	4	0,03 (0,03 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	12	< 0,003 - < 0,008	10	< 0,004 - < 0,01
KKB Brunsbüttel	Cs-137	4	0,04	4	< 0,05 (0,02 - 0,07)
	Sr-90	4	0,03	4	0,03 (0,03 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	32	< 0,007 - < 0,010	28	< 0,006 - < 0,02
KKK Krümmel	Cs-137	8	<0,06	6	< 0,05 (0,02 - 0,08)
	Sr-90	8	0,03	6	0,03 (0,01 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	24	< 0,008 - < 0,010	20	< 0,005 - < 0,01
KBR Brokdorf	Cs-137	8	<0,06	4	< 0,06 (0,03 - 0,11)
	Sr-90	8	0,03	4	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	24	< 0,007 - < 0,010	20	< 0,006 - < 0,01
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137			1	< 0,05
	Sr-90			1	0,02
	I-131 (nur Bereich)			5	< 0,009 - < 0,01

a Messwerte liegen nicht vor

b Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

2.4.5 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer

Im Folgenden werden Messergebnisse über Radionuklidkonzentrationen in Fischen, Krusten- und Schalentieren der Binnengewässer und der Meere für das Jahr 2011 vorgestellt und diskutiert. Bei der Auswertung der Daten wird im Allgemeinen nicht zwischen Fischarten unterschieden. Die Aktivitätsangaben in Bq/kg beziehen sich, wo es nicht ausdrücklich angeführt wird, bei Fischen, Krusten- und Schalentieren auf die Feuchtmasse (FM) des jeweiligen Fleisches. Die statistische Auswertung wird nach dem Verfahren nach „Helsel und Cohn“ [1] unter Einbeziehung der unterhalb der Nachweisgrenze liegenden, nicht-signifikanten Messwerte durchgeführt. Wegen der oft größeren Ähnlichkeit der gefundenen Messwert-Verteilungen zur Lognormalverteilung wurde (ab 1995) der Medianwert als repräsentativer Mittelwert-

schätzer verwendet. Die hier angegebenen Gesamtanzahlen N von Messwerten umfassen auch die nicht nachgewiesenen (nn) unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) liegenden Werte. Ermittelte statistische Kennzahlen sind neben den Anzahlen N und nn der Medianwert, minimaler und maximaler Wert.

Für die Auswertung der Daten aus dem Süßwasserbereich nach dem IMIS-Routineprogramm werden jeweils mehrere Bundesländer zu Regionen zusammengefasst: Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Berlin und Brandenburg zu „Norddeutschland“; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen zu „Mitteldeutschland“ sowie Baden-Württemberg und Bayern zu „Süddeutschland“. Für diese Regionen wurden, aufgeteilt nach Gewässertypen, statistische Auswertungen der jährlich zusammengefassten Werte der spezifischen Aktivität von Cs-137 und Sr-90 durchgeführt. Die mittleren Cs-137-Aktivitäten der Fische aus Binnenseen Nord- und Süddeutschlands (Abbildung 2.4.5-1) waren 2011 etwa eine Größenordnung höher als die aus Fischteichen und aus Fließgewässern (Tabelle 2.4.5-1).

**Tabelle 2.4.5-1 Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen
(Cs-137 activity in freshwater fish)**

Messungen der Bundesländer

Gewässer	Region	Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2011					2010
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Binnenseen	Süddeutschland	53	5	0,04	20,0	1,30	2,10
	Mitteldeutschland	6	3	< 0,10	98,7	0,06	0,14
	Norddeutschland	27	1	0,11	14,7	1,80	1,50
Fischteiche	Süddeutschland	12	2	0,10	0,59	0,21	0,14
	Mitteldeutschland	24	7	0,09	0,52	0,14	0,17
	Norddeutschland	11	7	0,13	0,19	0,14	0,15
Fließgewässer	Süddeutschland	5	1	< 0,14	0,78	0,22	0,40
	Mitteldeutschland	24	16	< 0,10	1,60	0,04	0,14
	Norddeutschland	6	2	< 0,13	1,10	0,35	0,15
nicht spezifizierte Gewässer	Süddeutschland	1	0	1,28	1,28	1,28	
	Mitteldeutschland	0	0				
	Norddeutschland	10	4	0,05	0,50	0,13	0,14

Der in der Region „Mitteldeutschland“ berichtete Maximalwert geht auf eine Flussbarschprobe aus dem Arendsee in Sachsen-Anhalt zurück, während die übrigen Werte maximal 0,49 Bq/kg FM betragen. Die Ergebnisse der Messungen von Fischen aus Sachsen-anhaltinischen Seen, die im Jahr 2007 begonnen wurden und höhere Cs-137-Werte zeigten, wurden im entsprechenden Kapitel des Jahresberichts 2007 [2] bereits erörtert und bewertet.

In Fischen aus den Fischteichen Norddeutschlands wurden seit 1990 gelegentlich höhere Cs-137-Mittelwerte als in Süddeutschland beobachtet (Abbildung 2.4.5-2), was vermutlich darauf zurückzuführen war, dass auch aus Seen genommene Proben den Fischteichen zugeordnet wurden. Die ab 1994 in genügender Anzahl vorliegenden Cs-137-Werte von Proben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands unterscheiden sich nicht von den in Abbildung 2.4.5-2 und 2.4.5-3 dargestellten Verläufen Nord- und Süddeutschlands.

Für Forellen und Karpfen, die in den Binnengewässern die bedeutsamsten wirtschaftlich genutzten Fischarten sind, wurden die mittleren Cs-137-Aktivitäten (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 2.4.5-2 zusammengestellt. Der Vergleich der Cs-137-Werte ergibt, dass bis 1999 (vgl. Abbildung 2.4.5-4) Forellen weniger Cäsium enthielten als Karpfen, der Unterschied jedoch seitdem nicht mehr signifikant ist.

**Tabelle 2.4.5-2 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					
	2011					2010
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Forellen	30	11	< 0,10	0,50	0,14	0,14
Karpfen	31	8	0,05	1,30	0,20	0,10

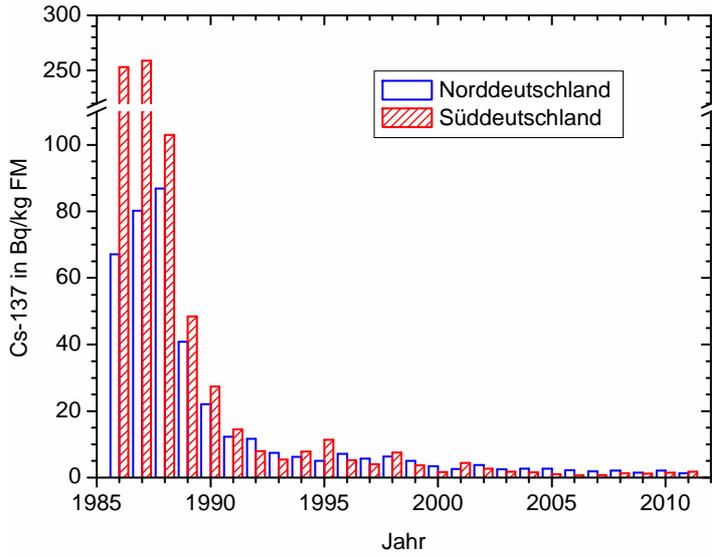


Abbildung 2.4.5-1
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from lakes in Bq/kg WW)

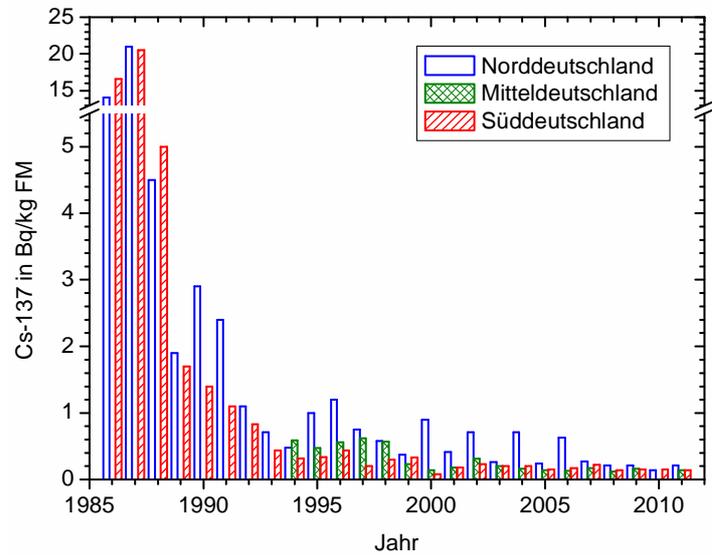


Abbildung 2.4.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms in Bq/kg WW)

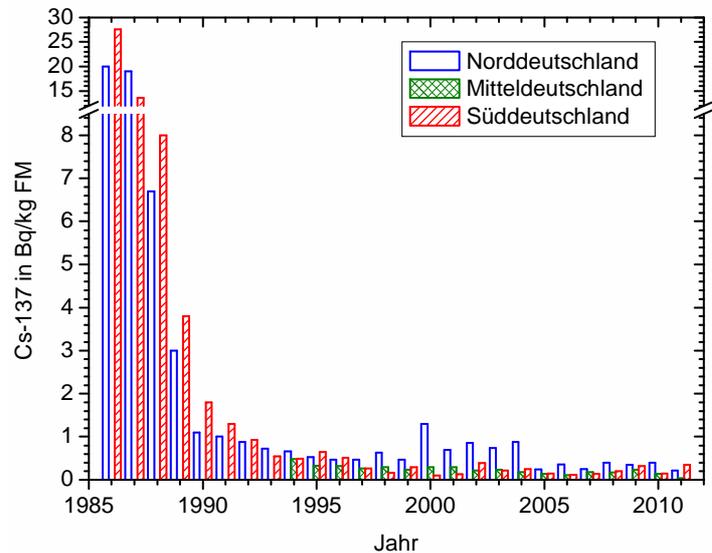


Abbildung 2.4.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers in Bq/kg WW)

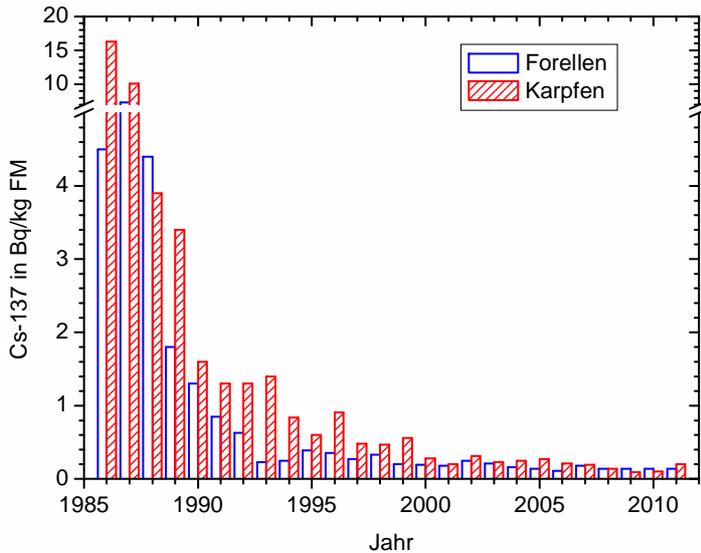


Abbildung 2.4.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in trout and carp in Bq/kg WW)

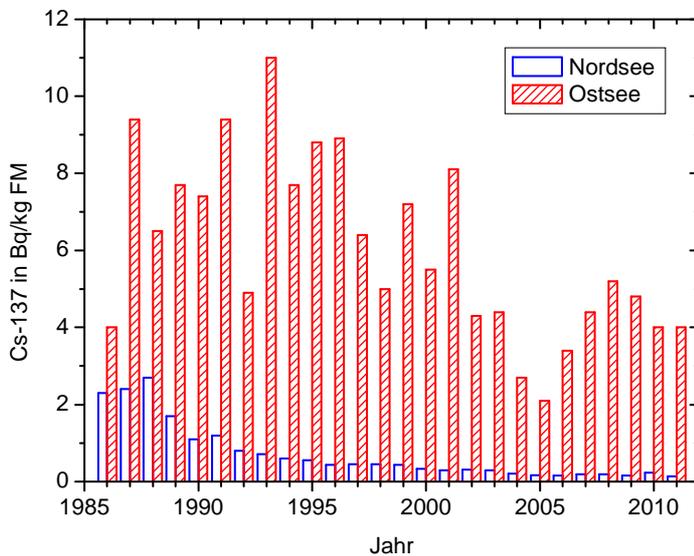


Abbildung 2.4.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas in Bq/kg WW)

In Tabelle 2.4.5-3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätswerte für Fische aus der Nord- und der Ostsee zusammengestellt. In Fischen aus der Nordsee, die vor der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986 bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen höhere Aktivitäten aufwiesen, blieben die Messwerte im Jahr 2011 bis auf eine Probe unter 1 Bq/kg. Der Median liegt bei etwa 0,14 Bq/kg. Der Maximalwert von 8,3 Bq/kg (Kabeljau) ist wahrscheinlich eher der Ostsee bzw. dem Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee zuzuordnen, bzw. der Fisch aus der Ostsee ist in die Nordsee gewandert. Diese Vermutung liegt nahe, weil die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 in der Ostsee noch immer wesentlich höher sind als in der Nordsee (Tabelle 2.4.5-3). Das liegt daran, dass in Fischen aus der Nordsee der Eintrag von Cs-137 aus dem Reaktorunglück von Tschernobyl, bedingt durch den höheren Wasseraustausch, seit Mitte der 1990er Jahre nicht mehr nachweisbar ist (siehe Abbildung 2.4.5-5), während er praktisch vollständig die ermittelten Cs-137-Aktivität in Fischen aus der Ostsee dominiert. Die in Abbildung 2.4.5-5 festzustellende Variation der Jahresmittelwerte ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass der Anteil der Fischproben aus der östlichen Ostsee, in denen eine höhere Cs-137-Aktivität nachgewiesen wurde, zwischen den einzelnen Jahren stark schwankt.

In Proben von Garnelen- und Miesmuschelfleisch, die an der Nordseeküste entnommen und deren Messwerte von den Landesmessstellen übermittelt wurden, konnte im Jahr 2011 kein Cs-137 nachgewiesen werden, weil sämtliche Einzelwerte unterhalb der Nachweisgrenze lagen (vgl. Tabelle 2.4.5-3). Eine Abnahme der Cs-137 Aktivitäten in Fleisch der Krusten- und Schalentiere wird bereits seit Jahren beobachtet, und ist wahrscheinlich auf einen ähnlichen Konzentrationsverlauf im Meerwasser der Nordsee zurück zu führen (siehe Kapitel 2.2.1).

Die im Jahr 2011 in Proben aus Importen ermittelten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tabelle 2.4.5-4) lagen bei etwa 0,04 Bq/kg (Süßwasserfisch), 0,09 Bq/kg (Seefisch) und 0,08 Bq/kg (Fischereierzeugnisse); für Krusten- und Schalentiere wurde, ähnlich denen aus der Nordsee, in 15 Proben kein signifikanter Wert gefunden.

Tabelle 2.4.5-3 Cs-137-Aktivität in Fischen und Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee
(*Cs-137 activity in fish and crustaceans from the North Sea and the Baltic Sea*)
Messungen der Bundesländer und der Leitstelle

Gewässer	Probenart	Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2011					2010
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Nordsee	Fische	30	13	0,10	8,3	0,14	0,24
	Garnelen	12	12	< 0,11	< 0,18	< 0,14	< 0,15
	Miesmuscheln	13	13	< 0,10	< 0,16	< 0,14	< 0,15
Ostsee	Fische	44	3	< 0,11	8,7	4,0	4,0

Tabelle 2.4.5-4 Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen
(*Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans and fishery products*)

Probenart	Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2011					2010
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Süßwasserfisch	28	19	< 0,10	3,50	0,04	0,05
Seefisch	110	63	0,04	8,30	0,09	0,11
Krusten- u. Schalentiere	15	15	< 0,10	< 0,18	< 0,14	< 0,12
Fischereierzeugnisse	32	25	< 0,10	0,27	0,08	0,11

Die Ergebnisse der von den Ländermessstellen durchgeführten Sr-90-Analysen sind in Tabelle 2.4.5-6 aufgeführt. Bei Fischen aus dem Süßwasserbereich zeigte sich, dass die mittlere Sr-90-Aktivität der Fische aus Binnenseen zwar mehr als doppelt so hoch war wie in Fischen aus Fließgewässern und Fischteichen, sich aber alle Werte insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen. In der Bewertung ist generell zu beachten, dass schon leichte Änderungen der geringen Haut- bzw. Grätenanteile der analysierten Fischfleischproben eine merkliche Änderung der gemessenen Sr-90-Konzentration bewirken können. Für Fische aus Nord- und Ostsee lagen für 2011 noch keine Ergebnisse von Sr-90-Messungen der Leitstelle vor.

Routineprogramm der Leitstelle

Fischproben aus Ostsee, Nordsee, Barentssee und der Grönlandsee wurden während diverser Fahrten mit dem FFS „Walther-Herwig-III“ genommen. Zusätzlich wurden vom Institut für Ostseefischerei 32 Fischproben aus der Ostsee zur Verfügung gestellt, die das Institut über das Jahr verteilt u. a. von Fahrten kommerzieller Fischkutter beschaffte. Die gammaspektrometrischen Messungen des größeren Teils der Proben aus dem Berichtsjahr 2011 wurden in die obigen Auswertungen bereits einbezogen. Zusammen mit den für frühere Jahre nachzureichenden Messwerten, insbesondere von alphaspektrometrischen Plutonium- und Americium-Analysen, sind diese in der Tabelle 2.4.5.-7 summarisch dargestellt, unterschieden zwischen Fischfleisch- und Gesamtfischproben.

Die zur Barentssee und zur Grönlandsee gehörenden Werte sind dabei als Hintergrundwerte des Nordostatlantiks anzusehen. Die Nordsee-Werte unterscheiden sich von den genannten Werten kaum; dies ist ein Hinweis darauf, dass der Effekt der Aktivitäts-Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield (UK, Irische See) und La Hague (FR, Engl. Kanal) auf die Nordseefische, verglichen mit den 1980er und 1990er Jahren, erheblich abgenommen hat und mittlerweile sehr gering geworden ist.

Tabelle 2.4.5-6 Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren
(*Sr-90 activity in fish and crustaceans*)
Messungen der Bundesländer

Probenart	Gewässer	Sr-90-Aktivität in Bq/kg FM					
		2011					2010
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch	Binnenseen	14	0	0,01	0,20	0,031	0,030
	Fischteiche	8	2	0,0050	0,083	0,014	0,004
	Fließgewässer	6	5	< 0,0066	0,020	< 0,020	< 0,012
Garnelen	Nordsee	10	4	0,020	0,041	0,025	0,013
Miesmuscheln	Nordsee	11	6	0,020	0,039	0,016	0,017

Tabelle 2.4.5-7 Radionuklid-Aktivitäten von Fischen aus verschiedenen Meeresgebieten inkl. Nachtrag zu früheren Jahren
(Radionuclide activities fish from different marine areas incl. supplement to earlier years)
 Ergebnisse von "Walther-Herwig-III"-Fahrten in den Jahren 2007 bis 2011; Messungen der Leitstelle-vTI

Meer / Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
					min. Wert	max. Wert	Medianwert
Barentssee (71,5°N - 79,5°N; 8,5°E - 25,5°E)							
Fischfleisch	Sr-90	2010	10	8	0,00033	< 0,00073	< 0,0007
	Cs-137	2010	23	0	0,056	0,38	0,20
südlich Grönland							
Fischfleisch	Cs-137	2011	4	0	0,19	0,26	0,21
Nordsee							
Fischfleisch	Cs-137	2011	4	0	0,095	0,25	0,13
	Sr-90	2008	10	5	0,00043	< 0,0024	0,00044
Gesamtfisch	Cs-137	2011	16	0	0,072	0,35	0,17
	Sr-90	2010	1	0	0,0024	0,0024	0,0024
		2009	4	0	0,0014	0,0098	0,0076
Ostsee (südliche und westliche)							
Fischfleisch	Cs-137	2011	46	0	0,62	8,7	5,0
		2010	47	0	0,75	10	5,5
	Sr-90	2010	17	3	< 0,00082	0,021	0,0015
Gesamtfisch	Cs-137	2009	7	0	0,0010	0,025	0,0029
		2011	15	0	0,79	4,4	3,8
		2010	20	0	0,77	5,6	3,9
	Sr-90	2010	8	0	0,0078	0,047	0,016
		2009	18	0	0,0069	0,221	0,034
	Pu-(239+240)	2010	3	0	0,000070	0,0003	0,00012
		2007	4	0	0,00023	0,0011	0,00069
	Pu-238	2010	3	2	0,000039	< 0,000051	< 0,000047
2007		4	2	0,000082	< 0,00029	0,000084	
Am-241	2007	5	1	< 0,00012	0,00028	0,00018	

Literatur

- [1] Kanisch G, Kirchoff 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. Urban & Fischer Verlag München, Jena, ISBN 3-437-21596-5
- [2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 2008: „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2007“

2.4.6 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 2011 wurden für 23 kerntechnische Anlagen Werte γ -spektrometrischer Messungen (vor allem Cs-137) an 97 Fischfleischproben und 9 Proben von Wasserpflanzen gemeldet. Sr-90-Messungen wurden an 17 Fischfleischproben durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 11 Süßwasserfischarten, von Mischungen verschiedener Süßwasserfischarten inkl. „Friedfisch“ und „Raubfisch“, sechs marine Arten aus Flussunterläufen bzw. Ästuaren sowie Fische ohne Artenbezeichnung untersucht wurden. Die statistische Auswertung der Daten wurde wie im vorangehenden Kapitel 2.4.5 beschrieben durchgeführt. Die Radioaktivitätsdaten in Fischen und Wasserpflanzen sind in Tabelle 2.4.6-1 - nach Fließgewässer und überwachter Anlage sortiert - zusammengefasst worden.

Die im Messprogramm für das außer Betrieb befindliche Kernkraftwerk Rheinsberg erhaltenen höheren Cs-137-Werte im Fisch sind darauf zurückzuführen, dass die Proben nicht aus einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee

und Ellbogensee) entnommen wurden. Bedingt durch den Einfluss der Ostsee im Greifswalder Bodden weisen die dort im Überwachungsprogramm des außer Betrieb befindlichen Kernkraftwerks Greifswald genommenen Proben ebenfalls höhere Cs-137-Aktivitäten auf.

Bei den wenigen in Tabelle 2.4.6-1 mit aufgenommenen Messdaten von Wasserpflanzen, die als Indikatoren für die im Wasser vorhandenen künstlichen Radionuklide dienen, insbesondere aus genehmigten Ableitungen kerntechnischer und klinischer Anlagen (z. B. I-131), sind wie in den vorherigen Jahren keine Besonderheiten festzustellen.

Tabelle 2.4.6-1 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)

(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG)

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2011					2010	
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert	
Fisch (Bq/kg FM)									
Donau	KRB Gundremmingen	Cs-137	6	3	< 0,13	3,5	0,13	0,20	
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	6	0	0,13	0,39	0,23	0,23	
	KKK Krümmel	Cs-137	4	0	0,20	0,26	0,24	0,31	
	PKA Gorleben	Cs-137	4	0	0,22	0,50	0,25	0,26	
	KKS Stade	Cs-137	4	0	0,16	0,44	0,29	0,24	
	KBR Brokdorf	Sr-90	6	6	< 0,0057	< 0,017	< 0,011	< 0,010	
			Cs-137	6	0	0,055	0,69	0,31	0,29
		KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	0	0,14	0,48	0,31	0,46
Ems	KKE Emsland	Cs-137	4	0	0,19	1,2	0,47	0,19	
Greifswalder Bodden	KGR Greifswald	Cs-137	4	0	0,71	7,6	3,1	1,5	
Havel (Griebnitzsee)	HMI Berlin	Cs-137	1	0	0,94	0,94	0,94	0,43	
Sacrower See		Cs-137	1	0	22	22	22	30	
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	1	< 0,15	0,28	0,28	< 0,16	
	FRM II Garching	Cs-137	1	0	0,08	0,08	0,08	0,17	
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	2	< 0,18	0,32	0,20	< 0,19	
	VAK Kahl	Cs-137							
Mosel	Cattenom	Sr-90	2	1	< 0,02	0,036	< 0,028	0,024	
	(Frankreich)	Cs-137	2	0	0,11	0,52	0,32	< 0,06	
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	1	1	< 0,049	< 0,049	< 0,049	< 0,04	
	KWO Obrigheim	Cs-137	2	0	0,087	2,7	1,4	< 0,098	
Rhein	KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,089	0,11	0,099	0,18	
	KWB Biblis	Sr-90	8	1	< 0,0049	0,028	0,016	0,014	
		Cs-137	8	1	< 0,080	0,78	0,11	0,10	
	KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	1	0,054	0,11	0,070	0,10	
	KKP Philippsburg	Cs-137	6	1	0,055	0,23	0,12	0,10	
	FZ Karlsruhe	Cs-137							
Rur	FZ Jülich	Cs-137						0,21	
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	37	43	40	39	
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	1	0	10	10	10	7,5	

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2011					2010
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Weser	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,081	0,65	0,17	0,20
	KWG Grohnde	Cs-137	6	2	< 0,033	0,11	0,044	0,053
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)								
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60*						< 0,22
		Cs-137*						0,35
Moorbach	Ahaus	Co-60*						< 0,34
Donau	KRB Gundremmingen	Co-60	2	2	< 0,7	< 0,8	< 0,75	1,5
		Cs-137	2	1	< 0,79	10	< 4,6	7,0
Isar	FRM II Garching	Co-60	4	4	< 0,37	< 0,99	< 0,59	< 0,76
		I-131	2	0	0,89	3,9	2,4	7,7
		Cs-137	4	0	3,7	9,6	6,3	4,5
		I-131	1	0	29	29	29	81
Main	KKI 1/2 Isar	Cs-137	1	0	12	12	12	18
		Co-60	2	1	< 0,46	0,53	< 0,5	1,6
		I-131	2	0	2,3	31	17	1,7
	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	0	1,0	4,7	2,9	1,2

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

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.

Eine Ausnahme bilden die meisten Wildfleischarten (Tabelle 2.4.7-8), Speisepilze (Tabelle 2.4.7-11) mit Ausnahme von Kulturpilzen, Wildbeeren (Tabelle 2.4.7-12) und Blütenhonig (Tabelle 2.4.7-13). 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 (Tabellen 2.4.7-15 und 2.4.7-16).

In den Tabellen sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, 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.

**Tabelle 2.4.7-1 Weizen, Inland
(Wheat, domestic production)**

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2010	30	< 0,14 (< 0,06 - < 0,20)	2	0,26 (0,14 - 0,37)
	2011	24	< 0,13 (< 0,03 - < 0,20)	3	0,17 (0,08 - 0,24)
Bayern	2010	47	< 0,15 (< 0,06 - < 0,29)	7	0,25 (0,08 - 0,37)
	2011	51	< 0,16 (< 0,08 - < 0,26)	9	< 0,16 (< 0,04 - 0,34)
Berlin	2010	1	< 0,09	1	0,07

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	2011	1	< 0,11	1	0,1
Brandenburg	2010	24	< 0,12 (< 0,05 - < 0,16)	1	0,29
	2011	17	< 0,10 (< 0,05 - < 0,18)	-	
Bremen	2010	3	< 0,08 (< 0,04 - < 0,10)	-	
	2011	2	< 0,13 (< 0,10 - < 0,16)	-	
Hamburg	2010	3	< 0,07 (< 0,05 - < 0,07)	-	
	2011	2	< 0,10 (< 0,07 - < 0,14)	1	0,08
Hessen	2010	16	< 0,09 (< 0,06 - < 0,14)	-	
	2011	18	< 0,10 (< 0,06 - < 0,14)	-	
Mecklenburg- Vorpommern	2010	35	< 0,12 (0,08 - < 0,17)	3	0,16 (0,10 - 0,21)
	2011	36	< 0,11 (< 0,08 - < 0,14)	2	0,09 (0,05 - 0,13)
Niedersachsen	2010	41	< 0,18 (0,07 - 0,38)	3	< 0,06 (< 0,02 - 0,09)
	2011	37	< 0,17 (< 0,09 - < 0,60)	3	0,18 (0,10 - 0,30)
Nordrhein-Westfalen	2010	27	< 0,12 (< 0,06 - < 0,29)	3	0,13 (0,05 - 0,17)
	2011	26	< 0,11 (< 0,04 - < 0,19)	4	0,13 (0,05 - 0,20)
Rheinland-Pfalz	2010	18	< 0,10 (< 0,04 - < 0,14)	3	0,07 (0,06 - 0,09)
	2011	19	< 0,08 (< 0,04 - < 0,12)	2	0,17 (0,06 - 0,27)
Saarland	2010	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	1	0,24
	2011	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	1	0,18
Sachsen	2010	27	< 0,10 (< 0,08 - < 0,14)	3	0,13 (0,12 - 0,13)
	2011	30	< 0,10 (< 0,08 - 0,18)	3	0,08 (0,06 - 0,10)
Sachsen-Anhalt	2010	31	< 0,13 (< 0,07 - 0,37)	3	0,12 (0,10 - 0,13)
	2011	31	< 0,13 (< 0,08 - 0,39)	3	0,15 (0,06 - 0,26)
Schleswig-Holstein	2010	34	< 0,13 (< 0,09 - 0,18)	3	0,13 (0,12 - 0,14)
	2011	38	< 0,14 (< 0,06 - < 0,19)	4	0,14 (0,08 - 0,20)
Thüringen	2010	34	< 0,11 (< 0,08 - < 0,15)	1	0,04
	2011	34	< 0,11 (< 0,08 - < 0,13)	1	0,03
Bundesrepublik (gesamt)	2010	373	< 0,13 (< 0,04 - 0,38)	34	< 0,16 (< 0,02 - 0,37)
	2011	368	< 0,13 (< 0,03 - < 0,60)	37	< 0,14 (0,03 - 0,34)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

**Tabelle 2.4.7-2 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import)**

Importe	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Dänemark	2011	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
Frankreich	2010	1	< 0,20
	2011	1	< 0,20
Kanada	2010	1	< 0,10
	2011	1	< 0,10
Polen	2010	1	< 0,13
	2011	2	< 0,09 (< 0,06 - < 0,12)
Slowakei	2011	1	< 0,11
Tschechische Republik	2010	7	< 0,08 (< 0,06 - < 0,11)
	2011	3	< 0,09 (< 0,07 - < 0,10)
Türkei	2010	2	< 0,15 (< 0,10 - < 0,20)
	2011	1	< 0,04

**Tabelle 2.4.7-3 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	2010	1	< 0,13				
	2011	2	< 0,10	(< 0,09 - < 0,04)	-		
Gerste	2010	112	< 0,17	(< 0,01 - < 2,28)	8	0,19	(0,06 - 0,33)
	2011	97	< 0,14	(< 0,05 - 0,47)	4	0,18	(0,03 - 0,49)
Hafer	2010	17	< 0,24	(< 0,09 - 1,07)	-		
	2011	19	< 0,25	(< 0,11 - 1,58)	1	0,19	(0,19 - 0,19)
Hirse	2010	3	< 0,12	(< 0,11 - < 0,13)	1	0,23	
	2011	7	< 0,15	(< 0,09 - 0,27)	-		
Mais	2010	1	< 0,05		-		
	2011	3	< 0,11	(0,08 - < 0,14)	-		
Reis	2010	13	< 0,10	(< 0,02 - < 0,25)	-		
	2011	7	< 0,16	(< 0,07 - 0,35)	-		
Roggen	2010	156	< 0,18	(< 0,01 - 2,20)	19	< 0,16	(0,01 - 0,36)
	2011	153	< 0,16	(< 0,04 - 1,70)	17	0,15	(0,04 - 0,44)
Triticalen	2010	7	< 0,11	(< 0,06 - < 0,16)	1	0,15	

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
	2011	15	< 0,13	(0,08 - < 0,23)	1	0,06	(0,06 - 0,06)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-4 Kalbfleisch, Inland
(*Veal, domestic production*)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	2010	5	< 0,20	(< 0,16 - 0,23)
	2011	6	< 0,33	(< 0,14 - 1,03)
Bayern	2010	8	< 0,47	(< 0,12 - 0,82)
	2011	9	< 0,29	(< 0,11 - 0,61)
Berlin	2010	1	0,64	
	2011	0		
Brandenburg	2010	4	9,68	(0,20 - 25,80)
	2011	4	6,22	(0,20 - 20,10)
Bremen	2010	3	0,46	(0,44 - 0,50)
	2011	3	0,40	(0,26 - 0,49)
Hamburg	2010	3	0,63	(0,53 - 0,78)
	2011	3	0,66	(0,29 - 1,38)
Hessen	2010	4	< 0,10	(< 0,08 - < 0,12)
	2011	3	< 0,14	(< 0,09 - 0,19)
Mecklenburg-Vorpommern	2010	4	1,08	(0,24 - 2,89)
	2011	2	0,96	(0,21 - 1,71)
Niedersachsen	2010	12	< 1,22	(< 0,10 - 6,10)
	2011	13	< 1,36	(< 0,10 - 10,00)
Nordrhein-Westfalen	2010	15	< 0,35	(< 0,06 - 0,59)
	2011	16	< 0,23	(< 0,04 - 0,58)
Rheinland-Pfalz	2010	1	< 0,07	
	2011	1	0,11	
Saarland	2010	2	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)
	2011	2	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)
Sachsen	2010	3	< 0,15	(< 0,12 - 0,21)
	2011	3	< 0,22	(0,14 - 0,37)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	2010	3	0,41 (0,31 - 0,52)
	2011	3	0,45 (0,38 - 0,60)
Schleswig-Holstein	2010	3	< 0,40 (< 0,17 - 0,60)
	2011	3	< 0,39 (< 0,20 - 0,55)
Thüringen	2010	2	< 0,10 (< 0,09 - < 0,12)
	2011	3	< 0,13 (< 0,10 - 0,17)
Bundesrepublik (gesamt)	2010	73	< 1,03 (< 0,06 - 25,80)
	2011	74	< 0,82 (< 0,04 - 20,10)

**Tabelle 2.4.7-5 Rindfleisch, Inland
(Beef, domestic production)**

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2010	45	< 0,32 (< 0,09 - 3,86)
	2011	50	< 0,31 (< 0,10 - 3,96)
Bayern	2010	87	< 0,44 (< 0,08 - 6,57)
	2011	92	< 0,62 (< 0,07 - 7,79)
Berlin	2010	6	0,99 (0,38 - 3,11)
	2011	6	< 0,79 (0,14 - 1,50)
Brandenburg	2010	13	< 8,73 (< 0,09 - 95,0)
	2011	11	< 1,65 (< 0,10 - 7,20)
Bremen	2010	6	0,53 (0,07 - 1,03)
	2011	6	< 0,33 (< 0,09 - 0,91)
Hamburg	2010	6	< 1,22 (< 0,08 - 3,29)
	2011	6	0,79 (0,28 - 1,79)
Hessen	2010	12	< 0,18 (0,06 - 0,44)
	2011	12	< 0,15 (0,05 - 0,36)
Mecklenburg-Vorpommern	2010	15	< 2,20 (< 0,08 - 10,70)
	2011	13	3,29 (0,07 - 14,60)
Niedersachsen	2010	50	< 0,71 (< 0,10 - 7,30)
	2011	49	< 0,71 (< 0,10 - 4,87)
Nordrhein-Westfalen	2010	50	< 0,19 (< 0,06 - 1,21)
	2011	54	< 0,26 (< 0,06 - 3,88)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Rheinland-Pfalz	2010	10	< 0,1 (< 0,07 - 0,18)
	2011	13	< 0,12 (< 0,07 - 0,26)
Saarland	2010	6	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
	2011	6	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
Sachsen	2010	11	< 0,17 (0,07 - 0,62)
	2011	11	< 0,36 (0,08 - 1,44)
Sachsen-Anhalt	2010	12	< 1,50 (< 0,11 - 4,01)
	2011	10	< 0,37 (< 0,10 - 1,98)
Schleswig-Holstein	2010	26	< 0,58 (0,10 - 2,90)
	2011	26	< 0,45 (< 0,12 - 2,67)
Thüringen	2010	10	< 0,11 (< 0,07 - 0,19)
	2011	10	< 0,11 (< 0,08 - 0,18)
Bundesrepublik (gesamt)	2010	365	< 0,83 (0,06 - 95,00)
	2011	375	< 0,58 (0,05 - 14,60)

Tabelle 2.4.7-6 Schweinefleisch, Inland
(*Pork, domestic production*)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2010	25	< 0,17 (< 0,09 - < 0,38)
	2011	24	< 0,20 (< 0,10 - 0,51)
Bayern	2010	40	< 0,22 (< 0,05 - 0,74)
	2011	42	< 0,93 (< 0,09 - 19,50)
Berlin	2010	6	< 0,24 (< 0,09 - 0,48)
	2011	6	< 0,44 (< 0,07 - 1,55)
Brandenburg	2010	13	< 0,14 (< 0,08 - 0,40)
	2011	13	< 0,14 (< 0,07 - 0,40)
Bremen	2010	8	< 0,25 (0,08 - 0,89)
	2011	9	< 0,21 (< 0,08 - 0,77)
Hamburg	2010	6	< 0,15 (< 0,06 - 0,35)
	2011	6	0,14 (0,10 - 0,20)
Hessen	2010	11	< 0,11 (< 0,08 - < 0,14)
	2011	12	< 0,11 (< 0,08 - < 0,19)
Mecklenburg-Vorpommern	2010	20	< 0,10 (0,04 - 0,22)
	2011	20	< 0,13 (0,04 - 0,37)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Niedersachsen	2010	70	< 0,29 ($< 0,06 - 4,70$)
	2011	71	< 0,17 ($< 0,08 - 0,29$)
Nordrhein-Westfalen	2010	94	< 0,21 ($< 0,04 - 2,60$)
	2011	100	< 0,13 ($< 0,01 - 1,07$)
Rheinland-Pfalz	2010	11	< 0,11 ($< 0,07 - 0,23$)
	2011	13	< 0,10 ($< 0,07 - 0,29$)
Saarland	2010	6	< 0,20 ($< 0,20 - < 0,20$)
	2011	6	< 0,18 ($0,08 - < 0,20$)
Sachsen	2010	11	< 0,18 ($0,09 - 0,78$)
	2011	11	< 0,12 ($0,08 - 0,18$)
Sachsen-Anhalt	2010	24	< 0,12 ($< 0,06 - 0,38$)
	2011	24	< 0,12 ($< 0,07 - 0,40$)
Schleswig-Holstein	2010	12	< 0,17 ($< 0,10 - 0,40$)
	2011	12	< 0,14 ($< 0,11 - < 0,20$)
Thüringen	2010	14	< 0,14 ($< 0,07 - 0,53$)
	2011	14	< 0,13 ($< 0,08 - 0,48$)
Bundesrepublik (gesamt)	2010	371	< 0,20 ($0,04 - 4,70$)
	2011	383	< 0,24 ($< 0,01 - 19,50$)

Tabelle 2.4.7-7 Sonstiges Fleisch, Inland und Einfuhr
(*Other meat, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Lamm	2010	21	< 0,57 ($< 0,06 - 4,80$)
	2011	17	< 0,26 ($< 0,06 - 1,10$)
Geflügel	Ente	2010	< 0,12 ($< 0,05 - 0,27$)
		2011	< 0,13 ($< 0,06 - < 0,24$)
Gans	2010	20	< 0,17 ($< 0,04 - 0,38$)
	2011	22	< 0,20 ($< 0,09 - 0,99$)
Huhn	2010	122	< 0,17 ($0,04 - < 2,70$)
	2011	122	< 0,13 ($< 0,04 - < 0,29$)
Pute	2010	47	< 0,02 ($< 0,05 - < 2,27$)
	2011	42	< 0,13 ($< 0,06 - < 0,22$)

Tabelle 2.4.7-8 Wild, Inland und Einfuhr
(*Game, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Federwild	2010	2	< 0,29 ($< 0,11 - 0,46$)
	2011	4	< 0,11 ($< 0,07 - 0,20$)
Haarwildfleisch Damwild	2010	16	< 3,44 ($< 0,09 - 25,7$)
	2011	20	< 5,10 ($< 0,11 - 28,7$)
Hirsch	2010	18	< 10,2 ($< 0,10 - 92,7$)
	2011	36	< 26,61 ($< 0,08 - 277,9$)
Reh	2010	124	< 16,9 ($< 0,11 - 176$)
	2011	181	< 25,91 ($< 0,07 - 1353$)
Wildschwein	2010	96	< 58,7 ($< 0,05 - 2264$)
	2011	168	< 422,3 ($< 0,08 - 10\ 200$)
Sonstiges Wildfleisch	2011	6	< 6,58 ($< 0,11 - 25,00$)

Tabelle 2.4.7-9 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	2010	14	< 0,17 ($< 0,05 - < 0,39$)	1	0,03
	2011	4	< 0,08 ($< 0,05 - < 0,16$)	1	0,02
Bayern	2010	24	< 0,44 ($< 0,09 - 5,18$)	4	0,04 (0,02 - 0,05)
	2011	32	< 0,22 ($< 0,08 - 2,14$)	4	0,04 (0,02 - 0,08)
Berlin	2010	2	< 0,15 ($< 0,15 - < 0,16$)	1	0,01
	2011	2	< 0,15 ($< 0,12 - 0,18$)	1	0,01
Brandenburg	2010	6	< 0,15 ($< 0,11 - 0,30$)	1	0,02
	2011	7	< 0,13 ($< 0,09 - < 0,16$)	1	0,02
Bremen	2010	2	< 0,13 ($< 0,12 - 0,14$)	-	-
	2011	2	< 0,15 ($< 0,10 - < 0,20$)	-	-
Hamburg	2010	2	< 0,08 ($< 0,07 - < 0,09$)	-	-
	2011	2	< 0,10 ($< 0,08 - < 0,12$)	-	-
Hessen	2010	5	< 0,14 ($< 0,09 - < 0,18$)	1	0,02
	2011	5	< 0,09 ($< 0,07 - < 0,13$)	1	0,03
Mecklenburg- Vorpommern	2010	11	< 0,08 ($< 0,06 - < 0,09$)	1	0,03
	2011	12	< 0,08 (0,05 - 0,16)	1	0,01

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Niedersachsen	2010	79	< 0,18 (< 0,08 - 0,60)	8	< 0,27 (< 0,02 - < 1,00)
	2011	63	< 0,16 (< 0,01 - 0,91)	7	< 0,44 (0,01 - < 1,00)
Nordrhein-Westfalen	2010	23	< 0,24 (< 0,03 - < 1,71)	5	< 0,05 (< 0,01 - 0,16)
	2011	20	< 0,13 (< 0,06 - < 0,23)	5	< 0,02 (< 0,01 - 0,05)
Rheinland-Pfalz	2010	6	< 0,07 (< 0,03 - < 0,10)	2	0,03 (0,02 - 0,03)
	2011	12	< 0,08 (< 0,03 - < 0,12)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
Saarland	2010	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)		
	2011	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)		
Sachsen	2010	6	< 0,11 (< 0,07 - 0,21)	1	0,02
	2011	6	< 0,10 (< 0,08 - < 0,13)	1	0,02
Sachsen-Anhalt	2010	8	< 0,13 (< 0,11 - < 0,15)	2	< 0,02 (< 0,02 - < 0,02)
	2011	9	< 0,14 (< 0,11 - < 0,19)	2	< 0,02 (< 0,02 - < 0,02)
Schleswig-Holstein	2010	6	< 0,15 (< 0,13 - < 0,18)	1	< 0,04
	2011	5	< 0,13 (< 0,10 - < 0,14)	1	< 0,04
Thüringen	2010	3	< 0,09 (< 0,08 - < 0,09)	1	0,01
	2011	3	< 0,10 (< 0,10 - < 0,11)	1	< 0,01
Bundesrepublik (gesamt)	2010	199	< 0,20 (< 0,03 - 5,18)	29	< 0,10 (0,01 - < 1,00)
	2011	186	< 0,14 (< 0,01 - 2,14)	28	< 0,13 (< 0,01 - < 1,00)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

**Tabelle 2.4.7-10 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	2010	741	< 0,16 (< 0,002 - < 2,90)	70	< 0,13 (0,01 - 0,59)
	2011	652	< 0,14 (< 0,01 - 1,00)	69	< 0,15 (< 0,02 - 0,59)
Fruchtgemüse	2010	219	< 0,14 (< 0,03 - 2,0)	13	0,08 (0,02 - 0,22)
	2011	207	< 0,13 (< 0,02 - < 1,12)	11	< 0,05 (< 0,01 - 0,14)
Sprossgemüse	2010	229	< 0,13 (< 0,03 - 0,30)	16	< 0,05 (0,01 - 0,15)
	2011	252	< 0,13 (< 0,02 - < 0,33)	18	< 0,07 (0,01 - 0,31)
Wurzelgemüse	2010	173	< 0,14 (< 0,02 - 0,55)	17	0,13 (0,03 - 0,39)
	2011	186	< 0,14 (< 0,01 - 0,38)	20	< 0,12 (< 0,01 - 0,34)

Tabelle 2.4.7-11 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(*Mushrooms, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Kulturpilze	2010	3	< 0,17	(< 0,08 - < 0,24)
	2011	6	< 0,15	(< 0,08 - < 0,20)
Wild-Blätterpilze	2010	24	< 27,6	(< 0,003 - 267)
	2011	45	< 31	(< 0,11 - 191)
Wild-Leisten- u. Trompetenpilze	2010	47	< 71,3	(0,73 - 321)
	2011	29	43,9	(0,25 - 387)
Wild-Röhrenpilze	2010	160	< 125	(< 0,14 - 1046)
	2011	132	132,5	(0,33 - 1360)
Sonstige Wildpilze	2010	11	< 14,1	(< 0,15 - 82,5)
	2011	16	< 99,9	(0,17 - 1147)
Wildpilzmischungen	2010	12	128	(8,81 - 332)
	2011	8	< 28,4	(< 0,07 - 104)

Tabelle 2.4.7-12 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)	
Beerenobst							
Brombeere/Himbeere	2010	15	< 0,14	(<0,06 - < 0,24)	-		
	2011	9	< 0,12	(0,01 - < 0,22)	1	0,05	(0,05 - 0,05)
Erdbeeren	2010	131	< 0,14	(< 0,01 - < 1,0)	9	0,03	(0,01 - 0,08)
	2011	97	< 0,12	(< 0,01 - < 0,20)	6	0,04	(0,02 - 0,05)
Johannisbeere	2010	28	< 0,13	(<0,05 - < 0,26)	2	0,03	(0,03 - 0,03)
	2011	20	< 0,12	(<0,07 - < 0,20)	2	0,05	(0,04 - 0,06)
Stachelbeere	2010	7	< 0,11	(<0,05 - < 0,20)	-		
	2011	3	< 0,11	(<0,08 - < 0,16)	-		
Tafelweintruben	2010	20	< 0,09	(<0,06 - < 0,20)	-		
	2011	16	< 0,10	(<0,07 - < 0,20)	-		
Wald- u. Wildbeeren	2010	16	< 0,73	(<0,84 - 5,58)	-		
	2011	19	< 7,79	(0,45 - 84,8)	-		
Kernobst	2010	205	< 0,13	(<0,03 - < 0,42)	15	< 0,02	(0,006 - 0,14)
	2011	213	< 0,13	(<0,02 - 0,35)	20	< 0,02	(0,001 - 0,05)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Rhabarber	2010	16	< 0,09 (<0,04 - < 0,17)	-	
	2011	16	< 0,12 (<0,05 - < 0,20)	2	0,19 (0,04 - 0,34)
Steinobst	2010	112	< 0,13 (<0,03 - < 0,30)	11	0,03 (0,01 - 0,06)
	2011	109	< 0,12 (<0,01 - < 0,26)	11	< 0,04 (0,01 - 0,12)
Zitrusfrüchte	2010	11	< 0,12 (<0,06 - < 0,26)	-	
	2011	11	< 0,12 (<0,07 - < 0,15)	-	
Sonstige Obstarten	2010	7	< 0,14 (<0,08 - < 0,20)	-	
	2011	10	< 0,15 (<0,09 - < 0,22)	-	

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-13 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
(*Other foodstuffs, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Bier	2011	3	< 0,19 (< 0,12 - < 0,30)
Gewürze	2010	1	< 0,93
	2011	1	< 0,13
Honig	2010	35	< 8,15 (< 0,08 - 89,1)
	2011	40	< 9,84 (< 0,01 - 113,00)
Schalenobst (Nüsse)	2010	6	< 0,39 (< 0,09 - 1,59)
	2011	4	< 0,15 (< 0,13 - < 0,17)
Ölsamen	2011	1	8,93
Sojasoße (Japan)	2011	2	< 0,15 (< 0,14 - < 0,16)
Tee	2010	1	3,60
	2011	2	< 47,53 (< 2,55 - 92,50)*

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

* Bei dem Maximalwert handelt es sich um eine Importprobe aus Japan

Tabelle 2.4.7-14 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

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
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
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	< 0,05	< 0,02 *	< 1,13	< 0,21	< 0,14	< 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

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
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 *

* Inland und Einfuhr

- Angabe nicht erforderlich

Gesamtnahrung

Die Beprobung der Gesamtnahrung (siehe Tabelle 2.4.7-15) dient der Abschätzung der ingestionsbedingten Strahlendosis gesunder Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. Dazu werden verzehrsfertige Menüs der Gemeinschaftsverpflegung aus Kantinen, Heimen, Krankenhäusern und Restaurants vermessen. Daraus resultiert eine Mittelung der Verzehrsmenge und der Zusammensetzung.

Die mittlere tägliche Cs-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2011 mit 0,23 Bq/(d • p) (d = Tag; p = Person) nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Da in diese Mittelung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss. Für Sr-90, mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von 0,08 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:

Sr-90 : 29 Bq/(a • p) [Vorjahr: 29 Bq/(a • p)]

Cs-137 : 84 Bq/(a • p) [Vorjahr: 91 Bq/(a • p)]

**Tabelle 2.4.7-15 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	2010	60	< 0,33	(0,06 - 4,70)	15	0,08	(0,01 - 0,15)
	2011	64	< 0,19	(0,02 - < 0,43)	18	< 0,09	(0,03 - 0,39)
Februar	2010	58	< 0,27	(0,03 - 4,80)	6	< 0,06	(< 0,02 - 0,20)
	2011	53	< 0,18	(< 0,03 - < 0,44)	6	< 0,08	(0,04 - 0,19)
März	2010	69	< 0,24	(< 0,03 - 2,53)	6	0,06	(0,03 - 0,09)
	2011	65	< 0,19	(< 0,01 - 0,50)	4	0,11	(0,04 - 0,18)
April	2010	59	< 0,17	(< 0,03 - < 0,55)	15	< 0,09	(0,02 - 0,21)
	2011	59	< 0,45	(< 0,04 - 16,60)	18	0,07	(0,02 - 0,25)
Mai	2010	56	< 0,18	(< 0,02 - < 0,51)	5	< 0,05	(< 0,02 - 0,09)
	2011	63	< 0,17	(< 0,03 - < 0,48)	7	< 0,07	(0,03 - 0,12)
Juni	2010	57	< 0,22	(< 0,05 - 1,60)	4	0,13	(0,05 - 0,16)
	2011	53	< 0,25	(< 0,02 - 2,32)	3	0,15	(0,05 - 0,30)
Juli	2010	65	< 0,20	(< 0,01 - 0,87)	18	< 0,06	(0,02 - 0,18)
	2011	58	< 0,21	(< 0,03 - 1,00)	19	< 0,08	(0,02 - 0,19)
August	2010	60	< 0,20	(< 0,04 - 0,72)	6	< 0,06	(< 0,02 - 0,10)

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)
September	2011	60	< 0,23 (< 0,03 - 2,12)	4	0,16 (0,04 - 0,36)
	2010	52	< 0,17 (0,03 - < 0,43)	2	0,07 (0,07 - 0,07)
	2011	56	< 0,23 (< 0,02 - 2,60)	6	0,06 (0,02 - 0,11)
Oktober	2010	61	< 0,20 (< 0,01 - 0,90)	17	< 0,10 (0,01 - 0,49)
	2011	61	< 0,26 (0,01 - 3,15)	15	0,07 (0,01 - 0,14)
November	2010	56	< 0,24 (0,04 - 2,00)	7	< 0,15 (< 0,02 - 0,27)
	2011	57	< 0,26 (< 0,05 - 3,30)	6	< 0,07 (< 0,02 - 0,12)
Dezember	2010	58	< 0,27 (< 0,06 - 3,40)	2	0,10 (0,08 - 0,13)
	2011	56	< 0,18 (0,02 - 0,54)	3	0,06 (0,02 - 0,09)
Jahr (gesamt)	2010	711	< 0,23 (< 0,01 - 4,80)	103	< 0,08 (0,01 - 0,49)
	2011	705	< 0,23 (< 0,01 - 16,60)	109	< 0,08 (0,01 - 0,39)

**Tabelle 2.4.7-16 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	2010	21	< 0,22 (< 0,02 - 2,40)	10	0,03 (0,01 - 0,07)
	2011	19	< 0,11 (< 0,02 - 0,27)	8	0,03 (0,01 - 0,07)
Februar	2010	22	< 0,25 (< 0,02 - 2,40)	5	< 0,02 (0,01 - < 0,02)
	2011	20	< 0,10 (< 0,02 - 0,27)	5	< 0,03 (0,02 - 0,07)
März	2010	20	< 0,11 (0,02 - < 0,24)	4	0,07 (0,03 - 0,11)
	2011	19	< 0,11 (< 0,01 - < 0,22)	6	< 0,04 (< 0,01 - 0,16)
April	2010	15	< 0,08 (< 0,01 - < 0,13)	6	< 0,02 (0,01 - 0,03)
	2011	19	< 0,12 (< 0,03 - 0,22)	6	< 0,04 (< 0,01 - 0,10)
Mai	2010	22	< 0,12 (0,02 - < 0,21)	1	0,02 (0,02 - 0,02)
	2011	24	< 0,12 (< 0,03 - 0,27)	1	0,02 (0,02 - 0,02)
Juni	2010	18	< 0,14 (< 0,02 - 0,60)	1	0,02 (0,02 - 0,02)
	2011	16	< 0,09 (< 0,03 - < 0,22)	1	0,04 (0,04 - 0,04)
Juli	2010	19	< 0,10 (< 0,02 - < 0,30)	6	0,02 (0,02 - 0,04)
	2011	21	< 0,13 (0,02 - 0,58)	6	0,03 (0,01 - 0,04)
August	2010	21	< 0,11 (< 0,01 - < 0,20)	3	< 0,02 (< 0,02 - 0,02)
	2011	27	< 0,15 (< 0,02 - 0,40)	6	< 0,03 (0,02 - 0,04)
September	2010	20	< 0,12 (0,02 - 0,33)	7	0,06 (0,02 - 0,14)
	2011	17	< 0,12 (< 0,01 - < 0,25)	4	0,05 (0,02 - 0,11)

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Oktober	2010	19	< 0,09	(< 0,02 - < 0,20)	2	0,02	(0,01 - 0,02)
	2011	21	< 0,09	(< 0,01 - < 0,21)	4	< 0,02	(0,01 - 0,05)
November	2010	21	< 0,15	(< 0,01 - 0,88)	1	0,02	(0,02 - 0,02)
	2011	21	< 0,12	(< 0,02 - 0,35)			
Dezember	2010	20	< 0,10	(< 0,02 - < 0,24)	1	0,02	(0,02 - 0,02)
	2011	15	< 0,11	(< 0,03 - < 0,21)	1	0,02	(0,02 - 0,02)
Jahr (gesamt)	2010	238	< 0,13	(< 0,01 - 2,40)	47	< 0,03	(0,01 - 0,14)
	2011	239	< 0,11	(< 0,01 - 0,58)	49	< 0,03	(0,01 - 0,16)

2.4.8 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 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 den Tabellen 2.4.8-1 und 2.4.8-2, für Obst in Tabelle 2.4.8-3 und für Kartoffeln in Tabelle 2.4.8-4 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 2.4.8-1 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: vegetables)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	14	< 0,05	24	< 0,07	21	< 0,05 (< 0,02 - < 0,11)
	Sr-90	2	0,08	8	< 0,05	4	< 0,04 (0,01 - 0,09)
KWO Obrigheim	Cs-137	9	< 0,07	8	< 0,06	9	< 0,05 (< 0,03 - < 0,08)
	Sr-90	7	0,12	4	0,09	6	0,09 (0,02 - 0,20)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	9	< 0,06	13	< 0,06	10	< 0,05 (< 0,02 - < 0,09)
	Sr-90	8	0,10	5	0,07	6	0,07 (0,02 - 0,12)
KKP Philippsburg	Cs-137	1	< 0,3	6	< 0,07	7	< 0,05 (< 0,03 - < 0,06)
	Sr-90	1	0,05	4	0,04	3	0,05 (0,02 - 0,07)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	14	< 0,06	11	< 0,06	8	< 0,06 (< 0,05 - < 0,08)
	Sr-90	6	0,09	7	0,21	5	0,12 (0,03 - 0,45)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	< 0,04	6	< 0,04	9	< 0,05 (< 0,04 - < 0,09)
	Sr-90	2	0,13	4	< 0,12	5	0,12 (0,01 - 0,38)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	1	< 0,03	1	< 0,04	1	< 0,04
	Sr-90	1	0,11	1	0,15	1	0,05
KKI Isar	Cs-137	1	< 0,02	1	< 0,02	1	< 0,02
	Sr-90	1	0,09	1	0,13	1	0,07
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	3	< 0,06	3	< 0,04	3	< 0,05 (< 0,05 - < 0,06)
	Sr-90	3	< 0,07	4	< 0,13	3	< 0,08 (< 0,04 - 0,17)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	0,03	1	0,06	1	< 0,06
	Sr-90	1	0,09	1	0,05	1	< 0,03
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	13	< 0,19	17	< 0,14	16	< 0,18 (0,04 - 0,58)
	Sr-90	2	0,12	3	0,05	6	0,07 (0,03 - 0,16)
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	17	< 0,14	10	< 0,17	12	< 0,15 (< 0,10 - < 0,18)
	Sr-90	17	0,23	10	0,29	12	0,22 (0,03 - 0,58)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	9	< 0,05	9	< 0,04	11	< 0,05 (< 0,02 - < 0,11)
	Sr-90	9	0,03	9	0,03	2	0,01 (0,01 - 0,01)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	4	< 0,10	2	< 0,07	a	
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	7	< 0,9	7	< 0,08	a	
	Sr-90	7	< 0,05	7	< 0,07	a	
KWG Grohnde	Cs-137	4	< 0,09	5	< 0,08	a	
	Sr-90	4	0,10	5	0,09	a	
KKE Emsland	Cs-137	6	< 0,11	7	< 0,10	a	
	Sr-90	6	0,09	7	0,09	a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Schacht Konrad II ^b	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schachtanlage Asse	Cs-137	3	< 0,07	3	< 0,17	a	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	4	< 0,13	4	< 0,09	4	< 0,1 (< 0,09 - < 0,1)
	Sr-90	4	0,06	4	0,05	4	0,06 (0,02 - 0,09)
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	4	16,9	4	6,2	a	
	Uran (Bq/kg TM)	4	2,2	4	1,1	a	
	U-238 (Bq/kg TM)	1	< 0,3	a		a	
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90						
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	1	< 0,13	1	< 0,14	1	< 0,14
	Sr-90	1	0,16	1	0,12	1	0,14
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	2	< 0,16	3	< 0,13	2	< 0,15 (< 0,14 - < 0,16)
	Sr-90	1	< 0,04	1	0,10	1	0,14
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	< 0,10	1	< 0,09	1	< 0,05
	Sr-90	1	0,13	1	0,10	1	0,05
KKB Brunsbüttel	Cs-137	1	< 0,05	1	< 0,04		
	Sr-90						
KKK Krümmel	Cs-137	1	< 0,08	1	< 0,07	1	< 0,05
	Sr-90	1	0,10	1	0,12	1	0,08

a Messwerte lagen nicht vor

b Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

Tabelle 2.4.8-2 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Getreide
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity off facilities according to the Atomic Energy Act: cereals)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM						
		2009		2010		2011		
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)	
BADEN-WÜRTTEMBERG								
FZ Karlsruhe	Cs-137	7	<0,08	4	< 0,06	4	<0,07	(< 0,06 - < 0,07)
	Sr-90	4	0,17	2	0,10	2	0,15	(0,12 - 0,18)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,07	4	< 0,07	4	< 0,06	(< 0,04 - < 0,08)
	Sr-90	2	0,11	2	0,16	2	0,12	(0,10 - 0,14)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	< 0,06	4	< 0,06	4	<0,06	(< 0,05 - < 0,08)
	Sr-90	2	0,15	2	0,14	2	0,11	(0,09 - 0,13)
KKP Philippsburg	Cs-137	3	<0,08	2	<0,07	5	<0,07	(< 0,04 - < 0,12)
	Sr-90	2	0,09	1	0,09	4	0,10	(0,04 - 0,17)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	5	<0,06	5	< 0,06	6	<0,06	(< 0,04 - < 0,07)
	Sr-90	2	0,19	2	0,17	2	0,26	(0,11 - 0,41)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	< 0,04	3	< 0,06	2	<0,06	(< 0,05 - < 0,06)
	Sr-90	1	0,15	2	0,14	1	0,13	
BAYERN								
KRB Gundremmingen	Cs-137	4	< 0,03	4	< 0,15	4	<0,03	(< 0,02 - 0,06)
	Sr-90	4	< 0,02	4	<0,04	4	<0,03	(< 0,01 - 0,10)
KKI Isar	Cs-137	5	< 0,05	5	< 0,08	5	<0,03	(< 0,02 - 0,05)
	Sr-90	5	<0,02	5	< 0,10	5	<0,08	(< 0,01 - 0,14)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	< 0,04	2	< 0,04	2	<0,03	(< 0,03 - < 0,04)
	Sr-90	2	< 0,04	2	< 0,03	2	<0,04	(< 0,04 - 0,05)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	< 0,05	1	0,37	1	< 0,06	
	Sr-90	1	0,09	1	0,08	1	0,12	
BERLIN								
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	a		a		a		
HESSEN								
KWB Biblis	Cs-137	1	< 0,12	1	< 0,08	1	< 0,08	
	Sr-90	1	0,05	1	0,06			
MECKLENBURG-VORPOMMERN								
KGR Greifswald	Cs-137	5	< 0,11	8	< 0,13	5	<0,12	(< 0,08 - < 0,15)
	Sr-90	5	0,14	5	0,14	5	0,12	(0,07 - 0,14)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
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	< 0,14	2	< 0,08	a	
	Sr-90	2	0,14	2	0,16	a	
KKE Emsland	Cs-137	1	0,17	a		a	
	Sr-90	1	0,21	a		a	
Schacht Konrad II ^b	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schachtanlage Asse II	Cs-137			2	<0,16	a	
	Sr-90			2	0,07	a	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
FZ Jülich	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	20	<1,5	21	<1,6	a	
	Uran (Bq/kg TM)	21	< 0,23	21	< 0,23	a	
	U-238 (Bq/kg TM)	5	<0,3	6	< 0,2	a	
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137			2	<0,06	1	< 0,03
	Sr-90			2	0,04	1	< 0,06
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	3	< 0,15	4	< 0,18	4	<0,14 (< 0,11 - < 0,16)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	Sr-90	1	0,08	2	0,14	2	0,10 (0,08 - 0,11)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	< 0,13	1	< 0,13	1	< 0,15
	Sr-90	1	0,15	1	0,23	1	0,18
KKB Brunsbüttel	Cs-137	2	< 0,15	2	< 0,10	2	< 0,13 (< 0,12 - < 0,13)
	Sr-90	2	0,11	2	0,09	2	0,06 (0,03 - 0,09)
KKK Krümmel	Cs-137	2	< 0,12	2	< 0,09	2	< 0,06 (< 0,05 - < 0,08)
	Sr-90	2	0,32	2	0,20	2	0,27 (0,14 - 0,40)

a Messwerte lagen nicht vor

b Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

Tabelle 2.4.8-3 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: fruit)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	4	< 0,03	2	< 0,02	3	< 0,03 (< 0,02 - < 0,04)
	Sr-90	a		a		1	0,06
KWO Obrigheim	Cs-137	4	< 0,6	4	< 0,06	4	< 0,06 (< 0,03 - < 0,08)
	Sr-90	2	0,05	2	0,06	2	0,14 (0,12 - 0,16)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	3	< 0,05	3	< 0,05	3	< 0,06 (< 0,03 - < 0,08)
	Sr-90	2	0,15	2	0,06	1	0,23
KKP Philippsburg	Cs-137	3	< 0,08	3	< 0,08	4	< 0,06 (< 0,03 - < 0,1)
	Sr-90	1	0,02	1	0,02	1	0,01
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	4	< 0,04	5	< 0,04	4	< 0,03 (< 0,02 - < 0,04)
	Sr-90	4	0,02	4	0,03	4	< 0,02 (0,01 - 0,02)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	< 0,05	3	< 0,04	1	< 0,09
	Sr-90	1	0,11	1	0,07	a	
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	2	< 0,02	2	< 0,02	2	< 0,03 (< 0,03 - < 0,03)
	Sr-90	2	< 0,01	2	< 0,01	2	< 0,01 (< 0,01 - < 0,01)
KKI Isar	Cs-137	a		a			
	Sr-90	a		a			

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,03	2	<0,04	2	<0,04 (<0,03 - <0,04)
	Sr-90	2	<0,03	2	<0,03	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	15	<0,10	7	<0,12	10	<0,12 (0,04 - <0,25)
	Sr-90	2	0,06	2	0,07	1	0,16
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	8	<0,04	11	<0,06	7	<0,05 (<0,01 - <0,11)
	Sr-90	8	0,04	9	0,03	2	0,12 (0,03 - 0,21)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,07	6	<0,07	4	<0,06 (<0,04 - <0,06)
	Sr-90	4	0,01	5	<0,03	4	0,02 (0,01 - 0,04)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	6	<0,07	7	<0,06	4	0,06 (<0,04 - <0,07)
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KWG Grohnde	Cs-137	1	<0,05	a		a	
	Sr-90	1	0,02	a		a	
KKE Emsland	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schacht Konrad II ^c	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schachtanlage Asse II	Cs-137			4	<0,12	a	
	Sr-90			1	0,03	a	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	2	b 1,5; 1,6	2	b <1,5; <1,5	a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	Uran (Bq/kg TM)	2	b < 0,23; < 0,23	2	b < 0,23; < 0,23	a	
	U-238 (Bq/kg TM)	4	< 0,3 (Rha- barber)	4	< 0,2 (Rha- barber)	a	
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	1	< 0,02	5	< 0,02	5	< 0,02 (< 0,01 - < 0,03)
	Sr-90	a		a		a	
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137			3	< 0,03	1	0,02
	Sr-90			3	< 0,01	1	0,01
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	1	< 0,15	1	< 0,13	1	< 0,12
	Sr-90	1	0,02	1	0,02	a	
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	4	< 0,13	4	< 0,15	4	< 0,14 (< 0,12 - < 0,17)
	Sr-90	1	< 0,02	1	< 0,04	1	< 0,02
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
KKK Krümmel	Cs-137	2	< 0,04	2	< 0,06	2	< 0,28 (< 0,07 - < 0,48)
	Sr-90	2	0,03	2	0,03	2	0,04 (0,03 - 0,05)

- a Messwerte lagen nicht vor
b Mittelwertbildung nicht sinnvoll
c Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

Tabelle 2.4.8-4 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz: Kartoffeln
(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of facilities according to the Atomic Energy Act: potatoes)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	4	< 0,06	3	< 0,05	3	< 0,06 (< 0,04 - < 0,10)
	Sr-90	3	< 0,04	1	0,02	1	0,02
KWO Obrigheim	Cs-137	1	< 0,04	1	< 0,08	1	< 0,03
	Sr-90	1	0,02	1	0,04	a	
GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	< 0,08	2	< 0,06	2	< 0,09 (< 0,06 - < 0,12)
	Sr-90	2	0,03	2	0,03	a	
KKP Philippsburg	Cs-137	a		2	< 0,08	1	< 0,06
	Sr-90	a		a		1	0,01

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	3	< 0,04	2	< 0,04	2	< 0,05 (< 0,04 - < 0,06)
	Sr-90	2	0,04	2	0,05	2	0,10 (0,05 - 0,12)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	< 0,03	2	< 0,03	2	< 0,04 (< 0,04 - < 0,05)
	Sr-90	3	0,04	2	0,02	a	
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137			1	< 0,03	1	< 0,04
	Sr-90			1	0,03	1	0,32
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	1	< 0,05	a		a	
	Sr-90	1	< 0,02	a		a	
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	2	< 0,13	1	0,23	4	< 0,08 (< 0,06 - < 0,11)
	Sr-90	1	0,04	a		1	0,02
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	11	< 0,09	8	< 0,07	10	< 0,07 (< 0,03 - < 0,11)
	Sr-90	11	< 0,02	3	0,02	3	< 0,01 (< 0,01 - 0,02)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	a		1	< 0,08	a	
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	1	< 0,14	1	< 0,13	a	
	Sr-90	1	< 0,02	1	< 0,02	a	
KWG Grohnde	Cs-137	1	< 0,07	1	< 0,08	a	
	Sr-90	1	0,04	1	0,03	a	
KKE Emsland	Cs-137	1	< 0,07	1	0,10	a	
	Sr-90	1	0,02	1	< 0,06	a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2009		2010		2011	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Schachtanlage Asse II	Cs-137	1	< 0,13	a		a	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	2	< 0,1	2	< 0,1	2	< 0,1) (< 0,09 - < 0,1
	Sr-90	2	0,14	2	0,03	2	0,01 (0,01 - 0,02)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	< 0,03	a		a	
	Sr-90	a		a		a	

a Messwerte lagen nicht vor

2.5 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. Im Jahr 2011 wurden die am höchsten belasteten Arzneimittelproben wie Island-Moos, Bitterkleeblätter und Gänsefingerkraut stichprobenartig untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.5-1 zusammengefasst. Gewürze wie Honig, verschiedene Kerne und Samen wurden aus den handelsüblichen Läden gekauft.

Der Schwerpunkt der Überwachung liegt bei gammastrahlenden Radioisotopen, insbesondere Cs-137, einem Falloutbestandteil der oberirdischen Kernwaffenversuche sowie des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Die Messdaten von pflanzlichen Ausgangsstoffen aus europäischen Ländern der Jahre 1998 - 2011 sind in den Tabellen 2.5-2 - 2.5-4 dargestellt. Bitterkleeblätter und Island-Moos zählten in den vergangenen Jahren zu den pflanzlichen Ausgangsstoffen mit den höchsten Cs-137-Kontaminationen.

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

Die spezifischen Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 lagen mit maximal 960 Bq/kg (TM) bei Birkenkleeblättern und minimal 58 Bq/kg (TM) bei Island-Moos im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite. Die Aktivitäten von K-40 schwanken im Wesentlichen entsprechend dem Kaliumgehalt der untersuchten Pflanzenproben, da der Gehalt dieses Elements in der Pflanze geregelt wird.

In der Leitstelle wurden zusätzlich auch stichprobenartig verschiedene Nüsse und Kerne als Gewürze untersucht; die Ergebnisse sind in Tabelle 2.5-5 zusammengefasst.

Tabelle 2.5-1 Ermittelte Werte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 in ausgewählten Arzneimittelpflanzen für das Jahr 2011
(Measured values of Cs-137 and K-40 specific activities in selected medicinal plants for the year 2011)

Artikel	Ursprungsland	K-40 in Bq/kg TM	Cs-137 in Bq/kg TM
Bitterkleeblätter, geschnitten	Polen	961 ± 22	81 ± 2,2
Gänsefingerkraut, geschnitten	Polen	793 ± 21	30 ± 1,1
Island-Moos, geschnitten	Serbien	58 ± 3,6	27 ± 0,1

Tabelle 2.5-2 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 in Island-Moos für die Jahre 1998 bis 2011 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean value of Cs-137 and K-40 specific activities in iceland moss for the years 1998 - 2011 and indication of their country of origin)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 in Bq/kg TM	Cs-137 in Bq/kg TM
1998	Polen	69 ± 5,6	239 ± 3,3
2000	Ungarn	71,5 ± 5,9	376 ± 4,7
2001	Bosnien-Herzegowina	66 ± 3,5	87 ± 1,2
2002	Polen	86 ± 6,2	360 ± 4,6
2003	Bosnien-Herzegowina	74 ± 4,3	101 ± 1,5
2004	Rumänien	87 ± 7,3	456 ± 17,7
2005	Rumänien	107 ± 3,4	203 ± 7,1
2006	Bosnien-Herzegowina	63 ± 4,8	31 ± 1,0
2007	Bosnien-Herzegowina	57 ± 7,0	23 ± 0,8
2009	Kroatien	66 ± 2,3	26 ± 0,7
2011	Serbien	58 ± 3,6	27 ± 0,1

Tabelle 2.5-3 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 in Bitterkleeblättern für die Jahre 1998 bis 2011 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean value of Cs-137 and K-40 specific activities in buckbean leaves for the years 1998 - 2011 and indication of their country of origin)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 in Bq/kg TM	Cs-137 in Bq/kg TM
1998	Rumänien	712 ± 44	42 ± 1,6
2005	Polen	925 ± 24	550 ± 15

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 in Bq/kg TM	Cs-137 in Bq/kg TM
2006	Polen	794 ± 25	321 ± 8,3
2007	Polen	791 ± 51	225 ± 8,2
2009	Polen	859 ± 24	472 ± 11,8
2011	Polen	961 ± 22	81 ± 2,2

Tabelle 2.5-4 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs137 und K-40 in Gänsefingerkraut für die Jahre 2000 bis 2011 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(*Annual mean value of Cs-137 and K-40 specific activities in silverweed for the years 1998 - 2011 and indication of their country of origin*)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 in Bq/kg TM	Cs-137 in Bq/kg TM
2000	Polen	510 ± 15	52 ± 1,3
2001	Polen	535 ± 13	52 ± 1,1
2002	Polen	540 ± 16	58 ± 1,4
2003	Polen	659 ± 39	53 ± 2,8
2004	Polen	815 ± 35	37 ± 1,8
2005	Polen	478 ± 10	27 ± 1,0
2011	Polen	793 ± 21	30 ± 1,1

Tabelle 2.5-5 Ermittelte Werte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 in verschiedenen ausgewählten Artikelproben für das Jahr 2011 durch den Einkauf in Deutschland
(*Measured values of Cs-137 and K-40 specific activities in different selected samples of articles for the year 2011*)

Artikel	Ursprungsland	K-40 in Bq/kg TM	Cs-137 in Bq/kg TM
Paranuskerne, gemahlen	Einkauf Deutschland	210 ± 16	< 1,15
Muskatnuss, gemahlen	Einkauf Deutschland	190 ± 5,5	0,35 ± 0,2
Macadamianuss, gemahlen	Einkauf Deutschland	115 ± 3,6	< 0,2
Pinienkerne, gemahlen	Einkauf Deutschland	300 ± 10,5	< 0,6

2.6 Abwasser und Klärschlamm (*Waste water and sewage sludge*)

Bezüglich allgemeiner Aspekte zur Radioaktivitätsüberwachung von Abwasser und Klärschlamm wird auf Teil A - II - 2.6 verwiesen.

Dem Bericht für das Jahr 2011 liegen die Messergebnisse aus 91 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. auf teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme.

In Tabelle 2.6-1 sind die ausgewerteten Daten zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an K-40, Co-60, Cs-137, I-131, Sr-90 und den Uranisotopen. Zum Vergleich werden die Medianwerte des Vorjahres ebenfalls mit angegeben.

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 variieren in Abhängigkeit von regionalen geologischen Gegebenheiten in weiten Grenzen. Die Messwerte im Jahr 2011 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 1000 Bq/kg TM (Vorjahr bis 660 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 160 bzw. 150 Bq/kg TM (Vorjahr 210 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) mit spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm bis zu 1200 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: 33 Bq/kg TM; Maximalwert: 500 Bq/kg TM, Vorjahr 39 bzw. 1700 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m (Tc-99m; Maximalwert Klärschlamm: 480 Bq/kg TM) sowie Thallium-201 (Tl-201; Maximalwert: 40 Bq/kg TM), Thallium-202 (Tl-202; Maximalwert: 4,0 Bq/kg TM) und Indium-111 (In-111; Maximalwert: 5,9 Bq/kg TM). Im Klärschlamm der Kläranlage Stade wurde wie in den Vorjahren in einem Fall in geringer Konzentration Co-60 festgestellt (2,0 Bq/kg TM), in der Kläranlage Kaiserslautern sehr geringe Spuren von Plutonium-239 (0,03 Bq/kg TM). Dieser Wert liegt im zu erwar-

tenden Bereich und ist eine Folge der allgegenwärtigen Kontamination der Erdoberfläche durch den Fallout in der Zeit der atmosphärischen Kernwaffenversuche von 1945 bis etwa 1975. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass die nach dem Routinemessprogramm geforderte Nachweisgrenze 0,1 Bq/kg TM beträgt.

Von den infolge des Atomkraftwerkunfalls in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten ist 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 bedingt sind. Das kurzlebige Cs-134 (Halbwertszeit ca. 2 Jahre), welches 1986 im Verhältnis zu Cs-137 von 0,5:1 freigesetzt worden war, war bis 2010 nicht mehr nachzuweisen. Durch den schweren kerntechnischen Unfall im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi am 12.03.2011 wurden wiederum u. a. Cs-137 und Cs-134 freigesetzt, wobei das Isotopenverhältnis etwa 1:1 betrug. Obwohl nur sehr geringe Mengen dieser Isotope in den Niederschlägen in Deutschland festgestellt wurden, konnte in einigen Klärschlammproben erstmals auch wieder Cs-134 nachgewiesen werden. Der Maximalwert von 1,4 Bq/kg TM wurde am 11.07.2012 in der Kläranlage Meerbusch festgestellt.

Die im Vergleich zu der Zeit vor dem Atomkraftwerkunfall 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.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 in Abwässern lagen zu 99 % unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen. Als Nachweisgrenze dieses Radionuklids im Abwasser werden im Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) 0,1 Bq/l gefordert. Die für Cs-137 ermittelten Messwerte lagen im Jahr 2011 zwischen 0,019 und 0,12 Bq/l, bei einem Median von < 0,024 Bq/l (2010: zwischen 0,002 und 0,18 Bq/l). Die Messwerte für Sr-90 oberhalb der erreichten Nachweisgrenzen (54 % der Messwerte) lagen zwischen 0,00058 und 0,061 Bq/l, bei einem Median von < 0,0044 Bq/l.

In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Atomkraftwerksunfall in Tschernobyl deutliche Unterschiede fest. Als Folge starker Niederschläge Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tabelle 2.6-1 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 2011 - wie seit bereits mehr als 15 Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 43 Bq/kg TM für Cs-137. Seit 1999 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittlere spezifische Aktivitäten 180, 140, 140, 110, 110, 98, 86, 71, 65, 56, 56, 47 und 43 Bq/kg TM. Bemerkenswerterweise wurde in zwei Proben auch Cs-134 festgestellt, Mittelwert 0,5 Bq/kg.

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

Die in der Vergangenheit deutlich sichtbare Tendenz einer kontinuierlichen Abnahme der Kontamination der Klärschlämme ist nur noch in wenigen Fällen zu beobachten, z. B. in Thüringen. Im Zeitraum von 1988 bis 2011 wurden im südlichen Bayern anfangs noch stark abnehmende Jahresmittelwerte ermittelt, die sich auch in den letzten Jahren tendenziell weiterhin verringerten: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68, 63, 43, 38, 37, 44, 30, 25, 24, 24, 20, 16, 21, 15 und 19 Bq/kg TM. Der zwischenzeitliche Anstieg des Jahresmittelwerts auf 21 Bq/kg TM im Jahr 2009 war bedingt durch einen Ausreißerwert in der Kläranlage Garching. Bei dem inzwischen erreichten sehr niedrigen Niveau der spezifischen Aktivität der Klärschlämme sind die zu beobachtenden Schwankungen hauptsächlich durch die natürliche Streuung der Messwerte bedingt.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 43 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 7 Bq/m² Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flächenbelastung von zurzeit ca. 20 000 Bq/m² Cs-137 eine jährliche Aktivitätszufuhr in den Boden von weniger als 0,04 %. Hierbei ist aber anzumerken, dass eine solche Aufstockung des Cs-137-Inventars durch den radioaktiven Zerfall von 2,3 % pro Jahr des bereits im Boden befindlichen Inventars in der Höhe um ein Vielfaches kompensiert wird.

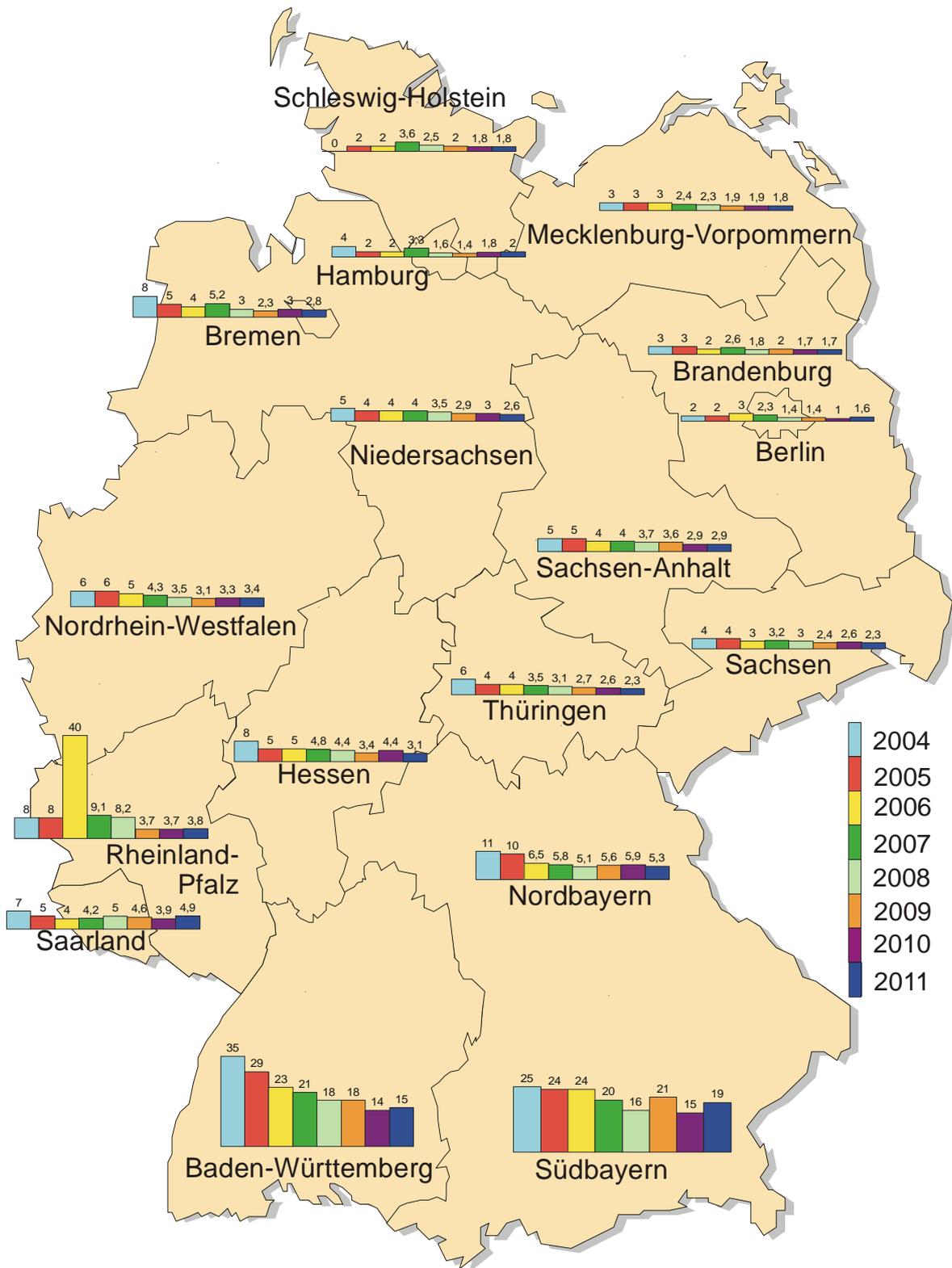


Abbildung 2.6-1 Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)
 (Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal states)

Tabelle 2.6-1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2011 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2011 - minimum, maximum, and mean values)

Land	Nuklid	2011						2010
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	3	2,1	11	7	6,8	<0,75
	Co-60	20	20				<0,081	<0,089
	I-131	20	13	0,058	0,4		<0,12	<0,12
	Cs-137	20	20				<0,087	<0,087
	Sr-90	4	4				<0,1	<0,055
	U-234	4	4				<0,1	<0,1
	U-235	4	4				<0,1	<0,1
	U-238	4	4				<0,1	<0,1
Hamburg	K-40	4	4				<1,2	<1,9
	Co-60	4	4				<0,045	<0,059
	I-131	4	1	0,14	0,43	0,27	0,2	0,2
	Cs-137	4	4				<0,046	<0,064
	Sr-90	4	0	0,00058	0,001	0,00077	0,00073	0,0012
	U-234	1	1				<0,00016	0,00018
	U-235	1	1				<0,00012	<0,00009
	U-238	1	1				<0,00016	<0,00013
Niedersachsen	K-40	48	17	0,42	1	0,66	<0,65	0,68
	Co-60	48	48				<0,024	<0,026
	I-131	48	17	0,035	1,4	0,24	0,081	<0,08
	Cs-137	48	48				<0,02	<0,021
	Sr-90	6	5	0,011	0,011		<0,0076	0,0079
	U-234	4	2	0,001	0,0056	0,0033	0,001	0,0029
	U-235	4	4				<0,00051	<0,00056
	U-238	4	2	0,00094	0,0053	0,0031	0,00094	0,0011
Bremen	K-40	8	4	0,84	1,6	1,2	<0,95	0,84
	Co-60	8	8				<0,05	<0,052
	I-131	8	0	0,069	0,31	0,23	0,24	0,23
	Cs-137	8	8				<0,055	<0,065
	Sr-90	4	3	0,0082	0,0082		<0,027	<0,019
	U-234	4	0	0,0021	0,0051	0,0036	0,0036	0,013
	U-235	4	2	0,00033	0,00042	0,00038	<0,00098	<0,0066
	U-238	4	0	0,0029	0,005	0,0035	0,0031	0,0085
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	29	0,5	2,6		<1,1	<1,2
	Co-60	40	40				<0,049	<0,053
	I-131	40	24	0,04	2,4		<0,13	<0,16
	Cs-137	40	39	0,12	0,12		<0,044	<0,053
	Sr-90	4	1	0,0038	0,061	0,042	0,061	0,02
	U-234	4	1	0,01	0,013	0,011	0,01	<0,0033
	U-235	4	4				<0,0031	<0,0027
	U-238	4	1	0,0055	0,0088	0,0075	0,0068	0,003
Hessen	K-40	20	19	0,67	0,67		<0,75	<0,98
	Co-60	20	20				<0,03	<0,039
	I-131	20	17	0,074	0,38		<0,1	<0,15
	Cs-137	20	20				<0,037	<0,037
	Sr-90	4	3	0,01	0,01		0,01	<0,039

Land	Nuklid	2011						2010
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/Einzelwert ¹	Median	Median
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Rheinland-Pfalz	K-40	20	10	0,49	3	1,4	0,72	0,83
	Co-60	20	20				<0,019	<0,027
	I-131	20	4	0,026	0,18	0,084	0,054	0,062
	Cs-137	20	20				<0,02	<0,025
	Sr-90	4	1	0,0019	0,0024	0,0022	0,0021	0,0018
	U-234	4	0	0,0017	0,02	0,014	0,017	0,012
	U-235	4	4				<0,0057	<0,028
	U-238	4	0	0,0018	0,019	0,013	0,015	0,011
Baden-Württemberg	K-40	73	7	0,21	0,79	0,45	0,46	0,5
	Co-60	73	73				<0,015	<0,018
	I-131	44	38	0,033	0,32		0,066	<0,039
	Cs-137	73	73				<0,013	<0,016
	Sr-90	4	4				<0,003	<0,002
	U-234	4	0	0,0027	0,014	0,006	0,0038	0,0012
	U-235	4	4				<0,00051	<0,00034
	U-238	4	0	0,0019	0,0084	0,0043	0,0034	0,001
Bayern	K-40	33	32	2	2		<1,5	<1,4
	Co-60	33	33				<0,091	<0,092
	I-131	33	27	0,23	0,35		0,26	<0,2
	Cs-137	33	33				<0,089	<0,09
	Sr-90	4	2	0,0032	0,004	0,0036	<0,0094	0,0038
	U-234	4	0	0,0053	0,019	0,011	0,01	0,013
	U-235	4	2	0,00037	0,00071	0,00054	<0,0044	0,0011
	U-238	4	0	0,0052	0,013	0,0094	0,0099	0,01
Saarland	K-40	8	0	0,45	1,1	0,76	0,76	0,71
	Co-60	8	8				<0,0075	<0,0097
	Cs-137	8	8				<0,0075	<0,01
	Sr-90	4	0	0,003	0,016	0,008	0,0066	0,0035
	U-234	4	0	0,0015	0,0044	0,0027	0,0025	0,0029
	U-235	4	4				<0,00029	<0,00021
	U-238	4	0	0,00092	0,0033	0,002	0,0018	0,0018
	Berlin	K-40	4	0	0,81	0,86	0,84	0,85
Co-60		4	4				<0,0016	<0,0013
I-131		4	4				<0,019	<0,017
Cs-137		4	3	0,0019	0,0019		<0,0019	<0,0016
Sr-90		4	0	0,002	0,0041	0,0028	0,0026	0,0025
U-234		4	0	0,0023	0,0051	0,0036	0,0036	0,0031
U-235		4	0	0,000096	0,00036	0,0002	0,00017	0,00018
U-238		4	0	0,0022	0,0053	0,0034	0,003	0,0031
Brandenburg	K-40	32	7	0,6	5	1,4	0,83	0,83
	Co-60	32	32				<0,021	<0,017
	I-131	32	18	0,03	0,73		<0,056	<0,068
	Cs-137	32	29	0,002	0,0029		<0,02	<0,017
	Sr-90	12	0	0,002	0,01	0,004	0,0036	0,0028
	U-234	12	1	0,0007	0,008	0,0029	0,002	0,0013
	U-235	12	6	0,000076	0,0006	0,00027	<0,00022	<0,0002
	U-238	12	1	0,0004	0,008	0,0025	0,0015	<0,001
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	0,2	1,1	0,66	0,64	0,7
	Co-60	20	20				<0,011	<0,01
	I-131	20	6	0,016	1,3	0,25	0,12	0,073
	Cs-137	20	20				<0,0078	<0,0075
	Sr-90	4	0	0,0026	0,023	0,0095	0,0061	<0,0032
	U-234	4	2	0,0084	0,01	0,0092	0,0084	<0,017
	U-235	4	4				<0,0032	<0,0055
	U-238	4	2	0,0077	0,015	0,011	0,0077	<0,013

Land	Nuklid	2011						2010
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Sachsen	K-40	20	7	0,51	1,7	0,8	0,77	0,76
	Co-60	20	20				<0,065	<0,068
	I-131	18	6	0,094	0,38	0,17	0,12	<0,083
	Cs-137	20	20				<0,06	<0,059
	Sr-90	4	3	0,008	0,008		<0,013	<0,013
	U-234	4	0	0,0036	0,021	0,014	0,015	0,012
	U-235	4	4				<0,0019	0,0022
	U-238	4	0	0,0029	0,019	0,012	0,013	0,012
Sachsen-Anhalt	K-40	20	3	0,31	1,8	0,77	0,7	0,53
	Co-60	20	20				<0,0097	<0,0097
	I-131	20	5	0,015	0,41	0,098	0,041	0,049
	Cs-137	20	20				<0,0097	<0,0095
	Sr-90	4	4				<0,055	<0,1
	U-234	4	0	0,0082	0,029	0,019	0,02	0,016
	U-235	6	1	0,0013	0,028	0,0076	<0,0015	<0,0006
	U-238	4	0	0,0068	0,37	0,085	0,017	0,014
Thüringen	K-40	20	12	0,92	2,5		1,1	<1,1
	Co-60	20	20				<0,069	<0,063
	I-131	20	15	0,16	0,96		<0,0194	<0,013
	Cs-137	20	20				<0,072	<0,069
	Sr-90	4	4				<0,0029	0,0036
	U-234	4	0	0,021	0,075	0,047	0,046	0,037
	U-235	4	2	0,0015	0,0038	0,0027	<0,002	<0,0022
	U-238	4	0	0,012	0,044	0,027	0,025	0,018
Bundesrepublik Deutschland	K-40	390	154	0,2	11	1,2	<0,75	<0,79
	Co-60	390	390				<0,027	<0,032
	I-131	351	195	0,015	2,4		0,098	<0,099
	Cs-137	390	385	0,0019	0,12		<0,024	<0,028
	Sr-90	74	34	0,00058	0,061	0,0077	0,0048	<0,0044
	U-234	65	11	0,0007	0,075	0,011	0,0051	0,0051
	U-235	67	46	0,000076	0,028		<0,00062	<0,001
	U-238	66	11	0,0004	0,37	0,015	0,0048	0,0043
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	56	150	91	84	74
	Co-60	20	20				<0,56	<0,6
	I-131	20	1	0,84	130	41	23	25
	Cs-134	20	20				<0,53	
	Cs-137	20	3	0,65	4,8	1,8	1,2	1,2
	Sr-90	4	0	2,9	3,9	3,3	3,3	3,1
	U-234	4	0	13	16	15	15	13
	U-235	4	4				<5	<5
Hamburg	K-40	8	0	91	540	290	270	290
	Co-60	8	8				<1,2	<1,1
	I-131	8	0	14	59	34	33	31
	Cs-134	8	8				<1,1	
	Cs-137	8	2	0,79	3,3	2	2,2	2,1
	Sr-90	4	0	0,94	1,4	1,1	1,1	1,2
	U-234	3	0	15	19	17	16	17
	U-235	3	0	0,71	3,6	1,7	0,76	0,74
U-238	3	0	14	17	15	15	16	

Land	Nuklid	2011						2010
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Niedersachsen	K-40	40	0	41	1000	240	94	99
	Co-60	40	39	2	2		<1,1	<0,39
	I-131	40	0	3,9	1500	180	62	83
	Cs-134	40					<0,95	
	Cs-137	40	7	0,84	8,9	2,6	1,7	1,9
	Sr-90	4	1	2,1	2,3	2,2	2,1	1,5
	U-234	4	0	13	32	23	23	22
	U-235	4	1	0,25	1,2	0,72	0,48	0,93
	U-238	4	0	12	26	19	19	19
Bremen	K-40	8	0	200	430	320	320	390
	Co-60	8	8				<2,1	<2,5
	I-131	8	0	16	160	73	56	81
	Cs-134	8	8				<2	
	Cs-137	8	5	2,4	3,3	2,8	2,8	3,5
	Sr-90	4	2	1,3	2,3	1,8	<1,7	<1,8
	U-234	4	0	15	18	17	17	13
	U-235	4	2	1	4,2	2,6	<2,5	<2,5
	U-238	4	0	10	17	13	13	11
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	0	48	480	190	120	120
	Co-60	40	40				<0,33	<0,3
	I-131	40	1	2,2	370	80	45	41
	Cs-134	40	35	0,3	1,4		0,4	
	Cs-137	40	2	0,94	8,8	3,4	2,7	2,7
	Sr-90	4	0	1,1	4,4	2,9	3,1	1,8
	U-234	4	0	36	44	41	42	40
	U-235	4	0	1,2	1,9	1,6	1,6	1,5
	U-238	4	0	28	38	33	33	30
Hessen	K-40	20	0	59	150	110	120	130
	Co-60	20	20				<0,92	<0,97
	I-131	20	1	3,6	200	50	29	46
	Cs-134	20	20				<0,92	
	Cs-137	20	6	1,5	5,7	3,1	<2	2,5
	U-234	4	0	27	150	85	82	96
	U-235	4	0	0,89	5,9	3,2	3	2,9
	U-238	4	0	21	100	58	56	64
	Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	100	240	170	180
Co-60		20	20				<0,61	<0,65
I-131		20	1	1,1	210	38	17	19
Cs-134		20	20				<0,63	
Cs-137		20	4	1,2	8,5	3,8	3,2	2,7
Sr-90		4	0	0,73	2,1	1,3	1,1	1,2
U-234		4	0	44	100	78	84	90
U-235		4	0	1,6	13	5,7	4,2	2,8
U-238		4	0	34	61	51	55	55
Baden-Württemberg	K-40	40	0	59	420	170	160	160
	Co-60	40	40				<0,43	<0,5
	I-131	40	100	2,5	680	70	13	17
	Cs-134	40	31	0,3	0,68		0,46	
	Cs-137	40	0	1,8	58	15	6,9	8,4
	Sr-90	2	0	1,3	1,6	1,5	1,5	1
	U-234	4	0	29	55	41	40	75
	U-235	4	1	0,96	2,5	1,8	2	2,8
	U-238	4	0	22	52	35	32	58
Baden-Württemberg (West ²)	Co-60	28	28				<0,39	<0,46
	Cs-137	28	0	1,8	58	8,7	5	4,5
	Sr-90	1	0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,2
Baden-Württemberg (Ost ³)	Co-60	12	12				<0,58	<0,57
	Cs-137	12	0	7,9	51	31	33	31
	Sr-90	1	0	1,3	1,3	1,3	1,3	1

Land	Nuklid	2011						2010
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Bayern	K-40	33	0	71	680	240	190	220
	Co-60	33	33				<1,7	<1,4
	I-131	33	3	4,3	210	48	38	40
	Cs-134	33	33				<1,5	
	Cs-137	33	4	3,2	85	15	7,4	7,5
	Sr-90	4	0	3	11	5,1	3,5	2,6
	U-234	4	0	27	120	73	72	33
	U-235	4	1	1,3	4,7	3,4	2,7	4
U-238	4	0	28	100	67	69	31	
Bayern (Nord ²)	Co-60	13	13				<2,1	<1,7
	Cs-137	13	4	3,2	7,7	5,3	4,7	5,2
	Sr-90	2	0	3,2	11	6,9	6,9	4
Bayern (Süd ³)	Co-60	20	20				<1,6	<1,3
	Cs-137	20	0	4	85	19	15	15
	Sr-90	2	0	3	3,7	3,3	3,3	2,6
Saarland	K-40	8	0	120	380	230	210	200
	Co-60	8	8				<0,36	<0,4
	I-131	8	0	1,5	56	19	20	11
	Cs-134	8	8				<0,35	
	Cs-137	8	0	1,1	10	4,9	4,5	3,7
	Sr-90	2	0	2	2,8	2,4	2,4	2,6
	U-234	4	0	57	100	71	63	65
	U-235	4	0	1,7	3	2,2	2,1	2,1
U-238	4	0	39	79	52	46	49	
Berlin	K-40	4	0	57	110	80	78	64
	Co-60	4	4				<0,87	<0,75
	I-131	4	0	88	160	120	110	72
	Cs-134	4	4				<0,85	
	Cs-137	4	2	1,4	1,8	1,6	1,5	0,76
	Sr-90	2	0	0,55	1,2	0,88	0,88	1,4
	U-234	2	0	17	18	17	17	14
	U-235	2	0	0,75	0,95	0,85	0,85	0,49
U-238	2	0	15	16	15	15	12	
Brandenburg	K-40	32	0	29	200	92	84	98
	Co-60	32	32				<0,28	<0,28
	I-131	32	1	4,2	350	79	40	50
	Cs-134	31	31				<0,34	
	Cs-137	32	0	0,63	6,4	1,7	1,3	1
	Sr-90	10	0	1	4	2,7	2,6	2
	U-234	10	0	8	50	31	26	20
	U-235	10	0	0,4	3	1,5	1,1	0,9
U-238	10	0	8	40	28	19	19	
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	52	160	110	110	120
	Co-60	20	20				<0,25	<0,23
	I-131	20	1	12	400	130	89	78
	Cs-134	20	17	0,11	0,24		<0,26	
	Cs-137	20	0	0,24	5,4	1,8	1,5	1,7
	Sr-90	4	0	1,9	18	9,9	9,9	3,1
	U-234	4	0	14	34	22	19	18
	U-235	4	0	0,58	1,4	1	1	1,2
U-238	4	0	14	33	21	18	16	
Sachsen	K-40	20	0	68	190	130	120	130
	Co-60	20	20				<0,54	<0,52
	Cs-134	20	19	0,21	0,21		<0,58	
	Cs-137	20	3	1	5,6	2,3	<1,7	2,3
	Sr-90	4	0	1	1,8	1,4	1,3	1,8
	U-234	4	0	71	160	110	100	63
	U-235	4	0	1,6	5,2	3,3	3,2	2,1
U-238	4	0	54	130	86	80	60	

Land	Nuklid	2011						2010
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/Einzelwert ¹	Median	Median
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	39	400	180	140	140
	Co-60	20	20				<0,22	<0,2
	I-131	20	0	0,62	220	41	15	3
	Cs-134	20	20				<0,21	
	Cs-137	20	0	0,88	8,4	2,9	1,9	2,1
	Sr-90	4	3	3,5	3,5		3,5	<5
	U-234	4	0	40	90	75	86	98
	U-235	17	1	1,9	7,6	4,6	4	4,5
U-238	19	0	23	150	80	68	69	
Thüringen	K-40	20	0	100	320	210	220	210
	Co-60	20	20				<0,42	<0,48
	I-131	20	3	0,99	220	70	36	44
	Cs-134	20	20				<0,46	
	Cs-137	20	0	0,95	4,5	2,3	2,1	2,4
	Sr-90	4	0	0,94	1,7	1,2	1,1	1,1
	U-234	4	0	53	120	72	59	84
	U-235	4	0	1,8	2,7	2	1,8	2,7
U-238	4	0	32	60	41	36	49	
Bundesrepublik Deutschland	K-40	353	0	29	1000	180	130	140
	Co-60	353	352	2	2		<0,54	<0,49
	I-131	333	22	0,62	1500	80	33	39
	Cs-134	352	334	0,11	1,4		<0,53	
	Cs-137	353	37	0,24	85	5,3	2,7	2,6
	Sr-90	60	6	0,55	18	2,9	2	<2
	U-234	67	0	8	160	49	36	34
	U-235	80	10	0,25	13	2,8	1,9	2
U-238	82	0	8	150	47	33	30	
Bundesrepublik Deutschland (Nord ²)	Co-60	321	320	2	2		<0,52	<0,45
	Cs-137	321	304	0,24	58	3,3	2,4	2,4
	Sr-90	57	6	0,55	18	2,9	1,9	1,8
Bundesrepublik Deutschland (Süd ³)	Co-60	32	32				<1,1	<0,99
	Cs-137	32	0	4	85	23	18	16
	Sr-90	3	0	1,3	3,7	2,7	3	2,5

¹ Liegen mehr als 50% der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert, der Maximalwert und der Median angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet. Beim Median dagegen gehen die Nachweisgrenzen in die Berechnung ein

² Nördlich bzw. westlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

³ Südlich bzw. östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

2.7 Abfälle (Waste)

Bezüglich allgemeiner Aspekte zur Radioaktivitätsüberwachung von Abfällen wird auf Teil A - II - 2.7 verwiesen. Unter dem Begriff „Abfälle“ werden an dieser Stelle nicht nur Abfälle (zur Beseitigung) sondern auch wieder verwertbare Reststoffe verstanden, da Abfälle je nach Art der Behandlung auch wieder einer Nutzung zugeführt werden können. Zu überwachen sind nach dem Messprogramm für den Normalbetrieb folgende Medien:

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

Die im Jahr 2011 von den amtlichen Messstellen der Bundesländer übermittelten und in der Leitstelle ausgewerteten Daten sind in Tabelle 2.7-1 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Cs-137, I-131, K-40 und H-3. Bei der Auswertung von Cs-137 wurde zwischen Probenahmeorten nördlich und südlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel unterschieden, da diese etwa die Grenze zwischen den durch den Unfall von Tschernobyl höher belasteten Gebieten in Bay-

ern und im südöstlichen Baden-Württemberg und den weniger belasteten Gebieten in der übrigen Bundesrepublik bildet. Da eine regionale Abhängigkeit für die sonstigen aufgeführten Radionuklide nicht besteht, wurden die Messwerte aus allen Ländern zusammengefasst ausgewertet.

Im **Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien** sind bei den höchsten Werten für Cs-137 anders als im Vorjahr noch Unterschiede zwischen dem nördlichen und dem südlichen Teil Deutschlands zu bemerken. Die Maximalwerte liegen bei 0,48 Bq/l bzw. 0,32 Bq/l (2010: 0,30 Bq/l bzw. 0,34 Bq/l), der Median für die gesamte Bundesrepublik beträgt 0,047 Bq/l (2010: 0,054 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,084 Bq/l bis 100 Bq/l, der Median bei 13 Bq/l (2010: 0,11 bis 72 Bq/l, Median: 16 Bq/l).

H-3 wurde in 78 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 5 Bq/l und 580 Bq/l (2010: 5,6 bis 220 Bq/l) gefunden.

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

Der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche/Filterstaub** liegt in den Gebieten südlich / östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel bei 310 Bq/kg TM (2010: 280 Bq/kg TM), für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt er bei 110 Bq/kg TM (2010: 71 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 31 Bq/kg TM bis 3200 Bq/kg TM, der Median bei 1000 Bq/kg TM (2010: 140 bis 3500 Bq/kg TM, Median: 1200 Bq/kg TM).

Co-60 wurde in sehr geringer spezifischer Aktivität in einer Probe aus der MVA Büddenstedt (Niedersachsen, 0,58 Bq/kg TM) gemessen (2010: Nieders.: 0,30 Bq/kg TM und Rheinland-Pfalz: 1,1 Bq/kg TM).

In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,3 Bq/kg TM bis 39 Bq/kg TM (2010: 0,28 bis 640 Bq/kg TM) nachgewiesen werden.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt die maximale Aktivität von Cs-137 nördlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel 40 Bq/kg TM (2010: 37 Bq/kg TM). Der gemessene Wert südlich/östlich liegt bei 14 Bq/kg TM (2010: 9,5 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 36 Bq/kg TM bis 1700 Bq/kg TM (2010: 60 bis 1600 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,65 Bq/kg TM bis 41 Bq/kg TM (2010: 0,48 bis 43 Bq/kg TM) mitgeteilt.

Auch in einer Probe Rohschlacke aus der o.g. MVA wurden Spuren von Co-60 (0,48 Bq/kg TM) festgestellt (2010: 0,33 Bq/kg TM).

Bei den **festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** (Gips und Sorptionsprodukte) liegt der Median des Cs-137-Gehaltes für die Gebiete südlich/östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel bei 44 Bq/kg TM (2010: 27 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie konnte in 69 % der untersuchten Proben Cs-137 nachgewiesen werden, bei einem Median von 2 Bq/kg TM (2010: 2,2 Bq/kg TM).

Die K-40-Messwerte liegen im Bereich von 3,1 Bq/kg TM bis 1800 Bq/kg TM (2010: 3,1 bis 1600 Bq/kg TM) mit einem Median von 100 Bq/kg TM (2010: 120 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,27 Bq/kg TM bis 520 Bq/kg TM (2010: 0,37 bis 1100 Bq/kg TM) ermittelt.

Bei den **flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** liegen die ermittelten Wert für Cs-137 im Bereich von 0,067 Bq/l bis 1,4 Bq/l, in den höher belasteten Gebieten unterhalb der gefundenen Nachweisgrenze (2010: ebenfalls alle Werte kleiner Nachweisgrenze), für das Gebiet der Bundesrepublik wurde ein Median von <0,081 Bq/l (2010: <0,092 Bq/l) berechnet.

I-131 wurde in 25 von 28 untersuchten Proben mit Werten zwischen 0,27 Bq/l und 1300 Bq/l (2010: 0,19 und 1300 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 3,1 Bq/l (2010: 7,4 Bq/l). Dabei stammen die Proben mit den höchsten I-131-Werten aus dem Ablauf der Schwermetallfällung bei nasser Rauchgaswäsche.

Die Untersuchung des **Kompostes** ergab für die spezifische Aktivität des Cs-137 südlich/östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel Werte von 15 Bq/kg TM bis 52 Bq/kg TM (2010: 22 bis 48 Bq/kg TM) mit einem Median von 30 Bq/kg TM (2010: 39 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 2 Bq/kg TM und 19 Bq/kg TM (2010 1,9 bis 14 Bq/kg TM), der Median liegt bei 6,1 Bq/kg TM (2010: 5,8 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 290 Bq/kg TM bis 750 Bq/kg TM, der Median bei 480 Bq/kg TM (2010: 200 bis 980 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. Die spezifische Cs-137-Aktivität des Kompostes liegt in der gleichen Größenordnung wie die von Boden, der durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kontaminiert und danach spatentief umgegraben wurde. Bei einer Aufbringung von Kompost auf Gartenflächen wird bei Verwendung üblicher Kompostmengen die Kontamination nur geringfügig erhöht. Wegen des niedrigen Transfers von Cäsium über die Wurzel in die Pflanzen ist die resultierende zusätzliche Cs-Aktivität in gärtnerischen Produkten für die Strahlenexposition der Bevölkerung ohne Bedeutung.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Gehalt an Cs-137 in Abfällen oft noch durch den Fallout nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl bestimmt wird, was durch die höheren Werte im südlichen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gegenüber den anderen Gebieten zum Ausdruck kommt.

Tabelle 2.7-1 Überwachung von Abfällen im Jahr 2011
(Monitoring of wastes in the year 2011)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel- ¹ einzelwert	Median	Median 2010
Sickerwasser (Bq/l)								
Nord ²	Cs-137	58	31	0,0058	0,48		0,04	<0,047
Süd ³	Cs-137	6	0	0,09	0,32	0,17	0,14	0,11
Alle Länder	K-40	64	7	0,084	100	19	13	16
	H-3	64	14	5	580	61	20	23
Flugasche / Filterstaub (Bq/kg TM)								
Nord ²	Cs-137	43	1	0,39	110	20	15	15
Süd ³	Cs-137	3	0	170	310	250	290	260
Alle Länder	K-40	46	0	31	3200	1200	1000	1200
	Co-60	46	45			0,58	<0,27	<0,81
	I-131	42	22	0,3	39		0,88	<1,3
Schlacke (Bq/kg TM)								
Nord ²	Cs-137	63	2	0,16	40	3,2	1,5	1,2
Südl ³	Cs-137	3	0	7,5	14	10	9,6	6,8
Alle Länder	K-40	66	0	36	1700	360	290	280
	Co-60	66	65			0,48	<0,2	<0,16
	I-131	60	54	0,65	41		<0,34	<0,27
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)								
Nord ²	Cs-137	39	12	0,23	38	14	2	2,2
Süd ³	Cs-137	3	0	4,9	110	54	44	27
Alle Länder	K-40	42	5	3,1	1800	530	100	120
	I-131	40	10	0,27	520	64	3,5	3,1
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)								
Nord ²	Cs-137	26	19	0,067	1,4		<0,079	<0,092
Süd ³	Cs-137	2	2				<0,11	<0,097
Alle Länder	K-40	28	8	0,64	46	11	4	5,0
	I-131	28	3	0,27	1300	110	3,1	7,4
Kompost (Bq/kg TM)								
Nord ²	Cs-137	70	0	2	19	6,5	6,1	5,8
Süd ³	Cs-137	4	0	15	52	32	30	39
Alle Länder	K-40	74	0	290	750	480	480	490

- 1 Liegen mehr als 50 % der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert und der Maximalwert und der Median angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet. Beim Median dagegen gehen die Nachweisgrenzen in die Berechnung ein.
- 2 Nördlich zw. westliche der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel
- 3 Südlich bzw. östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

2.8 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 2.8-1 und 2.8-2 zusammengefasst und in den Abbildungen 2.8-1 bis 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 2.8-5 und 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.

Tabelle 2.8-1 Jahres- und Monatsmittelwerte 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 Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Personen	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	53	1,13	282	56	0,9
Monatsmittelwerte für 2011						
Januar	24	53	1,2	19	53	1,0
Februar	32	58	1,1	26	60	0,9
März	32	56	1,1	32	56	1,0
April	30	51	1,1	26	56	0,9
Mai	30	54	1,2	25	56	0,9
Juni	24	50	1,1	27	56	0,9
Juli	26	51	1,1	20	55	0,9
August	25	53	1,2	23	55	0,9
September	30	51	1,1	23	55	0,9
Oktober	12	50	1,1	14	53	1,0
November	24	49	1,2	19	54	0,9
Dezember	33	52	1,1	28	58	0,9

**Tabelle 2.8-2 Jahres- und Monatsmittelwerte für den Raum Karlsruhe
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)**

Messstelle: Forschungszentrum Karlsruhe

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Personen	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
Monatsmittelwerte für 2011						
Januar	5	46	0,07	6	69	0,09
Februar	7	48	0,03	7	66	0,10
März	6	51	0,14	9	67	0,18
April	8	48	0,14	6	69	0,09
Mai	6	48	0,08	8	66	0,06
Juni	2	41	0,04	6	61	0,05
Juli	5	45	0,06	8	65	0,05
August	5	46	0,11	9	64	0,09
September	7	47	0,14	9	62	0,11
Oktober	6	45	0,07	8	65	0,14
November	8	46	0,18	9	62	0,10
Dezember	5	48	0,12	6	60	0,09

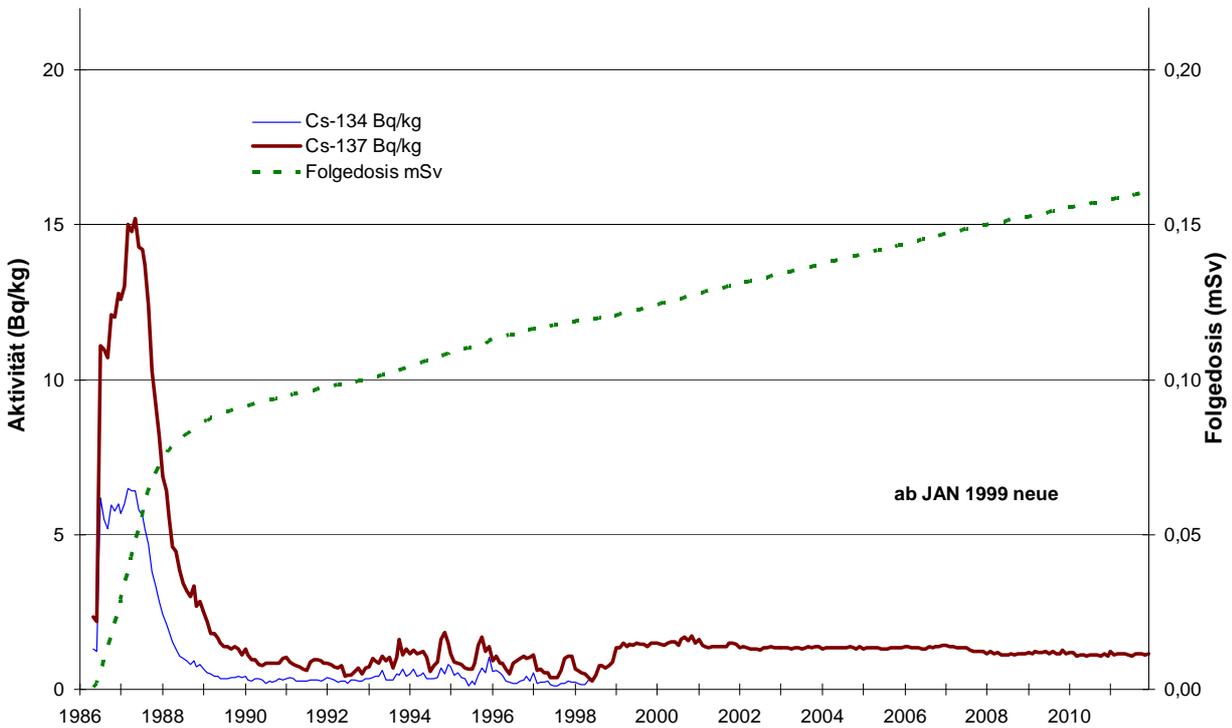


Abbildung 2.8-1 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: BfS-München, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: BfS Munich, women)*

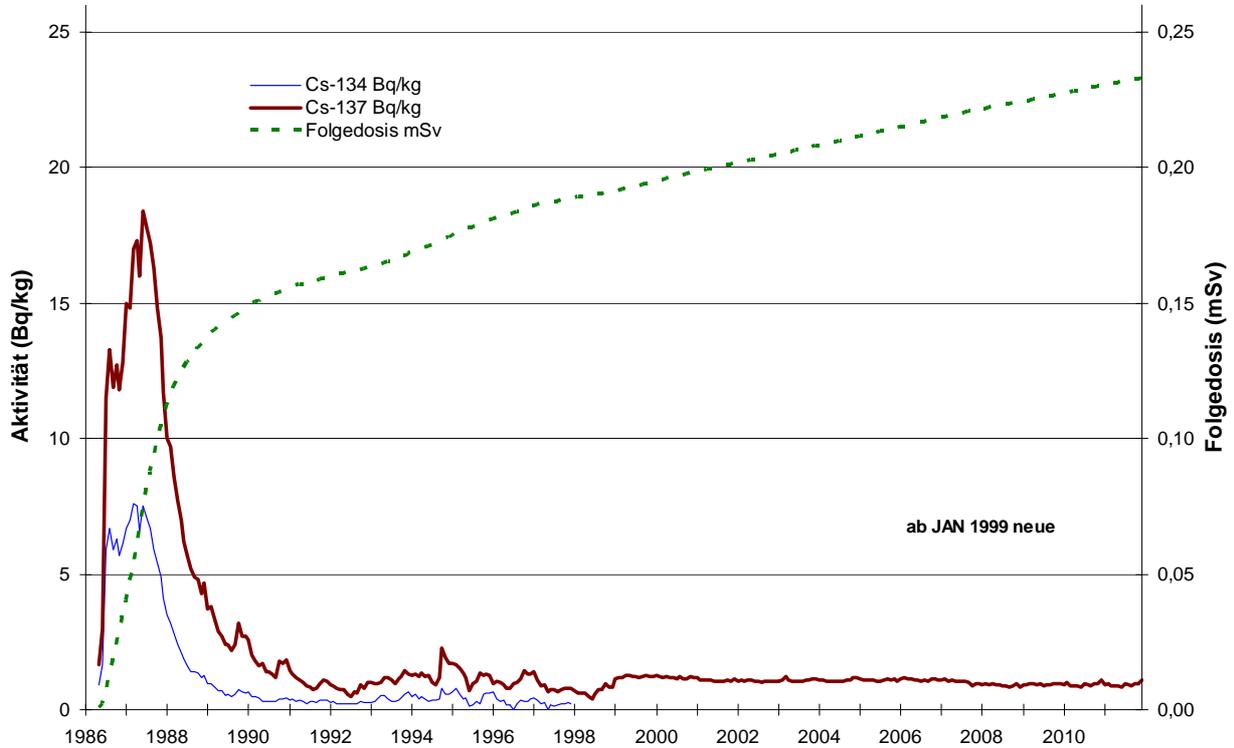


Abbildung 2.8-2 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: BfS-München, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: BfS Munich, men)*

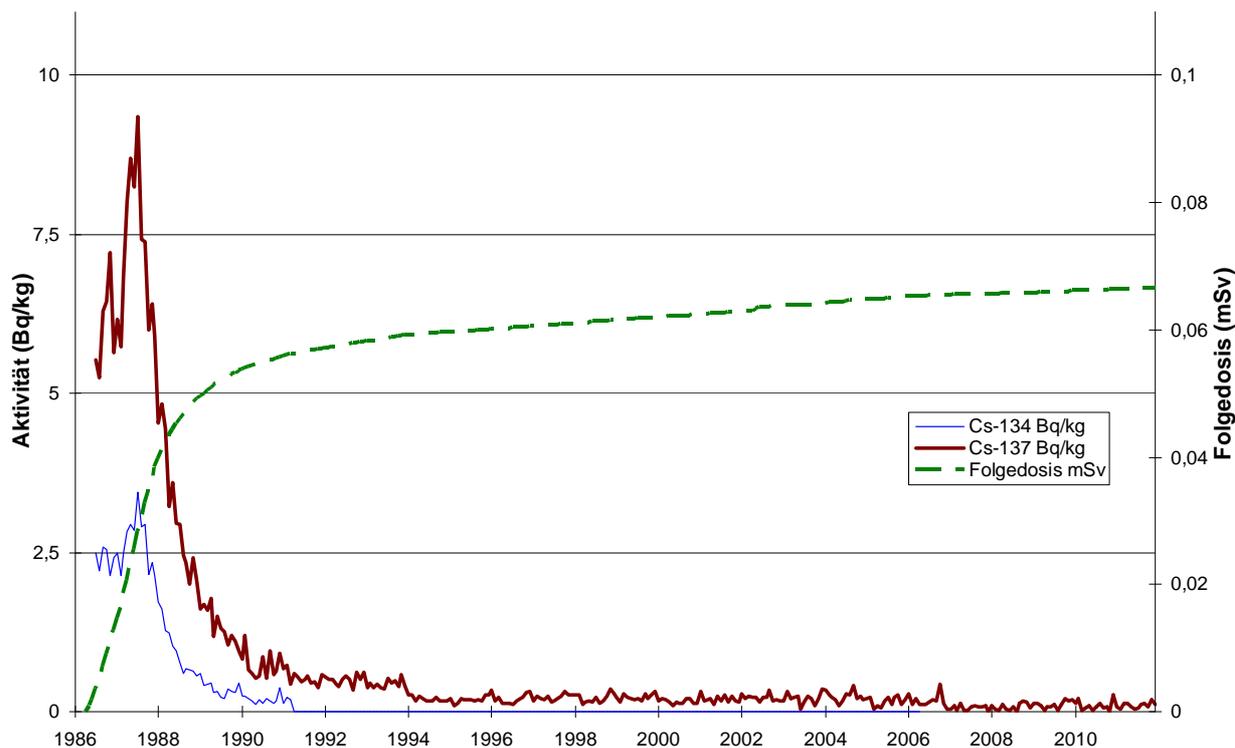


Abbildung 2.8-3 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: Karlsruhe, women)*

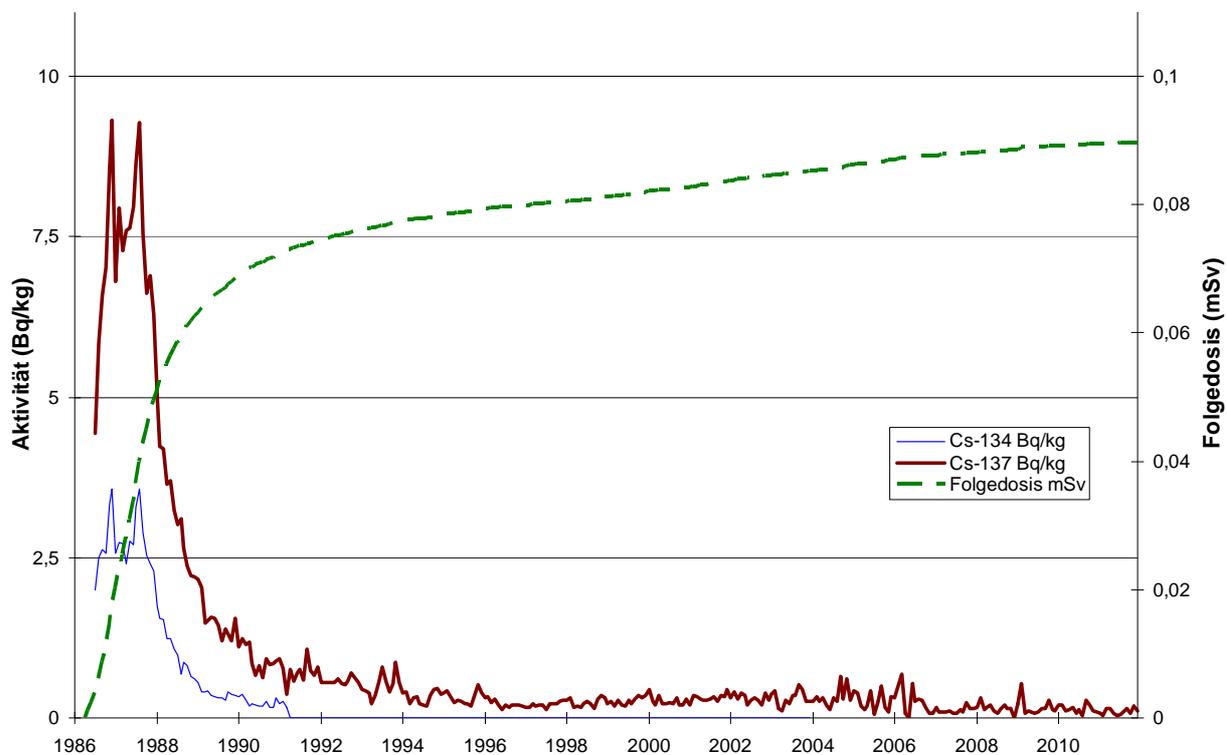


Abbildung 2.8-4 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: Karlsruhe, men)*

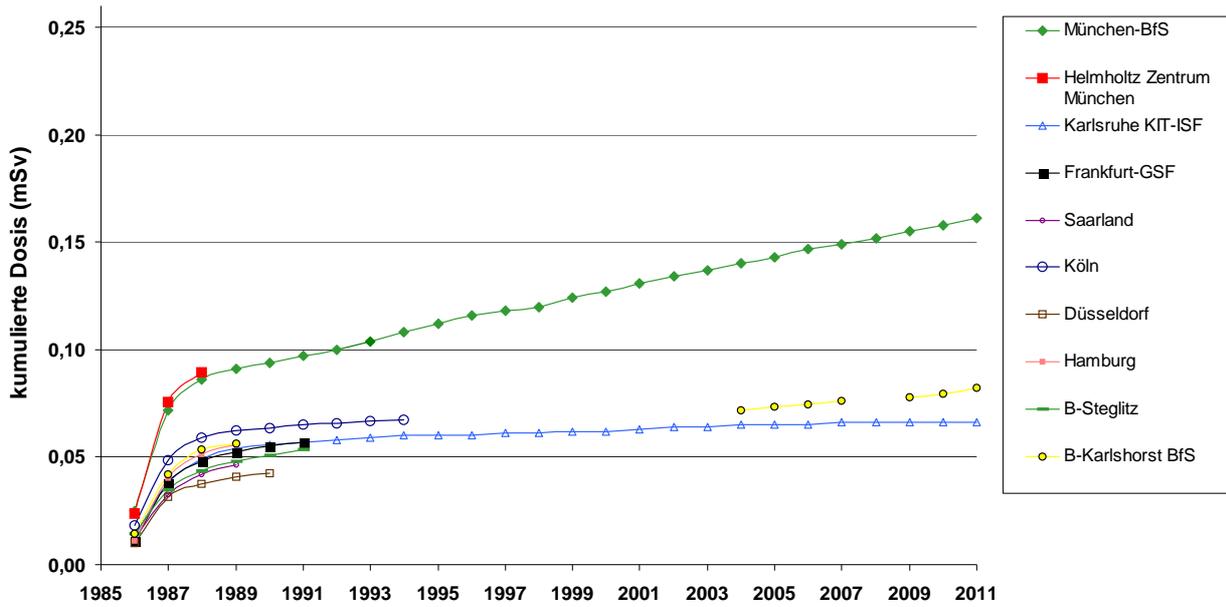


Abbildung 2.8-5 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Frauen
(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
Comparison of reference groups: women)

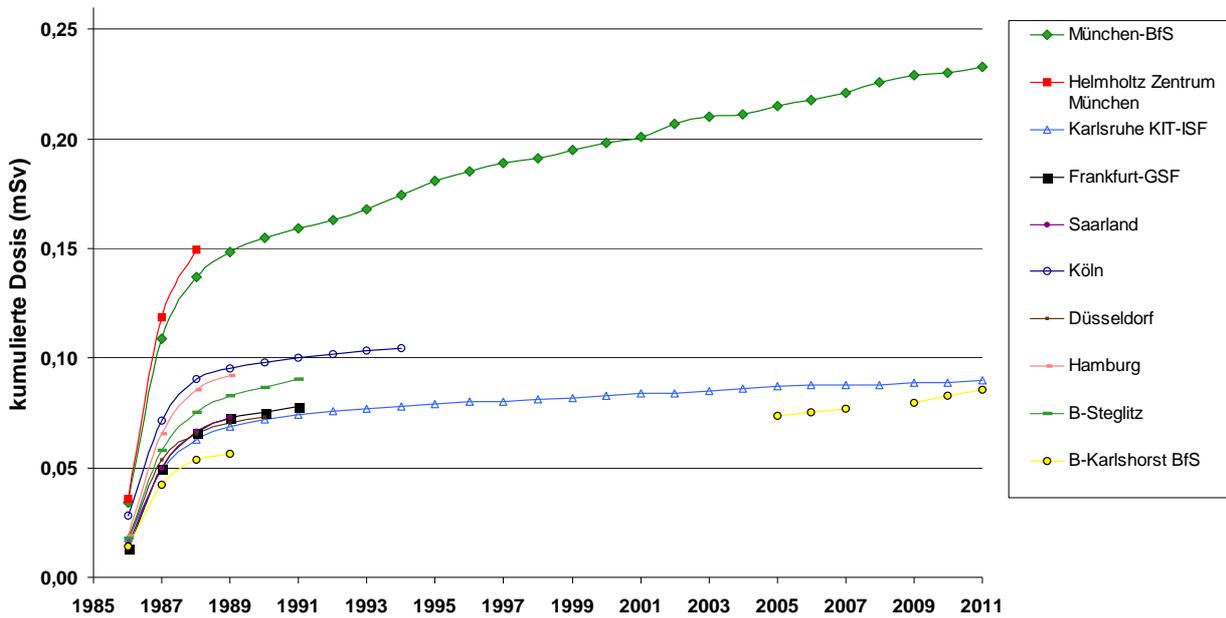


Abbildung 2.8-6 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Männer
(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
Comparison of reference groups: men)

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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) - besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Nicht immer führt die Ausgabe eines Dosimeters an eine überwachte Person zu einer Dosisermittlung durch eine Messstelle (Dosimeter gehen verloren oder werden beschädigt, Filmplaketten werden falsch eingelegt oder außerhalb der Kassette bestrahlt, u. a. m.). Wenn aus solchen Gründen die zuständige Messstelle für eine Person im Überwachungszeitraum keine Dosis ermitteln kann, dann teilt sie dies der zuständigen Aufsichtsbehörde mit. Diese kann dann anhand definierter Kriterien und unter Berücksichtigung der Expositionsumstände eine amtliche Ersatzdosis festsetzen. Es kommt auch vor, dass nach einer Dosisfeststellung eine Nachprüfung der Expositionsumstände veranlasst wird, weil z. B. die Überprüfungsschwelle von 5 mSv überschritten wurde (z. B.: Arbeitskittel mit Dosimeter hing im Röntgenraum und sein Besitzer war im Urlaub, Dosimeter wurde absichtlich im Direktstrahl bestrahlt). Auch in diesen Fällen, in denen der festgestellte Dosiswert keine Personendosis, sondern eine Ortsdosis ist, wird von der Aufsichtsbehörde eine Ersatzdosis festgesetzt. Sofern in solchen Fällen Ersatzdosiswerte festgesetzt und dem Strahlenschutzregister mitgeteilt wurden, sind sie in Angaben der Tabellen und Grafiken berücksichtigt.

Die Gesamtzahl der überwachten Personen und der Betriebe, in denen beruflich strahlenexponierte Personen arbeiten, ist der Tabelle 1.1-1 zu entnehmen. Da 78 % der überwachten Personen im Bereich der Medizin tätig sind, ist in dieser Tabelle der Anteil des Arbeitsbereiches „Medizin“ gesondert ausgewiesen.

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 2011 von 7 Personen überschritten. Bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten sind dies 0,002 % (Tabelle 1.1-2).

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 sind bereits subtrahiert. In der Tabelle 1.1-3 ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die Anzahl von Personen angegeben, für die während des ganzen Jahres die Personendosis unterhalb der Erkennungsgrenze lag, bzw. Jahrespersonendosen zwischen 0,1 und 0,2 mSv, zwischen 0,2 und 0,4 mSv usw. registriert wurden. 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 19 % aller mit Personendosimetern überwachten Personen.

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 2011 für die Hände bei ca. 22 000 Personen durchgeführt. Von diesen 22 000 Überwachten wiesen ca. 6000 Personen Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv auf (untere Erkennungsgrenze für Teilkörperdosimeter). Im Jahr 2011 kam es zu zwei Überschreitungen von Grenzwerten für die Teilkörperdosis.

Tabelle 1.1-4 enthält Zeitreihen über die mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis im Jahr 2011 betrug 0,11 mSv. Die gegenüber dem nichtmedizinischen Bereich niedrigeren Mittelwerte des medizinischen Bereichs sind im Wesentlichen auf den höheren Anteil an Personen zurückzuführen, die zwar regelmäßig überwacht werden, aber keiner Strahlenexposition ausgesetzt sind. Bildet man den Mittelwert über jene Personen, die einer messbaren Strahlenexposition ausgesetzt waren (ca. 66 000 Personen), so ergibt sich für diese Gruppe der Exponierten eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,58 mSv (Vorjahr: 0,66 mSv).

Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister gemeldeten gültigen Personendosiswerte im Kalenderjahr. Im Jahr 2011 betrug die Jahreskollektivdosis aller überwachten Personen 38 Personen-Sv (Vorjahr 40 Personen-Sv).

Tabelle 1.1-1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2011
 (Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich)
(Monitoring with official personal dosimeters in the year 2011)
 (Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

Bundesland	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Baden-Württemberg	46 885	33 861	2756	2143
Bayern	65 763	48 813	4064	3342
Berlin	16 925	12 707	956	739
Brandenburg	6934	5872	480	360
Bremen	3595	3205	221	163
Hamburg	10 762	7605	536	418
Hessen	27 467	20 105	1565	1242
Mecklenburg-Vorpommern	5834	4346	345	264
Niedersachsen	32 179	25 626	2263	1830
Nordrhein-Westfalen	74 620	60 617	4931	4098
Rheinland-Pfalz	16 389	13 956	992	836
Saarland	4839	4510	378	328
Sachsen	13 950	11 466	880	630
Sachsen-Anhalt	8248	6898	511	367
Schleswig-Holstein	12 247	9365	770	648
Thüringen	6917	6462	379	326
Bundeswehr	1439	1212	52	38
Gesamtzahl 2011*	348 949	272 630	22 011	17 732
Anteil Medizin		78 %		81 %
Gesamtzahl 2010**	341 223	264 005	22 246	17 882
Anteil Medizin		77 %		80 %
Änderung gegenüber 2010	2,3 %	3,3 %	-1,1 %	-0,8 %

* Die Summen über die einzelnen Bundesländer sind größer als die Gesamtzahl der überwachten Personen bzw. Betriebe, da eine Person in mehreren Bundesländern arbeiten kann

** Abweichungen der Angaben gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

Tabelle 1.1-2 Anzahl der Personen mit Jahrespersonendosen oberhalb von 20 mSv im Jahr 2011
 (Number of persons with annual personal doses above 20 mSv in the year 2011)

Bundesland	Anzahl der Jahrespersonendosen >20 mSv/Jahr Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nichtmedizin
Baden-Württemberg	1		1
Bayern	2		2
Berlin	1		1
Brandenburg			
Bremen			
Hamburg	1		
Hessen		1	
Mecklenburg-Vorpommern			
Niedersachsen			
Nordrhein-Westfalen			
Rheinland-Pfalz	2		
Saarland			
Sachsen			2
Sachsen-Anhalt			
Schleswig-Holstein			
Thüringen			
Gesamtzahl 2011*	7	1	6
Bezogen auf Überwachtenzahl 2011	0,002 %	0,0004 %	0,008 %
Gesamtzahl 2010**	3	1	2
Bezogen auf Überwachtenzahl 2010	0,001 %	0,0004 %	0,003 %

* Die Summen über die einzelnen Bundesländer sind größer als die Gesamtzahl der überwachten Personen bzw. Betriebe, da eine Person in mehreren Bundesländern arbeiten kann

** Abweichungen der Angaben gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

Tabelle 1.1-3 Verteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 2011
(Distribution of the annual personal doses in the year 2011)

Dosis H in mSv	Gesamt*		Medizin		Nichtmedizin	
	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %
H=0	282 547	81 %	224 380	82 %	58 604	76 %
0<H≤0,2	36 905	92 %	29 632	93 %	7367	86 %
0,2<H≤0,4	10 725	95 %	8119	96 %	2629	89 %
0,4<H≤0,6	5052	96 %	3592	97 %	1471	91 %
0,6<H≤0,8	3048	97 %	2050	98 %	1004	92 %
0,8<H≤1,0	2161	98 %	1403	99 %	763	93 %
1<H≤2	4727	99 %	2514	< 100 %	2227	96 %
2<H≤4	2420	< 100 %	774	< 100 %	1653	98 %
4<H≤6	740	< 100 %	92	< 100 %	649	99 %
6<H≤8	319	< 100 %	34	< 100 %	285	< 100 %
8<H≤10	179	< 100 %	22	< 100 %	158	< 100 %
10<H≤15	110	< 100 %	15	< 100 %	96	< 100 %
15<H≤20	9	< 100 %	2	< 100 %	7	< 100 %
H>20	7	100 %	1	100 %	6	100 %
Gesamt *	348 949		272 630		76 919	

* Die Summe aus Medizin und Nichtmedizin ist größer als die Gesamtanzahl, da eine Person in beiden Bereichen arbeiten kann

Tabelle 1.1-4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(Mean annual personal dose and annual collective dose of the persons monitored with personal dosimeters)

Jahr	Gesamt		Medizin		Nichtmedizin	
	Mittl. Jahres- dosis pro Person in mSv	Jahres- kollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahres- dosis pro Person in mSv	Jahres- kollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahres- dosis pro Person in mSv	Jahres- kollektivdosis in Personen-Sv
2001	0,14	44	0,07	16	0,36	27
2002	0,15	48	0,07	18	0,41	30
2003	0,14	44	0,07	17	0,37	27
2004	0,14	42	0,07	16	0,35	26
2005	0,15	46	0,07	17	0,39	29
2006	0,13	41	0,07	17	0,33	24
2007	0,14	46	0,07	18	0,38	28
2008	0,14	46	0,08	19	0,36	27
2009	0,13	43	0,06	15	0,37	29
2010	0,12	40	0,06	17	0,30	23
2011	0,11	38	0,07	18	0,27	20

Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen seit 1986 ist in Abbildung 1.1-1 dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Anzahl der Personen mit Jahresdosen über 20 mSv dargestellt. Abbildung 1.1-2 zeigt die Jahreskollektivdosis in den Arbeitsbereichen Medizin und Nichtmedizin über den Zeitraum von 1986 - 2011. Bis einschließlich 1998 basieren die Statistiken auf den aggregierten Daten der Messstellen. Bis dahin entspricht der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen, da Arbeitskräfte die bei einem Arbeitsplatzwechsel auch die Messstelle wechselten mehrfach gezählt wurden. Seit dem Jahr 1999 werden durch die personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen vermieden. Deshalb sind im Vergleich zu den Vorjahren die Personenzahlen niedriger.

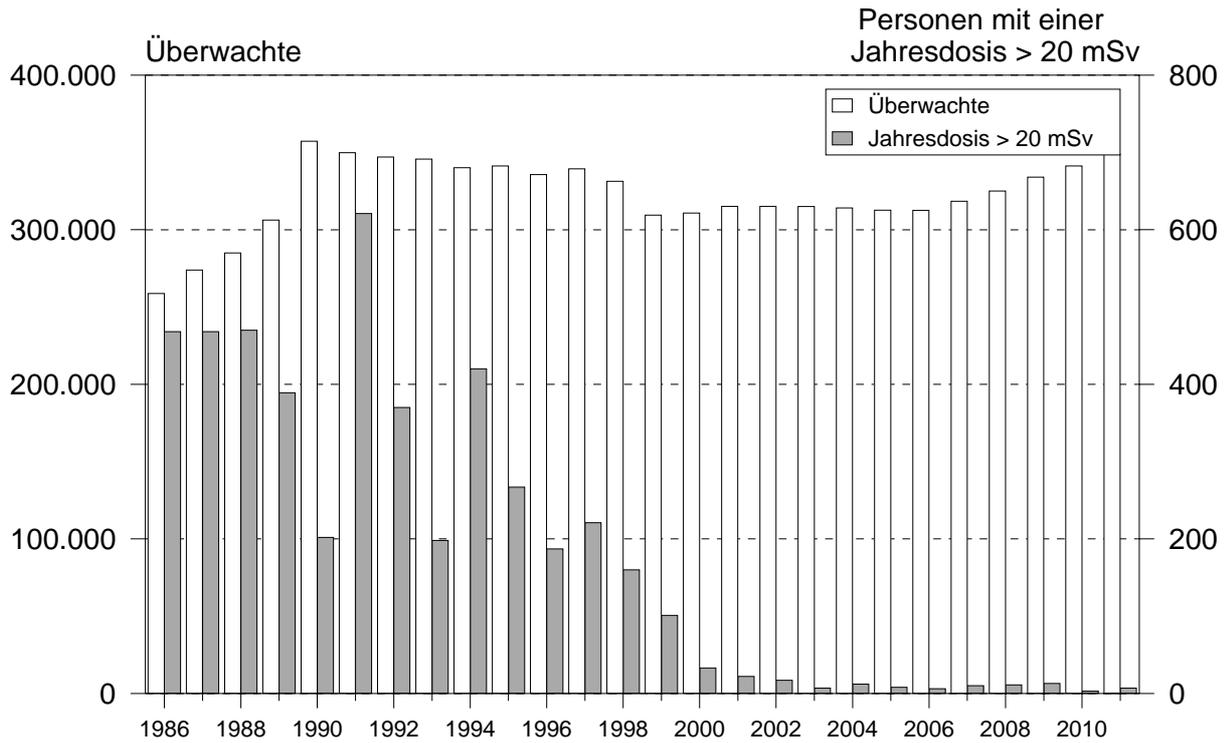


Abbildung 1.1-1: Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen und der Personen mit Jahresdosen von mehr als 20 mSv (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)
(Number of persons monitored with dosimeters and persons with annual personal doses above 20 mSv - as from 1990 including the new federal states)

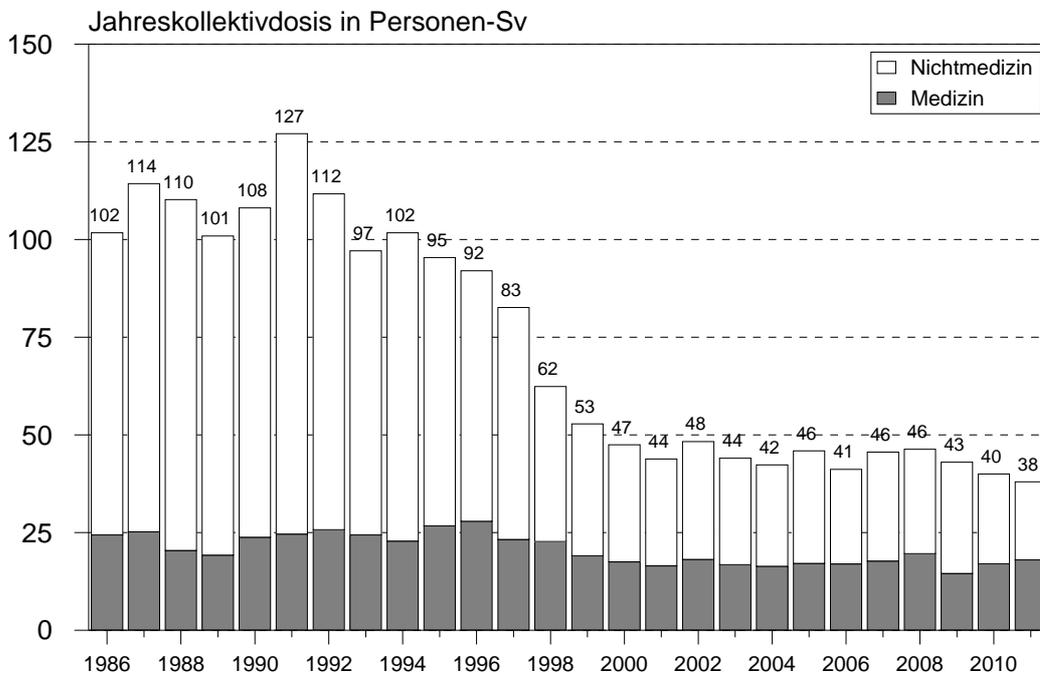


Abbildung 1.1-2: Jahreskollektivdosis in medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereichen (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)
(Annual collective dose in medical and non-medical work sectors - as from 1990 including the new federal states)

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. Grundlage für die folgende Übersicht sind regelmäßige Erhebungen über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen durch das BMU und die zuständigen obersten Landesbehörden sowie Erhebungen der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS). Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung) und für die Forschungsreaktoren geben die Tabellen 1.2-1 bis 1.2-2 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie deren Jahreskollektivdosis. Schwankungen bei der Jahreskollektivdosis hängen überwiegend mit Änderungen bei der Anzahl des eingesetzten Fremdpersonals zusammen. In den Jahren mit vermehrten Revisionen wird verstärkt Fremdpersonal eingesetzt, das dosisintensive Wartungsarbeiten durchführt. Jahrespersonendosen von mehr als 20 mSv traten 2011 bei Beschäftigten in Kernkraftwerken und sonstigen kerntechnischen Anlagen nicht auf.

In den Tabellen 1.2-1 bis 1.2-2 ist die Jahreskollektivdosis nur für Photonen angegeben, da die Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahler nur in wenigen Fällen von Bedeutung sind. Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen.

**Tabelle 1.2-1 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation of light water reactors)**

Jahr**	Zahl der Anlagen	Erzeugte Energie [TWh]	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis durch Photonen in Personen-Sv	
			Gesamt	davon Fremdpersonal	Gesamt	davon Fremdpersonal
2001	19	171	28 105	21 861	20	17
2002	19	165	28 626	21 738	21	18
2003	19	165	28 677	22 384	19	17
2004	18	167	28 777	22 972	18	15
2005	18	163	30 222	24 118	21	18
2006	17	167	25 664	21 163	17	15
2007	17	141	26 761	22 200	17	15
2008	17	149	24 835	20 268	14	12
2009	17	135	26 619	21 945	17	16
2010	17	141	27 666	22 958	13	11
2011	17	108	27 700	22 900	12	11

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

**Tabelle 1.2-2 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb und der Stilllegung von Forschungsreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation and decommissioning of research reactors)**

Jahr**	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis durch Photonen in Personen-Sv	
		Gesamt	davon Fremdpersonal	Gesamt	davon Fremdpersonal
2001	10	2234	1270	0,9	0,5
2002	9	1746	907	0,4	0,3
2003	10	1986	1043	0,3	0,3
2004	10	2215	1278	0,3	0,2
2005	10	2331	1359	0,2	0,1
2006	10	2413	1322	0,3	0,1
2007	10	2506	1454	0,3	0,1
2008	10	2542	1486	0,3	0,1
2009	10	2543	1485	0,3	0,1
2010	10	2550	1500	0,3	0,1
2011	10	2500	1500	0,3	0,1

Daten: Stand Juni 2012

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

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 Luftfahrtpersonal, 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.

In Deutschland wurden im Jahr 2011 39 201 Personen (Vorjahr: 37 282) überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis betrug 2,1 mSv (Vorjahr 2,3 mSv). Der höchste Jahrespersonendosiswert liegt bei 6,5 mSv. Die Verteilung ist in Tabelle 2-1 wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2011 beträgt ca. 83 Personen-Sv. Das fliegende Personal zählt bezüglich der Kollektivdosis und der mittleren Jahresdosis zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen Deutschlands. Auch die Form der Dosisverteilung ist nicht mit anderen Berufsgruppen vergleichbar.

Tabelle 2-1 Verteilung der effektiven Jahresdosis des fliegenden Personals im Jahr 2011
(Distribution of the annual effective dose of aircraft crews in the year 2011)

Dosis E in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
E=0	278	1 %
0 <E≤0,5	2674	8 %
0,5 <E≤1,0	3334	16 %
1,0 <E≤2,0	11 934	46 %
2,0 <E≤3,0	12 397	78 %
3,0 <E≤4,0	7133	96 %
4,0 <E≤5,0	1354	< 100 %
5,0 <E≤6,0	93	< 100 %
6,0 <E≤10,0	4	100 %
E>10,0	0	100 %
Gesamt	39 201	

Tabelle 2-2 Anzahl des fliegenden Personals sowie mittlere effektive Jahresdosis und Jahreskollektivdosis
(Number of aircraft crew personnel including mean annual effective dose and annual collective dose)

Jahr**	Anzahl der Personen	Mittlere effektive Jahresdosis in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv
2004	29 849	2,0	58
2005	31 225	2,0	62
2006	32 549	2,2	71
2007	35 028	2,3	80
2008	37 116	2,3	86
2009	36 624	2,4	86
2010	37 282	2,3	86
2011	39 201	2,1	83

Daten: Stand Juni 2012

** Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen

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

An 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 fest-

gestellt, 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 Uranzerfallsreihe und die durch Gammastrahlung verursachte 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 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 2011 dem Strahlenschutzregister im Bundesamt für Strahlenschutz für 260 Personen (Vorjahr: 285 Personen) Dosiswerte übermittelt. Von diesen Personen führten 182 Personen Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH aus. Die Kollektivdosis der 260 Beschäftigten betrug 0,5 Personen-Sv, die mittlere Jahrespersonendosis 1,9 mSv (Vorjahr: 2,4 mSv). 255 Beschäftigte wiesen eine messbare Jahrespersonendosis auf. Im Jahr 2011 gab es in einem Besucherbergwerk zwei Überschreitungen (2010: eine Überschreitung) des Grenzwertes von 20 mSv. Der höchste Wert der effektiven Jahresdosis betrug 45 mSv (Vorjahr: 26 mSv). Bei 7 Beschäftigten wurde eine effektive Jahresdosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Bei den Beschäftigten der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der effektiven Jahresdosis 1,5 mSv, der höchste Jahrespersonendosiswert lag bei 4,4 mSv (Vorjahr: Mittel 1,5 mSv, Maximum 4,4 mSv).

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. Im Jahr 2002 begannen behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister. Von den meldenden Messstellen wurden im Jahr 2011 1321 Personen überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,01 Personen-Sv. Die höchste Jahrespersonendosis infolge von Inkorporation betrug 3,1 mSv. In Tabelle 4-1 sind die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung zusammengefasst.

Tabelle 4-1 Verteilung der effektiven Jahresdosis durch Inkorporation im Jahr 2011
(*Distribution of the annual effective doses due to incorporation in the year 2011*)

Dosis E durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
E=0	1254	95 %
0 <E≤0,2	53	99 %
0,2 <E≤1,0	10	< 100 %
1,0 <E≤6,0	4	100 %
6,0 <E≤20,0	0	100 %
E>20,0	0	100 %
Gesamt	1321	

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*)

Für die Auswertung wurden aktuelle Erhebungen zur Untersuchungspraxis bei der Computertomographie in Deutschland sowie die Ergebnisse vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich, Erhebung zur Differenzierung von nicht eindeutig definierten Leistungsziffern, sog. Sammelpositionen; siehe Teil A), sowie die aktuelle Literatur berücksichtigt. Durch den Zugewinn neuer Erkenntnisse erhöhte sich im Laufe der Zeit die Genauigkeit der Schätzungen zu Häufigkeit und Dosis von Röntgenanwendungen. Da ursprünglich vereinfachende und teilweise sehr konservative Annahmen nunmehr sukzessive durch realistischere Schätzungen ersetzt wurden, können sich im Vergleich zu den Abschätzungen in den Vorjahresberichten geringfügig abweichende Werte ergeben. Hierbei ist zu beachten, dass die jährlichen Modellanspassungen stets auch auf die Vorjahresdaten angewendet werden, um zeitliche Trends sicherer beurteilen zu können. Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis bzw. der mittleren effektiven Dosis pro Kopf wird über den betrachteten Zeitraum bis einschließlich 2006 für konventionelle Röntgenuntersuchungen jeweils eine konstante Einzeldosis pro Untersuchungsart angenommen. Angesichts der großen Variabilitäten zwischen verschiedenen Anwendern von Röntgenstrahlung stellt dies nach den bisherigen Erfahrungen ein sinnvolles Prozedere dar. Für CT-Untersuchungen wurde ein Modell verwendet, welches eine variable Dosis über den Zeitraum bis einschließlich 2006 postuliert. Damit wird es möglich, die rasante technische Entwicklung auf dem Gebiet der CT (insbesondere die Zunahme von Mehrschichtsystemen) zu berücksichtigen. Ab 2007 fließen in die Abschätzung Dosiswerte ein, die für häufige und/oder dosisintensive Röntgenuntersuchungen von den Ärztlichen Stellen (ÄS) für den aktuellen Zeitraum regelmäßig zum Zweck der Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte an das BfS übermittelt werden.

In Tabelle 1.1-1 sind für häufige Röntgenuntersuchungen die Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis dargestellt. Sie basieren größtenteils auf diesen von den ÄS für die Jahre 2007 bis 2009 an das BfS übermittelten Dosiswerten, jedoch auch auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen, auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMU gefördert wurden, und auf Literaturangaben. Es handelt sich dabei um Dosisangaben, die aus Messwerten von an Patientinnen und Patienten durchgeführten Untersuchungen ermittelt wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten „Normalpatienten“.

Tabelle 1.1-1 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 Herzkranzgefäßweiterung)	6 - 16
Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein)	0,3 - 0,7
Becken-Bein-Arteriographie	5 - 9
CT-Untersuchungen *	
Hirnschädel	1,7 - 2,3
Lendenwirbelsäule	4,8 - 8,7
Brustkorb (Thorax)	4,2 - 6,7
Bauchraum (Abdomen)	8,8 - 16,4

* typische CT (Computertomographie)-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittelgabe

Auswertung der Jahre 1996 bis 2010– Untersuchungshäufigkeit

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 2010 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 136 Millionen Röntgenuntersuchungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 85 Mio. Röntgenuntersuchungen). Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland nahm während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2010 insgesamt ab. Für die Jahre 2007 bis 2010 sind die Werte gegenüber 2006 leicht erhöht. Dies ist im Wesentlichen auf die Einführung des Mammographie-Screening-Programms (MSP) in Deutschland und der damit einhergehenden - seit 2007 recht deutlichen - Zunahme der Mammographien im ambulanten kassenärztlichen Bereich zurückzuführen. Der Wert für die Gesamthäufigkeit für das Jahr 2010 liegt bei etwa 1,66 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr (siehe Abbildung 1.1-1). Ohne Mammographien aus dem MSP - einseitig gezählt - läge der Wert für 2010 etwa 4 % niedriger und damit unterhalb des Wertes für 2006. Die zahnmedizinische Röntgendiagnostik (Zähne und Kiefer) beläuft sich nahezu konstant auf etwa 0,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner, was im Mittel ca. einem Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen entspricht. Wegen des abnehmenden Trends der Untersuchungshäufigkeit aller Röntgenuntersuchungen über den Zeitraum 1996 bis 2010 hat der Beitrag der zahnmedizinischen Röntgendiagnostik zur Gesamthäufigkeit zugenommen, von 32 % in 1996 auf 37 % in 2010. Neben den Röntgenuntersuchungen im zahnmedizinischen Bereich entfällt der größte Teil aller Röntgenuntersuchungen auf das Skelett (d. h. Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und auf den Thorax (Brustkorb, siehe Abbildung 1.1-4).

In der Trendanalyse ist die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen am auffälligsten – insgesamt hat sich die Anzahl der CT-Untersuchungen zwischen 1996 und 2010 mehr als verdoppelt (Zunahme um 130 %, siehe Abbildungen 1.1-1 und 1.1-2). Ein erheblicher Anstieg ist auch bei den bildgebenden Untersuchungsverfahren, die keine ionisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie (MRT, etwa Verfünfachung der Untersuchungsanzahl über den Zeitraum 1996 bis 2010, siehe Abbildung 1.1-2 und Kapitel 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.

Im Gegensatz zur CT-Häufigkeit hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen des Schädels, des Thorax, der Wirbelsäule und des Bauchraumes einschließlich des Verdauungs- und des Urogenitaltrakts abgenommen.

Auswertung der Jahre 1996 bis 2010 – Kollektive effektive Dosis

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2010 auf ca. 1,8 mSv. Die im Vergleich zu den Vorjahren 2004 bis 2006 geringfügig niedrigeren Schätzwerte für die Jahre 2007 bis 2009 resultieren aus der Berücksichtigung der von den Ärztlichen Stellen gemeldeten Dosiswerte pro Untersuchung für den aktuellen Zeitraum. Über den Beobachtungszeitraum 1996 bis 2010 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen (siehe Abbildung 1.1-3). Dieser Trend ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Demgegenüber nimmt die effektive Dosis pro Einwohner bei den restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 1996 bis 2010 deutlich - um ca. ein Drittel - ab (siehe Abbildung 1.1-3).

Die CT und die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich interventioneller Maßnahmen) tragen nur etwa 10 % zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2010 jedoch mehr als drei Viertel (siehe Abbildung 1.1-4).

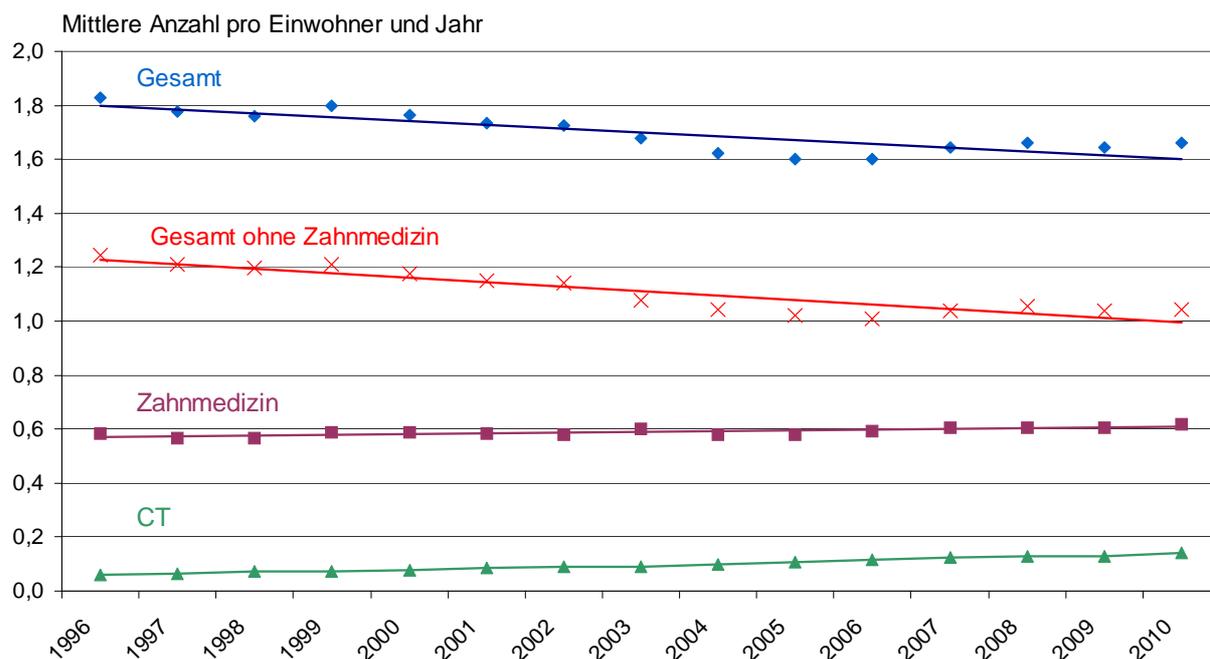


Abbildung 1.1-1 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland
(Frequency of x-ray examinations in Germany)

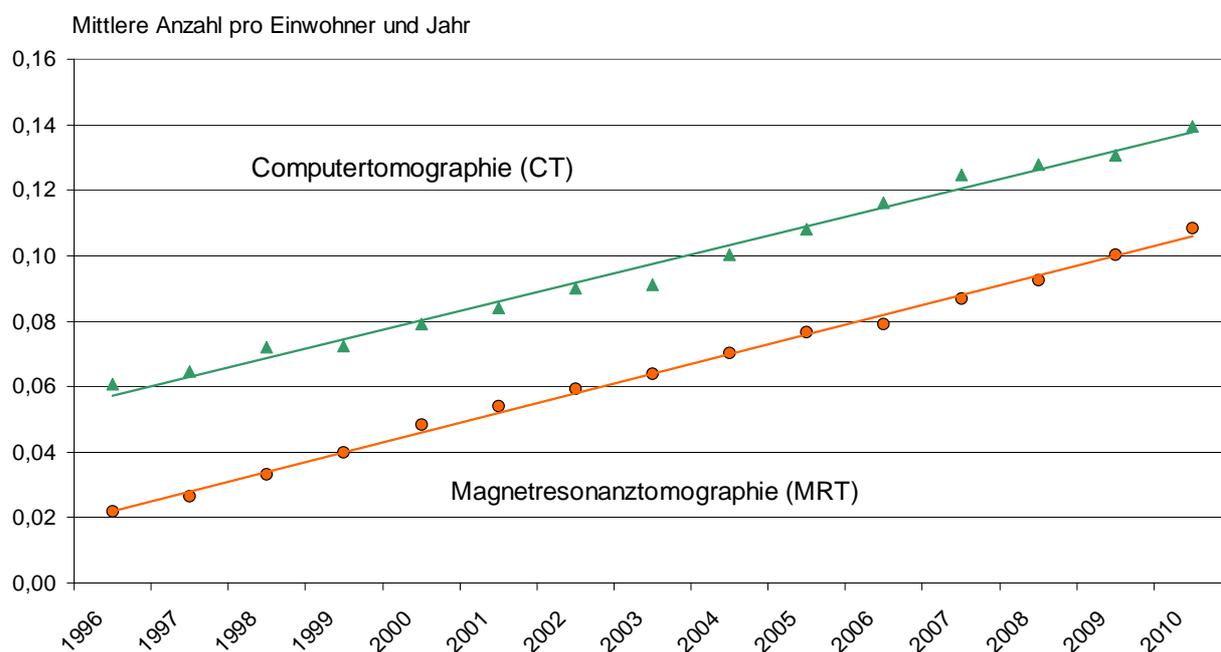


Abbildung 1.1-2 Vergleich der Häufigkeit von CT- und MRT-Untersuchungen in Deutschland
(Comparison of frequencies of CT/MRT examinations in Germany)

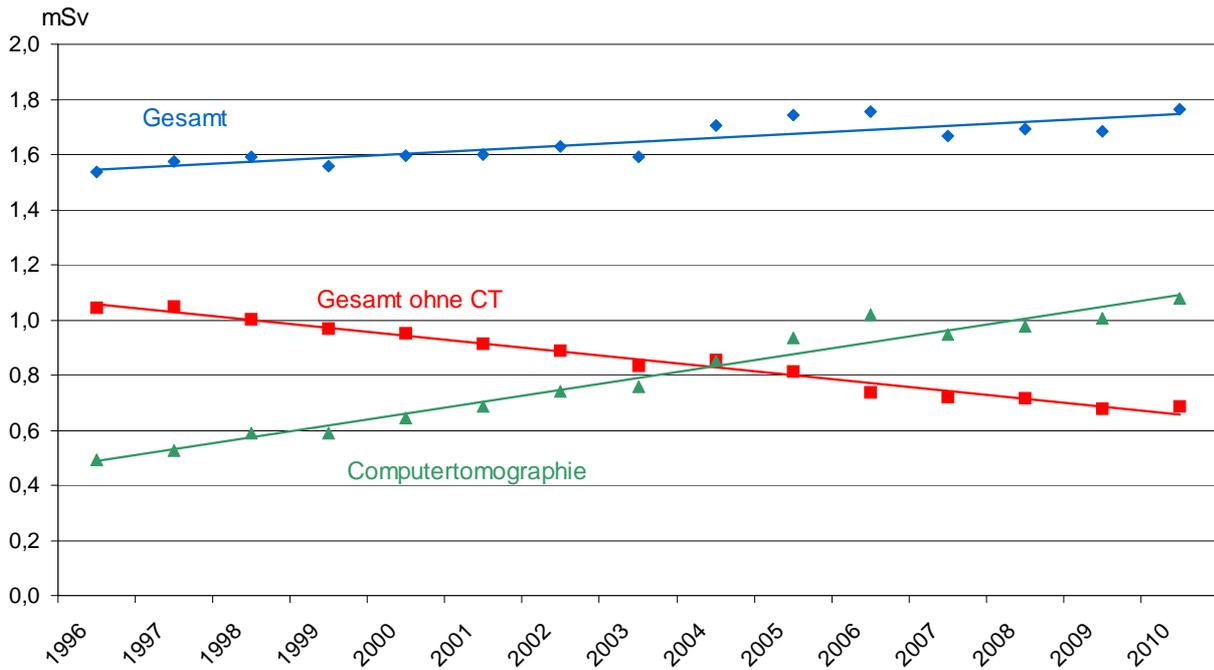


Abbildung 1.1-3 Mittlere effektive Dosis (in mSv) pro Einwohner und Jahr durch Röntgen- und CT-Untersuchungen in Deutschland
(Mean effective dose (mSv) per capita and year due to x-ray and CT diagnostics in Germany)

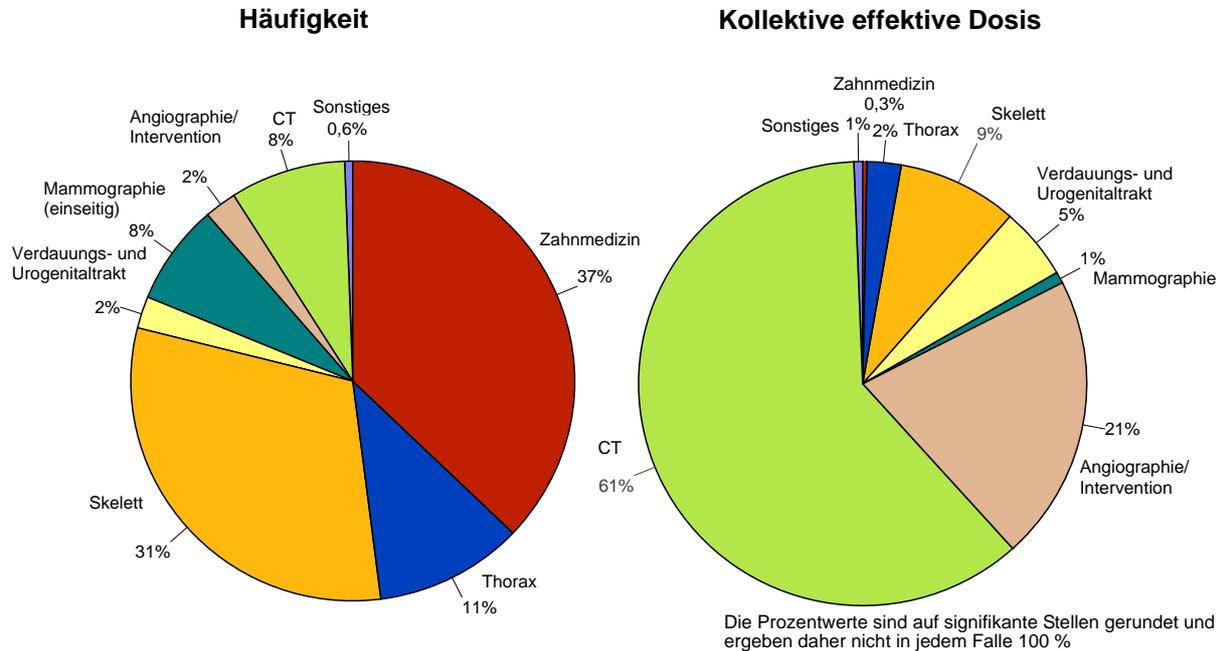


Abbildung 1.1-4 Prozentualer Anteil der verschiedenen Röntgenmaßnahmen an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis 2010
(Contribution of various x-ray diagnostic procedures to total frequency and to collective effective dose in 2010)

Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Derzeit wird jährlich bei etwa 72 000 Frauen eine Brustkrebsdiagnose gestellt, wobei das mittlere Erkrankungsalter bei ca. 65 Jahren liegt. Im Jahr 2008 verstarben insgesamt etwa 17 000 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Erwartet wird, dass Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening) bei Frauen zwischen 50 und 69 Jahren den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenschancen der Betroffenen erhöhen können.

Daher hat sich der Deutsche Bundestag am 28.06.2002 für die Einführung eines Mammographie-Screenings auf der Grundlage der strengen 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. Zwischen 2004 und Anfang 2009 wurde das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm für alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren in Deutschland flächendeckend eingeführt.

Bei der Einführung eines Mammographie-Screening-Programms waren zusätzlich die rechtlichen Vorgaben der Röntgenverordnung, für die das BMU zuständig ist, zu beachten. Röntgenreihenuntersuchungen zur Brustkrebs-Früherkennung stellen nach der Röntgenverordnung eine Anwendung außerhalb der Heilkunde im engeren Sinne dar, da sie nicht eine Patientin mit einem abklärungsbedürftigen Befund betreffen. Solche Untersuchungen müssen nach § 25 Abs. 1 Satz 2 RöV gesondert zugelassen werden, um sicherzustellen, dass auch der Strahlenschutz in angemessener Weise berücksichtigt wird. Die besondere rechtliche Zulassung ersetzt die sonst bei Röntgenuntersuchungen erforderliche Rechtfertigung im Einzelfall, die voraussetzt, dass der gesundheitliche Nutzen der Untersuchung das damit verbundene Strahlenrisiko überwiegt („rechtfertigende Indikation“, siehe 1.3). Zuständig für solche Zulassungen sind die obersten Landesgesundheitsbehörden, die diese auf der Grundlage der Röntgenverordnung aussprechen. Ohne diese Zulassung darf mit dem Screening im jeweiligen Bundesland nicht begonnen werden. Die erforderlichen organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich des Sozialrechtes sind zum 1. Januar 2004 in Kraft getreten.

Anfangs wurde bei der Planung und Einführung davon ausgegangen, dass das Mammographie-Screening nur mit analogen, konventionellen Verfahren erfolgen sollte. Der schnelle Fortschritt konnte jedoch digitale Verfahren nicht mehr ausschließen, zumal die europäischen Standards der „European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (EUREF)“ inzwischen auch digitale Verfahren zulassen.

Im Vorfeld hat die Strahlenschutzkommission (SSK) zusammen mit dem BfS die Stellungnahme „Digitale Mammographie in der kurativen Anwendung und im Screening“ erarbeitet, in der die wesentlichen Anforderungen formuliert wurden, die bei der Einführung der digitalen Mammographie im Screening zu erfüllen sind.

Analoge und digitale Röntgenverfahren unterscheiden sich grundsätzlich: Analoge Verfahren sind besonders geeignet für die Darstellung kontrastreicher kleiner Strukturen. Digitale Verfahren verwenden keinen Röntgenfilm, die Daten werden mit einem Detektor aufgenommen, in einem Rechner bearbeitet und auf einem Monitor dargestellt. Durch Bildbearbeitung können auch sehr kontrastarme größere Strukturen sichtbar und beurteilbar gemacht werden. Die Darstellungen sind aber nur schwer vergleichbar: Digital und analog aufgenommene Bilder führen nicht selbstverständlich zu den gleichen Befunden. Der befundende Arzt muss deshalb intensiv geschult werden und über genügend Erfahrung verfügen, um vergleichbare Ergebnisse in der Befundung zu erhalten.

Parallel wurde vom Normenausschuss Radiologie im Deutschen Institut für Normung eine sogenannte Public Available Specification (PAS) für digitale Röntgeneinrichtungen entwickelt, um technische Anforderungen für die Abnahmeprüfung der Röntgeneinrichtungen festzulegen. Die für den Vollzug der Röntgenverordnung zuständigen obersten Landesbehörden haben beschlossen, diese Festlegungen dem Vollzug ab dem 1.1.2006 zu Grunde zu legen.

Nach der Vorlage der PAS und der SSK-Stellungnahme wurden die Mindestanforderungen an die apparative Ausstattung der Röntgeneinrichtungen im „Vertrag zur Änderung des Bundesmantelvertrags Ärzte/Ersatzkassen (EKV) über besondere Versorgungsaufträge im Rahmen des Programms zur Früherkennung von Brustkrebs durch Mammographie-Screening“ neu gefasst und damit auch digitale Verfahren zugelassen.

Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Anspruchsberechtigt sind 10,4 Mio Frauen. Ende 2009 lag die Teilnehmerquote bei 54,5 %. Nehmen 70 % der anspruchsberechtigten Frauen an der Screening-Maßnahme teil, so beläuft 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 etwa 1,5 % der kollektiven effektiven Dosis, die sich aus allen Röntgenuntersuchungen, die in Deutschland jährlich durchgeführt werden, ergibt. Wie bereits erwähnt spielen in der Abbildung 1.1-4 Screening-Mammographien zunehmend eine Rolle. Dies schlägt sich jedoch – auf Grund der vergleichsweise niedrigen Dosis pro Untersuchung – in den Abbildungen zur Dosis (1.1-3 und 1.1-4 rechts) kaum nieder. In den in Abbildung 1.1-4 gezeigten Anteilen, die aus Mammographien stammen, wurden zu etwa 40 % 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. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es sich bei einem größeren Prozentsatz dieser „kurativen Mammographien“ um Früherkennungs-Mammographien handelt, die außerhalb des Mammographie-Screening-Programms und damit ohne die hier gültige Qualitätssicherung durchgeführt wurden („graues Screening“). Entgegen der Erwartung hat die Anzahl der als „kurative Mammographie“ abgerechneten Untersuchungen nach Einführung des Mammographie-Screening-Programms verhältnismäßig wenig abgenommen (Abnahme zwischen 2006 und 2010 um ca. 30 % nach Daten der KBV bzw. um ca. 20 % bei Hinzunahme der PKV-Daten).

Da die Screening-Mammographie-Untersuchung für die Frauen mit einer Strahlenbelastung verbunden ist, haben sich BMU und BfS in zahlreichen Gesprächsrunden mit den Ländern, der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) und den Spitzenverbänden der Krankenkassen bzw. dem GKV-Spitzenverband für die Einhaltung strenger Qualitätsanforderungen eingesetzt.

Übergeordnetes Ziel des Mammographie-Screening-Programms ist die nachhaltige Verringerung der Brustkrebs-Mortalität. Im Jahr 2010 wurden vom BMU in Kooperation mit dem BfS erste konkrete Schritte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität in die Wege geleitet. An der Finanzierung dieses komplexen Projektes beteiligen sich das BMU, das BMG sowie die Träger des Mammographie-Screening-Programms. Die Geldgeber sowie das BfS, das Robert-Koch-Institut, ein Vertreter der obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) und die Patientenvertretung bilden ein so genanntes Steuerungsgremium. Die Aufgaben des Steuerungsgremiums sind u. a. die Schaffung der organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abwicklung der Vorhaben zur Mortalitätsevaluation sowie die Festlegung der Konzeption und des Inhalts der Evaluation des deutschen Mammographie-Screening-Programms. Das Steuerungsgremium wird hinsichtlich der Konzeption und Gestaltung der Inhalte des Forschungsvorhabens sowie der Projektbegleitung von einem so genannten Wissenschaftlichen Beirat unterstützt, dessen Vorsitz das BfS innehat. Die Mortalitätsevaluation wird im Rahmen von UFOPLAN-Forschungsvorhaben erfolgen. Hierbei ist der geplante Zeitraum zehn Jahre, wobei die ersten zwei Jahre für eine Machbarkeitsstudie verwendet werden. Start der Machbarkeitsstudie war der Juli 2012.

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik (*Nuclear medicine diagnostics*)

Die Ergebnisse der aktuellen Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von nuklearmedizinischen Untersuchungen beziehen sich auf den Fünfjahres-Zeitraum 2006 bis 2010. In die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis und deren Bewertung fließen die Resultate eines kürzlich abgeschlossenen UFOPLAN-Vorhabens ein („Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren“) sowie aktuelle Literatur [1, 2]. Pro Jahr wurden 2006 - 2010 in Deutschland im Mittel ca. 3 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 36,4 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Für den betrachteten Zeitraum besteht ein leicht abnehmender Trend für die Häufigkeit von nuklearmedizinischen Untersuchungen. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung 1.2-1). Bei Abbildung 1.2-1 ist zu beachten, dass die szintigraphischen Untersuchungen des Herzens in Ruhe und unter körperlicher Belastung einzeln 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 2006 bis 2010 gemittelte kollektive effektive Dosis von ca. 7200 Personen-Sv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von etwa 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr entspricht. Rund 80 % der kollektiven effektiven Dosis werden durch die Skelett-, die Myokard(Herz)- und die Schilddrüsenszintigraphie verursacht (Abbildung 1.2-1).

Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungs- und Gehirnszintigraphien (jeweils 7,7 mSv pro Untersuchung) am höchsten. Fasst man die Dosis durch Herzsintigraphien in Ruhe und unter Belastung zusammen, so erhält man ebenfalls eine vergleichsweise hohe Dosis von 8 mSv pro Untersuchung. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie 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, Lindner O, Hellwig D; Arbeitsausschuss PET der DGN: Positron Emissions Tomographie 2008 in Deutschland - Ergebnisse einer Umfrage und aktuelle Sachlage. Nuklearmedizin 49: 58-64, 2010;
- [2] Hellwig D, Grgic A, Kotzerke J, Kirsch CM: Nuklearmedizin in Deutschland - Kennzahlen aus offiziellen Statistiken. Nuklearmedizin 50: 53-67, 2011)

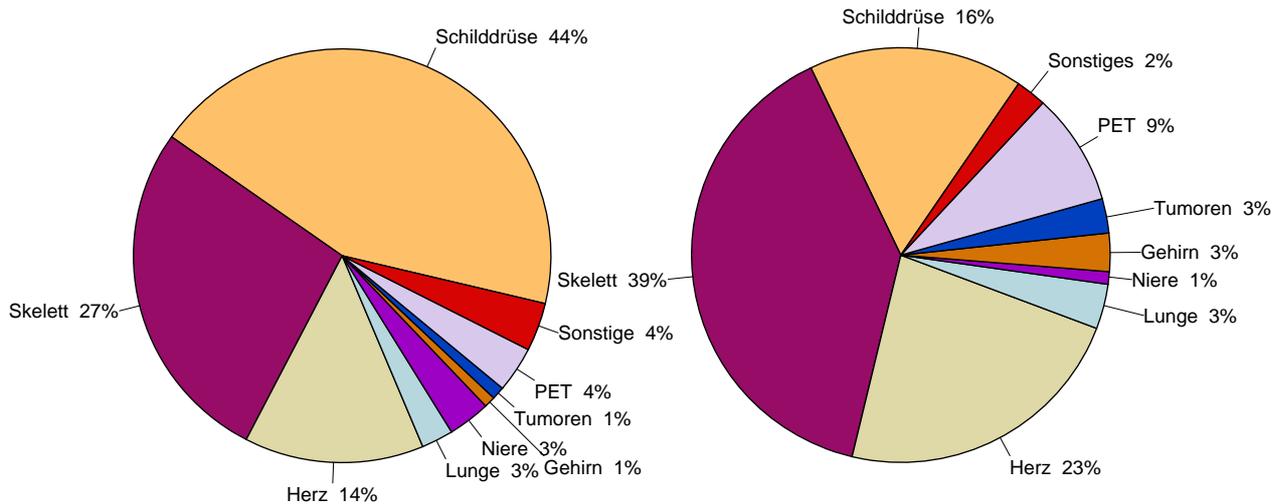


Abbildung 1.2-1 Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 2010
(Contribution from the different nuclear medicine examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations in Germany 2010)

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 2010 etwa 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr. Damit resultiert die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland in der Hauptsache aus medizinischen Strahlenanwendungen, insbesondere aus röntgendiagnostischen Maßnahmen.

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, die zur Folge hat, dass jede strahlenmedizinische Untersuchung als zusätzliches Risiko für eine strahlenbedingte Krebserkrankung betrachtet wird. Eine strahlenhygienische Bewertung muss jedoch berücksichtigen, dass medizinische Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen. Betroffen sind 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“). Die sorgfältige Feststellung der rechtfertigenden Indikation durch den fachkundigen Arzt vorausgesetzt, überwiegt für den Einzelnen der Nutzen der radiologischen Untersuchung gegenüber dem Strahlenrisiko.

Weiterhin ist im Vergleich zur Normalbevölkerung die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patientinnen und Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese werden aber auf Grund ihrer Erkrankung häufig mehrfach untersucht. In die strahlenhygienische Bewertung muss somit insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Um zur Untersuchung dieser Fragestellung eine Datenbasis zu definieren, wurde vom BfS eine Machbarkeitsstudie initiiert: Für die zehn häufigsten Krebserkrankungen wurden für Patientinnen und Patienten, die zwischen 2000 und 2005 am Klinikum Großhadern (München) mindestens eine Röntgenuntersuchung erhalten haben, alle relevanten Patienten- und Untersuchungsdaten gesammelt. Nach den Ergebnissen dieser Studie entfallen – hochgerechnet auf Deutschland – mindestens 10 % der kollektiven effektiven Dosis aller Röntgenuntersuchungen auf Krebspatienten. Da für die Patientinnen und Patienten dieser Studie keine Röntgenuntersuchungen in anderen Einrichtungen berücksichtigt werden konnten, beträgt der tatsächliche Anteil vermutlich eher 15 bis 20 %. Weitere interessante Ergebnisse der Studie sind, dass der Anteil der CT an allen Röntgenuntersuchungen bei Krebspatienten weit höher ist als bei der durchschnittlichen Bevölkerung (über 80 % im Jahre 2005) und dass die mittlere kumulative Dosis durch Röntgenuntersuchungen bei Krebserkrankungen mit schlechter Prognose (z. B. Bauchspeicheldrüsenkarzinom) deutlich höher ist als bei Krebserkrankungen mit vergleichsweise guter Prognose (z. B. Brustkrebs).

Bei Patientinnen und Patienten handelt es sich typischerweise um ältere Menschen, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. Von großem Interesse ist daher die

Differenzierung der Daten nach dem Alter. Angaben zur Altersverteilung von Personen, bei denen strahlendiagnostische Untersuchungen durchgeführt werden, sind über die Krankenkassen bislang leider nicht zu erhalten. Ein vom BMU gefördertes Forschungsvorhaben ermittelte jedoch altersspezifische Daten für den Krankenhausbereich. Abbildung 1.3-1 zeigt, wie sich die Häufigkeit und die kollektive effektive Dosis von Röntgenuntersuchungen auf die einzelnen Alterskategorien von stationären Patientinnen und Patienten im Jahre 2002 verteilen. Zum Vergleich ist auch die Altersverteilung der deutschen Bevölkerung dargestellt. Mehr als 60 % der Röntgenaufnahmen im Krankenhausbereich werden bei Patientinnen und Patienten durchgeführt, die 60 Jahre oder älter sind. Lediglich 5 % der Röntgenuntersuchungen betreffen Kinder und Jugendliche unter 20 Jahren. Wird die Verteilung der kollektiven effektiven Dosis betrachtet, so wird deutlich, dass dosisintensivere Untersuchungsverfahren, wie die Computertomographie oder Untersuchungen des Herzens oder der Blutgefäße, vor allem im höheren Alter durchgeführt werden. In jungen Jahren überwiegen Röntgenuntersuchungen des Skelettsystems.

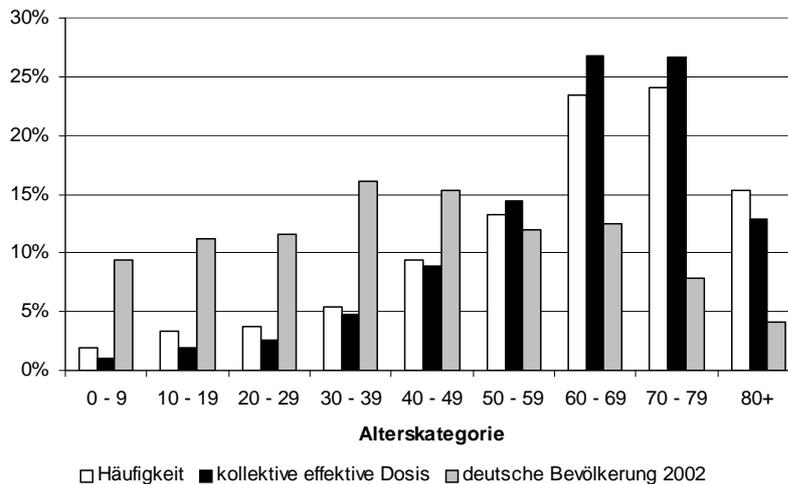


Abbildung 1.3-1 Verteilung von Häufigkeit (weiße Balken) und kollektiver effektiver Dosis (schwarze Balken) von Röntgenaufnahmen in Abhängigkeit vom Patientenalter im stationären Bereich im Jahre 2002. Zum Vergleich: Altersverteilung der deutschen Bevölkerung 2002 (graue Balken)
(Distribution of frequency [white bars] and collective effective dose [black bars] of x-ray examinations conducted in inpatients of specified age in 2002. For comparison: age distribution of the German population in 2002 [grey bars])

Im internationalen Vergleich liegt Deutschland nach den vorliegenden Daten bezüglich der jährlichen Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr im oberen Bereich. Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch Vorsicht geboten, da auf Grund der unterschiedlichen Gesundheitssysteme die Auswertungsschemata sehr unterschiedlich und zum Teil auch nicht hinreichend transparent sind.

Bereits im Jahr 2000 lag in den USA und in Japan allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis pro Einwohner für alle in Deutschland durchgeführten Röntgenleistungen. Im Jahre 2006 betrug die effektive Dosis pro Kopf aus Röntgen- sowie nuklearmedizinischer Diagnostik in den USA 3 mSv, wobei die CT bzw. nuklearmedizinische Untersuchungen etwa die Hälfte bzw. ein Viertel beitrugen [1]. Der hohe Anteil der CT an der medizinischen Strahlenexposition ist ein weltweit zu beobachtender Trend, der die gestiegene Wertigkeit der bildgebenden Verfahren in Diagnostik, Therapieplanung und Therapieüberwachung widerspiegelt.

Um eine solide Grundlage für einen internationalen Vergleich – zumindest auf EU-Ebene – zu erhalten, wurde Ende des Jahres 2004 die mit EU-Mitteln geförderte Arbeitsgruppe DOSE DATAMED gebildet, in der Deutschland durch das BfS vertreten wurde. Ziel des EU-Vorhabens war es, die Methoden zur Datenerfassung und -auswertung in den zehn teilnehmenden Ländern zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln. In allen zehn DOSE DATAMED Ländern tragen Computertomographien, Angiographien und Interventionen den größten Teil zur kollektiven effektiven Dosis bei. Für alle Röntgenuntersuchungen zusammen genommen (ohne Zahnmedizin) unterscheiden sich die Länder bezüglich der Häufigkeit maximal um den Faktor 2,5 und bezüglich der kollektiven effektiven Dosis maximal um den Faktor 4,5 mit den höchsten Schätzwerten für Belgien, Deutschland und Luxemburg und den niedrigsten für Dänemark, die Niederlande und das Vereinigte Königreich. Die zum Teil beträchtlichen Unterschiede bei der Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen und der zugehörigen kollektiven effektiven Dosis, die in den zehn Ländern beobachtet wurden, wurden von der DOSE DATAMED Gruppe als real eingeschätzt. Die Unterschiede sind sehr viel größer als die statistischen Unsicherheiten, die unvermeidbar mit jeder Datenerhebung und -analyse einhergehen. Die Unterschiede können zum großen Teil auf die verschiedenartigen Gesundheitssysteme der betrachteten Staaten zurückgeführt werden. Der Bericht über die vergleichende Bewertung sowie Empfehlungen zur

Datenerfassung und -auswertung wurden im Jahr 2008 von der Europäischen Kommission gebilligt. Der Bericht und die Empfehlungen wurden auf der Internet-Seite der Europäischen Kommission veröffentlicht [2]. Im Jahr 2010 wurde ein EU-Folge-Projekt zu DOSE DATAMED - Dose Datamed 2 - initiiert, das zum Ziel hat, die Datenbasis um weitere europäische Länder zu erweitern, sowie den alten Datenbestand zu aktualisieren. Die Ergebnisse werden für Ende des Jahres 2012 erwartet und einen umfassenden Vergleich auf europäischer Ebene ermöglichen.

Die hohe Pro-Kopf-Anzahl röntgendiagnostischer Maßnahmen für Deutschland spiegelt den hohen Standard der Gesundheitsversorgung wider. Eine Bewertung der vergleichsweise hohen Häufigkeit bzw. der resultierenden Dosis durch die medizinische Röntgendiagnostik darf den offensichtlichen Nutzen für die Patientinnen und Patienten nicht unberücksichtigt lassen. Andererseits existiert sicherlich auch 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) und die vermehrte Nutzung „alternativer“ diagnostischer Verfahren ohne die Verwendung ionisierender Strahlung (MRT, Sonographie).

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (ca. 1,8 mSv pro Person im Jahr 2010) ist die Exposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering (etwa 0,1 mSv). Unabhängig davon sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte und die Verwendung neuer Radiopharmaka. So führt z. B. der Ersatz von Tl-201-Chlorid durch mit Tc-99m markierte Verbindungen zur Verringerung der Strahlenbelastung bei der Herzsintigraphie.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der Heilkunde auf radiologische Untersuchungen nicht verzichtet werden kann. Allerdings kann nur bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen das Strahlenrisiko für die einzelne Patientin bzw. den einzelnen Patienten gegenüber dem Nutzen in den Hintergrund treten.

Literatur

- [1] NCRP Report No. 160: Ionising Radiation Exposure of the Population of the United States. Bethesda, USA, 2009
- [2] European Commission, Radiation Protection No. 154, European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Final Report with two Annexes, Directorate-General for Energy and Transport (TREN-H4) 2008 http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/154_en.zip

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren (*Alternative examination procedures*)

Für die Jahre 1996 bis 2010 ist sowohl für Sonographie-Untersuchungen (siehe Abbildung 1.4-1) als auch für MRT-Untersuchungen (siehe Abbildung 1.1-1) eine stetige Zunahme der Häufigkeit zu verzeichnen. Besonders auffallend ist der Anstieg der MRT-Untersuchungen von ca. 1,8 Mio. im Jahr 2006 auf ca. 8,8 Mio. in 2010. Dies entspricht beinahe einer Vervielfachung der Untersuchungs-Anzahl (CT: Vervielfachung um etwa den Faktor 2,3 zwischen 1996 und 2010). Im Jahr 2010 wurden etwa ein Viertel aller MRT-Untersuchungen im Bereich des Schädels und jeweils etwa ein Drittel im Bereich der Wirbelsäule und der Extremitäten durchgeführt.

Die Zunahme von Ultraschall-Untersuchungen ist vergleichsweise moderat (um etwa 25 % über den gesamten betrachteten Zeitraum). Der größte Teil aller Sonographien wird im Bereich des Beckens/Abdomens durchgeführt.

Bemerkenswert ist die gleichzeitige Zunahme von MRT-, Ultraschall- und CT-Untersuchungen. Die Zunahme alternativer Untersuchungsverfahren ohne Anwendung von Röntgenstrahlen, insbesondere der MRT, führt somit entgegen der ursprünglichen Erwartungen nicht zu einer Abnahme der Untersuchungsfrequenz von CT-Anwendungen.

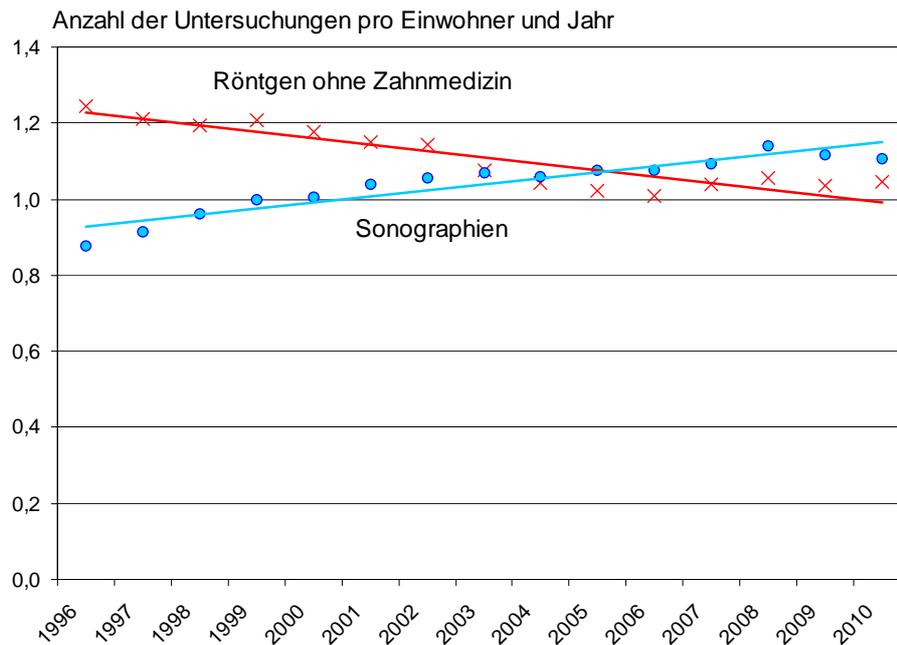


Abbildung 1.4-1 Häufigkeit von Sonographieuntersuchungen. Zum Vergleich: Häufigkeit aller Röntgenuntersuchungen (einschließlich CT, ohne Zahnmedizin)
(Frequency of ultrasound examinations. For comparison: Frequency of X-ray examinations including CT, excluding dental examinations)

2. Therapeutische Strahlenanwendungen *(Therapeutic applications of radiation)*

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird für das Jahr 2012 auf ca. 258 000 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 228 000 bei Frauen geschätzt [1]. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer wie für Frauen bei etwa 69 Jahren. Die Therapie einer Krebserkrankung erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat.

Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ [2] wurden im Jahr 2011 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 100 000 Krebserkrankungen im Jahr 2011) etwa 64 600 Patientinnen und Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Etwa 11 % dieser Patientinnen und Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung therapiert. Somit wurde in etwa 57 % der Krebsfälle eine Strahlentherapie durchgeführt. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhielten im Jahr 2011 etwa 308 000 Patientinnen und Patienten eine Strahlentherapie, davon ca. 274 000 wegen einer bösartigen Erkrankung. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ nimmt die Anzahl der Strahlentherapien stetig zu, in den zehn Jahren zwischen 2002 und 2011 ist die Anzahl der Patienten um 35 % gestiegen.

Literatur

- [1] Krebs in Deutschland 2007 - 2008. Häufigkeiten und Trends. 8. überarbeitete Auflage. Robert Koch-Institut und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e. V. (Hrsg). Berlin, 2012
- [2] Brodersen HJ: Strahlentherapie in Norddeutschland 11/12 - Radioonkologie in den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, 18. Auflage, 21. März 2012, www.strahlentherapie-nord.de

3. Medizinische Forschung (Medical research)

Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über die vom BfS erteilten Genehmigungen und über die bearbeiteten Voranfragen in den Jahren 2010 und 2011.

Tabelle 3.1 Vom BfS nach § 23 StrlSchV und § 28 a RöV erteilte Genehmigungen zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) am Menschen in der medizinischen Forschung in den Jahren 2010 und 2011
(Licenses granted by BfS for the use of radioactive substances or ionising radiation - including X-rays - applied on humans in medical research, in the years 2010 and 2011)

Anzahl der erteilten Genehmigungen		Anzahl der bearbeiteten Voranfragen	
2011	2010	2011	2010
270	332	27	49

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 4.1 ist - wie in früheren Jahresberichten - die Anzahl der seit 1971 gemeldeten Implantationen und Explantationen für Herzschrittmacher mit Plutonium-238 angegeben.

Die dargestellten Zahlen weichen von den bisher veröffentlichten Daten der Jahresberichte bis 2010 ab. Der Grund dafür ist, dass sämtliche Unterlagen des Herzschrittmacherregisters unter Berücksichtigung von Angaben der PTB sowie der Hersteller- und Entsorgungsfirmen vom BfS einer Sichtung unterzogen und neu ausgewertet wurden. Dabei konnten zuvor bestehende Ungereimtheiten ausgeräumt werden. So konnte zum Beispiel geklärt werden, dass der bislang in Kambodscha verschollen geglaubte Herzschrittmacher doch ordnungsgemäß entsorgt wurde. Gemäß der aktuellen Datenlage wurden damit in Deutschland von 1971 bis 1976 insgesamt 284 Implantationen angezeigt, von denen die Explantation für 282 Fälle dokumentiert ist. Daher verzeichnete das Register im Jahr 2011 noch zwei lebende Personen, die die 1972 implantierten Herzschrittmacher noch in sich tragen.

Tabelle 4.1 enthält die Anzahl der Implantationen und Explantationen Pu-238-haltiger Herzschrittmacher im Vergleich zwischen dem aktualisierten Kenntnisstand des BfS-Herzschrittmacherregisters (HSM-Register) und den bisher veröffentlichten BMU-Jahresberichten.

Tabelle 4.1 Anzahl der Implantationen und Explantationen Pu-238-haltiger Herzschrittmacher
Vergleich HSM-Register des BfS (neu) mit den Berichten der Vorjahre
(Number of implantations and explantations of Pu-238 pacemakers - comparison: Pacemaker Register BfS (new) and BMU-Report (previous years))

Jahr	HSM-Register *		BMU-Jahresbericht †	
	Implantationen	Explantationen	Implantationen	Explantationen
1971	3	0	3	0
1972	71	3	72	2
1973	122	7	122	7
1974	48	11	47	11
1975	31	24	31	22
1976	9	10	9	12
1977	0	22	0	22
1978	0	14	0	15
1979	0	17	0	17
1980	0	17	0	17
1981	0	15	0	15
1982	0	14	0	13
1983	0	11	0	11
1984	0	19	0	15
1985	0	18	0	18
1986	0	7	0	8
1987	0	12	0	10

Jahr	HSM-Register *		BMU-Jahresbericht †	
	Implantationen	Explantationen	Implantationen	Explantationen
1988	0	4	0	4
1989	0	9	0	9
1990	0	9	0	8
1991	0	3	0	3
1992	0	6	0	5
1993	0	2	0	1
1994	0	3	0	3
1995	0	2	0	1
1996	0	5	0	3
1997	0	1	0	1
1998	0	4	0	3
1999	0	0	0	0
2000	0	1	0	2
2001	0	4	0	2
2002	0	1	0	0
2003	0	4	0	4
2004	0	1	0	1
2005	0	1	0	0
2006	0	0	0	0
2007	0	1	0	1
2008	0	0	0	0
2009	0	0	0	0
2010	0	0	0	0
2011	0	0	0	0
Summe	284	282	284	266

* neue Auswertung

† Vorjahre

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 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) hat um weitere 23 % abgenommen, was wieder von der Abnahme bei den umschlossenen Strahlenquellen herrührt (Tabelle 1.1-1, Spalte 4). Der in Spalte 5 angegebene Wert für die Gesamteinfuhr enthält zusätzlich die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge (insgesamt 2400 GBq).

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden 2011 mit einer Gesamtaktivität von 780 GBq eingeführt. Bei der Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist ein leichter Rückgang um knapp 11 % zu verzeichnen, die sich in den Spalten für Natururan und solchem mit >3-10 % U-235 findet. Bestrahltes Material wird seit dem Inkrafttreten der neugefassten Atomrechtliche Abfallverordnung (AtAV, vom 30.04.2009)*** am 07.05.2009 für diese Statistik nicht mehr erfasst (vgl. oben).

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq ist im Jahr 2011 wieder auf weniger als die Hälfte des Vorjahresniveaus gefallen und zwar ausschließlich wegen des ebenso deutlichen Rückgangs bei den umschlossenen Strahlenquellen in Spalte 4 (Tabelle 1.1-2). Auch hier enthält die Summe in Spalte 5 die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge mit nur 1 GBq. Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden in 2011 bis auf 1,3 GBq in die Schweiz wie auch im Vorjahr nicht ausgeführt.

Bei den unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist ein Rückgang um 17 % festzustellen; bestrahltes Material wird auch hier seit dem Inkrafttreten der neugefassten AtAV nicht mehr erfasst (vgl. oben).

*** Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung - AtAV)

**Tabelle 1.1-1 Einfuhr radioaktiver Stoffe in die Bundesrepublik Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(*Import of radioactive materials into the Federal Republic of Germany - without radioactive waste*)**

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq ¹ (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq) ¹	Gesamteinfuhr (ohne radioakt. Abfälle) ² (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) ³ (kg)
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
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

1 seit 2009 ab A1/100

2 seit 1998 inklusive radioaktive Gemische: z. B. kontaminierte Werkzeuge 3 ab 2009 unbestrahlt

**Tabelle 1.1-2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus der Bundesrepublik Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Export of radioactive materials from the Federal Republic of Germany - without radioactive waste)**

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq ¹ (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1850 GBq ¹ (GBq)	Gesamtausfuhr (ohne radioakt. Abfälle) ² (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) ³ (kg)
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	1.335	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
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

1 seit 2009 ab A1/100

2 seit 1998 inklusive radioaktive Gemische: z. B. kontaminierte Werkzeuge

3 ab 2009 unbestrahlt

1.2 Einfuhrstatistik (Import statistics)

Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100

Tabelle 1.2-1 gibt die Aktivitäten der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab A1/100 und Aktivierungsprodukte sowie sonstige radioaktive Gemische.

Es zeigt sich in der Gesamtsumme wieder ein leichter Rückgang von 578 964 GBq im Vorjahr auf jetzt 448 512 GBq. Diese Abnahme rührt in der Hauptsache vom Rückgang bei H-3 her.

In Form von H-3-Gaslichtquellen sind im Berichtszeitraum 9843 GBq im Wesentlichen aus der Schweiz, aber auch aus Israel, eingeführt worden (in dem Wert für die Gesamteinfuhr von H-3 aus der Schweiz und Israel enthalten); H-3- Leuchtfarbe wurde nicht bezogen.

Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100

Tabelle 1.2-2 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75, Sr-90, 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 2011 auf 3/4 der Vorjahressumme gefallen, weitgehend nur wegen eines entsprechend deutlichen Rückgangs bei Co-60 bei dort gleicher Stückzahl.

Es findet sich erwartungsgemäß dennoch der größte Posten wieder bei Co-60 mit 93,2 % der Gesamtaktivität.

Co-60-Quellen kamen in der Hauptsache aus Kanada. Ein nicht ganz so umfangreicher Tausch von ausgedienten, in Deutschland genutzten Quellen gegen neue aus Kanada wie im Vorjahr ist hier zu erkennen, zumal auch bei der Ausfuhr (1.3) Lieferungen entsprechender Aktivitäten respektive Stückzahlen nach Kanada dokumentiert sind.

Tabelle 1.2-1 Aktivität der 2011 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab A1/100)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2011 - without sources at levels of above A1/100)

Versender- land	Aktivität in GBq**																				Summe			
	H-3	C-14	F-18	P-32	Fe-55	Co-57	Co-60	Ni-63	Ge-68	Kr-79	Kr-85	Y-90	I-125	I-131	Cs-137	Ba-133	Pm-147	Gd-153	Lu-177	W-188		Am-241	Sonst.	
Schweiz	17 308	43	468	0	0	0	5	9	0	0	105	0	0	0	50	0	14 540	0	0	0	50	3	32 581	
Norwegen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	73
USA	432	850	0	0	2	119	29	2071	1988	105	3854	1456	1150	0	145	0	0	129	0	0	1548	28	13 906	
Kanada	193 700	0	0	0	0	0	0	78	0	0	0	0	2969	592	0	0	0	0	0	0	0	6	197 345	
Australien	3	0	0	0	0	0	0	7	2	0	16	3032	0	0	429	0	0	0	0	0	53	54	3596	
Japan	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	46	
Singapur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1372	0	0	21	0	0	0	0	0	0	11	1404	
Malaysia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	148	0	194	
Philippinen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25	
Russland	10	1297	0	0	0	69	0	20	26	0	36 641	0	0	0	29 600	19	0	0	2070	1445	0	130	71 327	
Belarus	0	0	0	0	740	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	795	
Usbekistan	0	0	0	0	1794	0	0	0	0	0	0	0	22 560	0	0	0	0	0	0	0	0	2	24 356	
Südafrika	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	165	98 729	0	0	0	0	0	0	0	7	98 909	
Nigeria	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	
Israel	3637	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3637	
Indien	0	0	0	0	0	0	22	1	2	0	3	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	36	
China	0	0	0	0	0	0	0	134	0	0	46	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	205	
Sonstige	0	0	0	0	0	1	2	4	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	17	15	47	
Summe	215 120	2190	468	1794	742	189	58	2359	2022	105	40 730	5860	26 844	99 321	30 257	141	14 590	129	2070	1445	1816	262	448 512	

** Alle Werte in der Tabelle sind gerundet. Insofern kann es für einzelne Werte bei Summationen zu Abweichungen kommen

Tabelle 1.2-2 Aktivität der 2011 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab A1/100
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2011 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	
Schweiz	23 740	2389	4	0	623	0	0	26 756
USA	57	0	0	16 006	1980	0	2	18 045
Kanada	22 181 200	0	0	116 513	0	0	0	22 297 713
Japan	170	0	0	0	927	0	0	1097
Südkorea	51 600	0	0	0	173	0	0	51 773
Australien	0	0	0	355	0	122	2	479
Türkei	76 980	171	0	0	0	0	0	77 151
Albanien	0	0	0	0	11	0	0	11
Kroatien	51 250	0	0	0	0	0	0	51 250
Montenegro	0	0	0	0	436	0	0	436
Russland	0	634 591	0	898 360	0	0	9	1 532 960
Belarus	1 018 536	0	0	0	0	0	0	1 018 536
Ägypten	0	0	0	0	127	0	0	127
V. Arab. Emirate	5	0	0	0	0	0	0	5
Israel	0	0	0	0	208	0	0	208
Mexiko	0	0	0	0	0	111	0	111
Brasilien	36 500	0	0	0	0	0	0	36 500
Venezuela	0	0	0	0	97	0	0	97
Südafrika	76	0	0	0	0	0	0	76
Gabun	26 000	0	0	0	0	0	0	26 000
Malaysia	0	370	0	0	1877	0	0	2247
Singapur	0	74	0	28 700	0	0	0	28 774
Mongolei	0	0	0	0	118	0	0	118
Summe	23 466 114	637 595	4	1 059 934	6577	233	13	25 170 470

Einfuhr unbestrahlter sowie bestrahlter Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe

Tabelle 1.2-3 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2011 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Es ist ein leichter Rückgang um knapp 11 % zu verzeichnen, der sich in den Spalten für Natururan und solchem mit >3-10 % U-235 findet.

Die Schwerpunkte liegen erwartungsgemäß wie auch sonst bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10 % U-235.

Das aufgeführte Plutonium ist wieder in MOX-Brennelementen aus Belgien enthalten gewesen.

Das unter „Sonstige“ (Länder) aufgeführte abgereicherte Uran (6521 kg) stellt Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen dar und findet sich naturgemäß auch bei der Ausfuhr. Bestrahltes Material wird seit dem Inkrafttreten der neugefassten AtAV für diese Statistik nicht mehr erfasst.

Daten über gemäß der AtAV erfolgte Verbringungen bestrahlter Kernbrennstoffe sind somit nur noch den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Tabelle 1.2-3 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2011
(*Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2011*)

Versenderland	Einfuhr in kg								Summe
	abger. Uran	Natururan	bis 3 % U-235	>3-10 % U-235	>10-20 % U-235	>85 % U-235	Plutonium	Thorium	
Frankreich	110 033	2 930 234	0	27 299	54	32	0	0	3 067 652
Belgien	5954	2	5008	1988	0	0	449	0	13 401
Niederlande	0	0	3025	13 610	0	0	0	0	16 635
Großbritannien	49 438	1 694 154	0	12 069	0	0	0	0	1 755 661
Schweden	0	0	0	24 171	0	0	0	0	24 171
USA	200	197 680	0	3968	0	0	0	0	201 848
Kanada	1	402 412	0	0	0	0	0	0	402 413
Russland	1381	0	0	61 004	0	0	0	0	62 385
Hongkong	0	0	0	0	0	0	0	204	204
Sonstige	6521	0	0	0	0	0	0	0	6521
Summe	173 528	5 224 482	8033	144 109	54	32	449	204	5 550 891

1.3 Ausfuhrstatistik (*Export statistics*)

Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100

Die Gesamtausfuhr gemäß Tabelle 1.3-1 nahm von 102 567 GBq in 2010 nur leicht zu auf 115 285 GBq in 2011. Das Nuklidspektrum ist gegenüber dem Vorjahr unverändert geblieben, wobei S-35 mit 219 GBq Gesamtaktivität in die Tabelle zusätzlich aufgenommen wurde.

7019 GBq und damit ein gutes Drittel des ausgeführten H-3 war im Berichtszeitraum in Gaslichtquellen enthalten. Letztere wurden im Wesentlichen nach Kanada, in die Schweiz und nach Russland ausgeführt.

Ausfuhren von H-3-Leuchtfarbe wurden hingegen auch in 2011 nicht registriert.

Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen ab A 1/100 (Tabelle 1.3-2) hat sich praktisch ausschließlich wegen des Rückganges der Co-60-Ausfuhren bei hier analog niedrigeren Stückzahlen von 5 671 642 GBq mit jetzt 2 053 722 GBq auf ein gutes Drittel reduziert bei gleichzeitiger deutlicher Zunahme der Ausfuhren von Se-75.

Weitere Nuklide sind Cs-137 und Ir-192 sowie Sr-90, Am-241 und Cf-252.

Gut 66 % des Co-60 bezog sich auf Rücklieferungen nach Kanada (Quellentausch). Trotz des o. g. Rückgangs findet sich der größte Posten mit 71,9 % der Gesamtausfuhr dieser Rubrik wieder in der Summe für Co-60.

Tabelle 1.3-1

Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2011
(Export of sealed and unsealed radionuclides without sources at levels of above A1/100 in the year 2011)

Verbraucher- land	Aktivität in GBq															Summe				
	H-3	C-14	F-18	S-35	Fe-55	Co-60	Ni-63	Kr-85	Sr-90	Y-90	I-125	I-131	Cs-137	Ba-133	Pm-147		Lu-177	Ir-192	Am-241	Sonst.
Schweiz	8691	4	6601	15	0	0	16	178	5	0	108	189	15	0	1	1101	0	0	22	16 946
Norwegen	297	0	0	19	0	3	2	23	0	0	27	384	24	91	37	0	0	8	1	916
USA	337	1575	0	185	16	68	32	5003	23	2014	418	0	167	0	2577	11	0	168	20	12 614
Kanada	8441	0	0	0	11	7	1485	89	2	23	586	0	20	0	0	0	0	0	0	10 664
Australien	52	0	0	0	6	0	4	96	2	13 577	129	0	184	0	0	0	0	0	5	14 055
Neuseeland	69	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	2	7	0	98
Japan	110	0	0	0	0	0	560	1830	1	11	1	0	16	0	538	1	0	22	2	3092
Südkorea	0	0	0	0	29	12	29	433	0	0	5	35 949	224	0	0	0	0	181	0	36 862
Türkei	104	0	0	0	3	16	3	24	0	0	34	0	73	0	19	0	0	152	1	429
Kroatien	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	418	0	0	0	0	0	0	1	425
Russland	799	0	0	0	0	4	12	184	0	0	1778	0	22	0	19	0	0	0	0	2818
Ukraine	0	0	0	0	0	4	0	12	0	0	0	0	173	0	0	0	0	22	0	211
Armenien	533	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	534
Marokko	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	173	0	1	176
Ägypten	0	0	0	0	0	15	2	0	0	0	0	0	48	0	44	0	0	44	0	153
Tunesien	0	0	0	0	0	0	1	6	0	0	0	0	1	0	0	0	215	3	0	226
Südafrika	0	0	0	0	0	0	4	4	2	0	0	0	1251	0	18	0	0	22	2	1303
Nigeria	28	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	237	0	18	0	0	2	0	286
Israel	0	0	0	0	0	7	3	17	0	0	99	0	70	0	0	0	0	2	4	202
Indien	0	0	0	0	0	25	35	505	7	0	0	0	792	0	100	31	0	143	8	1647
Thailand	2	0	0	0	4	3	0	89	1	0	0	0	53	0	37	0	0	24	0	213
Malaysia	1	0	0	0	0	0	1	138	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	144
Singapur	0	0	0	0	0	0	7	0	0	6147	0	0	23	0	0	0	0	0	0	6315
Vietnam	0	0	0	0	4	2	0	16	0	0	0	0	93	0	43	0	0	7	0	165
Indonesien	0	0	0	0	4	9	1	79	0	0	0	0	3	0	37	0	0	2	0	135
China	0	0	0	0	19	42	45	1040	11	0	0	0	313	0	1093	0	0	48	2	2613
Taiwan	0	0	0	0	0	7	0	128	0	0	0	0	97	0	50	0	0	0	1	283
Hongkong	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	101	0	0	0	0	0	0	157
Chile	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	27	0	18	66	0	0	1	113
Brasilien	0	0	0	0	0	3	0	71	3	0	0	0	1	0	19	0	0	168	0	265
Mexiko	0	0	0	0	0	2	0	157	2	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0	204
Kolumbien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	16	0	111	100	0	0	0	228
Sonstige	1	0	0	0	0	35	21	136	0	0	10	15	364	0	99	3	6	98	5	793
Summe	19 465	1579	6601	219	99	265	2272	10 396	60	21 773	3195	37 011	4473	91	4878	1313	396	1123	76	115 285

Tabelle 1.3-2 **Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2011**
(Export of sealed radiation sources with levels of above A1/100 in the year 2011)

Verbraucher- land	Aktivität in GBq							Summe
	Co-60	Se-75	Sr-90	Cs-137	Ir-192	Am-242	Cf-252	
Schweiz	0	7344	0	0	0	0	0	7344
Türkei	280 500	2344	0	135 420	0	0	0	418 264
USA	82	0	161	0	361	0	0	604
Kanada	979 020	0	8	0	0	0	0	979 028
Australien	0	0	0	37	0	0	0	37
Japan	366	0	8	0	4108	0	0	4482
Südkorea	30	0	4	112	0	0	0	146
Kroatien	222	0	0	0	17 020	0	0	17 242
Serbien	0	2997	0	0	0	0	0	2997
Montenegro	0	0	0	0	451	0	0	451
Russland	779	17 645	0	5550	0	0	0	23 974
Kasachstan	0	10 786	0	0	0	0	0	10 786
Saudi-Arabien	79	3864	0	5290	0	0	0	9233
Ägypten	0	0	0	104	9435	0	0	9539
Marokko	64	0	0	0	0	0	0	64
Iran	0	0	0	1876	0	0	0	1876
China	184	0	16	90 062	0	1332	0	91 594
Taiwan	42	0	4	0	0	0	0	46
Indien	107	0	4	5640	0	0	0	5751
Venezuela	71	0	0	0	0	0	0	71
Chile	68	0	0	0	0	0	0	68
Brasilien	74	0	0	0	0	0	0	74
Peru	76	0	0	37	0	0	0	113
Thailand	0	0	0	163	0	592	0	755
Malaysia	30	0	0	162 208	11 840	0	0	174 078
Singapur	30	1735	0	0	0	0	0	1765
Vietnam	214 700	0	0	297	0	0	0	214 997
Indonesien	0	3156	4	48 880	0	0	0	52 040
Angola	77	0	0	0	0	0	0	77
Südafrika	143	19 241	0	6660	0	0	0	26 044
Simbabwe	68	0	0	0	0	0	0	68
Sonstige	42	0	0	67	0	0	5	114
Summe	1 476 854	69 112	209	462 403	43 215	1924	5	2 053 722
Stückzahl	111	46	44	83	29	13	5	331

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.3-3 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm.

Die Ausfuhrmenge ist in 2011 mit 3 338 873 kg gegenüber 4 032 449 kg (2010) um 17 % gesunken.

Wieder liegt bei abgereichertem Uran mit 2 783 380 kg der mengenmäßig größte Anteil, es sind 83,4 % der Gesamtausfuhr. Beinahe die Gesamtmenge hiervon ist wieder nach Frankreich verbracht worden.

Der nahezu gesamte Rest findet sich erwartungsgemäß wie auch sonst 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 auch 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.

Bestrahltes Material wird seit dem Inkrafttreten der neugefassten AtAV vom 07. Mai 2009 für diese Statistik nicht mehr erfasst.

Tabelle 1.3-3 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2011
(*Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2011*)

Verbraucherland	Ausfuhr in kg				Summe
	abger. Uran	Natururan	bis 3 % U-235	>3-10 %U-235	
Frankreich	2 769 755	995	1602	200 874	2 973 226
Belgien	0	0	683	19 596	20 279
Niederlande	0	0	0	18	18
Großbritannien	54	234	0	44 975	45 263
Schweden	4532	12 083	0	52 736	69 351
Spanien	0	0	0	18 969	18 969
Südkorea	0	0	0	27 577	27 577
USA	309	0	0	124 974	125 283
Russland	1041	0	0	1680	2721
Brasilien	0	0	0	47 694	47 694
Südafrika	4946	0	803	0	5749
Sonstige	2743	0	0	0	2743
Summe	2 783 380	13 312	3088	539 093	3 338 873

2743 kg abgereichertes Uran unter Sonstige: Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen; vgl. Einfuhr.

Die Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe unterliegt der AtAV.

Bestrahlte Kernbrennstoffe

In diesem Abschnitt waren bis zum Berichtsjahr 2006 die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe tabellarisch zusammengestellt und zwar ursprünglich in der Hauptsache für Brennelemente aus der kommerziellen Stromerzeugung, die wegen ihres hohen Wertstoffgehaltes zum Zwecke des Rezyklierens verbraucht worden waren.

Durch § 9a Abs. 1 Satz 2 AtG ist dies derzeit jedoch nicht zulässig und es blieben lediglich Kleinmengen, die nicht unter die genannte Regelung fallen wie z. B. bestrahlte Brennstabsegmente zu Forschungszwecken oder MTR („Material-Testing-Reactor“)- Brennelemente wie auch jene, die Eigentum der Vereinigten Staaten sind und somit nach deren Nutzungsdauer grundsätzlich zurückzuliefern waren und auch weiterhin zurückzuliefern sein werden.

Bestrahltes Material wird seit dem Inkrafttreten der neugefassten AtAV für die vorliegende Statistik nicht mehr erfasst.

Daten über gemäß der AtAV erfolgte Verbringungen bestrahlter Kernbrennstoffe sind somit nur noch den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

1.4 Genehmigungen und Anzeigen (*Licenses and notifications*)

Tabelle 1.4-1 zeigt die Anzeigen und Genehmigungen im Jahr 2011. 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 „Aufuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“ enthalten, wo sich zuvor 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.

Ferner ist in der Tabelle seit dem Berichtsjahr 2002 die rechte Spalte „Genehmigungen nach § 108 StrlSchV“ enthalten; sie ersetzt die Auflistung der Anzeigen nach § 12 Abs. 3 der alten Strahlenschutzverordnung von 1989.

Da grenzüberschreitende Verbringungen von Konsumgütern nach § 108 StrlSchV 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 9 für die Einfuhr und ebenfalls 9 für die Ausfuhr.

Die einschneidendste Änderung ebenfalls seit 2002 liegt jedoch im Wegfall der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht für innergemeinschaftliche Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe. Die vorliegende Statistik enthält daher hierüber keine Daten.

Es wurden im Berichtszeitraum vom BAFA 25 Einfuhr- und 87 Ausfuhrgenehmigungen gemäß § 3 Abs. 1 AtG sowie 33 Ausfuhr- und 30 Einfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 19 Abs. 1 StrlSchV erteilt.

Die vorliegende Statistik enthält auf Grund der „Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung“ (AtAV) keine Daten über radioaktive Abfälle; Informationen hierüber sind vielmehr den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Mit der Neufassung der AtAV, jetzt „Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung - 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 2011 gingen 3557 (2010: 3818) Einfuhranzeigen nach § 20 Abs. 1 und 3 StrlSchV sowie 5541 (2010: 5488) Ausfuhranzeigen nach § 20 Abs. 2 StrlSchV (Anzahl der Belege) ein. Die Zahl der bearbeiteten Belege ist damit im Vergleich zum Vorjahr nahezu gleich geblieben.

Die Daten für die jeweils erfassten Radionuklidpositionen lassen sich nicht mehr vergleichen, da durch die etwa Mitte 2010 erfolgte Einfügung eines Multiplikators in das Auswertesystem auch Kleinstquellen wie z. B. die sog. „Seeds“ mit I-125 einzeln gespeichert werden. Vorher wurden derartige Quellen zu Aktivitätswerten unterhalb A1/100 zusammengefasst.

Daher stehen für 2011 hier 65 511 Einfuhrpositionen 27 955 aus 2010 sowie 163 189 Ausfuhrpositionen 89 069 aus 2010 gegenüber.

Tabelle 1.4-1 Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2011 (Overview of the number of licenses and notifications in the year 2011)

Anzahl der Genehmigungen § 3 AtG und § 19 StrlSchV			Anzahl der Anzeigen § 20 StrlSchV		Anzahl der Genehmigungen § 108 StrlSchV	
für	erteilt	genutzt	Abs. 1 u. 3 (Einfuhr)	Abs. 2 (Ausfuhr)	Nr. 1 (Einfuhr)	Nr. 2 (Ausfuhr)
Einfuhr § 3 AtG	25	17	3557 (67 511)**	5441 (163 189)**	9*	9*
Ausfuhr § 3 AtG	87	37				
Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV	30	27				
Ausfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV	33	27				

* In 2011 erteilte Genehmigungen nach § 108 StrlSchV; die Laufzeiten betragen zwei Jahre

** Nach Einzelpositionen

Diese Aufstellung sowie folglich auch die gesamte Jahresstatistik enthält, bedingt durch die Strahlenschutzverordnung von 2001, keine Daten über innergemeinschaftliche grenzüberschreitende Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe.

Bei den Ausfuhrgenehmigungen nach § 19 Abs. 1 StrlSchV können neben denjenigen für HRQ ab A1 auch Genehmigungen für umschlossene Quellen über über dem 10⁸-fachen der Freigrenze enthalten sein, sofern dieser Wert unter A-1 liegt (Cs-137, Am-241). Offene radioaktive Stoffe kamen hier nicht vor.

Unter „Einfuhr § 19 StrlSchV“ sind ausschließlich Genehmigungen für HRQs ab A1 genannt.

Die grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Abfälle wird seit dem 01.08.1998 ausschließlich durch die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) geregelt und überwacht. Mit der Neufassung der AtAV vom 30.04.2009 gilt diese zusätzlich auch für bestrahlte Kernbrennstoffe. Daten über gemäß der AtAV erfolgte Verbringungen sind somit in dieser Statistik nicht enthalten und können daher nur den regelmäßigen Berichten an die Kommission entnommen werden.

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

Auf dem Gebiet des Transports radioaktiver Stoffe ist das BfS die zuständige Behörde zur Erteilung von Beförderungsgenehmigungen für alle Verkehrsträger gemäß § 4 Atomgesetz für Kernbrennstoffe und § 16 Strahlenschutzverordnung für Großquellen.

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

Ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt auf dem Gebiet der Zulassungen von Transportbehältern im Jahr 2011 war die Fortführung des umfangreichen Verfahrens für die erstmalige Zulassung des Behälters TN 24 E für den Transport und die Lagerung von bestrahlten Brennelementen aus Druckwasserreaktoren.

Auf Grundlage der vom BfS am 11. Juni 2010 erteilten Beförderungsgenehmigung wurden im Februar 2011 aus der Ver-
glasungsanlage der Wiederaufbereitungsanlage in Karlsruhe (WAK) 140 HAW-Glaskokillen, verpackt in fünf Behältern der Bauart CASTOR® HAW 20/28 CG, über die Schiene in das Zwischenlager Nord befördert.

Entsprechend der am 01. Juni 2011 erteilten Beförderungsgenehmigung wurde der letzte Transport von HAW-Glaskokillen aus der französischen Wiederaufbereitungsanlage La Hague realisiert. Der Transportzug mit den elf Behältern der erstmals eingesetzten Bauart CASTOR® HAW 28M erreichte am 28. November 2011 den Bahnhof in Dannenberg und nach dem Umschlag auf Straßenfahrzeuge am Abend des gleichen Tages das Zwischenlager Gorleben. Damit wurde die im Jahre 1995 begonnene Rückführung von insgesamt 3024 HAW-Glaskokillen, verpackt in 97 Versandstücken unterschiedlicher Bauart, aus Frankreich nach Deutschland abgeschlossen.

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

Die IAEO-Empfehlungen zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe (TS-R-1) sowie das erläuternde Material dazu (TS-G-1.1) unterliegen einem zweijährigen Überprüfungsprozess, der 2009 begonnen wurde. Die Arbeitsgruppe „Klasse 7“ des Gefahrgutverkehrsbeirats des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) unter Leitung des BfS erarbeitete hierzu alle erforderlichen Stellungnahmen Deutschlands. Der neue Entwurf der TS-R-1 wurde im Herbst 2011 von dem zuständigen IAEO-Transportgremium dem Transport Safety Standards Committee (TRANSSC) und dem Committee on Safety Standards (CSS) angenommen.

Die Mitarbeit des BfS in der „Europäischen Vereinigung zuständiger Behörden für den sicheren Transport radioaktiver Stoffe“ wurde fortgesetzt mit dem Ziel, ein einheitliches und abgestimmtes Herangehen bei der Anwendung der Vorschriften zu gewährleisten.

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

Im Jahr 2011 wurden insgesamt 122 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt. Weitere Informationen über die vom BfS erteilten Beförderungsgenehmigungen nach § 4 AtG für Kernbrennstoffe sowie nach § 16 StlSchV für Großquellen und über die durchgeführten Kernbrennstofftransporte können der Homepage des BfS (www.bfs.de) entnommen werden.

2011 wurden insgesamt 310 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle 2.1-1) realisiert, davon entfallen 59 Transporte auf das Binnenland, 104 auf den Export, 44 auf den Import und 103 Transporte entfallen auf den Transitverkehr. Mit Großquellen wurden 22 Transporte durchgeführt.

Tabelle 2.1-1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of shipments of nuclear fuels reported – for various modes and types of transport)

Anzahl der Inlandtransporte		
	2011	2010
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	1	0
Straße / unbestrahltes Material	58	69
Straße / bestrahltes Material	0	0
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
Insgesamt	59	69
Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte		
Luft / unbestrahltes Material	0	4
Luft / bestrahltes Material	0	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0	0
See / unbestrahltes Material	102	133
See / bestrahltes Material	0	1
See / Reststoffe und Abfall	1	3
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	1
Schiene / Reststoffe und Abfall	1	1
Straße / unbestrahltes Material	112	196
Straße / bestrahltes Material	35	43
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
Insgesamt	251	382

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2011 vom BfS insgesamt 6 Zulassungen für Transportbehälter und 13 deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen sowie eine verkehrsrechtliche Beförderungsgenehmigung (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 2011 beförderten Wagenladungen im Vergleich zu den Vorjahren ist in Tabelle 2.2-1 aufgeführt.

Jahr	Anzahl Wagenladungen
1995	654
1996	780
1997	678
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

Tabelle 2.2-1

Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen mit radioaktiven Stoffen
(*Number of yearly transported truck loads containing radioactive materials*)

^a rückläufig, überwiegend wegen Aussetzung von Brennelementetransporten

Tabelle 2.2-2 gibt einen Überblick hinsichtlich der Anzahl der Transporte mit der Eisenbahn in Abhängigkeit der jeweiligen rechtlichen Grundlage der erteilten Beförderungsgenehmigung.

Tabelle 2.2-2 Anzahl der Beförderungen in Abhängigkeit von der rechtlichen Grundlage
(*Number of transports in respect of their legal basis*)

Rechtliche Grundlage	Genehmigungsbehörde	Anzahl Transporte		Anzahl Wagenladungen	
		2011	2010	2011	2010
AtG § 4	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	2	4	16	27
AtG § 23 Abs. 2	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
StrlSchV § 16	Eisenbahn-Bundesamt (EBA)	126	97	418	386
StrlSchV § 17	genehmigungsfrei	-	1	-	3

Tabelle 2.2-3 listet die Anzahl der Wagenladungen des Jahres 2011, spezifiziert nach der Art der beförderten radioaktiven Stoffe bzw. nach den gefahrgutrechtlichen UN-Nummern, im Vergleich zum Vorjahr auf.

Tabelle 2.2-4 zeigt die Gesamtaktivität für den Wagenladungsverkehr im Jahr 2011. Die Gesamtaktivität im Wagenladungsverkehr wird ausschließlich durch beide HAW-Transporte, d. h. der Rückführung der verlasteten hochradioaktiven Abfälle aus Frankreich und den Verglasungsabfällen (VEK) aus Karlsruhe bestimmt.

**Tabelle 2.2-3 Wagenladungssendungen
(Truck-loads)**

Art der beförderten Stoffe	UN- Nummer*	Anzahl der Wagen	
		2011	2010
Kernbrennstoffe			
Unbestrahlte Brennelemente	3324	-	-
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), La Hague	3328	11	11
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), Karlsruhe	3328	5	-
Unbestrahltes, angereichertes Uran (max. 1 % U-235) als U ₃ O ₈	3321	-	12
Sonstige radioaktive Stoffe			
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	2978	191	221
Natururan in Form von Uranoxid (U ₃ O ₈)	2912	105	78
Rückstände/Abfälle in aus kerntechnischen Anlagen			
- LSA-I	2912	6	-
- Typ B(U)-Versandstücken	2916	5	2
- Industrierversandstücken	3321	107	82
- in Typ B(U)-Versandstücken	3321	4	-
Freigestellte Versandstücke			
- als leere Verpackung	2908	-	2
- als begrenzte Stoffmenge	2910	-	1
Summe		434	416

* Nummer zur Stoffkennzeichnung nach Gefahrgutrecht

**Tabelle 2.2-4 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported)**

Art der beförderten Stoffe	Beförderte Gesamtaktivität (Werte zum Teil geschätzt)	
	2011 (PBq)	2010 (PBq)
Kernbrennstoffe		
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), F	3756,34	3917,52
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), D	964,00	-
KNK-/OH-Brennstoffe		11,30
Unbestrahltes, angereichertes Uran (max. 1 % U-235) als U ₃ O ₈	-	0,01
Sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	0,13	0,14
Natururan in Form von Uranoxid (U ₃ O ₈)	0,13	0,08
Rückstände/Abfälle in aus kerntechnischen Anlagen	0,11	0,12
Freigestellte Versandstücke		
- als leere Verpackung	-	< 1
- als begrenzte Stoffmenge		
Summe	4720,71	3929,17

Im Jahr 2011 erfolgte ein Transport mit 11 Behältern (11 Wagenladungen) mit HAW-Glaskokillen von der französischen Wiederaufarbeitungsanlage La Hague ins Transportbehälterlager Gorleben. Die HAW-Glaskokillen befanden sich in 11 Behältern der Bauart CASTOR HAW28M. Bei den Überprüfungen von Versandstücken mit verglasten hochradioaktiven Spaltproduktlösungen sowie den verwendeten Eisenbahnwagen wurden in keinem Fall Überschreitungen von gesetzlich festgelegten Grenzwerten für festhaftende oder nichtfesthaftende Kontamination sowie Dosisleistung festgestellt.

Sowohl die Umladung der Behälter von den Straßenfahrzeugen auf die Eisenbahnwagen in Valognes als auch umgekehrt in Dannenberg wurde durch das EBA selbst bzw. im Auftrag des EBA durch den TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG begleitet. Die in der Transportdokumentation ausgewiesenen Protokolle über die

- die Dichtheit der Versandstücke,

- die Einhaltung der zulässigen Grenzwerte für die Dosisleistung am Versandstück,
- die Einhaltung der zulässigen Grenzwerte für die Dosisleistung am beladenen Eisenbahnwagen,
- die Einhaltung der zulässigen Kontaminationsgrenzwerte am Versandstück,
- die Einhaltung der zulässigen Kontaminationsgrenzwerte an den Eisenbahnwagen in Valognes (vor der Beförderung) und in Dannenberg (nach der Beförderung) sowie an den Handhabungseinrichtungen (z. B. Tragflasche Kran),
- die Einhaltung der Vorgaben für eine Messwertübernahme, sowie
- die Einhaltung der Kennzeichnungs- und Bezettelungsvorschriften

belegen die vorschriftenkonforme Beförderung der Behälter mit HAW-Glaskokillen.

Alle die im Rahmen der Aufarbeitung der Kontaminationsproblematik festgelegten Maßnahmen und Prozeduren wurden eingehalten.

Beförderung von verglasten Abfällen aus Karlsruhe (VEK)

Mit 5 CASTOR HAW 20/28 CG-Behältern wurde das verglaste hochradioaktive Abfallkonzentrat HAWC von der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) des ehemaligen Kernforschungszentrums Karlsruhe zum Zwischenlager Nord der EWN GmbH in Greifswald verbracht. Die Dosisleistung an den Abdeckhauben der Wagen lag etwa das 26-fache unter derjenigen für den HAW-Transport aus La Hague.

Mit Blick auf die Wirksamkeit von Kontaminationsschutzmaßnahmen wurden auch hier den Beladungen und der Beförderung die BMU-Kriterien zu Grunde gelegt, d. h. im atomrechtlichen Aufsichtsverfahren wurden durch das EBA der Masterablaufplan (MAP), die Behälterspezifischen Ablaufpläne (BsA) und die Transportdokumentation (TDF) geprüft und zur Zustimmung verfügt. Die in der Transportdokumentation ausgewiesenen Protokolle belegen die vorschriftenkonforme Beförderung der Behälter.

Tabelle 2.2-5 listet den Anteil der überprüften Wagenladungen sowie die bei den Überprüfungen festgestellte Mängelquote auf.

In Tabelle 2.2-6 ist die Anzahl der Mängel, differenziert nach der Gefahrenkategorie, aufgelistet. Mängel mit radiologischer Relevanz traten nicht auf. Es wurden Verstöße gegen Kennzeichnungsvorschriften bzw. Frachtbriefangaben festgestellt.

Tabelle 2.2-5 Anteil der überprüften Wagenladungen bezogen auf Transportarten, sowie festgestellte Mängel
(Contingent of reviewed truck-loads based on types of transport as well as detected defects)

Transportart	Wagenladungen				Mängel	
	Anzahl		davon überprüft		2011	2010
	2011	2010	2011	2010		
Sonstige radioaktive Stoffe	418	389	41,4 %	54,2 %	1,15 %	0,97 %
Unbestrahlte Brennelemente	16	27	100 %	100 %	-	-

Tabelle 2.2-6 Festgestellte Verstöße gegen Gefahrgutvorschriften
(Detected contempts against dangerous goods regulations)

Verstöße	Anzahl	
	2011	2010
Gefahrenkategorie I (schwerwiegender Verstoß)	-	-
Gefahrenkategorie II (weniger schwerwiegender Verstoß)	-	-
Gefahrenkategorie III (kein schwerwiegender Verstoß)	2	4

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 and X-ray devices*)

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

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

In Tabelle 3.1-1 ist die Zahl der in 2011 gültigen Genehmigungen nach §§ 7, 11, 15, 16, 106 StrlSchV und § 9 AtG in einer Übersicht, aufgeschlüsselt auf die Bundesländer, wiedergegeben.

Die Genehmigungen verteilen sich in 2011 im Wesentlichen zu 70,7 % auf Umgang nach § 7 StrlSchV, zu 4,6 % auf Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung § 11 StrlSchV, zu 1,8 % auf Beförderung und zu 22,4 % auf Tätigkeiten in fremden Anlagen. Nur ca. 0,2 % der Genehmigungen betrafen § 9 AtG und 0,1 % den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern.

Gemäß § 7 StrlSchV „Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen“ waren im Jahr 2011 9899 Genehmigungen in Deutschland gültig. Die Zahl der Inhaber dieser Genehmigungen ist in Tabelle 3.1-2 aufgelistet und betrug insgesamt 7477, davon waren

- 24 % im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 11 % im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 55 % im Bereich Industrie, gewerbliche Wirtschaft und
- 10 % in sonstigen Bereichen, z. B. Behörden registriert.

In Tabelle 3.1-3 ist in einer Übersicht die Zahl der Verwender ausschließlich umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2011 dargestellt. Wie erwartet liegt die Zahl der Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe im Bereich Industrie/gewerbliche Wirtschaft auch 2011 deutlich höher als in den anderen Bereichen.

Eine Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 StrlSchV im Jahr 2011 ist in Tabelle 3.1-4 zusammengestellt.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2011 kann einer Übersicht in Tabelle 3.1-5 entnommen werden. Von den insgesamt 10 146 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 86 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. eine Ni-63-Quelle, eine Pb-210-Quelle, eine Na-22-Quelle, 81 Cs-137-Quellen und eine Am-241-Quelle. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 3.1-5 zu entnehmen.

In den Tabellen 3.1-6 und 3.1-7 ist eine Übersicht über die Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen nach RÖV im Jahr 2011 unterteilt auf die Bereiche „Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin“ sowie „Technik / Nichtmedizin“ für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1324 und ist für die Bundesländer in Tabelle 3.1-7 gesondert aufgeführt. 31 % der nach § 3 Abs.1 RÖV genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2011 wurden im technischen Bereich 8725 Röntgeneinrichtungen gemäß § 4 Abs.1 angezeigt.

**Tabelle 3.1-1 Übersicht über gültige Genehmigungen
(Survey of current licences)**

Land	Am 31.12.2011 gültige Genehmigungen nach: ^a					
	§ 7 StrlSchV (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 11 StrlSchV (Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Strahlen) ^b	§ 15 StrlSchV (Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen)	§ 16 StrlSchV (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)	§ 106 StrlSchV (Zusatz radio- aktiver Stoffe zu Konsumgü- tern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrenn- stoffen)
Baden-Württemberg	2001	20 (Abs. 1), 102 (Abs. 2)	459	22	1	14
Bayern	1351	1 (Abs. 1), 87 (Abs. 2)	395	17	8	0
Berlin	769	76	209	49	3	2
Brandenburg	333	9	73	15	0	0
Bremen	148	5	43	8	0	0
Hamburg	301	25	98	7	0	0
Hessen	830	61 (Abs. 1), 2 (Abs. 2)	211	13	0	5
Mecklenburg- Vorpommern	178	11	821	0	0	0
Niedersachsen	1446	76 (Abs. 2)	247	49	1	2
Nordrhein-Westfalen	101	0	0	0	0	12
Rheinland-Pfalz	482	28	168	25	0	2
Saarland	142	11 (Abs. 2)	26	10	0	0
Sachsen	521	39	182	19	2	3
Sachsen-Anhalt	349	20 (Abs. 2)	57	15	0	0
Schleswig-Holstein	551	55	120	5	2	0
Thüringen	396	19	27	2	1	0
Summe	9899	647	3136	256	18	40

a Genehmigung ohne Nachträge, Änderungen und Verlängerungen („Stammgenehmigung“)

b getrennt nach § 11 Abs. 1 und Abs. 2 StrlSchV

**Tabelle 3.1-2 Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen ^a nach § 7 StrlSchV zum Umgang
mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2011)
(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of
radioactive substances - as at December 31, 2011)**

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV			
	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	458	185	1148	98
Bayern	213	34	614	115
Berlin	332	209	191	14
Brandenburg	24	25	190	54
Bremen	31	17	71	13
Hamburg	50	13	83	12
Hessen	159	91	318	30
Mecklenburg-Vorpommern	74	32	84	20
Niedersachsen	115	76	444	38
Nordrhein-Westfalen	0	0	20	0
Rheinland-Pfalz	68	14	230	54
Saarland	22	3	57	3
Sachsen	97	85	227	96
Sachsen-Anhalt	38	30	195	26
Schleswig-Holstein	44	13	125	13
Thüringen	32	9	148	153
Summe	1757	836	4145	739

a Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind nicht berücksichtigt

Tabelle 3.1-3 Zahl der Inhaber von Genehmigungen ^a nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2011)
(Survey of the number of licences according to § 7 StrlSchV relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2011)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV (umschlossene rad. Stoffe)				
	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	davon zerstörungsfreie, ortsveränderliche Werkstoffprüfung	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	131	61	620	66	58
Bayern	43	23	568	9	104
Berlin	104	18	116	12	2
Brandenburg	21	18	163	10	47
Bremen	13	11	49	0	9
Hamburg	4	0	63	3	6
Hessen	24	14	227	2	15
Mecklenburg-Vorp.	31	19	68	0	10
Niedersachsen	16	28	401	26	21
Nordrhein-Westf.	0	0	20	0	0
Rheinland-Pfalz	42	15	184	11	24
Saarland	2	1	40	1	3
Sachsen	35	63	224	11	60
Sachsen-Anhalt	7	14	189	12	22
Schleswig-Holstein	27	9	72	4	14
Thüringen	9	4	138	11	148
Summe	509	298	3142	178	543

a Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind hier nicht aufzuführen

Tabelle 3.1-4 Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen ^a zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach § 11 StrlSchV (Stand: 31.12.2011)
(Survey of the number of licences according to § 11 StrlSchV relating to the construction and operation of devices for the production of ionising radiation - as at December 31, 2011)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 11 StrlSchV			
	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	39	9	6	0
Bayern	43	7	11	0
Berlin	13	15	1	1
Brandenburg	6	1	0	0
Bremen	3			1
Hamburg	5	1	1	1
Hessen	21	4	3	0
Mecklenburg-Vorpommern	10	1	0	0
Niedersachsen	29	4	11	0
Nordrhein-Westfalen	0	0	0	0
Rheinland-Pfalz	21	1	1	
Saarland	5	0	1	0
Sachsen	20	14	4	1
Sachsen-Anhalt	7	0	3	0
Schleswig-Holstein	21	0	2	0
Thüringen	10	1	1	0
Summe	253	58	45	4

a einschließlich in Verbindung mit nach § 7 StrlSchV erteilten Genehmigungen

**Tabelle 3.1-5 Ergebnisse der Dichtigkeitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 66 StrlSchV im Jahre 2011
(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2011)**

Land	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtigkeitsprüfungen	Von Spalte 2 entfallen auf:										Anzahl und Nuklid der bei den Prüfungen als undicht ermittelten Präparate
		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronenquellen	Sonstige Nuklide		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Baden-Württemberg	1592	92	464	507	12	5	26	155	61	270	0	
Bayern	2257	143	430	571	49	0	54	346	131	533	1 x Ni-63	
Berlin	179	6	45	55	0	0	5	23	13	32	2 x Pb-210	
Brandenburg	576	82	17	231	1	0	1	90	6	148	0	
Bremen	90	19	8	28	0	0	1	25	1	8	0	
Hamburg	220	18	56	62	0	1	3	20	10	40	0	
Hessen	409	37	72	126	4	0	4	46	19	101	1 x Na-22	
Mecklenburg-Vorp.	95	1	16	61	0	0	0	14	0	3	0	
Niedersachsen	1592	155	302	507	4	0	100	143	103	178	0	
Nordrhein-Westfalen	124	53	0	55	0	0	0	16	0	0	0	
Rheinland-Pfalz	266	13	21	84	4	3	0	100	1	40	0	
Saarland	38	3	17	5	4	0	0	0	0	6	0	
Sachsen	1843	1006	140	464	22	0	3	88	48	72	81 x Cs-137 1 x Am-241	
Sachsen-Anhalt	226	12	5	128	0	0	0	14	10	57	0	
Schleswig-Holstein	437	48	28	245	10	0	12	37	26	31	0	
Thüringen	199	50	1	118	2	0	0	6	3	19	0	
Summe	10 146	1738	1622	3247	112	9	209	1123	432	1538	86	

Tabelle 3.1-6 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin in 2011
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine, dentistry and veterinary medicine in 2011)

Land	Humanmedizin		Zahnmedizin		Tiermedizin		
	Behandlung	Untersuchung	Gesamtzahl der genehmigten RöE (nach § 3 Abs. 1 i.V.m. § 4 Abs. 4 Nr. 3 RöV)	Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1)	Gesamtzahl der genehmigten RöE (nach § 3 Abs. 1)	Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1 Nr. 2)	Gesamtzahl der genehmigten RöE (nach § 3 Abs. 1 RöV)
Baden-Württemberg	413	734 / 21	4705	12 710	2231	363	636
Bayern	31	460 / 110	5504	14 664	384	352	919
Berlin	10	119 / 8	1823	4034	56	69	356
Brandenburg	2	50 / 25	847	2197	11	89	218
Bremen	28	10	407	701	20	7	43
Hamburg	9	78 / 6	866	2537	21	34	71
Hessen	19	88 / 63	2353	6610	102	138	494
Mecklenburg-Vorp.	4	32	19	1906	6	30	114
Niedersachsen	26	250 / 47	3890	7940	151	130	729
Nordrhein-Westfalen	92	1222 / 57	7067	15 391	2129	380	1039
Rheinland-Pfalz	19	153	1809	3864	36	70	335
Saarland	1	74 / 16	606	935	20	30	93
Sachsen	12	121 / 62	1618	4897	50	60	259
Sachsen-Anhalt	7	50 / 19	1118	2609	6	28	151
Schleswig-Holstein	6	74 / 13	1122	3079	89	107	244
Thüringen	10	18 / 12	947	2682	2	21	143

Tabelle 3.1.7 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik / Nichtmedizin im Jahr 2011
(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological / non-medical areas in 2011)

Land	Gesamtzahl der genehmigten Röntgeneinrichtungen (RöE) (nach § 3 Abs. 1 RöV)		Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1)		Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler (nach § 5 Abs. 1 RöV)
	RöE in der technischen Radiographie zur Grobstrukturanalyse (nach § 3 Abs. 1 i.V.m. § 4 Abs. 4 Nr. 1 RöV)	Sonstige RöE	RöE nach § 4 Abs. 1 Nr. 1 i.V.m. Anlage 2 Nr. 1 RöV und RöE nach § 4 Abs. 1 Nr. 3 RöV	RöE (Hochschutz- und Vollschutzgeräte sowie Schulröntgeneinrichtungen) (nach § 4 Abs. 1 Nr. 1 i.V.m. Anlage 2 Nr. 2 bis 4 RöV)	
Baden-Württemberg	83	1103	903	574	301
Bayern	426	735	752	607	293
Berlin	106	335	252	205	102
Brandenburg	79	106	102	89	14
Bremen	33	55	24	45	9
Hamburg	43	122	204	75	38
Hessen	113	821	592	300	125
Mecklenburg-Vorp.	35	77	48	22	18
Niedersachsen	248	202	514	411	28
Nordrhein-Westfalen	723	964	899	842	133
Rheinland-Pfalz	97	261	111	183	43
Saarland	52	32	50	24	54
Sachsen	154	248	220	110	84
Sachsen-Anhalt	118	97	54	63	50
Schleswig-Holstein	35	128	92	134	17
Thüringen	54	41	170	54	15

3.2 Bestand radioaktiver Abfälle (Stock of radioactive waste)

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen Abfallverursachergruppen wird sowohl für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als auch für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle jährlich in einer Erhebung durch das BfS ermittelt. Tabelle 3.2-1 enthält die zusammengefassten Daten für das Jahr 2010 und 2011 für Rohabfälle (unbehandelte Abfälle), Zwischenprodukte (behandelte Abfälle) und konditionierte Abfälle. Nicht enthalten ist in dieser Aufstellung der Bestand abgebrannter Brennelemente.

Tabelle 3.2-1 Übersicht über die Volumina zwischengelagerter radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2011
(Survey on the volume of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2011)

Abfallart	Volumen in m ^{3**}			
	vernachlässigbar wärmeentwickelnd		wärmeentwickelnd	
	2011	2010	2011	2010*
unbehandelte Reststoffe (verwertbare Reststoffe und Rohabfälle) Bestand Jahresende	19 128	17 517	3	3
Zwischenprodukte Bestand Jahresende	10 372	10 295	1251	1251

Abfallart	Volumen in m ^{3**}			
	vernachlässigbar wärmeentwickelnd		wärmeentwickelnd	
	2011	2010	2011	2010*
konditionierte Abfälle Bestand Jahresende	101 415	96 513	727	674
konditionierte Abfälle Anfall Jahresende	4535	1512	54	69

* Abweichungen der Angaben gegenüber dem Vorjahr beruhen auf Nachmeldungen

** Alle Werte in der Tabelle sind gerundet. Insofern kann es für einzelne Werte bei Summation zu Abweichungen kommen

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern 19 128 m³ unbehandelte Abfälle (Vorjahr: 17 517 m³); wobei sich unter diesen auch verwertbare Reststoffe befanden, die weiter- bzw. wiederverwendet oder nach entsprechenden Maßnahmen freigegeben werden können. Der Bestand an Zwischenprodukten mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung belief sich auf 10 372 m³ (Vorjahr: 10 295 m³). Diese lagern zum überwiegenden Teil bei den Abfallverursachern, zum Teil aber auch in zentralen Zwischenlagern. Der Bestand an konditionierten radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung betrug am 31. Dezember 2011 insgesamt 101 415 m³ (Vorjahr: 96 513 m³). Auch dieser Bestand lagert sowohl bei den Abfallverursachern als auch in Zwischenlagern.

Der Anfall zum Jahresende entspricht dem gemeldeten Anfall. Dieser kann sich von dem tatsächlichen Anfall, als Differenz der Volumina konditionierter Abfälle zum 31.12. des Berichts- und Vorjahres, unterscheiden. Die Ursachen liegen häufig an einer Umdeklarierung der Abfälle oder der zeitlichen Überschneidung des Konditionierungsvorhabens mit dem Berichtsdatum.

Detailliertere Angaben zum Bestand der konditionierten Abfälle am 31. Dezember 2011 sind für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.2-2 und für wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.2-3 für die einzelnen Abfallverursachergruppen aufgeführt.

Tabelle 3.2-2 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen, Zwischenprodukten und konditionierten Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2011
(Survey on the stock of unprocessed raw wastes, intermediate products and conditioned wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2011)

Gruppe	Volumen in m ^{3**}					
	unbehandelte Rohabfälle		Zwischenprodukte		konditionierte Abfälle	
	2011	2010	2011	2010	2011	2010
Forschungseinrichtungen	6508	6111	3786	3785	40 543	40 025
kerntechnische Industrie	405	393	927	1439	9436	7909
Kernkraftwerke	3720	3863	2482	2559	17 787	16 675
stillgelegte Kernkraftwerke	5872	4976	2628	2014	15 851	14 255
Landessammelstellen	1373	1194	257	205	3413	3424
Sonstige	335	335	293	293	0	0
Wiederaufarbeitung Karlsruhe (WAK)	914	644	0	0	14 386	14 225
Summe	19 128	17 517	10 372	10 295	101 415	96 513

** Alle Werte in der Tabelle sind gerundet. Insofern kann es für einzelne Werte bei Summationen zu Abweichungen kommen.

Der Mittelwert des jährlichen Anfalls über alle Verursachergruppen beträgt in den 26 Jahren, in denen eine Abfallerhebung durchgeführt wurde, ca. 4100 m³ (Vorjahr: ca. 4050 m³).

Neben dem Bestand an vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen lagerten am 31. Dezember 2011 in der Bundesrepublik Deutschland ca. 3 m³ wärmeentwickelnde Rohabfälle (Vorjahr: ca. 3 m³) und ca. 727 m³ wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle (Vorjahr: ca. 674 m³). Zusätzlich waren 1251 m³ wärmeentwickelnde Zwischenprodukte zwischengelagert (Vorjahr: 1251 m³). Bei den wärmeentwickelnden Rohabfällen handelt es sich um Abfälle des Forschungsreaktors Garching FRM II. Als Zwischenprodukte wurden die aus dem THTR (Hamm-Uentrop) entladenen Kugelbrennelemente gemeldet.

Neben den HAW (high active waste)-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich und Karlsruhe (WAK), die im Zwischenlager in Gorleben gelagert werden, handelt es sich bei den konditionierten wärmeentwickelnden radioaktiven Ab-

fällen u. a. um ca. 200 Fässer mit zementierten Abfällen, größtenteils Feedklärschlämme, Hülsen und BE-Strukturteile aus dem Betrieb und dem Rückbau der WAK, die in der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB-WAK) am Standort des KIT Campus Nord in Karlsruhe des FZK lagern. Die Aufteilung des Bestandes an wärmeentwickelnden Abfällen ist in Tabelle 3.2-3 aufgezeigt.

Tabelle 3.2-3 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen und konditionierten wärmeentwickelnden Abfällen nach Verursacherguppen am 31. Dezember 2011
(Survey on the stock of unprocessed raw wastes and conditioned heat generating wastes according to groups of waste producers on 31 December 2011)

Verursacherguppe	Volumen in m ^{3**}					
	unbehandelte Rohabfälle		Zwischenprodukte		konditionierte Abfälle	
	2011	2010	2011	2010	2011	2010
Forschungseinrichtungen	3	3			85	85
kerntechnische Industrie						
Kernkraftwerke					1	1
stillgelegte Kernkraftwerke			1251	1251		
Landessammelstellen					20	20
Wiederaufarbeitung Karlsruhe (WAK)						
Wiederaufarbeitung europäisches Ausland (HAW)					623	568
Summe	3	3	1251	1251	727	674

** Alle Werte in der Tabelle sind gerundet. Insofern kann es für einzelne Werte bei Summationen zu Abweichungen kommen.

Bis zum 31.12.2011 sind in Deutschland 14 465 Tonnen Schwermetall in Form von bestrahlten Brennelementen angefallen (Vorjahr: 13 471 Tonnen), davon rund 443 Tonnen Schwermetall im Jahr 2011. Hierin enthalten sind bestrahlte Brennelemente aus den in Betrieb befindlichen und den stillgelegten Kernkraftwerken mit Leistungsreaktoren > 50 MW. Nicht enthalten sind bestrahlte Brennelemente aus den abgeschalteten Reaktoren, die bis zum 31.12.2011 noch nicht entladen waren (noch ca. 500 Tonnen Schwermetall). Von dieser Gesamtmenge wurden 6662 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.

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

Bis zum Ende des Jahres 2011 wurden insgesamt 630 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten in das Register für hochradioaktive Strahlenquellen aufgenommen. 50 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt.

Bis Ende 2011 wurden 79 000 Meldungen zu 23 500 registrierten Strahlenquellen in der Datenbank der hochradioaktiven Strahlenquellen gespeichert. Von diesen 23 500 registrierten Strahlenquellen waren nur knapp 40 % „hochradioaktive Strahlenquellen“ im Sinn der Strahlenschutzverordnung, da ein Großteil dieser Strahlenquellen sich entweder 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.

Die Entwicklung des Datenbestandes im HRQ-Register seit 2006 zeigt die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 3.3-1 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

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse (Incidents subject to reporting)

Tabelle 4-1 enthält eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und Röntgeneinrichtungen sowie bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2011. Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der StrlSchV bzw. RöV und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkenntnisse dar. Sie dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalles, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffes (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden.

Tabelle 4-1 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	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
April 2010 (Nachtrag)	Fehlbestrahlung eines Patientenfußes in einer Strahlentherapiepraxis	Falsche Einstellung der Bestrahlungsfractionen im Bestrahlungsplan	Schmerzen und Hautveränderungen am behandelten Fuß durch die irrtümlich applizierte Dosis von 48 Gray anstelle von 8 Gray	Einführung zusätzlicher Kontroll- und Freigabeschritte bei der Bestrahlungsplanung, ärztliche Überwachung des Patienten
11.01.11	Fund eines Metallteils (Ra-226; ca. 3,7 MBq, ODL außen 400 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
17.01.11	Fund von mit radioaktiven Ablagerungen kontaminiertem Edelstahlschrott (Ra-226, 0,2 µSv/h am Container) bei einer Raffinerie	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.01.11	Fund von radioaktiv kontaminierten Krankenhausabfällen (I-123, 0,62 µSv/h am Container) bei der Müllverwertung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
21.01.11	Fund von 3 radioaktiv kontaminierten Stahlrohren im Schrott (Ra-226, 2,2 µSv/h am Rohr) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.01.11	Fund von Rohrstücken (Co-60; pro Stück ca. 34 kBq, ODL außen 2,5 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.01.11	Fund eines Messinstruments (Ra 226; ca. 34 kBq, ODL außen 8 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
28.01.11	Fehlbestrahlung eines Patienten mit einem Beschleuniger in einer Klinik	Softwarefehler	Applikation einer Dosis von 40 bis 65 Gy anstelle von 2 x 10 Gy, medizinische Untersuchung des Patienten anstehend (zurzeit keine akuten Folgen)	Schulung aller Beteiligten durch Herstellerfirma, Einführung eines Prüfschrittes bei der Datenübermittlung, Einführung der Fallbearbeitung durch zwei Personen
02.02.11	Fund von radioaktiven Schulpräparaten (Co-60, 1,48 MBq; Tl-204, 925 kBq; 9 x Ra-226, bis 1,11 MBq; Am-241, 340 kBq; Th-232, bis 37 kBq) im Keller eines Wohnhauses	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
04.02.11	Fund einer Eisenschiene mit 2 Leucht- oder Reflexionselementen (Ra-226; ODL-Oberfläche 400 µSv/h, geschätzte Gesamtktivität je Element 1,2 MBq) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Container mit Metallschrott aus Privatgrundstück-Entrümpelung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
07.02.11	Fund eines Strahlers im Scherenschrott (Ra-226, 20 kBq bzw. 0,05 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Inkrustation	Keine	
07.02.11	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll aus einem Krankenhaus (In-111, 0,8 µSv/h am Container) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklingen lassen und ordnungsgemäße Entsorgung
14.02.11	Fund von drei Flugzeug-Anzeigeelementen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226) bei einem technischen Servicebetrieb	Unzulässige Entsorgung, Unkenntnis bzgl. der vorhandenen Radioaktivität	Keine	Rücksendung an Absender
16.02.11	Fund eines Metallröhrchens (Ra 226, 700 kBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.02.11	Fund von radioaktiv kontaminierten Glasperlen (U-238; U-234 verschiedener Aktivität) in einem Privatgeschäft	Unkenntnis bzgl. der vorhandenen Radioaktivität	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
22.02.11	Patientenverwechslung bei Bestrahlung der Prostata	Schwerhörigkeit eines Patienten	Gering, weil der Bestrahlungsplan des verwechselten Patienten nahezu der verordneten Bestrahlung entsprach	Organisatorische und technische Maßnahmen, durch die auch bei Hör- und Verständigungsproblemen eines Patienten eine Verwechslung ausgeschlossen werden soll, wurden veranlasst
22.02.11	Fund von Armaturen mit Leuchtfarbe im Schrott (Ra-226, 50 kBq bzw. 31 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
23.02.11	Fund von 18 Ionisationsrauchmeldern (Am-241; 302 kBq Gesamtaktivität) bei einer Electrorecycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
04.03.11	Fund eines Kompasses mit radioaktiven Leuchtziffern im Elektroschrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung, wahrscheinlich Unkenntnis bezügl. vorhandener Radioaktivität, da nicht gekennzeichnet	Keine	
15.03.11	Fund von drei Rauchmeldern (Am-241) im Elektroschrott einer Recycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	
18.03.11	Fund eines radioaktiv kontaminierten PKW (Cs-134, Cs-136, Cs-137, I 131, I-132, I-133, Tc-99m, Te-129, Te-132, variable Aktivitäten) auf einem Flughafen	Kontamination am Frachtgut durch Reaktorunfall in Fukushima, Japan	Keine	
28.03.11	Fund von drei Radiumblättchen eines Radon-Emanators (Ra-226, 1,3 MBq) im Metallschrott bei einem Recyclingunternehmen	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.03.11	Fund eines Messinstruments (Ra-226; ca. 120 kBq, ODL außen 15 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
30.03.11	Angebot eines Messgeräts mit einem radioaktiven Strahler (Sr-90, 185 kBq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	
30.03.11	Fund eines Strahlers im Schrott, Scherenschrott (Th-232sec, 35 kBq bzw. 6,7 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
04.04.11	Fund von Gestein mit natürlichem radioaktivem Material (Ra-226, 1,6 MBq, 320 µSv/h bei Kontakt) im Müll bei einer thermischen Abfallbeseitigungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gering	Vorübergehende Zwischenlagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
08.04.11	Unfall mit einem Versandstück mit einem Radiopharmakum (F-18, 18,77 GBq)	Unfall	Keine	Versandstück nicht beschädigt, kein Verstoß gegen gefahrgutrechtliche Vorschriften
08.04.11	Fund eines Eluatfläschchens mit radioaktiver Flüssigkeit (Tc-99m, 430 nSv/h an der Oberfläche) in einer medizinischen Praxis	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften durch widerrechtliche Verbringung außerhalb des Strahlenschutzgebietes	Keine	Abklingen lassen und ordnungsgemäße Entsorgung
11.04.11	Fund von kontaminierten Stahlringen im Abbruchschrott (Co-60, 2 MBq bzw. 40 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
13.04.11	Fund eines Messgeräts mit eingebautem radioaktivem Strahler (60 µSv/h Dosisleistung) im Elektroschrott einer Recycling-Firma	Unzulässige Entsorgung, wahrscheinlich Unkenntnis bezügl. vorhandener Radioaktivität, da nicht gekennzeichnet	Keine	
13.04.11	Fund eines kontaminierten Rohrstücks im Abbruchschrott (Ra-226, 40 kBq; Th-232sec, 8,5 kBq; U-235, 0,059 Bq/g; U-238sec, 1,2 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Inkrustation	Keine	

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
18.04.11	Fund eines radioaktiv kontaminierten Absperrschiebers aus einem Bergbaubetrieb (Ra-226, 5,5 µSv/h an der Oberfläche) in einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
19.04.11	Fund eines plutoniumbetriebenen Herzschrittmachers (Pu-238, ca. 30 GBq) auf Grund einer medizinisch indizierten Explantation in einem Klinikum	Implantation des Herzschrittmachers vor ca. 30 Jahren im Ausland und Verbringung durch Ausreise des Patienten nach Deutschland	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
21.04.11	Fund einer kontaminierten Tresortür im Schrott (Cs-137, 1,5 kBq; Ra-226, 40 kBq; Th-232sec, 4 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
26.04.11	Vorübergehender (Kontroll-)Verlust einer kombinierten Eindrucks-sonde mit einem Strahler (Cs-137, 129 MBq) auf einem Tagebau	Bruch des Gestänges	Keine	Bergung der Quelle aus 63 m Tiefe erfolgreich, die Quelle blieb unbeschädigt
Mai 2011	Verlust eines Teufenmarkers mit einer radioaktiven Quelle (Y-88, 660 kBq) durch Absturz in den Kavernensumpf in einer Erdgas-speicheranlage	Unfall	Keine, da auf Grund der Lage und der geringen Aktivität und Halbwertszeit Expositionen nicht zu erwarten sind	Keine
03.05.11	Fund von 12 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, 222 kBq Gesamtaktivität) bei einer Electrorecycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	
03.05.11	Fund eines kontaminierten Blechstückes im Scherenschrott (Th-232sec, 9 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
03.05.11	Fund von radioaktiv kontaminierten Verschraubungen (Co-60, 2,8 µSv/h) auf einem LKW bei einer Privatfirma	Unbekannt, ggf. bereits Kontamination des Rohmaterials	Keine	Separierung, Prüfung der Rücksendung an den Lieferanten
09.05.11	Fund eines Metallteiles mit angereichertem Uran im Schrott (U-238, 10 MBq) bei einer Recycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	
11.05.11	Fehlbestrahlung eines Patienten	Unbekannt	Keine	Endbericht liegt noch nicht vor
11.05.11	Kontamination von drei medizinisch-technischen Assistenten (Tc-99m) in einer Klinik	Mangelnde Kontaminationsprüfung nach einem Unfall	Abgeschätzte Teilkörperdosen an den Fingerringen: 8 mSv, 295 mSv und 351 mSv	Auswertung der Fingerringdosimeter, ärztliche Behandlung der medizinisch-technischen Assistenten, Durchführung einer Sonderunterweisung
16.05.11	Fund einer Ampulle mit radioaktivem Gas (Kr-85, ca. 150 kBq) bei einer Firma	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.05.11	Beschädigung einer Troxler-Sonde (Cs-137, 300 MBq) durch eine Walze bei Bauarbeiten	Unfall	Keine	Sicherstellung in der Transportverpackung und Abgabe an Hersteller

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
18.05.11	Fund kontaminierter Hygieneartikel (I-131, 18 µSv/h) im Hausmüll, bei einer thermischen Verwertungsanlage	Unbekannt	Keine	Separierung und Abklinglagerung bis 07.08.2011, Zuführung zur Verbrennung
18.05.11	Fund eines radioaktiven Stoffes (Tc-99m, 0,5 µSv/h am Container) in einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
20.05.11	Fund eines kontaminierten Rohrstückes mit Beton im Schrott (Ra-226, 10 kBq bzw. 0,06 Bq/g; Th-232sec, 5 kBq bzw. 0,14 Bq/g; U-235, 0,02 Bq/g; U-238sec, 0,2 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
20.05.11	Fund von kontaminierten Teilen (Cs-134; Cs-137; Oberflächenkontamination max. 30 Bq/cm ² , Gesamtaktivität ca. 116 kBq) in Metallschrott bei einem metallverarbeitenden Betrieb	Mangelnde Kontaminationsprüfung an Metallschrott, der aus der Region Fukushima, Japan, stammte	Keine	Separierung, Dekontamination und Weiterverarbeitung
30.05.11	Fund einer kontaminierten Filtermatte (Cs-134; Cs-137, 1,4 µSv/h an der Oberfläche) im Schiffsabfall bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
01.06.11	Fund von zwei Radiumtrinkbechern (Ra-226) bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Lagerung in der Landesammelstelle
03.06.11	Fund von kontaminierten Hygieneartikeln (I-131, 0,5 µSv/h) im Hausmüll bei einer thermischen Verwertungsanlage	Unbekannt	Keine	Abklingen lassen nach Untersuchung, ordnungsgemäße Verbrennung
07.06.11	Fund eines geschlossenen Metallrohres (Ra-226; ca. 1 MBq, ODL bis 30 µSv/h) in einer Recyclinganlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Keine
09.06.11	Fund von thoriumhaltigem Flugzeugschrott (Th-232, 10 µSv/h an der Oberfläche) auf einem Recyclinghof	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rückgabe an den Hersteller, ordnungsgemäße Entsorgung
10.06.11	Fund von kontaminierten Metallplatten im Schrott (Ra-226, 15 kBq; Th-232sec, 20 kBq; U-235, 0,012 Bq/g; U-238sec, 0,022 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Inkrustation, Radioaktivität im Baumaterial	Keine	
17.06.11	Fund eines Metallbehälters mit einem radioaktiven Präparat (Cs-137, 350 kBq) im Schrott bei einer Recycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	
21.06.11	Störung beim Zurückfahren des Strahlers bei einem Afterloadinggerät	Technischer Geräte-defekt	Gering (zusätzliche Dosis < 0,8 mSv), weil sich der Strahler nicht mehr in Patientennähe befand	Reparatur der Anlage durch den Hersteller

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
22.06.11	Fund eines kontaminierten Behälters im Schrott (Ra-226, 0,15 Bq/g; Th-232sec, 0,1 MBq bzw. 0,85 Bq/g; U-235, 0,012 Bq/g; U-238sec, 0,26 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
22.06.11	Fehlbestrahlung eines Patienten mit Protonen in einer Klinik	Fehlerhafte Eingabe der Anzahl der Fraktionen	Irrtümliche Applikation der vollen Therapiedosis anstelle einer Fraktionsdosis, Nebenwirkungen	Medizinische Kontrolle des Patienten, zusätzliche organisatorische Maßnahmen (4-Augen-Prinzip), Änderung der Software
Juli 2011	Angebot eines Messgeräts mit einem radioaktiven Strahler (Sr-90, 185 kBq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
05.07.11	Fund eines radioaktiv kontaminierten elektrischen Schaltkabels (Ra-226, 2,3 MBq) bei einer Metallrecycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	
05.07.11	Fund von 8 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, 148 kBq Gesamtaktivität) bei einer Electrorecycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
06.07.11	Unerlaubter Betrieb eines Röntgengerätes zur Knochendichtemessung in einer Apotheke	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	Teilweise geringe Expositionen an Versuchspersonen	Behördliches Verbot, Verhängen eines Bußgeldes
07.07.11	Fund von zwei Schulstrahlenquellen (Cs-137, 185 kBq; Kr-85, 185 kBq) in einer verlassenen Schule	Unterlassene Entsorgung	Keine	
07.07.11	Unzulässige Exposition von 2 Arbeitnehmern bei der Wartung von Röntgeneinrichtungen	Mangelnde Funktion einer Warnsignalleuchte sowie von Sicherheitsschaltern und Sicherheitssteuerkreisen	Gesamtdosis pro Arbeitnehmer: ca. 5 µSv	Sicherstellung der Röntgeneinrichtungen
11.07.11	Fund eines Strahlers sowie eines Eimers mit kontaminierten Rückständen im Schrott, (Ra-226, 0,53 MBq bzw. 24 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
19.07.11	Fund eines Radiumkissens (Ra-226, 1 MBq) in einer Mülllieferung bei einer thermischen Abfallbehandlungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
20.07.11	Fund v. Metallkleinteilen (Th-232, ca. 100 kBq, ODL außen 2,1 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
22.07.11	Fund eines Strahlers im Schrott, Messuhr (Ra-226, 0,1 MBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
25.07.11	Fund eines Strahlers im Schrott, Pressling (Ra-226, 0,35 MBq bzw. 44 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
29.07.11	Fund eines Höhenmessers mit Leuchtfarbe (Ra-226, 0,1 MBq) bei einer Metallrecycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	
29.07.11	Fund einer Strahlenquelle (Co-60, 20 MBq) in einer Lieferung bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
01.08.11	Fund eines kontaminierten Rohrs im Schrott (U-238sec, 40 kBq; U-235/Pa-231/Ac-227, 2 kBq; Th-232sec, 8 kBq; K-40, 4 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
03.08.11	Unbemerkerter Eintritt von Personen in den OP-Bestrahlungsraum beim Betrieb einer Intrabeam-Röntgenbestrahlungseinrichtung	Unbekannt	Keine	Installation von Türkontakten an allen Zugangstüren
04.08.11	Fund eines Pakets mit einem Prüfstrahler (C-14) bei einer Postannahmestelle	Unterlassene Kontrollen	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.08.11	Fund eines Zifferblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe im Schrott (Ra-226, 50 kBq bzw. 62,5 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
16.08.11	Fund eines kontaminierten Steins im Schrott (Ra-226, 0,1 MBq; U-235, 5 kBq; U-238sec, 0,1 MBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
16.08.11	Fund von radioaktiven Stoffen (I-131, 47 µSv/h am Behälter) in Hausmüll bei einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sortierung durch eine Fachfirma, ordnungsgemäße Entsorgung
17.08.11	Fund eines Fassteils mit radioaktiven Leuchtziffern im Schrott (Ra-226, 0,3 MBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
23.08.11	Fund eines Gerätes mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 300 kBq) in einer Lieferung bei einem Entsorger	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
23.08.11	Fund von 950 Metallplaketten mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 375 MBq) in 4 Containern bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
24.08.11	Fund von radioaktiv kontaminierten Metallnetzen ca. 5 kg (Co-60, max. 128 Bq/g) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
28.08.11	Beschädigung einer Troxlersonde (Cs-137, 0,3 GBq) durch eine Walze bei Straßenbauarbeiten	Unfall durch Unachtsamkeit des Walzenfahrers	Keine, da Troxlersonde nur äußerlich beschädigt, Kontaminationsfreiheit durch Messungen bestätigt	Sicherstellung der Troxlersonde, polizeiliche Ermittlungen
29.08.11	Fund eines Anzeigeinstruments mit Leuchtfarbe (Ra-226, 0,35 MBq) bei einer Metallrecycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
29.08.11	Kontamination von zwei Mitarbeitern durch zwei undichte Strahler (Cs-137, 3,7 GBq) in einem Kohlekraftwerk	Undichtheit durch unsachgemäße Arbeiten an den Strahlenquellen einer Messeinheit für die Rauchgasentschwebelung	Folgedosen der Inkorporation infolge der Kontamination von 20 µSv bzw. 40 µSv	Dekontamination der Mitarbeiter und der Arbeitsbereiche, ordnungsgemäße Entsorgung der Strahler
29.08.11	Fund von radioaktiv kontaminierten Feststoffen und Lösungen (Co-60; Cs-134; Cs-137 u.a.) bei einer Kontrolle in einem Forschungsbergwerk	Unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.08.11	Fund von 7 radioaktiv kontaminierten Metallplaketten (Ra-226) in Gewerbemüll bei einer Lagerraumvermietung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
29.08.11	Fund von 48 Metallplaketten mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226) bei der Durchsuchung eines Privatgeschäfts	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
30.08.11	Fund von 39 radioaktiv kontaminierten Metallplaketten (Ra-226) in Gewerbemüll bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
31.08.11	Fund von radioaktiv kontaminierten Metallplaketten (Ra-226) in zwei Containern bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.09.11	Verlust von radioaktiven Stoffen (H-3, 37 MBq; C-14, 1,85 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Überarbeitung der Strahlenschutzanweisungen
08.09.11	Fund eines Gerätes mit einem Strahler (Ra-226 bis 11,1 MBq; ODL außen 450 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung, Ermittlungen laufen
09.09.11	Fund von H-3-haltigen Fluginstrumenten im Posteingang eines öffentlichen Gebäudes	Unkenntnis	Keine erhöhte Ortsdosisleistung	Keine
09.09.11	Fund eines Messgerätes mit Prüfstrahlenquellen (Cs-137, 129 kBq je Strahler) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
09.09.11	Verkleben eines Strahlers an einem Gammadiagnostikgerät (Ir-192, 888 GBq) bei Prüfarbeiten in einem Kraftwerk	Fehlfunktion am Gerät	Handdosis ca. 50 mSv, Körperdosis ca. 4 mSv bei den betroffenen Mitarbeitern	Quelle nach manuellem Eingriff des Mitarbeiters wieder ordnungsgemäß eingefahren
13.09.11	Fund eines kontaminierten Leuchtelements und einer Sockelplatte (Ra-226, ca. 350 kBq, ODL außen 65 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.09.11	Fund einer Strahlenquelle (Cs-137, 46 kBq) in einem Forschungsinstitut	Unterlassene Kontrollen	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
16.09.11	Fund einer radioaktiven Strahlenquelle (Cs-137, 30 MBq) in einer Lieferung bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.09.11	Fund einer gepressten Armatur im Schrott (Ra-226, 30 kBq bzw. 37,5 Bq/g) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
19.09.11	Fund von kontaminierten Blechelementen (Ra-226, ca. 240 kBq) und einem Stahlrohr (Ra-226, ca. 300 kBq) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
20.09.11	Fund von innen kontaminierten Rohren (Ra-226, im Gleichgewicht mit den Tochternukliden) aus der Erdöl-/Erdgasförderung	Unzulässige Entsorgung von überwachungsbedürftigen Rückständen	Keine	
21.09.11	Fund eines kontaminierten Rohrstücks im Schrott (Ra-226, 8 kBq; Th-232sec, 4 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
22.09.11	Fund eines kontaminierten Pflastersteins im Schrott (Ra-226, 20 kBq; U-235, 1 kBq; U-238sec, 20 kBq) bei einem Stahlwerk	Erhöhte natürliche Radioaktivität	Keine	
22.09.11	Fund eines kontaminierten Rohrstücks im Schrott (Ra-226, 20 kBq; Th-232sec, 6 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
26.09.11	Fund eines kontaminierten Bleistücks im Schrott (Ra-226, 0,4 MBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
27.09.11	Fund von zwei radioaktiven Quellen (Sr-90, je 555 MBq) bei Abrissarbeiten	Unterlassene Entsorgung von zwei Flächenmassetmessköpfen	Keine	Abholung durch den Hersteller
28.09.11	Fund eines kontaminierten Schrotstückes mit Beton im Schrott, (Ra-226, 40 kBq; Th-232sec, 7 kBq; U-235, 3 kBq; U-238sec, 50 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
30.09.11	Fund einer kontaminierten Tür mit Beton im Schrott (Ra-226, 9 kBq; Th-232sec, 10 kBq) bei einem Stahlwerk	Radioaktivität in Baumaterialien	Keine	
05.10.11	Fund eines Strahlers im Schrott (Ra-226, 60 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
05.10.11	Fund von Metallkleinteilen (69 Stück) mit Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 105 kBq, ODL außen 20 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.10.11	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallrohrs (Ra-226, 5,5 MBq) in einem Haufwerk bei einer Metallrecycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
08.10.11	Fund einer kontaminierten Armatur im Schrott (Ra-226, 5 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
08.10.11	Fund eines Behälters mit radioaktiver Leuchtfarbe im Schrott (Ra-226, 20 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
15.10.11	Fund einer kontaminierten Wasserwaage im Schrott (Ra-226, 30 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
18.10.11	Freigabe eines Leichnams nach einer therapeutischen Behandlung mit I-131	Unkenntnis	Keine	Schutzmaßnahmen beim Beerdigungsinstitut, (Handschuhe, Dosimeter)
20.10.11	Fund eines Leuchtelements (Ra-226, 740 kBq, ODL außen 105 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
20.10.11	Fund eines Anzeigeinstruments (Ra-226) im Schrott bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.10.11	Fund von kontaminierten Rohrstücken (Co-60; ca. 10 kBq, ODL außen 0,6 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
25.10.11	Fund von radioaktiv kontaminierten Stoffen (Tc-99m, 2,2 µSv/h am Behälter) in Hausmüll bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung von Patientenausscheidungen	Keine	Abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
26.10.11	Freisetzung einer radioaktiven Lösung (F-18, 28 GBq) in einer Anlage zur Herstellung von PET-Diagnostika	Fehler am Kugelventil und Materialfehler am Glasfläschchen	Personendosis der Mitarbeiter von 2 bis 4 µSv	Dekontamination des Bereichs
28.10.11	Fund einer radioaktiv kontaminierten Metallfeder (Co-60, 1,2 MBq) in einer Lieferung bei einer Metallrecycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
02.11.11	Fund von Brachytherapie-Seeds (I-125) in Mick-Applikatoren bei einer Galvanik-Firma	Mangelnde Kontrolle vor der Versendung der Mick-Applikatoren	Handdosis des Mitarbeiters ca. 8 µSv, Dosisleistung an den Applikatoren 30 - 100 µSv/h	Organisatorische Änderungen beim Versender, Einführung von zusätzlichen Kontroll- und Dokumentationsschritten
03.11.11	Fund von Behältern mit radioaktiven Stoffen (Uranylнитrat, 21 µSv an der Oberfläche) auf einem Betriebshof	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
04.11.11	Fund eines Strahlers im Scherenschrott (Ra-226, 30 kBq; Th-232sec, 6 kBq; U-235, < 0,8 kBq; U-238sec, < 80 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
07.11.11	Fund von radioaktiv kontaminierten Zinkblechteilen (Ra-226) aus einer ehemaligen Dacheindeckung im Schrott	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
08.11.11	Fund radioaktiver Stoffe (Uran-abgereichert; ODL ca. 20 µSv/h) in einer Lieferung bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.11.11	Fund von zwei Bleibehältern mit Strahlenquellen (Cs-137, 130 kBq & 21 kBq; Co-57) bei einer Hausdurchsuchung	Unerlaubter Besitz radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
11.11.11	Fund von 25 Einzelgebinden mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Thorium; Uran; 20 µSv/h an den Objekten) in einer Industrieanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
14.11.11	Verlust von zwei Ionisationsrauchmeldern beim Abbau einer Brandmeldeanlage	Versehentliche Entsorgung der Melder im Elektronikschrott	Keine	Erneute Unterweisung des Montagepersonals
16.11.11	Mangelnde Funktion eines Türsicherheitsschalters während einer Übung	Defekt am Sicherheitspositionstaster, mangelhafte Wartungsanweisung	Keine	Reparatur und ordnungsgemäße Einbindung des Sicherheitspositionstasters
22.11.11	Fund eines Anzeigegerätes mit Leuchtfarbe (Ra-226, 60 kBq) bei einer Recycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	
25.11.11	Fund von sechs Anzeigeeinrichtungen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 500 kBq) in Gebäudeabbruchmaterial bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
25.11.11	Fund eines Rohrschiebers (Ra-226; ca. 50 kBq, Th-228; 20 kBq, ODL außen 8 µSv/h) bei der Eingangskontrolle einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.11.11	Fund einer radioaktiv kontaminierten Metallfeder (Co-60, 1,28 MBq) in einer Lieferung bei einer Metallrecycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
29.11.11	Fund eines kontaminierten Rohrstücks im Schrott (Ra-226, 20 kBq; Th-232sec, 2 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
30.11.11	Fund eines kontaminierten Rohrstücks im Schrott (Ra-226, 50 kBq; Th-232sec, 5 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
02.12.11	Vorübergehender Verlust eines Pakets mit radioaktiven Stoffen (I-131, 18,5 MBq) auf dem Transportweg	Allgemeines menschliches Versagen	Keine	Wiederauffinden des Pakets nach Suche und Rücksendung an den Absender
04.12.11	Fund eines Scherenteils im Schrott (Ra-226, 60 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	
05.12.11	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallteils (Co-60, 1,8 MBq) in einer Lieferung in einem Eisenbahnwaggon	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
10.12.11	Fund eines kontaminierten Tresors im Schrott (Ra-226, 3 kBq ; Th-232sec, 6 kBq) bei einem Stahlwerk	Radioaktivität in Baumaterialien	Keine	
13.12.11	Fund von 15 Radium-Trinkbechern sowie von radioaktiv kontaminierten Verschraubungen und Rohrteilen (Ra-226, 17 µSv/h an den Objekten) in einer Lieferung bei einer Recyclinganlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
16.12.11	Verlust von 29 Ionisationsrauchmeldern (Am-241; Ra-226; 5 kBq bis 2,6 MBq) beim Abriss eines Hauses	Unterlassene Entsorgung	Keine	Wiederauffinden und ordnungsgemäße Entsorgung von 16 Stück, Suche nach restlichen Ionisationsrauchmeldern andauernd
23.12.11	Fund von kontaminierten Hygieneartikeln (I-131, 3,7 µSv/h) im Hausmüll in einer thermischen Verwertungsanlage	Unbekannt	Keine	Separierung, Abklinglagerung, ordnungsgemäße Verbrennung
30.12.11	Versehentliche Bestrahlung einer MTRA in einem Klinikum für Strahlentherapie	Mangelnde Kommunikation und Sorgfalt	Keine, Strahlenexposition nach Abschätzung vernachlässigbar	Analyse des Ereignisses, erneute Unterweisung des Personals

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 dem zunehmenden Technisierungsgrad der Umwelt steigt auch die Zahl der künstlichen Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung beitragen können. Unter dem Begriff „Nichtionisierende Strahlung“ werden elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder in einem Frequenzbereich von 0 Hertz (Hz) bis 300 Gigahertz (GHz) sowie optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 Nanometer bis 1 Millimeter zusammengefasst.

Das gleichzeitige Einwirken elektromagnetischer Felder von mehreren Quellen sowie neue Technikentwicklungen stellen eine aktuelle Herausforderung für den Strahlenschutz dar. Dabei sind neue und absehbare Technikentwicklungen zu berücksichtigen. Im hierzu 2010 durchgeführten Forschungsvorhaben (siehe Kasten) wurden Vorschläge zur systematischen Identifizierung künstlicher Quellen nichtionisierender Strahlung erarbeitet, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der allgemeinen Bevölkerung liefern können. Auf Grund der unterschiedlichen Expositionscharakteristika und der ungleichen gesundheitlichen Risiken nieder- und hochfrequenter Strahlung auf der einen und optischer Strahlung auf der anderen Seite wurde ein differenziertes Bewertungsschema entwickelt. Bei der Mehrzahl der im Projekt als relevant identifizierten Quellen beruht die Einordnung auf der Bewertung unbeabsichtigt emittierter niederfrequenter Felder (z. B. Streufelder). Da alle netzbetriebenen elektrischen Geräte von derartigen Feldern umgeben sind, ist die Zahl der in diesem Teil des elektromagnetischen Spektrums zu erfassenden Quellen besonders groß.

Das hierzu in 2010 durchgeführte Forschungsvorhaben ist:

Systematische Erfassung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können
nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201101134413

Einige der als relevant bzw. bedingt relevant identifizierten Quellen unterliegen in Deutschland immissionsschutzrechtlichen Regelungen, so z. B. elektrische Energieversorgungsleitungen und Mobilfunksendeanlagen. Hinsichtlich des Schutzes der Allgemeinheit vor potenziellen schädlichen Feldeinwirkungen berücksichtigen diese Regelungen neben den Immissionen der jeweiligen Anlage allerdings nur Beiträge anderer ortsfester Emittenten vergleichbarer Art. Mögliche Expositionsbeiträge netzbetriebener elektrischer Geräte oder mobiler Hochfrequenzsender (z. B. Mobiltelefone) bleiben unberücksichtigt bzw. sind insgesamt nicht geregelt. Der Betrieb von Geräten unterliegt vielfach keinen unmittelbar den Strahlenschutz betreffenden Regelungen.

Die Projektergebnisse geben Hinweise auf Quellen nichtionisierender Strahlung, bei denen Kenntnislücken bezüglich möglicher Expositionen von Personen bestehen. Sie enthalten weiter Hinweise, welche Techniken in Zukunft für die Exposition der Bevölkerung relevant werden könnten und bestätigen auf folgende Weise die Bedeutung, die dem europäischen Normungsprozess zukommt: Die Anwendung harmonisierter technischer Normen ist zwar freiwillig, die dort definierten Verfahren werden aber vielfach genutzt, da man davon ausgeht, dass dadurch die Anforderungen der europäischen Richtlinien, einschließlich des Schutzes vor Gefahren durch Strahlung, erfüllt sind. Dies ist eine Voraussetzung für das Inverkehrbringen und für die Inbetriebnahme von Produkten auf dem europäischen Gemeinschaftsmarkt und deshalb können bei fehlenden weitergehenden Regelungen die in den europäischen Normen definierten Verfahren für den Strahlenschutz hohe Bedeutung erlangen.

1.2 Statische Magnetfelder (*Static magnetic fields*)

Personen, die als medizinisches Personal direkt in der Nähe von Magnetresonanztomographen (MRT) arbeiten, sowie Patienten sind starken statischen Magnetfeldern mit magnetischen Flussdichten von 3 Tesla (T) und mehr ausgesetzt. Ab einer Schwelle von etwa 2-4 T wird über vorübergehende Effekte berichtet, die zu einer Gefährdung an bestimmten Arbeitsplätzen oder bei bestimmten Tätigkeiten führen können. Betroffen sind im Wesentlichen kognitive Fähigkeiten. Dieses Thema ist für den Schutz des medizinischen Personals von hoher Priorität, da zunehmend Arbeitnehmer solchen und weitaus höheren Feldern ausgesetzt werden. Die Feldstärkewerte neuer Technologien (im medizinischen Bereich) erreichen bereits jetzt Werte im Bereich von 10 T. In naher Zukunft ist mit der Einführung von so genannten 7-Tesla-Geräten in die klinische Routine zu rechnen. Da es oberhalb von 4 T keine verlässlichen Informationen über mögliche gesundheitlichen Risiken starker statischer Magnetfelder der Magnet-Resonanz-Tomographie gab, wurden diese in drei Forschungsvorhaben des UFOPLANs überprüft. Es ging dabei vor allem um den Schutz von schwangeren Patientinnen und des medizinischen Personals sowie um die kognitive Leistungsfähigkeit von Personen, die sich in starken Feldern und räumlichen Gradienten der statischen Magnetfelder bewegen. Die im Jahr 2011 abgeschlossenen Forschungsvorhaben hierzu sind:

Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT auf die Endpunkte Fortpflanzung und Entwicklung im Tiermodell doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-201112226819
Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT während der Embryonalentwicklung auf kognitives und emotionales Verhalten bei Mäusen doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-201112226829
Auswirkungen der Exposition mit starken statischen Magnetfeldern auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Probanden doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-201203127647

Das Vorhaben „Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT auf die Endpunkte Fortpflanzung und Entwicklung im Tiermodell“ diente der Klärung, ob statische Magnetfelder einen Einfluss auf die Fortpflanzung und die embryonale und postembryonale Entwicklung von Säugetieren haben. Es zeigte sich, dass in dieser tierexperimentellen Studie die Spermatogenese (Bildung männlicher Keimzellen) bei männlichen Mäusen sowie die Schwangerschaftsrate und der Verlauf bei weiblichen Tieren durch eine wiederholte Magnetfeldexposition bis 7 T nicht beeinträchtigt wurde. Die während ihrer embryonalen Entwicklung täglich exponierten Jungtiere zeigten keine gesundheitlich relevanten Einflüsse der Exposition, aber eine leicht verzögerte Entwicklung in Bezug auf Gewicht und das Öffnen der Augen, die möglicherweise stressbedingt war. Das Verhalten der Muttertiere während der Exposition deutete darauf hin, dass sie das Feld wahrgenommen haben. Dies könnte zu einer Stressreaktion geführt haben.

Im Vorhaben „Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT während der Embryonalentwicklung auf kognitives und emotionales Verhalten bei Mäusen“ wurde bei Mäusen, die während ihrer Embryonalentwicklung täglich mit bis zu 7 T exponiert wurden, die weitere Entwicklung des Verhaltens im jungen Erwachsenenalter untersucht. Dabei blieb das kognitive und emotionale Verhalten der Jungtiere in Bezug auf Lernfähigkeit, Gedächtnis, Ängstlichkeit und Depressivität unbeeinflusst.

Das Vorhaben „Auswirkungen der Exposition mit starken statischen Magnetfeldern auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Probanden“ befasste sich mit möglichen Auswirkungen starker statischer Magnetfelder auf die kognitive Leistungsfähigkeit, das Wohlbefinden und das Stressempfinden bei Menschen. In der Probandenstudie traten bei einigen Menschen bei 7 T und bei Bewegungen im Gradienten des statischen Magnetfelds Schwindel, Lichtblitze und Klingeln im Kopf auf. Trotz dieser Wahrnehmungen hatten die Magnetfelder keinen Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit der Testpersonen, wie z. B. Gedächtnis, Reaktionszeiten und Koordination von Bewegungen, und verursachten keinen Stress. Die meisten Personen konnten sich an die Felder schnell gewöhnen und hatten dann keine Beschwerden mehr.

Insgesamt haben die genannten Forschungsvorhaben keine gesundheitlichen Risiken für schwangere Patientinnen und das medizinische Personal aufgedeckt. Eine Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit von Medizinerinnen, die Eingriffe an offenen MRT-Systemen durchführen, ist ebenfalls nicht zu erwarten.

1.3 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (*Low-frequency electric and magnetic fields*)

Auf Grund der konsistenten Ergebnisse epidemiologischer Studien wird eine Krebs begünstigende Wirkung niederfrequenter Magnetfelder im Fall der im frühen Kindesalter auftretenden Leukämie diskutiert. Die Studien zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang bei einer erhöhten häuslichen Magnetfeldexpositionen von mehr als 0,3 - 0,4 Mikrottesla (μT). Deshalb haben die WHO und die IARC bereits 2002 niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise krebserregend“ (Klasse 2B) eingestuft. Die Ergebnisse zeigen sich auch in neueren epidemiologischen Studien, konnten jedoch durch tierexperimentelle Arbeiten und Untersuchungen an Zelllinien bisher nicht bestätigt werden.

Da man bei der Entstehung von Leukämien im Kindesalter von einem multifaktoriellen Geschehen ausgeht, bemüht sich das BfS durch Forschungsprojekte und Expertendiskurs zu klären, ob und wenn ja welchen Beitrag ionisierende und nichtionisierende Strahlung an der Anzahl der Erkrankungen (Inzidenzraten) an Leukämie im Kindesalter hat. Nach einem internationalen Workshop zu allen bekannten genetischen und umweltbedingten Risikofaktoren im Mai 2008 folgte im Juli 2009 ein weiteres Expertengespräch. Es zeigte sich, dass die Komplexität dieser Fragestellung eine mittel- bis langfristig angelegte, interdisziplinäre Forschungsplanung erfordert, die die wissenschaftliche Basis für Präventionsmaßnahmen liefern kann. Eine entsprechend umfassende Forschungsagenda wurde von eingeladenen Experten im Juli 2010 erarbeitet und in einem Fachjournal veröffentlicht. Auf Basis der Forschungsagenda wurden vom BfS fünf Pilot- und Machbarkeitsstudien im Rahmen des UFOPLANs initiiert. Für weiterführende Studien gemäß der Forschungsagenda ist die Beteiligung anderer nationaler wie internationaler Forschungsfördereinrichtungen unerlässlich.

Epidemiologische Studien deuten darauf hin, dass bei starker beruflicher Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern verstärkt neurodegenerative Erkrankungen auftreten. Meist sind dies langsam fortschreitende Erkrankungen des Nervensystems mit fortschreitendem Verlust von Nervenzellen, die häufig zu Demenz und/oder Bewegungsstörungen führen. Insgesamt scheint es vor allem bei der Alzheimer-Demenz und der amyotrophen Lateralsklerose (Schädigung der Nervenzellen, die Muskelbewegungen steuern), nicht aber bei der Parkinson-Krankheit und der Multiplen Sklerose einen statistischen Zusammenhang zu geben. Um zu klären, ob diese neurodegenerativen Erkrankungen tatsächlich ursäch-

lich mit niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern zusammenhängen und welche Wirkmechanismen zu Grunde liegen, wurde eine umfangreiche tierexperimentelle Studie initiiert. Ergebnisse werden Ende 2013 erwartet.

Im Jahr 2010 hat die Internationale Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung aktualisierte Richtlinien zur Begrenzung der Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern publiziert. Ein Forschungsvorhaben „Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen Feldkomponenten an Gewebegrenzschichten bei der numerischen Bestimmung induzierter Feldstärkeverteilungen in hoch aufgelösten realistischen Computermodellen zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten“ wurde 2011 begonnen und vom BfS betreut. Es soll untersucht werden, ob die in den aktuellen Expositionsrichtlinien neu eingeführten Basiswerte konservativ sind und wie Expositionssituationen auf Basis der neuen Richtlinien dosimetrisch untersucht und bewertet werden können. Feldstärkekomponenten im menschlichen Körper, die an Gewebegrenzschichten induziert werden, sollen dabei deshalb besondere Beachtung finden, weil frühere Untersuchungen gezeigt haben, dass diese Komponenten abhängig von der lokalen Gewebeverteilung im Körper großen Einfluss auf die Bewertung haben können.

Im Bereich „Niederfrequente elektromagnetische Felder“ initiierte und koordinierte das BfS im Jahr 2011 folgende Studien:

Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das zentrale Nervensystem (ZNS) in vivo
Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell (www.bfs.de/de/elektro/nff/weitere_informationen/Neurodegenerative_Erkrankungen)
Untersuchungen zu den Mechanismen für die biologische Wirkung niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion
Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen Feldkomponenten an Gewebegrenzschichten bei der numerischen Bestimmung induzierter Feldstärkeverteilungen in hoch aufgelösten realistischen Computermodellen zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten

Die Ergebnisse des Vorhabens „Untersuchungen zu den Mechanismen für die biologische Wirkung niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion“ liefern Hinweise, auf welchen Wegen nach möglichen Mechanismen für die Wirkung niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung von Leukämie im Kindesalter weiter gesucht werden kann. Offensichtlich kann eine Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern über die Produktion von reaktiven Verbindungen zu einer Aktivierung von Zellen führen. Bemerkenswert ist, dass die Wirkungen der niederfrequenten Magnetfelder für verschiedene Zelltypen unterschiedlich sind. DNA-Schäden, die durch diese reaktiven Verbindungen ausgelöst werden könnten, wurden aber nicht beobachtet, genauso wenig wie Veränderungen in der Zellzykluskinetik oder bei der Apoptose (Zelltod). Das bedeutet, dass bevorzugt nach epigenetischen Veränderungen oder nach Wirkungen auf Signalübertragungswege gesucht werden muss.

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 erste Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung, da in wissenschaftlichen Untersuchungen erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder, vor allem des Mobilfunks, waren auch im Jahr 2011 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. Nicht-thermische 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 wurden in jahrzehntelanger Forschung wissenschaftlich nicht nachgewiesen.

Auch das in den Jahren 2002 bis 2008 durchgeführte Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (www.emf-forschungsprogramm.de/) ergab in Übereinstimmung mit weiteren nationalen und internationalen Forschungsergebnissen, dass die früheren Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (www.bfs.de/de/elektro/hff/wirkungen) in unabhängigen Wiederholungsstudien nicht bestätigt werden konnten.

Wissenschaftliche Unsicherheiten verbleiben vor allem hinsichtlich der Frage zu möglichen Langzeitriskiken für Handy-nutzungszeiten von mehr als 10 Jahren und der Frage, ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Fel-der exponiert sind oder darauf empfindlicher reagieren als Erwachsene. Diese Unsicherheiten führten dazu, dass 2011 die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hochfrequente elektromagnetische Felder ebenso wie die nieder-frequenten elektrischen und magnetischen Felder der Stromversorgung in Gruppe 2b („möglicherweise krebserre-gend“) eingestuft hat (Gruppe 1: krebserregend, Gruppe 2a: wahrscheinlich krebserregend, Gruppe 2b: möglicherweise krebserregend, Gruppe 3: nicht klassifizierbar, Gruppe 4: wahrscheinlich nicht krebserregend).

Dies und die Nutzung neuer technologischer Anwendungen verschiedener Frequenzbereiche hochfrequenter elektro-magnetischer Felder, z. B. Anwendungen wie die im Millimeterwellen- oder Terahertzbereich arbeitenden Körperscan-ner, erfordert weitere Forschung zur Verbesserung der wissenschaftlichen Datenlage.

Die hierfür auf Initiative des BfS im Jahr 2011 beauftragten und betreuten Forschungsvorhaben sind:

Einfluss hochfrequenter Felder auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität)
Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro
Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern
Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen
Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strah-lung mit Frequenzen im Terahertzbereich
Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio-Fre-quency-Identification (RFID) -Technologien entstehen

Die Mobilfunkbetreiber haben sich im Dezember 2001 gegenüber der Bundesregierung dazu verpflichtet, den Verbrau-cher- und Gesundheitsschutz im Bereich des Mobilfunks zu verbessern. Die hierzu abgegebene Selbstverpflichtung hat vier Schwerpunkte:

- Die Verbesserung von Kommunikation und Partizipation bei der Standortfindung,
- Verbraucherschutz und Verbraucherinformation zu Handys,
- Die finanzielle Unterstützung der Erforschung der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder,
- Die Beteiligung am Aufbau einer EMF-Datenbank (EMF = elektromagnetische Felder) bei der Bundesnetz-agentur (BNetzA), eines Netzes von EMF-Monitoren und an EMF-Messprogrammen.

Unabhängig erstellte Gutachten dienen der Bundesregierung als Grundlage für die jährlich mit den Mobilfunkbetreibern geführten Überprüfungsgespräche. Aus diesen Gutachten ergibt sich, dass die wesentlichen Ziele - die Klärung offener Forschungsfragen, die Verbesserung der Transparenz beim Netzausbau und bei den tatsächlich gemessenen Immis-sionen - erreicht wurden. Insoweit hat sich die Selbstverpflichtung in der Auseinandersetzung um den Ausbau des Mo-bilfunks in Deutschland bewährt. Es zeigt sich aber auch, dass bei der Lösung von Standortkonflikten, in einzelnen Be-reichen der Forschung, bei der Information der Bürgerinnen und Bürger sowie bei der Verbraucherinformation trotz erreichter Verbesserungen nach wie vor weiterer Handlungsbedarf besteht. Im Juni 2008 haben die Mobilfunkbetreiber zugesagt, die Selbstverpflichtung fortzuführen und dies 2011 noch einmal bekräftigt.

Der derzeit im Aufbau befindliche Funkdienst für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk) basiert auf dem TETRA (Terrestrial Trunked Radio)-Standard. Die genutzten Sendefrequenzen liegen bei etwa 400 MHz. Das System wird parallel zu den bestehenden öffentlichen Mobilfunknetzen GSM900, GSM1800 und UMTS aufgebaut. Wie auch bei den öffentlichen digitalen Netzen handelt es sich bei TETRA um ein zelluläres Mobilfunknetz, bestehend aus vielen kleinen Versorgungszellen mit jeweils einer Basisstation, die insgesamt das Bundesgebiet abde-cken sollen.

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 Be-hörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) eine Vereinbarung geschlossen. Darin ist festgelegt, dass die BDBOS zur Klärung offener wissenschaftlicher Fragen die Durchführung von Forschungsvorhaben zur Risi-kobewertung von Feldern des TETRA-Standards finanziert. Die fachliche und administrative Bearbeitung und die Ver-gabe der Forschungsvorhaben erfolgt durch das BfS in Anlehnung an die Verfahren, die sich in Umsetzung der Selbst-verpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber bewährt haben.

Risikokommunikation

Speziell für den Bereich „Mobilfunk“ wurden bereits im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms For-schungsvorhaben durchgeführt, mit dem Ziel, die Wahrnehmung des Mobilfunks in der Gesellschaft und die Risiko-

wahrnehmung an sich zu erfassen sowie Möglichkeiten zur Verbesserung der Risikokommunikation zu diesem Thema aufzuzeigen. Hierzu wurde 2011 folgendes Forschungsvorhaben vom BfS initiiert und koordiniert:

Internationaler Experten-Workshop zur Weiterentwicklung des EMF-Portals

Ziel des Experten-Workshops war es, das EMF-Portal bei internationalen Experten besser bekannt zu machen und es ihnen als wertvolles Hilfsmittel für die Risikobewertung für elektromagnetische Felder vorzustellen. Wünsche der Experten hinsichtlich einer Verbesserung und Erweiterung des Portals wurden aufgenommen und sollen in einem weiteren Vorhaben umgesetzt werden.

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.“

Die SSK weist darauf hin, dass entgegen der öffentlichen Besorgnis, die vor allem Mobilfunkbasisstationen (ortsfeste Anlagen) betrifft, die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder von Geräten, z. B. von Endgeräten der mobilen Telekommunikation unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu betrachten sei, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen könne. Um dementsprechend besonders strahlungsarme Handys für den Verbraucher sichtbar zu kennzeichnen, wurden die Vergabekriterien für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ (RAL-UZ 106) durch die Jury „Umweltzeichen“ in Zusammenarbeit mit dem BMU und BfS im Juni 2002 festgelegt. Demnach kann der „Blaue Engel“ an Handys vergeben werden, deren nach normierten Methoden ermittelter SAR-Wert bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegt und die umwelt- und recyclingfreundlich produziert werden.

Das BfS stellt in regelmäßigen Abständen die unter standardisierten Bedingungen ermittelten SAR-Werte handelsüblicher Mobiltelefone in einer Liste zusammen und veröffentlicht sie unter www.bfs.de/de/elektro/okolabel.html. Zurzeit umfasst die Erhebung 1784 Geräte von 50 Herstellern und vier Netzbetreibern. In der folgenden Tabelle wurden nur Geräte berücksichtigt, für die ein SAR-Wert vorliegt:

**Tabelle 1.4-1 SAR-Werte für Mobiltelefone
(SAR values for mobile phones)**

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 (strahlungs- arm *)	Anzahl	SAR-Wert W/kg	Bis 0,6 W/kg
Klassische Mobiltelefone und Smartphones (nur aktuell erhältliche)	300	0,05 -1,86	39 % der Modelle	117	0,24 -1,84	21 % der Modelle
Smartphones (nur aktuell erhältliche)	218	0,05 -1,86	38 % der Modelle	82	0,37 -1,84	22 % der Modelle
Klassische Mobiltelefone und Smartphones **	1570	0,05 -1,94	31 % der Modelle	247	0,003 -1,91	22 % der Modelle
Smartphones **	239	0,05 -1,86	37 % der Modelle	85	0,003 -1,84	25 % der Modelle

* „strahlungsarm“ gemäß Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens „Blauer Engel“

** inklusive nicht mehr in Produktion befindlicher Auslaufmodelle

Unter www.bfs.de/de/elektro/hff/anwendungen/mobilfunk/okolabel_mobiltelefone.html erfolgt eine kurze statistische Auswertung der Erhebung zur Frage, wie viele Geräte aus dieser Liste das Kriterium für die Vergabe des Umweltzeichens "Blauer Engel" (SAR-Wert bis 0,6 W/kg) zurzeit erfüllen bzw. seit Beginn der Erhebungen im Jahre 2002 erfüllt haben. Demnach konnte für 1570 klassische Mobiltelefone und Smartphones ein standardisiert ermittelter SAR-Wert (Anwendungsfall Handy am Kopf, „Handys“) gefunden werden. Davon sind 300 aktuelle Geräte (Rest Auslaufmodelle), von denen 221 Geräte zu der, erstmals speziell berücksichtigten, Gerätegruppe der multimediafähigen Smartphones gezählt werden können.

Es lässt sich erkennen, dass aus Sicht des Strahlenschutzes mit der Begrenzung auf einen SAR-Wert bis 0,6 W/kg ca. 39 % der im August des Jahres 2012 auf dem deutschen Markt aktuell erhältlichen klassischen Mobiltelefone und Smartphone mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ hätten ausgezeichnet werden können; zieht man hier nur die aktuell erhältlichen Smartphone in Betracht, dann wären es 38 % gewesen.

Ein Hersteller hatte 2007 das Umweltzeichen für ein Modell beantragt und erhalten, den Vertrag Ende 2009 allerdings aufgekündigt. Ansonsten lehnen die Handyhersteller das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Mobilfunkendgeräte geschlossen ab.

Informationen zu den Vergabegründlagen für den „Blauen Engel“ für Handys durch das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung RAL gGmbH (RAL-UZ 106) sind auf der Internetseite http://www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=168 zu finden.

Für 247 von insgesamt 1784 erfassten Geräten konnte ein SAR-Wert für den Anwendungsfall Betrieb am Körper (body worn) erhoben werden. Auch hier gilt der Teilkörper-Basisgrenzwert von 2 W/kg. Im Unterschied zum Anwendungsfall Handy am Kopf ist in der Vergabegründlage für das Umweltzeichen Blauer Engel noch keine spezielle Anforderung für den Betrieb am Körper enthalten. In Tabelle 1.4-1 wird 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.

Bei der Messung des SAR-Werts für diesen Anwendungsfall gehen die Hersteller davon aus, dass von ihnen empfohlenes Zubehör, z. B. Handytaschen mit eingebautem Abstandshalter, verwendet wird. Wenn der Benutzer die Herstellerempfehlung in der Praxis nicht beachtet, können höhere SAR-Werte auftreten. Im ungünstigen Fall kann sogar der empfohlene Grenzwert überschritten werden.

Die Dicken der von den Herstellern verwendeten Abstandshalter und damit die gewählten Messabstände bei der Ermittlung der body-worn-Werte sind nicht einheitlich. Um dies zu dokumentieren und um eine bessere Vergleichbarkeit dieser SAR-Werte zu ermöglichen, werden die herstellerseitig genannten Messabstände in der SAR-Werteliste in einer separaten Spalte erstmalig angegeben (88 Angaben wurden gemacht).

Das Bundesamt für Strahlenschutz hält eine für den Verbraucher einfach zu erkennende Kennzeichnung nach wie vor für wünschenswert. Die Hersteller sind weiterhin aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Handys voranzutreiben und sich auch weiter an einer verstärkten Verbraucherinformation zu beteiligen.

Ende 2006 wurden für Säuglingsüberwachungsgeräte (Babyphone) die Vergabegründlage für den „Blauen Engel“ (RAL-UZ 125) veröffentlicht (siehe www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=353). Die Vergabekriterien begrenzen bei den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die abgestrahlte Leistung und bei den niederfrequenten Magnetfeldern die magnetische Flussdichte. Geräte, die als Dauersender arbeiten, sind von der Vergabe des Umweltzeichens „Blauer Engel“ ausgeschlossen. Daneben werden die Energieeffizienz und die Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt.

Seit Anfang 2009 gibt es ein Umweltzeichen (RAL-UZ 131, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=209) für solche DECT-Schnurlostelefone, die die in den Vergabegründlagen genannten Kriterien „Anpassung der Sendeleistung“, „Reichweitenbegrenzung“ sowie „Abschalten der Sendesignale im Standby-Betrieb“ erfüllen.

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

- Router (RAL-UZ 160, seit 2011, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=227),
- Mikrowellenkochgeräte für den Hausgebrauch (RAL-UZ 149, seit 2010, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=200),
- Lampen (RAL-UZ 151, seit 2010, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=207).

2. Optische Strahlung (*Optical radiation*)

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

An den Messstationen des deutschen UV-Messnetzes (ausführliche Informationen in Teil A - VI - 1.4) wird täglich die UV-Strahlung gemessen.

Seit 1993 wird die bodennahe solare UV-Strahlung an zehn repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich und spektral aufgelöst gemessen. An den Messungen sind das BfS, das Umweltbundesamt und weitere staatliche und universitäre Institutionen beteiligt. Die Messdaten werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim gesundheitlich bewertet, dokumentiert und regelmäßig veröffentlicht.

Der globale solare UV-Index (UVI) ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame Strahlung. Sowohl die täglichen Messwerte aller Stationen als auch die 3-Tages-Prognose in den Sommermonaten werden vom BfS als UVI im Internet unter www.bfs.de/de/uv/uv_messnetz/uvi veröffentlicht. In Abbildung 1.1-1 sind für das Jahr 2011 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstation Westerland und Zingst), die Mitte (Messstationen Dortmund, Lindenberg und Kulmbach) und den Süden (Messstation München) der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt ist. Im Norden und in der Mitte Deutschlands trat im Juni 2011 und im Süden Deutschlands im Mai und Juni 2011 ein UVI-Wert von 9 auf. Eine durch

den Abbau der atmosphärischen Ozonschicht bedingte Zunahme der UV-Strahlungsintensität kann auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

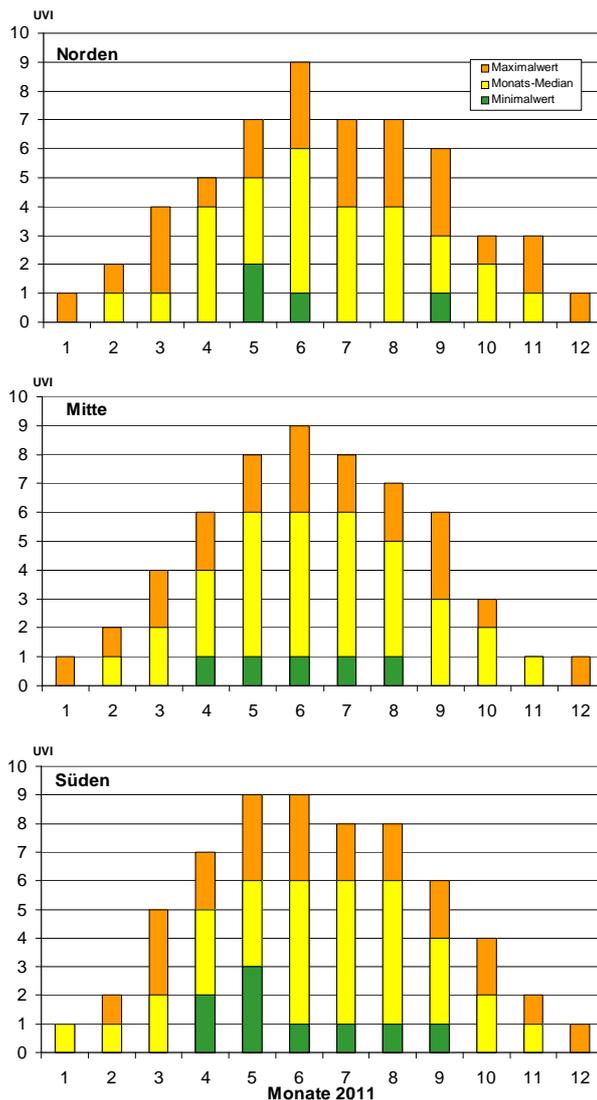


Abbildung 1.1-1

Maximale, mittlere und minimale UV-Werte der Monate im Jahr 2011 (Maximum, median and minimum UVI values per month in the year 2011)

2.2 Forschung (Research)

Übermäßige UV-Belastung führt zu sofortigen sowie dauerhaften und irreversiblen Gesundheitsschäden an Auge und Haut. Gleichzeitig wirkt sich UV-Strahlung gesundheitsfördernd aus, indem durch UV-B-Strahlung die körpereigene Synthese von Vitamin D induziert wird. Vitamin D wird vor allem für den Calcium- und Phosphatstoffwechsel, insbesondere für den Knochenaufbau benötigt, ist jedoch ebenfalls an Prozessen wie Zelldifferenzierung, Zellvermehrung oder Immunmodulation beteiligt. Weiterhin wird diskutiert, ob eine ursächliche Beziehung zwischen Vitamin-D-Status und Krebsrisiko besteht, also ob ein niedriger Vitamin-D-Status das Risiko zum Beispiel für Darmkrebs erhöhen könnte. Die Tatsache, dass UV-B-Strahlung ein nachgewiesenes Kanzerogen ist, gleichzeitig aber auch für die körpereigene Vitamin-D-Synthese benötigt wird, führt zu international widersprüchlichen Empfehlungen hinsichtlich einer gesundheitsförderlichen UV-Exposition - also letztendlich hinsichtlich des richtigen UV-Schutz-Verhaltens. Daher wurden Forschungsanstrengungen unternommen, um der Frage nachzugehen, welchen UV-Intensitäten die deutsche Bevölkerung im Abhängigkeit vom UV-Index und dem individuellem Lebensstil real ausgesetzt ist und welche UV-Dosen zu welchen Vitamin-D-Leveln im Blutserum führen. Im Jahr 2011 wurden hierfür folgende Forschungsvorhaben im Bereich UV abgeschlossen:

Bestimmung der individuellen solaren UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index
UV-abhängige Vitamin D Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D ₃ -Bedarfs im menschlichen Körper

Das Forschungsvorhaben „Bestimmung der individuellen solaren UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index“ ergab unter anderem, dass Teile der Bevölkerung auf Grund des individuellen Lebensstils und des individuellen Nutzungsgrades der Sonne (exzessive Sonnenexposition) vergleichsweise großen sonnenbrandwirksamen UV-Dosen ausgesetzt sind, die ein reales Gefährdungspotenzial bedeuten. Betroffen sind hiervon insbesondere Erwachsene mit viel Freizeit sowie Kinder in Kindergärten und Kinder in einigen der betrachteten Ganztagschulen.

Das Forschungsvorhaben „UV-abhängige Vitamin D-Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D₃-Bedarfs im menschlichen Körper“ ergab, dass bereits niedrige UV-Dosen (bis 10 % der minimalen sonnenbrandwirksamen Dosis, MED) ausreichen, um die Vitamin-D-Bildung einzuleiten. Bestrahlungen in Solarien erreichen nur etwa 30 % der Vitamin-D-Bildungseffektivität der natürlichen oder mit einer medizinischen Strahlenquelle simulierten Sonnenstrahlung in gleicher Dosierung. Bis zu einem Alter von 65 Jahren konnte für die Konzentration von 7-Dehydrocholesterol, der Ausgangssubstanz für die Bildung von Vitamin D in der Haut, keine Altersabhängigkeit bestätigt werden. Dafür zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit der Vitamin-D-Bildungseffektivität der Haut von der Körperregion und der Körperverteilung der UV-Bestrahlung.

2.3 Zertifizierung von Solarienbetrieben (*Certification of solaria*)

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und Nutzung von Solarien in Sonnenstudios und so genannten Wellness-Bereichen kontinuierlich an. Die gleichzeitige Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs steht in direktem Zusammenhang zu diesem Freizeitverhalten. Deswegen haben sich BMU und BfS auch 2011 für die Umsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung der UV-Belastung durch Solarien für die Nutzer eingesetzt.

Als eine Maßnahme hierzu wurde vor rund zehn Jahren eine freiwillige Zertifizierung für Solarien („Geprüftes Sonnenstudio – zertifiziert nach den Kriterien des BfS“) nach den Kriterien des Runden Tisches Solarien (RTS) etabliert. Die wesentlichen Kriterien für diese Zertifizierung waren:

- keine Nutzung von Solarien für Personen unter 18 Jahre,
- definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung,
- einheitliche Betriebsabläufe,
- Einhaltung von Hygienevorschriften,
- fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter, und
- Beratung und Information der Kunden mit Hauttypbestimmung und individuell ausgearbeiteten Besonnungsplan.

Stichprobenartige Überprüfungen zertifizierter Sonnenstudios durch das BfS zeigten jedoch, dass auf dieser freiwilligen Basis keine effektiven Verbesserungen des Gesundheits- und Verbraucherschutzes erreicht werden können. Die Ergebnisse der letzten Überprüfung Ende 2008 von 100 Sonnenstudios waren ernüchternd und letztendlich ausschlaggebend dafür, dass durch das BMU mit Unterstützung des BfS einheitliche rechtliche Regelungen für Sonnenstudios erarbeitet wurden.

Im August 2009 trat das „Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen“ (NiSG), und am 1. Januar 2012 die auf diesem Gesetz basierende Rechtsverordnung für Solarien, die „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung“ (UVSV) in Kraft. Ein Handeln gegen die Vorgaben des NiSG oder der UVSV bedeutet eine Ordnungswidrigkeit und kann mit Geldbußen bis zu 50.000 Euro geahndet werden. Die Kontrolle der Einhaltung der rechtlichen Vorgaben liegt bei den Bundesländern.

Das NiSG beinhaltet neben der Ermächtigung zum Erlass von Rechtsverordnungen ein Nutzungsverbot von Solarien für Minderjährige. Seit August 2009 ist es verboten, Minderjährigen die Benutzung von Solarien in Sonnenstudios, ähnlichen Einrichtungen oder sonstigen öffentlichen Räumen zu gestatten. Die Betreiber von Solarien sind grundsätzlich für die Einhaltung dieses Nutzungsverbots verantwortlich.

Die Inhalte der am 1. Januar 2012 in Kraft getretenen UV-Schutz-Verordnung basieren auf den Kriterien, die das Bundesamt für Strahlenschutz vormals mit dem Runden Tisch Solarien (RTS) für das freiwillige Zertifizierungsverfahren festgelegt hatte. Aus Sicht des Strahlenschutzes stellt die UV-Schutz-Verordnung eine gute Lösung für die Einführung wesentlicher Aspekte des Strahlenschutzes in allen Sonnenstudios dar.

Die Verordnung gilt für den Betrieb von UV-Bestrahlungsgeräten, die zu kosmetischen Zwecken oder für sonstige Anwendungen am Menschen außerhalb der Heil- oder Zahnheilkunde gewerblich oder im Rahmen sonstiger wirtschaftlicher Unternehmungen eingesetzt werden. Sie regelt:

- Anforderungen an den Betrieb von UV-Bestrahlungsgeräten,
- Schulungen zur Qualifikation von Fachpersonal,
- Fortbildung von Fachpersonal zum Erhalt der Qualifikation,
- Einsatz und Aufgaben von Fachpersonal in Solarien,
- Informationspflichten gegenüber den Nutzerinnen und Nutzern von Solarien,
- Dokumentationspflichten derjenigen, die UV-Bestrahlungsgeräte betreiben,
- Bußgeldvorschriften bei Zuwiderhandlung sowie
- Übergangsvorschriften für Altgeräte und Schulung von Fachpersonal.

Schulungen und Fortbildungen von Fachpersonal in Solarien dürfen ausschließlich Schulungsstätten durchführen, die hierfür eigens durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (www.dakks.de) akkreditiert wurden.

Das Bundesamt für Strahlenschutz und die Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention (ADP) haben für diese Schulungen und Fortbildungen einen „Leitfaden zur Durchführung von Schulungen und Fortbildungen“ erarbeitet (www.bfs.de/de/uv/uv2/solarien/freiw_zertifizierung/UVSV_Schulung.pdf). Darin werden einzuhaltende Ziele der einzelnen Schulungsinhalte, der Bezug der Schulungsinhalte untereinander und die Gewichtung der einzelnen Schulungskomponenten verdeutlicht. Ebenso wird erläutert, welche Lerninhalte zu vermitteln sind und welche nicht. Der Leitfaden dient potenziellen Anbietern von Schulungen und Fortbildungen als Grundlage für die Erstellung von sachgerechten Schulungs- und Fortbildungsunterlagen. Ebenso dient er dazu, Anhaltspunkte für die Entscheidung an die Hand zu geben, ob ein Schulungsträger gemäß den Vorgaben in der UVSV zugelassen, sprich akkreditiert, werden kann.

2.4 Hautkrebspräventionsmaßnahmen (*Skin cancer prevention measurements*)

Seit 2010 führt das Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen seiner Informationskampagne „Sonne – aber sicher“ (www.bfs.de/de/uv/sonne_aber_sicher) bundesweit Aktionen zum UV-Schutz durch. Dazu zählen neben einer mobilen UV-Ausstellung mit einem zum UV-Infomobil ausgebauten Kleinlastwagen vor allem zielgruppenspezifische Unterrichtsmaterialien für Kindergärten, Grundschulen und Schulen der Sekundarstufe I. Diese Unterrichtsmaterialien wurden zusammen mit der Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention (ADP) und dem Zeitbild-Verlag erarbeitet. Die Unterrichtsmaterialien können ebenso wie sämtliche Informationsmaterialien zum Thema „UV-Strahlung“ kostenlos in gewünschter Stückzahl über das BfS bezogen werden. Im Berichtsjahr wurde auf Initiative des BfS das UV-Bündnis (www.bfs.de/de/uv/uv2/uv_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. Die wichtigsten Aussagen zur Wirkung von UV-Strahlung und Empfehlungen zum notwendigen UV-Schutz hat das UV-Bündnis in einem Faltblatt kurz und verständlich zusammengefasst. Dieses Faltblatt ist auf den Internetseiten des BfS (www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/optische_strahlung/uv_buendnis_flyer.html) veröffentlicht. Es kann dort als PDF-Dokument heruntergeladen oder beim BfS kostenlos bestellt werden. Es eignet sich gleichermaßen als Informationsblatt für Kindergärten, Schulen, öffentliche Einrichtungen und als Patienteninformation in Arztpraxen. Das 2009 in den Krebsfrüherkennungs-Richtlinien des Gemeinsamen Bundesausschusses festgelegte Hautkrebs-Screening ist eine wichtige Maßnahme, UV-bedingte Hautkrebserkrankungen frühzeitig zu erkennen [1].

Literatur

- [1] Bekanntmachung eines Beschlusses des Gemeinsamen Bundesausschusses über eine Neufassung der Früherkennungs-Richtlinien, §§28-36, Bundesanzeiger 61 vom 2. Oktober 2009, http://www.g-ba.de/downloads/39-261-841/2009-06-18-KFU-Neufassung_BAnz.pdf

ANHANG

(ANNEX)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

1.1 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 das Coulomb pro Kilogramm (C/kg). Die alte Einheit dafür ist das Röntgen (R).

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

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

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

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

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

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

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

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

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

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der Strahlenschutzverordnung von 2001 entsprechend Tabelle 1.1-1 festgelegt.

Tabelle 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, Myonen, alle Energien	1
Neutronen	
< 10 keV	5
10 KeV bis 100 keV	10
> 100 keV bis 30 MeV	20
> 2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

Die Einheit der Organdosis ist das 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 der folgenden Abbildung dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert eins.

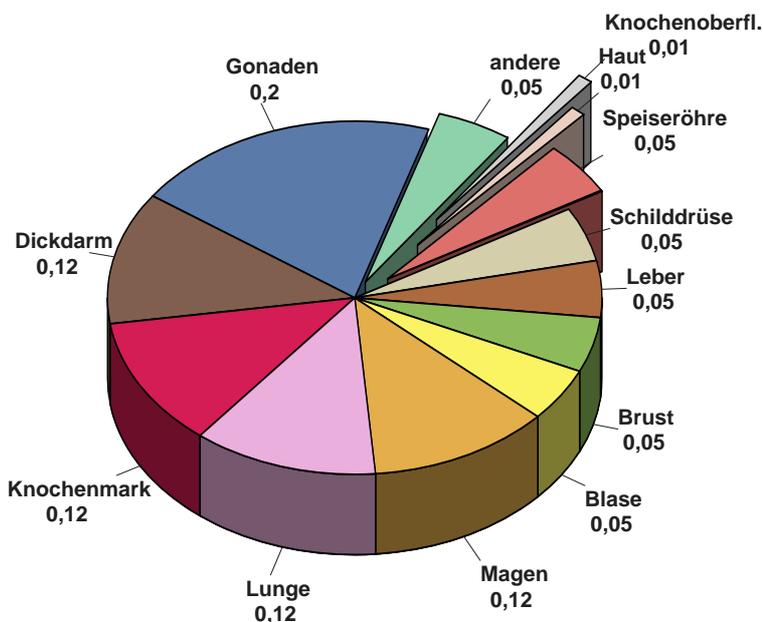


Abbildung 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anl. VI, Teil C)
(*Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance*)

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

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

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

1.2 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 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 Commis-

sion 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 Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(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 $H'(0,07,W)$. 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. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.

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

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

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) 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. 70 Jahre) 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. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimm-

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

ten 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).

1.4 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 (Abb. 1.4-1). Oberhalb der Schwellendosis tritt der gesundheitliche Effekt auf und der Schweregrad dieses Effektes nimmt mit steigender Dosis zu. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zu Grunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, wie Hautrötung (Erythem), Haarausfall oder verminderte Blutbildung.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht 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 (Abb. 1.4-1). Bei niedrigen Dosen überwiegen die stochastischen Effekte, bei sehr hohen Dosen dagegen die deterministischen Effekte. Auf Grund des Absterbens von Zellen oder des ganzen Organismus kommen stochastische Effekte, wie z. B. die Krebsentstehung, immer weniger zum Tragen. Daher nimmt die Kurve der stochastischen Effekte gegen Ende wieder ab.

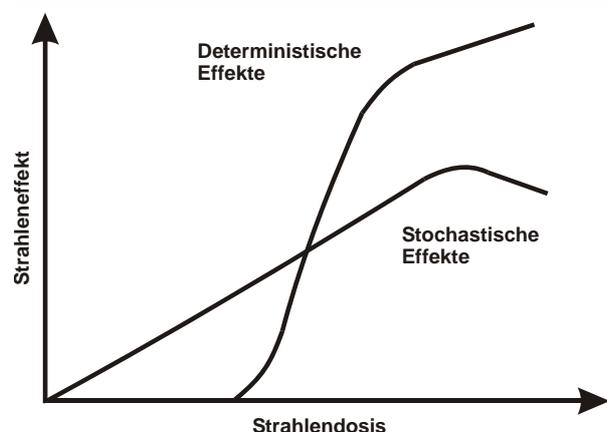


Abbildung 1.4-1
Schematische Darstellung der Dosis- Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte

(*Chart of the dose-response-relationships in sto-*

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

Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen Krebs, Leukämie und genetische Schäden daher 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 vererbbaaren 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 vererbbaaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, dass die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen.

1.5 Genetische Strahlenwirkungen (*Genetic radiation effects*)

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

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

1.6 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, können diese im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei vergleichbaren (etwa hinsichtlich Alter und Geschlecht) nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an malignen Erkrankungen nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe

erhöht sind. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämien und Lymphomen bis zu mehreren Jahrzehnten bei soliden Tumoren) auftreten können und damit analytisch, z. B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich sind. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig viele Daten vor.

Es wurde beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nur in sehr geringem Maße nach Strahlenexposition vermehrt beobachtet worden.

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

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 linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in den Innenräumen ansteigt. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10 % pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq pro m³ Raumluft. Dies bedeutet, dass sich das Lungenkrebsrisiko je 1000 Bq pro m³ Raumluft verdoppelt. Dies gilt sowohl für Raucher als auch für Nichtraucher.

1.7 Risikoabschätzung (*Risk assessment*)

Weltweit liegen zahlreiche epidemiologische Studien bei Personengruppen vor, die einer erhöhten Exposition durch ionisierende Strahlung ausgesetzt waren und bei denen Jahre und Jahrzehnte nach Bestrahlung häufiger als bei unbestrahlten Personen Leukämien oder Krebserkrankungen auftraten. Zu den bestrahlten 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.

Abschätzungen zum Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen beruhen auf Auswertungen dieser epidemiologischen Studien, die von nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien, wie von der japanischen Radiation Effects Research Foundation (RERF), dem wissenschaftlichen Komitee über die Effekte der atomaren Strahlung der Vereinten Nationen (UNSCEAR) und auch der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommen werden. Um das allgemeine Strahlenrisiko abschätzen zu können, müssen die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen, die nur für die untersuchten Personengruppen und die speziellen Bestrahlungssituationen gelten, unter der Annahme von Risikomodellen zur Krebsentstehung ausgewertet werden. Dabei sind insbesondere folgende Übertragungen vorzunehmen:

- Extrapolation von beobachtbaren Risiken im mittleren bis hohen Dosisbereich der Studien (z. B. bei Atombomben-Überlebenden) auf den Bereich niedriger Dosen sowie von akuten Bestrahlungssituationen (wiederum etwa bei den Atombomben-Überlebenden) auf chronische Expositionen, wie sie z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen vorkommen,
- Projektion des Risikos von der nur begrenzten, durch die Studie bedingten Beobachtungszeit auf die Lebenszeit der bestrahlten Personen,
- Transfer der Risikoabschätzungen auf verschiedene Bevölkerungsgruppen mit meistens unterschiedlichen natürlichen Krebsraten (z. B. von den japanischen Atombombenüberlebenden auf eine europäische Bevölkerung).

Epidemiologische Studien zeigen, dass eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung bösartiger Erkrankungen im Allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. Hieraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass unterhalb dieser Dosen keine Wirkungen ionisierender Strahlung mehr auftreten würde. Vielmehr zeigt dies nur die methodische Beobachtungsgrenze epidemiologischer Untersuchungen an. Für die Extrapolation von mittleren bis zu niedrigen Dosen ist für die Häufigkeit strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis auszugehen. Diese Annahme wird durch grundsätzliche biophysikalische und strahlenbiologische Erkenntnisse gestützt. Krebserkrankungen haben nach vorliegenden Erkenntnissen ihren Ursprung in einer einzelnen geschädigten Zelle. Da eine einzelne Energiedeposition durch die Strahlung in einer Zelle (bei 10 mSv Röntgenstrahlung wird eine einzelne Zelle in der Regel von einer einzigen physikalischen Elektronenspür getroffen) 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 (z. B. Osteosarkome nach Inkorporation von Alpha-Strahlern), es lässt jedoch nicht ausschließen, dass unter bestimmten Bedingungen das Risiko für andere Krebsarten auch unterschätzt wird, daher stellt unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten die lineare Extrapolation das fachlich beste Abschätzverfahren dar. Für genetische Schäden muss auf Grund des gleichen Wirkmechanismus der Mutationsauslösung wie bei der Krebsinduktion ebenfalls eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellendosis angenommen werden. 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 (Abb. 1.6-1). 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 natürliche Krebshäufigkeit bei allen Altersgruppen um einen bestimmten Faktor, der dosisabhängig ist, erhöht. Da die natürliche oder spontane Krebshäufigkeit proportional mit dem Alter ansteigt, lässt sich unter der Annahme eines relativen Risikomodells infolgedessen auch im Alter eine größere Zahl strahlenbedingter Krebsfälle abschätzen. Die Risikoschätzungen nach dem relativen Modell sind daher höher als nach dem absoluten Modell.

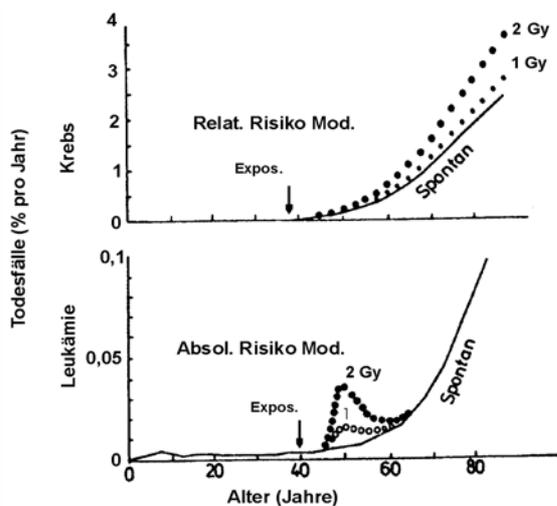


Abbildung 1.6-1
Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs und Leukämie
(Chart of the mortality due to cancer and leukaemia)

Ausgehend von den epidemiologischen Daten für die japanischen Atombomben-Überlebenden sowie unter der Annahme eines relativen Risikomodells ergeben die Risikoabschätzungen von UNSCEAR [1] ein Lebenszeitrisko strahlenbedingter Todesfälle für solide Tumoren von 4,9 % - 8,2 % bei einer kurzzeitigen Exposition von 1 Sv. Da die Auswertung der Daten von japanischen Atombomben-Überlebenden mit einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung verträglich ist, kann dieses Risiko zu kleineren Dosen extrapoliert werden. Bei einer Exposition von 100 mSv erhöht sich das Lebenszeitrisko deshalb um etwa 1%, bei 10 mSv um 0,1%. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht zu unterscheiden von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen. Im Vergleich dazu haben in Deutschland etwa 25% aller Todesfälle Krebs als Ursache, d. h. von einer Million Menschen werden etwa 250.000 an einer Krebserkrankung sterben.

Literatur

- [1] United Nations, Sources, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Effects, S. 5

1.8 Strahlenschutzmaßnahmen (*Radiation protection measures*)

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 [1] „jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden“ und „jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten“ (§ 6 Abs. 1 und 2 der StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte) für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen in dieser Verordnung festgelegt. § 95 regelt die Exposition durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen und § 103 den Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung.

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

- Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 ein Millisievert im Kalenderjahr.
- Unbeschadet des Absatzes 1 beträgt der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und der Grenzwert der Organdosis für die Haut 50 Millisievert im Kalenderjahr.
- Bei Anlagen oder Einrichtungen gilt außerhalb des Betriebsgeländes der Grenzwert für die effektive Dosis nach Absatz 1 für die Summe der Strahlenexposition aus Direktstrahlung und der Strahlenexposition aus Ableitungen. Die für die Strahlenexposition aus Direktstrahlung maßgebenden Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes; liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

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

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

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

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

Literatur

- [1] 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 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)

2. 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 2-1 Basiseinheiten
(*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 2-2 SI-Einheiten in der Radiologie
(SI units applied in radiology)

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq * 1 Bq = $2,7 \cdot 10^{-11}$ 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 = $2,58 \cdot 10^{-4}$ 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 = $2,58 \cdot 10^{-4}$ A/kg * = 0,258 mA/kg *

Bei Werten mit * ist der Umrechnungsfaktor genau angegeben, bei den anderen ist er abgerundet

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2-3 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

Tabelle 2-3 Präfixe
(Prefixes)

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
Hekto	h	10^2
Deka	da	10^1

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Dezi	d	10^{-1}
Zenti	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Piko	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Tabelle 2-4 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 μ T Veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ ¹⁾ 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	

- 1) dabei ist μ die Permeabilitätskonstante,
 μ_0 die Permeabilitätskonstante im Vakuum und
 μ_r die Permeabilitätszahl eines Mediums

3. Glossar (Glossary)

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, 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
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)
Elektrostatistisches 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
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
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 horizontaler 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 an negativen elektrischen Ladungen auftreten
Infrarotstrahlung	Optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 nm - 1 mm
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
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
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)
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 des BMU 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

4. Liste der verwendeten Abkürzungen (List of abbreviations)

A	Ampere (Ampere)
ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen (Positions prescribed for doctors and dentists)
AMG	Arzneimittelgesetz (Medical Preparations Act)
AtAV	Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (Waste Shipment Regulation)
AtG	Atomgesetz (Atomic Energy Act)

AVR	Atomversuchsreaktor (<i>Nuclear test reactor</i>)
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift (<i>General Administrative Provisions</i>)
B	Magnetische Flussdichte (<i>Magnetic flux density</i>)
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (<i>Federal Office of Economics and Export Control</i>)
BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (<i>Federal Agency for Digital Radio of Security Authorities and Organisations</i>)
BEMFV	Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (<i>Regulation on verification procedure for limitation of electromagnetic fields</i>)
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (<i>Federal Institute for Drugs and Medical Devices</i>)
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>)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung (<i>Federal Ministry of Accumulation and Research</i>)
BMG	Bundesministerium für Gesundheit (<i>Federal Ministry of Physical Health</i>)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (<i>Federal Ministry of Environment, Nature Protection and Reactor Safety</i>)
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (<i>Federal Ministry of Traffic, Building and Urban Development</i>)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (<i>Federal Ministry of Economy and Technology</i>)
BNetzA	Bundesnetzagentur (<i>Federal Network Agency</i>)
Bq	Becquerel (<i>Becquerel</i>)
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>)
/dxp	Pro Tag und Person (<i>Per day and person</i>)
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm (<i>German Mobile Telecommunication Research Programme</i>)
DNS	Desoxyribonukleinsäure (<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>)
EMF	Elektromagnetische Felder (<i>Electromagnetic fields</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	Hochfrequenz, hochfrequente (<i>High frequency</i>)
HTR	Hochtemperaturreaktor (<i>High Temperature Reactor</i>)
HWZ	Halbwertszeit (<i>Half-life</i>)
Hz	Hertz (<i>Hertz</i>)
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation (<i>International Atomic Energy Agency (IAEA)</i>)
IARC	International Agency for Research on Cancer (<i>Internationale Agentur für Krebsforschung</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	Infrarote Strahlung (Wellenlänge 780 nm - 1 mm) (<i>Infrared Radiation (wave length 780 nm - 1 mm)</i>)
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr (<i>Annual Intake of Activity</i>)
FZ	Kernforschungsanlage (<i>Nuclear Research Facility</i>)
KBV	Kassenärztliche Bundesvereinigung (<i>National Association of Statutory Health Insurance Physicians</i>)
KFZ	Kernforschungszentrum (<i>Nuclear Research Centre</i>)
KKW	Kernkraftwerk (<i>Nuclear Power Plant</i>)
KNK	Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage (<i>Compact Sodium cooled nuclear plant</i>)
KTA	Kerntechnischer Ausschuss (<i>Nuclear Safety Standards Commission</i>)
LET	Linearer Energietransfer (<i>Linear energy transfer</i>)
LTE	Long Term Evolution
m ³	Kubikmeter (<i>Cubic metre</i>)
MED	Minimale erythematogene Dosis (Hautrötung) (<i>Minimal dose for erythema induction</i>)
MRI	Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel (<i>Federal Research Institute of Nutrition and Food</i>)

MRT	Magnetresonanztomographie (<i>Magnetic Resonance Tomography</i>)
MSP	Mammographie-Screening-Programm (<i>Mammography Screening Programme</i>)
mSv	Millisievert (<i>Millisievert</i>)
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor (<i>Multipurpose research reactor</i>)
NIR	Nichtionisierende Strahlung (<i>Non-ionising radiation</i>)
NiSG	Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (<i>Act on Non-Ionising Radiation Protection</i>)
NWG	Nachweisgrenze, siehe auch Teil A -II- 2 Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren (<i>Detection limit</i>)
nSv	Nanosievert (<i>Nanosievert</i>)
ODL	Ortsdosisleistung (<i>Ambient Dose Rate</i>)
PAS	Public Available Specification
PET	Positronen-Emissions-Tomographie (<i>Positron Emission Tomography</i>)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (<i>National Metrology Institute</i>)
PTCA	Perkutane transluminale koronare Angioplastie (<i>Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty</i>)
PKV	Verband der Privaten Krankenversicherung (<i>Private Health Insurances</i>)
R β	Rest-Beta-Aktivität (<i>Residual beta activity</i>)
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (<i>Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities</i>)
RMP	Routinemessprogramm (<i>Routine Measuring Program</i>)
RöV	Röntgenverordnung (<i>X-ray Ordinance</i>)
RTS	Runder Tisch Solarien (<i>Roundtable solaria</i>)
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 (<i>Tesla</i>)
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 (<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>)
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung (<i>United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>)
UV	Ultraviolette Strahlung (Wellenlänge 100 - 400 nm) (<i>Ultraviolet Radiation (wavelength 100 - 400 nm)</i>)
V	Volt (<i>Volt</i>)
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 (<i>Watt</i>)
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>)
Z0	Feldwellenwiderstand des leeren Raums (<i>Field characteristic impedance</i>)
ZdB	Zentralstelle des Bundes (<i>Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity</i>)

Tabellenabkürzungen (*Abbreviation 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 (<i>[preceding mean values] includes at least one value below detection limit</i>)

5. Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Auswahl
(*Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory text and other regulations concerning radiation protection - assortment*)

Gesetze

1. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - **AtG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 6 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)
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 1 des ersten Gesetzes zur Änderung des Strahlenschutzvorsorgegesetzes vom 8. April 2008 (BGBl. I S. 686)
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz (**BAStrISchG**) 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 (GBl DDR I 1984 Nr. 30, berichtigt GBl 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 (GBl 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), geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1163)

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 - **StrISchV**) 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).
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)
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)

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)
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).
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** vom 16. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1966)
25. Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (**AtAV**) vom 30. April 2009 (BGBl. I S. 1000).
26. Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (**BEMFV**) vom 20. August 2002 (BGBl. I, S. 3366), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I, Seite 1970)
27. UV-Schutz-Verordnung (**UVSV**) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412)

Allgemeine Verwaltungsvorschriften

28. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990 (BANz. Nr. 64a vom 31. März 1990)
29. 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)
30. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - **AVV-StrahLe**) vom 28. Juni 2000 (GMBl. 2000, Nr. 25, S. 490)
31. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen) vom 28. August 2012 (BANz AT 05.092012B1)

Richtlinien

32. Richtlinien für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis nach StrlSchV - Teil 1: äußere Strahlenexposition (GMBl. 2004, Nr. 22, S. 410); Teil 2: Innere Strahlenexposition (Entwurf vom 12. Januar 2007)
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 (GMBl. 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 (GMBl. 2005, Nr. 13, S. 258)
35. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom 15. Februar 1992 (GMBl. 1992, S. 150)
36. Richtlinie zur Dichtheitsprüfungen von umschlossenen Strahlenquellen vom 04. April 2004 (GMBl. 2004, S. 410)
37. Richtlinie nach StrlSchV: „Strahlenschutz in der Medizin“ vom 24. Juni 2002 (GMBl. 2003, S. 227)
38. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 07. Dezember 2005 (GMBl. 2006, S. 254), zuletzt geändert am 23. März 2006 (GMBl. 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 Immisionsüberwachung 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. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition vom 10. August 1981 (GMBI. 1981, S. 322)
62. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)

63. Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung: Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (GMBI. 1982, S. 61)
64. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 21. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
65. Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes vom 21. März 1983 (GMBI. 1983, S. 176)
66. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 71)
67. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 94)
68. 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)

69. KTA-Regel 1503.1 (Fassung 6/02): Überwachung der Ableitung gasförmiger und a Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb (BAnz Nr. 55 v. 20. März 2003)
70. KTA-Regel 1504 (Fassung 6/1994): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (BAnz Nr. 238a v. 20. Dezember 1994, berichtet im BAnz 216a v. 19. November 1996)
71. KTA-Regel 1507 (Fassung 6/98): Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren (BAnz Nr. 172a vom 15. September 1998)
72. KTA Regel 1508 (Fassung 9/88): Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre (BAnz Nr. 37 a vom 22. Februar 1989)

EU-Verordnungen, Richtlinien

73. 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)
74. Verordnung (EWG) Nr. 737/90 des Rates vom 22. März 1990 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (ABl. 1990, L 82 S 1)
75. 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)
76. 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)
77. Richtlinie 2003/122/EURATOM zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener Strahlenquellen und herrenloser Strahlenquellen vom 22. Dezember 2003 (ABl.2003, L 346 S 57)
78. Richtlinie 96/29/EURATOM (Strahlenschutzgrundnormen) des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen (ABl. 1996, L 159 S. 1)
79. Richtlinie 97/43/EURATOM (Patientenschutzrichtlinie) des Rates vom 30. Juni 1997 über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/466/EURATOM (ABl. L 180, S. 22)
80. 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)

6. 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^+

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
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	β^- , ϵ , β^+ , γ
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	ϵ , β^+ , γ
		Co-60	5,27 a	β^- , γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	244 d	ϵ , β^+ , γ
34	Selen	Se-75	120 d	ϵ , γ
36	Krypton	Kr-85	10,8 a	β^- , γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^- , γ
		Kr-87	76,3 m	β^- , γ
		Kr-88	2,84 h	β^- , γ
		Kr-89	3,18 m	β^- , γ
37	Rubidium	Rb-87	$4,8 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^- , γ
		Sr-90	28,6 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64,1 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	β^- , γ
41	Niob	Nb-95	35 d	β^- , γ
42	Molybdän	Mo-99	66,0 h	β^- , γ
43	Technetium	Tc-99	$2,1 \times 10^5$ a	β^-
		Tc-99m	6,0 h	$I\gamma$
44	Ruthenium	Ru-103	39,4 d	β^- , γ
		Ru-106	374 d	β^-
46	Palladium	Pd-103	16,96 d	ϵ ,
47	Silber	Ag-108m	418 a	ϵ , γ
		Ag-110m	250 d	β^- , γ , $I\gamma$
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
		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	$I\gamma$

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
54	Xenon	Xe-133	5,25 d	β^- , γ
		Xe-133m	2,19 d	$I\gamma$
		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^-
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
		Po-219	3,96 s	α , γ
86	Radon	Rn-220	55,6 s	α
		Rn-222	3,83 d	α
		Ra-224	3,66 d	α , γ
		Ra-226	1600 a	α , γ
88	Radium	Ra-228	5,75 a	β^-
		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
90	Thorium	Th-234	24,1 d	β^- , γ
		Pa-234	6,7 h	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
		U-235	$7,04 \times 10^8$ a	α , γ
		U-238	$4,47 \times 10^9$ a	α
93	Neptunium	Np-239	2,36 d	β^- , γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α
		Pu-239 *)	$2,41 \times 10^4$ a	α
		Pu-240 *)	6563 a	α
		Pu-241	14,4 a	β^- , α
95	Americium	Am-241	432 a	α , γ

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
96	Curium	Cm-242	163 d	α
		Cm-244	18,1 a	α

+) 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.

μs = Mikrosekunden

s = Sekunden

m = Minuten

h = Stunden

d = Tage

a = Jahre

ε = Elektroneneinfang

γ = Gammastrahlung

$I\gamma$ = Isomerenzerfall

β^+ = Positronen

β^- = Elektronen

α = Helium-Kerne