

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2012

Impressum

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)
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. Angelika Löbke-Reinl
Dr. Josef Peter

Redaktioneller Stand: Juni 2014

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

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

2.	Beförderung radioaktiver Stoffe 75 (<i>Transport of radioactive material</i>)
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>)
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe 75 (<i>Users of radioactive sources</i>)
3.2	Bestand radioaktiver Abfälle 76 (<i>Stock of radioactive waste</i>)
3.3	Hochradioaktive Quellen (HRQ) 76 (<i>High-activity sealed sources (HASS)</i>)
3.4	Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen 76 (<i>Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources</i>)
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>)
4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse 78 (<i>Exceptional events subject to reporting</i>)
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>)
1.1	Statische Felder 80 (<i>Static fields</i>)
1.2	Niederfrequente Felder 81 (<i>Low-frequency fields</i>)
1.3	Hochfrequente Felder 82 (<i>High-frequency fields</i>)
1.4	Optische Strahlung 84 (<i>Optical radiation</i>)
1.4.1	UV-Strahlung 84 (<i>UV-radiation</i>)
1.4.2	Infrarotstrahlung 86 (<i>Infrared Radiation</i>)
1.5	Grenzwerte 88 (<i>Limit values</i>)

TEIL B

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

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (*NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY*)

1.	Natürliche Umweltradioaktivität 90 (<i>Natural environmental radioactivity</i>)
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität 90 (<i>Technologically enhanced natural environmental radioactivity</i>)
2.1	Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie 90 (<i>Relics and residues of mining and industry</i>)
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>)

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 104 <i>(Chernobyl - radiation exposure from the accident)</i>	104
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
1.	Aktivitätsmessungen und Messnetze 119 <i>(Activity measurements and monitoring networks)</i>	119
1.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse 119 <i>(Air and precipitation, ambient gamma dose rate / trace analysis)</i>	119
1.1.1	Radionuklide in der bodennahen Luft 119 <i>(Radionuclides in ground-level air)</i>	119
1.1.2	Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition) 127 <i>(Total deposition of radionuclides)</i>	127
1.1.3	Gamma-Ortsdosisleistung 131 <i>(Ambient gamma dose rate)</i>	131
1.1.4	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
1.1.5	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 157 <i>(Surface water, suspended matter, and sediment in inland water)</i>	157
2.2.3	Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz 170 <i>(Surface water and sediment from inland waters in the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	170
2.2.4	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Anlagen nach Atomgesetz 178 <i>(Discharges of radioactive substances with waste water from facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	178
2.3	Böden 180 <i>(Soil)</i>	180
2.3.1	Boden, Pflanzen und Futtermittel 180 <i>(Soil, plants, and animal feedstuffs)</i>	180
2.3.2	Boden und Bewuchs in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz 187 <i>(Soil and vegetation from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)</i>	187

2.4	Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser 193 (<i>Foodstuff, groundwater and drinking water</i>)	193
2.4.1	Grundwasser und Trinkwasser 193 (<i>Groundwater and drinking water</i>)	193
2.4.2	Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz 194 (<i>Groundwater and drinking water from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act</i>)	194
2.4.3	Milch und Milchprodukte 196 (<i>Milk and milk products</i>)	196
2.4.4	Milch in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz 198 (<i>Milk from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act</i>)	198
2.4.5	Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer 201	201
2.4.6	Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz 207 (<i>Fish and aquatic plants from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act</i>)	207
2.4.7	Einzel Lebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung 209 (<i>Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods</i>)	209
2.4.8	Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz 223 (<i>Foodstuffs of vegetable origin from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act</i>)	223
2.5	Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe 233 (<i>Consumer goods, pharmaceutical products and their raw materials</i>)	233
2.6	Abwasser und Klärschlamm 235 (<i>Waste water and sewage sludge</i>)	235
2.7	Abfälle 242 (<i>Waste</i>)	242
2.8	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 244 (<i>Monitoring of incorporation among the population</i>)	244
 III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN (<i>OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES</i>)		
1.	Personendosisüberwachung 252 (<i>Monitoring of personal dose</i>)	252
1.1	Dosimeterüberwachte Personen 252 (<i>Monitoring with personal dosimeters</i>)	252
1.2	Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen 257 (<i>Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities</i>)	257
2.	Überwachung des fliegenden Personals 258 (<i>Aircraft crew monitoring</i>)	258
3.	Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition 259 (<i>Monitoring of radon enhanced workplaces</i>)	259
4.	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen 259 (<i>Incorporation monitoring of occupationally exposed persons</i>)	259
 IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN (<i>RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS</i>)		
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen 262 (<i>Diagnostic applications of radiation</i>)	262
1.1	Röntgendiagnostik 262 (<i>X-ray diagnostics</i>)	262
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik 267 (<i>Nuclear medicine diagnostics</i>)	267
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen 268 (<i>Evaluation of radiation exposures resulting from diagnostic procedures</i>)	268
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren 270 (<i>Alternative examination procedures</i>)	270

2.	Therapeutische Strahlenanwendungen 271 (<i>Therapeutic applications of radiation</i>)	271
3.	Medizinische Forschung 271 (<i>Medical research</i>)	271
4.	Herzschrittmacher 272 (<i>Pacemakers</i>)	272
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 274 (<i>Border-crossing transport of radioactive material</i>)	274
1.1	Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe 274 (<i>Overview of statistics on the import and export of radioactive material</i>)	274
1.2	Einfuhrstatistik 275 (<i>Import statistics</i>)	275
1.3	Ausfuhrstatistik 278 (<i>Export statistics</i>)	278
1.4	Genehmigungen und Anzeigen 281 (<i>Licenses and notifications</i>)	281
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe 282 (<i>Transport of radioactive material</i>)	282
2.1	Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe 283 (<i>Overview of shipment approvals and transport of radioactive material</i>)	283
2.2	Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen 284 (<i>Transport of radioactive material by the rail- and shipping traffic</i>)	284
3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler 287 (<i>Handling of radioactive materials, operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices</i>)	287
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe 287 (<i>User of radioactive sources</i>)	287
3.2	Bestand radioaktiver Abfälle 292 (<i>Stock of radioactive waste</i>)	292
3.3	Hochradioaktive Quellen (HRQ) 294 (<i>High-activity sealed sources (HASS)</i>)	294
4.	Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse 295 (<i>radiation and unusual incidents</i>)	295
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 315 (<i>Optical radiation</i>)	315

2.1	Solares UV-Monitoring (<i>Solar UV-Monitoring</i>)	315
2.2	Forschung (<i>Research</i>)	316
2.3	Rechtliche Regelung von Solarienbetrieben (<i>Legal restrictions of solaria</i>)	317
2.4	Hautkrebspräventionsmaßnahmen (<i>Skin cancer prevention measurements</i>)	318

ANHANG (ANNEX)

1.	Erläuterung zu den verwendeten Begriffen (<i>Explanation of terms</i>)	320
1.1	Strahlendosis und ihre Einheiten (<i>Radiation dose and related units</i>)	320
1.2	Die Messung der Strahlendosen (<i>Measurement of radiation dose</i>)	321
1.3	Äußere und innere Bestrahlung (<i>External and internal radiation exposure</i>)	322
1.4	Stochastische und deterministische Strahlenwirkung (<i>Stochastic and deterministic radiation effects</i>)	323
1.5	Genetische Strahlenwirkungen (<i>Genetic radiation effects</i>)	324
1.6	Induktion bösartiger Neubildungen (<i>Induction of malignant neoplasms</i>)	324
1.7	Risikoabschätzung (<i>Risk assessment</i>)	325
1.8	Strahlenschutzmaßnahmen (<i>Radiation protection measures</i>)	327
2.	Physikalische Einheiten (<i>Physical units</i>)	327
3.	Glossar (<i>Glossary</i>)	329
4.	Liste der verwendeten Abkürzungen (<i>List of abbreviations</i>)	334
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>)	339
6.	Liste ausgewählter Radionuklide (<i>List of selected radionuclides</i>)	342

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 2012 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 nicht 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 2012 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 2011, Auswertungen von 2013; Abschätzung mit Bevölkerungszahl auf Basis des neuen Zensus 2011

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,
- Reaktorunfall von Tschernobyl,
- Kerntechnik,
- Berufliche Strahlenexposition,
- Medizinische Anwendung,
- Radioaktive Abfälle,
- Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse
- Nichtionisierende Strahlung

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 Uranerzbergbaubereich 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. Uranbergbaubereiche 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 Bergbaubereiche 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. In den letzten Jahren wurden nationale und internationale epidemiologische Studien durchgeführt, um das gesundheitliche Risiko der Bevölkerung durch erhöhte Radon-Zerfallsprodukt-Expositionen genauer abschätzen zu können. Dabei zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10 % pro 100 Bq/m^3 .

Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Aktuelle Untersuchungen der Konzentrationen der natürlichen Radionuklide Ra-226, Th-232 sowie K-40 in üblichen industriell gefertigten Baumaterialien für den Innenraumbereich bestätigen, dass die durch sie verursachte Dosis im Mittel bei etwa 0,3 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/m^2).

Im Jahr 2012 nahm die Strahlenbelastung infolge des Reaktorunfalls weiter geringfügig ab; die mittlere effektive Dosis betrug weniger als 0,011 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 2012 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 Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) und der Schachtanlage 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 2011 zeigen die berechneten Werte der Strahlenexposition allgemein keine wesentlichen Unterschiede. Die errechnete potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung der Schachtanlage Asse II lag 2012 im Bereich des Vorjahres. 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 2012 unter 0,01 Millisievert (mSv) pro Jahr.

Die Gesamtstromerzeugung aus neun in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken verringerte sich im Jahr 2012 auf 99,5 Terawattstunden (TWh).

Berufliche Strahlenexposition

Personen, die in Bereichen mit erhöhter Strahlung arbeiten, unterliegen der Strahlenschutzüberwachung. Dies betraf in Deutschland im Jahr 2012 ca. 394 000 Personen. Der Großteil dieser strahlenexponierten Personen wurde mit Dosimetern überwacht. Die mittlere effektive Dosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 352 000) lag 2012 bei 0,08 Millisievert (mSv). Bei 85 % dieser überwachten Personen betrug während des ganzen Überwachungszeitraums die Personendosis 0 mSv. Bei den Überwachten mit einer messbaren Dosis (ca. 53 000 Personen) betrug die mittlere Jahrespersonendosis 0,52 mSv (Vorjahr: 0,58 mSv). Im Jahr 2012 wurde bei zwei Personen eine Überschreitung des Grenzwertes der Jahrespersonendosis von 20 mSv registriert. Sowohl die mittlere Dosis als auch die Anzahl der Überschreitungen markieren den bisher niedrigsten Wert in der beruflichen Strahlenschutzüberwachung Deutschlands.

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 40 300 Personen im Jahr 2012 betroffen (Vorjahr: ca. 39 700). Die mittlere Jahresdosis dieser Beschäftigten betrug 1,9 mSv (Vorjahr: 2,1 mSv). Dieser Rückgang wurde hauptsächlich durch die abnehmende Höhenstrahlung, die von der variierenden Sonnenaktivität beeinflusst wird, verursacht.

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 2011 bei etwa 1,9 Millisievert (mSv) (Abschätzung mit Bevölkerungszahl auf Basis des neuen Zensus 2011). Die nuklearmedizinische Diagnostik trug etwa 0,1 mSv zu dieser Strahlenexposition bei. Über den Beobachtungszeitraum 1996 bis 2011 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen. Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland hat hingegen über den betrachteten Zeitraum alles in allem abgenommen, wobei im Jahr 2011 durchschnittlich etwa 1,7 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner durchgeführt wurden. 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 2011 zur Gesamthäufigkeit der Röntgenuntersuchungen lediglich etwa 8 % bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug jedoch rund 60 %.

Zwischen 2004 und 2009 wurde das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm für alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren bundesweit eingeführt. Das Mammographie-Screening-Programm wird nun flächendeckend angeboten. Anspruchsberechtigt sind ca. 10,4 Mio Frauen. Nehmen 70 % der anspruchsberechtigten Frauen alle zwei Jahre an der Screening-Maßnahme teil, so beläuft sich die daraus resultierende kollektive effektive Jahresdosis auf weniger als 1,5 % der kollektiven effektiven Dosis, die sich aus allen Röntgenuntersuchungen ergibt, die in Deutschland jährlich durchgeführt werden.

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 2011 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 (BMUB) 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 106 357 m³ und 48 t am 31. Dezember 2012 (Vorjahr: 101 415 m³). Der Bestand an Zwischenprodukten und unbehandelten Abfällen belief sich auf 6799 m³ und 8 992 t (Vorjahr: 10 372 m³) und 4645 m³ und 9159 t (Vorjahr: 19 128 m³).

Bis zum 31.12.2012 sind in Deutschland 14 683 Tonnen SM (Schwermetall = Uran + Plutonium) in Form bestrahlter Brennelemente angefallen. Davon wurden 6 662 t SM zur Wiederaufarbeitung im Ausland oder in andere Anlagen abgegeben. Der weitere Bestand an Wärme entwickelnden Abfällen, die als Abfälle deklariert sind, betrug in konditionierter Form 725 m³ (Vorjahr: 727 m³). Es waren weitere 1 251 m³ (Vorjahr: 1 251 m³) als Zwischenprodukte, 2 t als unbehandelte Rohabfälle (Vorjahr 3 m³) und weniger als 1 Tonne SM aus sonstigen Anlagen und Forschungsreaktoren zwischengelagert.

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. Etwa 80 % der für das Jahr 2012 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 Fehler (z. B. falscher Betriebsmodus oder Verwechslung patientenspezifischer Einstellungen) sind im Jahr 2012 fünf Fälle von Fehlbestrahlungen bekannt geworden, bei denen in zwei Fällen ungerechtfertigte Expositionen auftraten, die von der zuständigen Behörde und den ärztlichen Stellen untersucht wurden. In der Folge wurden Maßnahmen zur Qualitätskontrolle (z. B. Vier-Augen-Prinzip) intensiviert. Zur Überschreitung des Jahresgrenzwertes für die Hand von 500 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen kam es in zwei Fällen - beim Umgang mit einem Pm-147 Strahler und bei der Vorbereitung einer medizinischen Behandlung. Vor-Ort Strahlenschutzmaßnahmen wurden umgehend eingeleitet.

Nichtionisierende Strahlung

Mit dem zunehmenden Technisierungsgrad der Umwelt steigt auch die Zahl der Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung beitragen. Dies stellte auch 2012 eine Herausforderung für den Strahlenschutz dar. Um die Risikobewertung bezüglich gesundheitlicher Wirkungen nichtionisierender Strahlung auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurden im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesumweltministeriums (BMUB) vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in den Bereichen „Niederfrequente und hochfrequente elektromagnetische Felder“ sowie „Optische Strahlung“ auch 2012 Forschungsvorhaben initiiert und koordiniert. Im Bereich „Niederfrequenz“ wurden u. a. Untersuchungen zur Verbesserung der Datenlage bezüglich niederfrequenter Felder und Leukämie im Kindesalter sowie neurodegenerativer Erkrankungen betreut. Im Bereich hochfrequenter elektromagnetischer Felder befassen sich die laufenden Forschungsvorhaben mit der Klärung der Fragen zu möglichen Langzeitrissen für Handynutzungsdauern von mehr als 10 Jahren und bezüglich der Frage, ob Kinder stär-

ker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder empfindlicher reagieren als Erwachsene. Zusätzlich wurde im Jahr 2012 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.

Im Bereich der „Optischen Strahlung“ ist vor allem die Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs Grund für weitere Forschung und für weitere Optimierung der Risikokommunikation und Informationsmaßnahmen des BfS. 2012 rückte zudem die Frage nach der notwendigen UV-Exposition für die UV-B-abhängige, körpereigene Vitamin-D-Bildung in den Fokus der Betrachtung. Die 2010 begonnene UV-Informationskampagne „Sonne - Aber sicher!“ wurde 2012 um Lehrerfortbildungen auf Länderebene ergänzt. Das 2011 gegründete UV-Bündnis - eine Kooperation von medizinischen, wissenschaftlichen Institutionen und Organisationen sowie Bundesbehörden - beschäftigte sich 2012 mit dem Thema „UV-Exposition und Vitamin D“. Die Tätigkeiten zur Bekanntgabe des UV-Index wurden um einen Newsletter für Journalisten, Wetterredaktionen und Interessierte zum wöchentlichen Abruf von UVI-Wochenendprognosen erweitert. Auch Solarien waren in 2012 ein wichtiges Thema. Seit Januar 2012 sind die rechtlichen Regelungen für Solarien in Kraft. Das BfS unterstützt mittels Informationsveranstaltungen und bei unmittelbar auftretenden Fragestellungen die Landesbehörden bei ihrer Aufgabe, die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben in Solarien betreibenden Gewerben zu kontrollieren. Im Rahmen der Akkreditierung von Schulungsstätten zur Qualifizierung von Solarien-Fachpersonal durch die Deutsche Akkreditierungsstelle nahm das BfS 2012 eine für fachliche Belange beratende Funktion ein.

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 2012, 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.

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 2012

Mean effective dose millisieverts (mSv/y) per year			
1. Radiation exposure from natural sources			
1.1	cosmic radiation (at sea level)	approx. 0.3	
1.2	external terrestrial radiation	approx. 0.4	
	thereof outdoors (5 h/d)		approx. 0.1
	thereof indoors (19 h/d)		approx. 0.3
1.3	inhalation of radon and its progeny	approx. 1.1	
	thereof outdoors (5 h/d)		approx. 0.2
	thereof indoors (19 h/d)		approx. 0.9
1.4	ingestion of natural radioactive substances	approx. 0.3	
Total natural radiation exposure		approx. 2.1	
2. Radiation exposure from man-made sources			
2.1	fallout from nuclear weapons tests	<0.01	
2.2	effects from the accident in the Chernobyl nuclear power plant	<0.011	
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 2011, evaluations from 2013, estimate based on population data after according to the new 2011 census

The sections below provide information on radiation exposures due to

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

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

Radioactive substances in building materials and industrial products

Current analyses of ordinary industrially fabricated building materials designed for use indoors confirm that the dose caused by their concentrations of the natural radionuclides Ra-226, Th-232, and K-40 is about 0.3 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 becquerels per square metre (Bq/m^2) here.

Radiation exposure resulting from the Chernobyl reactor accident decreased further, albeit marginally, in 2012; the mean effective dose was less than 0.011 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 levels of radiation exposure may be one order of magnitude higher. In particular the concentration of Cs-137 in wild boar meat still exceeds the maximum value permissible of 600 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 power 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 in 2012. 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 Morsleben repository for low and intermediate-level radioactive waste (ERAM) and the Asse II mine contributes only insignificantly to the radiation exposure of the general public. 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 2011. The calculated potential radiation exposure in the vicinity of the Asse II mine remained at the level of the previous year. 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 2012 (see Table above).

The total generation of current from nine nuclear power plants in operation decreased to 99,5 terawatt hours (TWh) in 2012.

Occupational radiation exposure

Persons who might incur enhanced radiation doses at work are subject to radiation protection monitoring in Germany (approx. 394,000 in 2012). Most of these persons occupationally exposed to radiation were monitored using personal dosimeters. The average annual individual dose (measured in approx. 352 000 individuals) amounted to about 0.08 millisievert (mSv) in 2012. There was no evidence of additional radiation exposure in about 85 % of all persons involved over the entire monitoring period. An average annual individual dose of 0.52 mSv (preceding year: 0.58 mSv) was determined for all other cases with a measurable dose (approx. 53 000). In 2012 two individuals with annual personal doses exceeding 20 mSv were registered. Both average dose and cases with doses exceeding 20 mSv mark an all-time low in occupational monitoring in Germany.

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 2012, this applied to approx. 40 300 individuals (preceding year: 39 700 individuals). The average annual dose of these employees amounted to 1.9 mSv (preceding year: 2.1 mSv) (in addition to natural radiation exposure). This decrease is mainly due to decreasing cosmic radiation which, in turn, is influenced by the variations in sun activity.

Medical application

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 2011, medical applications contributed about 1.9 millisieverts (mSv) per inhabitant, of which about 0.1 mSv was due to nuclear medical diagnostic procedures (estimates based on population data according to the new 2011 census). The observation period from 1996 to 2011 altogether reveals an upward trend of the mean effective dose per inhabitant and year. However, the frequency of X-ray examinations conducted during this period in Germany decreased. About 1.7 X-ray examinations per inhabitant were carried out on the average in 2011. The upward trend observed for the mean effective dose per inhabitant and year is primarily due to the steady increase in uses of computed tomography (CT). CT examinations had a share of only 8 per cent in the total frequency of X-ray diagnostics in 2011 but contributed about 60 % to the collective effective dose.

From 2004 to 2009 the quality-assured, population-based Mammography Screening Program was introduced nationwide for all (asymptomatic) women between 50 and 69 years of age. The Mammography Screening Program is now offered on a nationwide scale. In Germany about 10.4 mio women are entitled for participation. Assuming an attendance rate of 70 %, and a regular screening interval of two years, the collective effective dose per year from mammography

screening would contribute less than 1.5 % to the total collective effective dose from all X-ray examinations being performed annually in Germany.

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 2011. Against expectations the increase in alternative diagnostic procedures, i.e. procedures without use of ionising radiation, and in particular the remarkable increase in MRI does not lead to a decreasing trend in frequency of CT.

Radioactive waste

By order of the Federal Minister for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMUB), 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 2012, the amount of conditioned radioactive waste with negligible heat generation was 106 357 m³ and 48 t (previous year: 101 415 m³). Intermediate products and untreated waste amounted to 6799 m³ and 8992 t (previous year: 10 372 m³) and 4645 m³ and 9159 t (previous year 19 128 m³), respectively.

A total of 14 465 tonnes (t) of HM (heavy metal = uranium + plutonium) of spent fuel elements was produced up to 31 December 2012 in Germany, of which 6662 tonnes were delivered abroad for reprocessing. Conditioned heat-generating waste declared as waste made up 725 m³ (previous year: 727 m³). Another 1251 m³ (previous year: 1251 m³) of intermediates, 2 t of untreated primary waste (previous year 3 m³) and less than 1 tonne of HM from other facilities and research reactors were stored temporarily.

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. About 80 per cent of the exceptional events reported for 2012 involved discoveries of radioactive material mostly associated with improper disposal of the radioactive substance. There was no case of substantial radiological hazard. Human failure (e. g. wrong operating mode, or mistakes in patient-specific settings) entailed erroneous irradiations in five cases in 2012 two of which involved unjustified exposures which were under investigation by the competent authorities and medical bodies. Subsequently, quality control measures (e. g. "four eyes principle") have been intensified. The annual limit of 500 mSv for occupational exposure of the hand was exceeded in two cases involving the handling of a Pm-147 source and preparation of a medical treatment. On-site measures for radiation protection were initiated immediately.

Non-ionising radiation

The higher the level of technology applied in human environment the greater the number of sources of non-ionising radiation to which the general public is exposed. This was a challenge for radiation protection also in 2012. In order to obtain a solid data base for evaluation of risk associated with non-ionising radiation BfS continued to initiate and co-ordinate research projects within the scope of the Environmental Research Plan (UFO-Plan) of the Federal Ministry for the Environment (BMUB) in 2012. These projects covered the areas of both "Low-frequency and high-frequency electromagnetic fields" and "Optical radiation". BfS activities in the "low-frequency" area included supervision of studies aimed at improving the data available in terms of low-frequency fields and childhood leukaemia as well as neurodegenerative disorders. Ongoing research in the area of "high-frequency electromagnetic fields" addresses the questions 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. Further research was conducted into risk communication in 2012, with the aim of, among others, improving communication and information, in order to support an objective approach to the issue of "Electromagnetic fields" in the general public. In the field of "Optical Radiation", it is above all the alarming increase in skin cancers that has given reason for further research and for continuous improvements of both risk communication and information measures on the part of BfS. The question as to the level of UV-exposure needed for the body's natural production of vitamin D dependent on UVB came into focus in 2012. In addition to the UV information campaign "Sonne - Aber sicher!" which was started in 2010, cross curricular teacher trainings were organised at Laender level in 2012. The UV-Alliance, i.e. a cooperation of medical, scientific institutions and organisations as well as Federal Authorities which was established in 2011, addressed the subject "UV exposure and Vitamin D" in 2012. Ongoing activities to announce the UV-index were extended by a weekly newsletter with the UVI weekend forecast available to journalists, weather report departments and the interested layman. Sunbeds were also an important topic in 2012. The legal provisions for sunbeds came into force on 1 January 2012. To support the Laender authorities in their task of securing adherence to statutory provisions, BfS hold information meetings and is ready to answer immediate questions. Accreditation of training centres for the qualification of sunbed personnel on the part of Germany's National Accreditation Body (Deutsche Akkreditierungsstelle) included expert advice provided by BfS.

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 2012 selon les différentes sources d'exposition. Comparée à l'année précédente, la dose effective moyenne n'a guère changé; elle s'élève à environ 4 millisieverts (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 tomodensitométrie. Une autre source essentielle d'exposition aux rayonnements est le radon, un gaz rare d'origine naturel ainsi que l'inhalation de ses dérivés qui s'accumulent surtout dans des pièces mal aérées. Il convient de noter que les données représentent des doses efficaces moyennées sur toute la population. La vraie dose annuelle reçue par une personne dépend fortement des circonstances individuelles.

DOSE EFFICACE MOYENNE REÇUE PAR UNE PERSONNE DE LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 2012

Dose efficace moyenne millisieverts par an			
1. Exposition naturelle par source			
1.1	rayonnements cosmiques (au niveau de la mer)	env. 0,3	
1.2	rayonnements terrestres externes	env. 0,4	
	dont à l'extérieur (5 h/jour)		env. 0,1
	dont à l'intérieur des maisons (19 h/jour)		env. 0,3
1.3	produits de filiation de radon (par inhalation)	env. 1,1	
	dont à l'extérieur (5 h/jour)		env. 0,2
	dont à l'intérieur des maisons (19 h/jour)		env. 0,9
1.4	ingestion de substances radioactives naturelles	env. 0,3	
Chiffre total de l'exposition naturelle aux rayonnements		env. 2,1	
2. Exposition artificielle par source			
2.1	retombées des essais nucléaires	<0,01	
2.2	accident dans la centrale nucléaire de Tchernobyl	<0,011	
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 2011, évaluation faite en 2013, estimation basée sur le nombre d'habitants, selon le recensement de 2011

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

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

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 millisieverts (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/m^3) 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. Des études épidémiologiques nationales et internationales ont été effectuées ces dernières années afin d'estimer le risque que les expositions élevées aux produits de filiation du radon présentent pour la santé de la population. Ces études montrent une augmentation significative du risque de cancer du poumon, qui s'élève à environ 10 % par 100 Bq/m^3 .

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

Des études récentes portant sur les concentrations des radionucléides 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 becquerels par mètre carré (Bq/m²).

En 2012, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer faiblement; la dose efficace moyenne était en dessous de 0,011 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 becquerels 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 sévère accident nucléaire classé au niveau 7 de l'échelle internationale INES de classification des accidents nucléaires a endommagé la centrale nucléaire 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 cœurs 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 des 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.

Basé sur le règlement (CE) n° 178/2002 la Commission européenne a imposé des conditions particulières à l'importation de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux originaires ou en provenance du Japon en 2012. Le règlement d'exécution (UE) n° 284/2012 prévoit que le lait et les produits laitiers ainsi que les aliments pour nourrissons et enfants en bas âge ne contiennent pas plus de 50 becquerels par kilogramme (Bq/kg) de césium-137 et césium -134. La limite maximale prévue pour les autres aliments est 100 Bq/kg.

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 II 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 2011. Le chiffre calculé de l'exposition potentielle aux rayonnements autour de la mine de Asse II, se situe au niveau de celui de l'année précédente. En 2012, 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 (9 centrales nucléaires en service) a baissé à 99,5 térawattheures (TWh) en 2012.

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 2012 près de 394 000 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 352 000) était de 0,08 millisievert (mSv) en 2012. Pour environ 85 % de ces personnes surveillées, la dose individuelle était de 0 mSv pendant toute la période de surveillance. Les personnes surveillées chez lesquelles une dose a pu être constatée (environ 53 000) ont présenté une dose individuelle moyenne annuelle de 0,58 mSv (année précédente: 0,58 mSv). En 2012, deux personnes ont été touchées par un dépassement de la limite de dose annuelle réglementaire de 20 mSv. La dose moyenne mais aussi le nombre de dépassements ont atteint le plus bas niveau enregistré dans le cadre de la surveillance des mesures de radioprotection professionnelle en Allemagne.

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 2012, environ 40 300 personnes étaient affectées par cette réglementation (année précédente: 39 700 personnes). Leur dose moyenne annuelle s'élevait à 1,9 mSv (année précédente: 2,1 mSv). Cet abaissement était principalement dû à la décroissance du rayonnement cosmique qui est influencée par l'activité variant du soleil.

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 chirurgiens-dentistes conventionnés et l'association des assurances maladies privées en Allemagne.

En 2011, la radioexposition médicale était d'environ 1,9 millisieverts (mSv) par habitant (estimation basée sur le nombre d'habitants, selon le recensement de 2011). Les procédures de diagnostic en médecine nucléaire représentaient environ 0,1 mSv de cette exposition. On constate globalement une tendance à la hausse en ce qui concerne la dose efficace moyenne par habitant et par an dans la période de référence 1996 à 2011. La fréquence des examens radiographiques en Allemagne a néanmoins baissé globalement durant cette période. En moyenne, environ 1,7 examens radiographiques ont été réalisés par habitant en 2011. 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 2011, sa part dans la dose efficace collective constituait cependant près de 60 %.

Entre 2004 et 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. Le nombre des ayants droit est d'environ 10,4 Million. Avec 70 % d'ayants droit participant tous les deux ans au programme de dépistage mammographique, la dose efficace collective annuelle en résultant s'élève à moins de 1,5 % de la dose efficace collective due à l'ensemble des examens radiographiques effectués tous les ans en Allemagne.

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 2011. 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 (BMUB). Cet 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 2012, le stock de déchets radioactifs peu thermogènes conditionnés était de 106 357 mètre cube (m^3) et 48 tonnes (t) (année précédente: 101 415 m^3). Le stock de produits intermédiaires et de déchets non-traités était de 6799 m^3 et 8992 t (année précédente: 10 372 m^3) et de 4645 m^3 et 9159 t (année précédente: 19 128 m^3 respectivement).

Jusqu'au 31 décembre 2012, la quantité de métaux lourds (uranium + plutonium) provenant d'éléments combustibles irradiés s'élevait à 14 683 tonnes (année précédente: 14 465 tonnes) en Allemagne. De cette quantité, 26 662 tonnes de métaux lourds ont été exportées à l'étranger ou délivrées à d'autres installations afin d'être retraitées. Le stock de déchets radioactifs thermogènes conditionnés déclarés comme des déchets s'élevait à 725 m^3 (année précédente: 727 m^3). D'autres 1251 m^3 (année précédente 1251 m^3) étaient entreposés en tant que produits intermédiaires, 2 tonnes en tant que déchets primaires (année précédente: 3 m^3) et en dessous de 1 tonne de métaux lourds provenant d'autres installations et réacteurs de recherche.

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. Environ 80 % des incidents déclarés par rapport à l'année 2012 avait trait à la découverte de matériau radioactif, le plus souvent dû à des activités d'élimination irrégulières de la substance radioactive. Aucun des incidents n'entraînait une menace radiologique. Par suite d'erreur humaine (par ex. mode d'opération incorrecte ou ne correspondant pas au patient concerné) des expositions erronées sont survenues dans cinq cas dont deux ont comportées des expositions injustifiées qui sont actuellement examinées par l'autorité compétente et les instances médicales. Par la suite, les mesures de contrôle de qualité ont été intensifiées (par ex. principe du double contrôle). Un dépassement de la limite annuelle de 50 mSv pour la main s'est produit dans deux cas – l'un lors du contact avec une source de Pm-147, l'autre lors de la préparation d'un traitement médical. Des mesures de radioprotection ont été engagées sur place immédiatement.

Rayonnements non ionisants

L'ubiquité croissante d'équipements techniques dans l'environnement entraîne une augmentation de l'exposition du public aux rayonnements non ionisants. En 2012, ce phénomène a de nouveau posé des défis en matière de radioprotection. Afin de permettre une évaluation, sur la base de données solides, des risques sanitaires présentés par les ra-

yonnements non ionisants, l'Office fédéral de radioprotection (BfS) a continué, en 2012, à initier et à coordonner des projets de recherche dans le cadre du plan de recherche environnement (Umweltforschungsplan) du Ministère de l'Environnement (BMUB) dans les domaines des champs électromagnétiques de basse et de haute fréquence et des rayonnements optiques. Dans le domaine de la basse fréquence, le BfS a, entre autres, accompagné des études pour améliorer la disponibilité de données sur les champs de basse fréquence et les leucémies chez les enfants ainsi que sur les maladies neuro-dégénératives. Dans le domaine des champs électromagnétiques de haute fréquence, les projets en cours 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 2012 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.

En ce qui concerne les rayonnements optiques, c'est surtout la croissance inquiétante du nombre de cancers de la peau qui justifie de poursuivre la recherche et d'améliorer la communication des risques et les mesures d'informations du BfS. Par ailleurs, en 2012 l'accent a été mis sur la question de l'exposition aux UV et par suite de la quantité d' UVB nécessaire pour déclencher la formation endogène de la vitamine D. La campagne d'information UV „Sonne - Aber sicher!“, initiée en 2010, a été accompagnée d'actions pluridisciplinaires de la formation professionnelle des enseignants au niveau des Länder. L'Alliance UV, une coopération d'établissements et d'organisations médicaux et scientifiques et d'autorités fédérales s'est consacrée aux sujets de l'exposition aux UV et de la vitamine D en 2012. Les activités relatives à la publication de l'indice UV ont été accompagnées de la mise à disposition aux journalistes, aux rédactions météo et au public intéressé d'une lettre d'information hebdomadaire portant sur le pronostic de l'indice UV pour le weekend. Les solariums furent également un sujet important en 2012. Le nouveau régime juridique relatif aux solariums est entré en vigueur en Janvier 2012. L'Office fédéral de radioprotection (BfS) assiste les Länder dans leur mission de contrôle du respect des dispositions légales relatives aux métiers opérateurs de solariums par l'organisation de séances d'information et par un soutien dans le cadre de problématiques actuels se posant à eux. Dans le cadre de l'accréditation d'instituts de formation professionnelle visant à la qualification de personnel spécialisé de solarium, l'Office fédéral de radioprotection a fourni un avis technique en 2012.

TEIL A ALLGEMEINE ANGABEN

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

Ebenso wurde 1995 im Auftrag des BMUB 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 0,0117 % als Bestandteil des Elementes Kalium in der Natur vor. Darüber hinaus sind mehr als 10 weitere Radionuklide ohne Zerfallsreihe bekannt, z. B. Rb-87, die aber keinen wesentlichen Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition liefern.

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

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

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

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

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

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 kieselsäurereichen Magmagesteinen die spezifische Aktivität primordialer Radionuklide gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagesteine auch höhere Werte dieser 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.

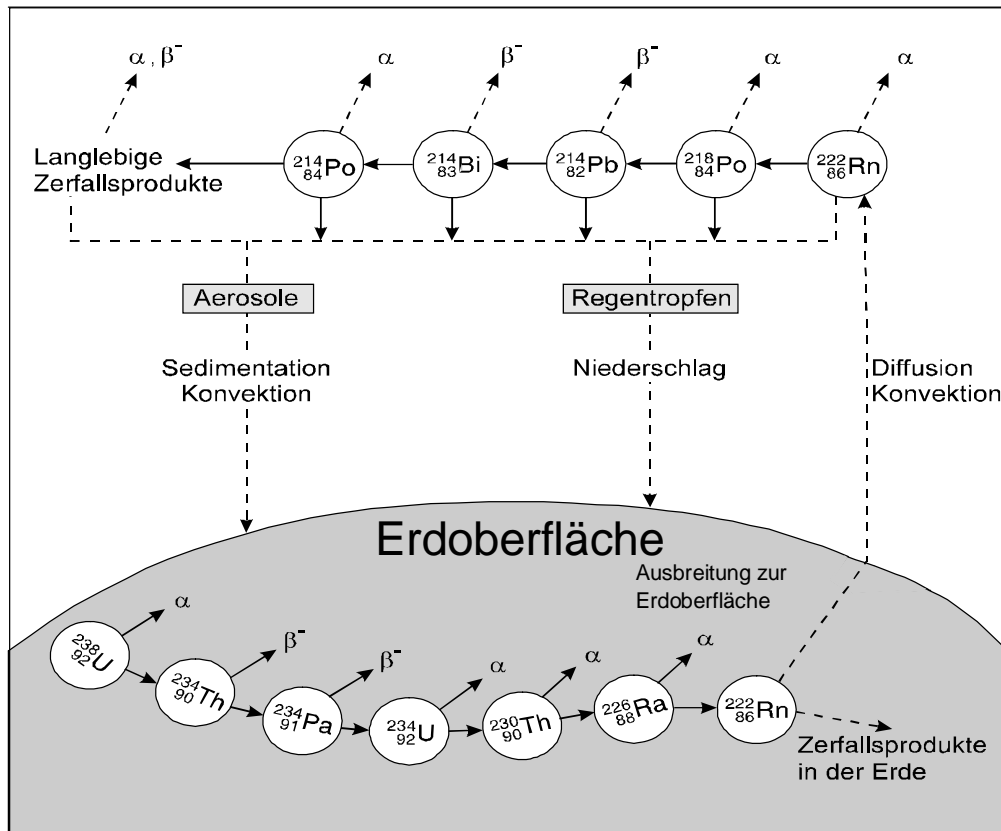


Abbildung 1.1-1 Entstehung des Rn-222 und seiner Zerfallsprodukte aus U-238
(Production of Rn-222 and its decay products from U-238)

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 Bergbaubereich	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 angereichert 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
$\mu\text{Bq/m}^3$								
0,8 - 2,0	1,4 - 2,0	0,6 - 1,7	<1,3 - 6,3	200 - 670	26 - 48	0,4 - 1,2	0,6	1,0 - 1,2

1.5 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].

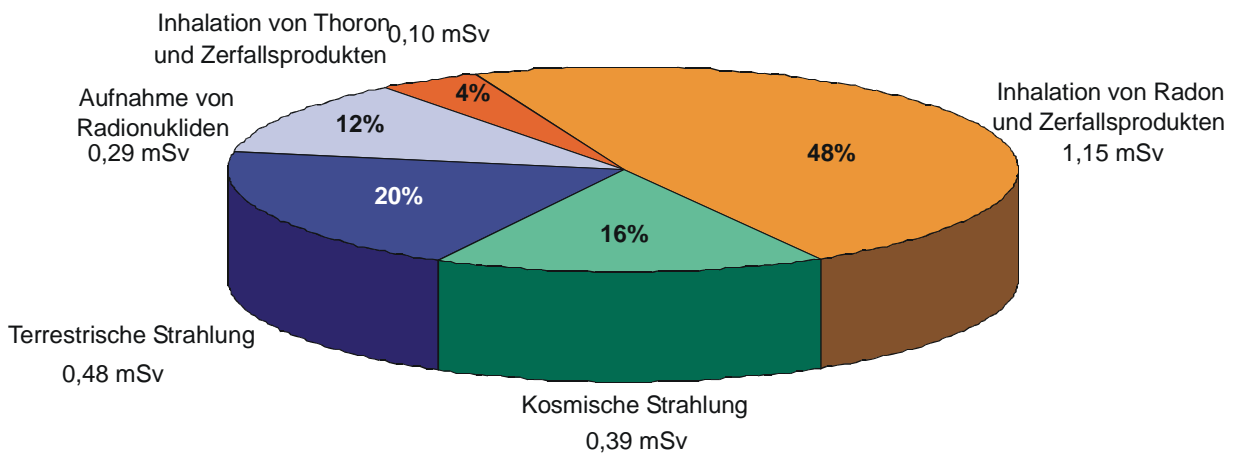


Abbildung 1.6-1 Mittlere jährliche effektive Dosis der Bevölkerung der nördlichen Hemisphäre durch natürliche Strahlenquellen (UNSCEAR)
(Mean annual effective dose of the population from natural radiation sources in the northern hemisphere - UNSCEAR)

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 industriegeographischen 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 Rohphosphat zur Herstellung von Phosphorsäure und Düngemitteln	-	-	-	-	4 – 25 Mio. m ³
Roheisenmetallurgie einschließlich Rauchgasreinigung	2 – 3 Mio. m ³	2 – 3 Mio. m ³	-	-	-
Aufbereitung von Bauxit zur Aluminiumgewinnung (Bayer-Verfahren)	14 – 35 Mio. m ³	-	-	-	-
Rauchgasreinigung bei der Verbrennung von Steinkohle	-	-	-	2 – 20 Mio. m ³	-
Aufbereitung von Grundwasser zu Trinkwasser (Eisen- und Manganfällung)	2 – 7 Mio. m ³	-	12 000 – 25 000 m ³	-	-
Summe	18 – 45 Mio. m³	2 – 3 Mio. m³	12 500 – 37 000 m³	2 – 20 Mio. m³	4 – 25 Mio. m³
Gesamt	ca. 25 – 100 Mio. m³				

¹ Reinigungsschlämme 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. Radonfreisetzungen aus den Baumaterialien spielen demgegenüber eine untergeordnete Rolle. Die letztendlich im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt von der Bauweise, vor allem von der Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Struktur des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsverhalten ab.

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

Generell sollte die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen möglichst niedrig sein. Diesem Bestreben sind jedoch im Allgemeinen praktische Grenzen dadurch gesetzt, dass der Beitrag des in der Außenluft vorkommenden Radons zur Innenraumkonzentration und die Radonfreisetzungen aus den 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 Magmageseine 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 Kreislaufwirtschaftsgesetzes zunehmend eine Verwendung von Rückständen in der Baustoffindustrie.

Bestimmte Rückstände aus industriellen Verarbeitungsprozessen können jedoch erhöhte Gehalte natürlicher Radionuklide aufweisen. Bei Verwendung dieser Rückstände, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden im Teil A der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [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 Mittelwert (Bereich)		Th-232 Mittelwert (Bereich)		K-40 Mittelwert (Bereich)	
	spezifische Aktivität (Bq/kg TM)					
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Granit	100	(30 - 500)	120	(17 - 311)	1000	(600 - 4000)
Granodiorit	56	(40 - 73)	44	(37 - 104)	850	(380 - 990)
Syenit	30		31		670	
Dolerit	20	(10 - 29)	30	(8 - 44)	290	(22 - 380)
Gneis	75	(50 - 157)	43	(22 - 50)	900	(830 - 1500)
Diabas	16	(10 - 25)	8	(4 - 12)	170	(100 - 210)
Basalt	26	(6 - 36)	29	(9 - 37)	270	(190 - 380)
Granulit	10	(4 - 16)	6	(2 - 11)	360	(9 - 730)
Grauwacke	41	(26 - 51)	35	(13 - 46)	760	(700 - 780)
Phonolit	56		104		1270	
Amphibolit	8		9	(8 - 9)	260	(180 - 310)
Serpentinit	3		7		180	
Quarzporphyr	54	(15 - 86)	77	(53 - 98)	1300	(1000 - 2100)
Porphyrtuff	47	(44 - 52)	206	(130 - 240)	720	(22 - 1700)
Orthophyr	17		22		1300	
Lamprophyr	17	(6 - 30)	12	(7 - 21)	270	(130 - 330)
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	
Schlämmschmelze	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)
Tonerdschmelzzement	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		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		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 - **StrlSchV**) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212).
- [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 a)
(Number of nuclear weapons tests in the years 1945 - 2011) a)

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in												
	USA		Russland ^{b)}		Groß-britannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan	Nord-korea
	c)	d)	c)	d)	c)	d)	c)	d)	c)	d)	d)	d)	d)
1945	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in												
	USA		Russland ^{b)}		Groß- britannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan	Nord- korea
	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 ^{b)}		Groß-britannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan	Nord-korea
	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) Die Zahl der Kernwaffenversuche kann bei Verwendung unterschiedlicher Informationsquellen differieren

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

c) in der Atmosphäre

d) unterirdisch

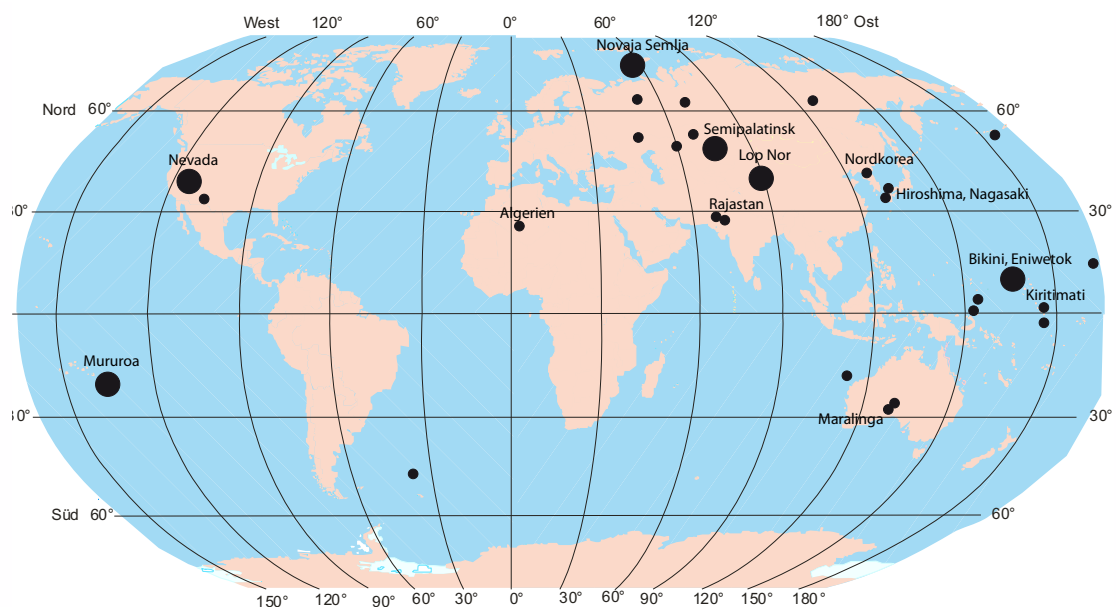


Abbildung 1.1-1 Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (verändert nach UNSCEAR)
(Locations of nuclear explosions to date - modified according to data of UNSCEAR)

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 $10 \mu\text{Sv}$, in Gebäuden etwa $2 \mu\text{Sv}$ pro Jahr. Dem liegt ein Abschirmfaktor in Gebäuden von 0,15 zu Grunde. Bei einer Aufenthaltsdauer von täglich 5 Stunden im Freien ergibt sich daraus eine durchschnittliche Strahlenbelastung von $5 \mu\text{Sv/a}$ (zum Vergleich: 1986 ca. $70 \mu\text{Sv}$, siehe Tabelle 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: BMUB, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMUB-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 Dosis-

grenzwerten und damit indirekt auch der Ableitungen. Die hierzu erforderlichen Nachweisgrenzen für Dosisleistungsmessungen und Radionuklidbestimmungen sind abhängig von den Dosisbeiträgen durch äußere und innere Bestrahlung zur Gesamtdosis festzulegen. Bei der Immissionsüberwachung werden die Umweltmedien Luft, Niederschlag, Boden, Bewuchs, Milch, Oberflächenwasser der Binnengewässer, Fische, Wasserpflanzen, Grund- und Trinkwasser und pflanzliche Nahrungsmittel beprobt und gemessen.

Messungen im bestimmungsgemäßen Betrieb sollen langfristige Veränderungen infolge von betrieblichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser an den Stellen aufzeigen, die für die verschiedenen Expositionspfade relevant sind. Daher werden primär die radioaktiven Stoffe in den Transportmedien Luft und Wasser regelmäßig erfasst. Darüber hinaus werden Untersuchungen in den Ernährungsketten und in einzelnen Bereichen der Umwelt an Stellen, an denen sich langfristig bevorzugt radioaktive Stoffe ansammeln können (z. B. im Sediment von Gewässern), sowie an Referenzorten (z. B. außerhalb des Nahbereichs von Anlagen) durchgeführt. Die zu überwachenden Nahrungsmittel pflanzlicher oder tierischer Herkunft sollen für die Umgebung des Standortes typisch sein und einen wesentlichen Beitrag zu der gesamten Ingestionsdosis erwarten lassen.

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

Die 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 Weltozean dar.

Die Oberflächensedimente der Ostsee weisen mehrfach höhere spezifische Aktivitäten als diejenigen der Nordsee auf. Diese Aussage gilt in den meisten Fällen auch für natürliche Radionuklide. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass sich Radionuklide eher an feinkörnigen Sedimenten, die in der Ostsee häufiger sind als in der Nordsee, anlagern, zum anderen liegt dies auch darin begründet, dass die geringere Turbulenz im Wasser der Ostsee zur Sedimentation dieser feineren Partikel führt. Auch die höhere Flächendeposition des Tschernobyl-Eintrags auf das Gebiet der westlichen Ostsee spiegelt sich in den erhöhten Aktivitäten wider (aktuelle Messdaten siehe Teil B - II - 2.2.1).



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



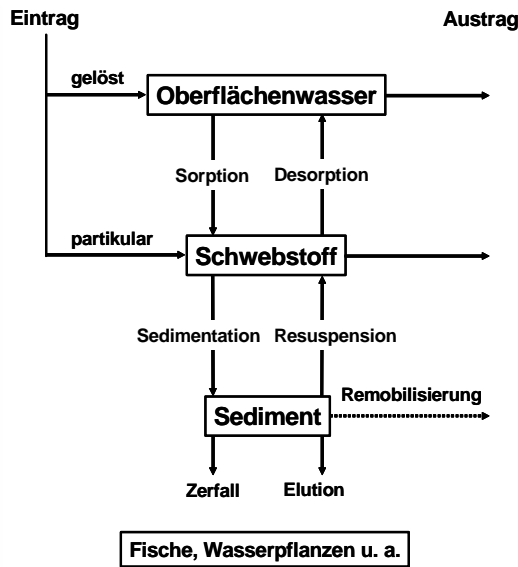


Abbildung 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten
radioaktiver (und anderer) Stoffe in Fließgewässern
(Simplified model to evaluate the exchange and transport behavior of radioactive and other substances in rivers)

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 Probenahme-probleme 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 gammastrahlungsmessverfahren 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, Krustent- 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 gammastrahlungsmessbar 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, Wildspeisepilze, Wildbeeren und Blütenhonig. Hier liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln. Die Ursache hierfür liegt in der höheren Verfügbarkeit des Cs-137 in Waldböden, da es sich um organisches Material mit einem geringen Gehalt an Tonmineralien handelt und der Waldboden auch nicht umgepflügt wird.

Zusätzliche Messungen der Leitstelle für Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich das gesamte Jahr über durchgeführt werden, fließen ebenfalls in die Berichterstattung über Umweltradioaktivität ein.

Die Messwerte für Einzel Lebensmittel, 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, Abelman 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-Schwebstoff-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 Uranzerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Dazu werden Messungen mit personengetragenen Geräten durchgeführt.

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



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

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



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

IV 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“). Dabei ist auch zu prüfen, ob durch diagnostische Maßnahmen ohne Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe („alternative“ Diagnoseverfahren wie Ultraschalluntersuchungen oder die Magnet-Resonanz-Tomographie) die medizinische Fragestellung nicht ebenso beantwortet werden kann. Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte medizinische Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist.

Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patienten hat die Europäische Union in der Richtlinie 97/43/EURATOM die Mitgliedsstaaten verpflichtet, die medizinische 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 eingestellt. 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 BMUB 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 BMUB 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 Radiopharmaka und applizierten Aktivitäten abgeschätzt.

Aktuelle Daten zur Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen sind in Teil B - IV - 1.2 enthalten.



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

Die strahlenhygienische Bewertung aktueller Daten ist in Teil B - IV - 1.3 dargestellt.



1.4 Alternative Untersuchungsverfahren (*Alternative examination procedures*)

Bei den so genannten alternativen Untersuchungsverfahren – Untersuchungen ohne Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung – 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 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 langfristig erwarten BMUB 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 BMUB und BfS, dass durch die Einführung der DRW die medizinische Strahlenexposition reduziert werden kann.

Durch die Pflicht, Patienten nach früheren radiologischen Untersuchungen zu befragen – 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 dosissparender 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 Dosisersparnis 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 Digitalisierung der Bildgebung erleichtert, falls notwendig, die Zweitbefundung durch einen weiteren Spezialisten.

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

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

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 resultierenden Nutzen-Risiko-Verhältnisses wird sie derzeit noch im Rahmen klinischer Studien bewertet. Als weitere Alternative

steht die sog. Brachytherapie zur Verfügung, bei der eine radioaktive Strahlenquelle in direkter räumlicher Nähe zum Zielvolumen platziert wird.

Unverzichtbar für die Strahlentherapie ist eine ständige Qualitätssicherung, die auch eine sorgfältige Überprüfung des Behandlungserfolges (Nachsorge) über einen ausreichend langen Zeitraum beinhaltet.

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 Gelenkergüssen) sowie
- die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen (Ziel: Schmerzlinderung bei nicht heilbarer Erkrankung).

Zunehmende Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie, bei der spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert werden, um die Tumorzellen gezielt durch Strahlung zu zerstören (z. B. bei Lymphomen). Weitere neuere Anwendungsbereiche nuklearmedizinischer Therapie sind z. B. die MIBG- 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 des Gesetzes vom 28. August 2013 (BGBl. I S. 3313), bedarf derjenige, der Kernbrennstoffe ein- oder ausführt, einer Genehmigung. § 19 Abs. 1 und 2 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist, regelt die Genehmigungspflicht der Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe einschließlich hochradioaktiver Strahlenquellen. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung der Ein- und Ausfuhr von Kernbrennstoffen bzw. sonstiger radioaktiver Stoffe sind in § 3 Abs. 2 und 3 AtG bzw. § 22 Abs. 1 und 2 StrlSchV festgelegt. § 20 StrlSchV normiert die unter bestimmten Voraussetzungen mögliche genehmigungsfreie, jedoch anzeigepflichtige grenzüberschreitende Verbringung von sonstigen radioaktiven Stoffen oder kleinen Massen an Kernbrennstoffen. Ausnahmen von der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht werden in § 21 Abs. 1 StrlSchV geregelt. Zuständige Behörde für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhrgenehmigungen und die Bearbeitung der Anzeigen nach deren zollamtlicher Abfertigung (Nicht-EU-Staaten) ist nach § 22 Abs. 1 AtG das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Für die Genehmigung der Beförderung von Kernbrennstoffen und Großquellen ist nach § 23 Abs. 1 Nr. 3 AtG das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig. Großquellen im Sinne des Gesetzes sind gemäß § 23 Abs. 2 AtG radioaktive Stoffe, deren Aktivität je Beförderung- 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 von Kernbrennstoffen gemäß § 2 Abs. 3 AtG, die nicht von dem Genehmigungsvorbehalt von § 19 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV erfasst sind, in einen Staat, der nicht Mitgliedstaat der Europäischen Union ist, einer Anzeige gegenüber der BAFA. Ferner ist die Einfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe oder von Kernbrennstoffen 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 BMUB, sobald im Rahmen eines Ein-, Aus- oder Durchfuhrvorgangs Staaten berührt sind, die das Übereinkommen über den physischen Schutz von Kernmaterial **nicht** unterzeichnet haben. Die Überwachung der grenzüberschreitenden Verbringungen obliegt dem Bundesministerium der Finanzen oder den von ihm bestimmten Zolldienststellen (§ 22 Abs. 2 AtG).

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht:

- Außenwirtschaftsgesetz (AWG) bzw. Außenwirtschaftsverordnung (AWV)
- 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 (ABl. L 148/1)

Diese Verordnung ist direkt geltendes Gemeinschaftsrecht, das keiner Umsetzung in nationales Recht bedurfte. Der Rat beabsichtigte damit, den Wegfall der Grenzkontrollen innerhalb der EU zu kompensieren und die Aufsichtsmöglichkeiten der Mitgliedstaaten zu verbessern. Diese Verordnung gilt für die Verbringung umschlossener und anderer Strahlenquellen von einem Mitgliedsstaat in einen anderen, wenn Menge und Konzentration die Werte nach Art. 3.2 Buchstaben a) und b) der Richtlinie 96/29/EURATOM überschreiten. Die Verordnung gilt nicht für

- Ausgangsstoffe und Kernbrennstoffe, weil hier die EURATOM-Kernmaterialüberwachung für ausreichend erachtet wird und (nicht mehr) für
- radioaktive Abfälle, weil diese seit dem 1.1.1994 durch die Richtlinie 92/3/EURATOM, zwischenzeitlich durch die Richtlinie 2006/117/EURATOM aufgehoben und ersetzt, erfasst werden.

Die Regelungen der Verordnung sind nicht so strikt wie die der Richtlinie 2006/117/EURATOM mit ihrem lückenlosen Konsultationsverfahren. Der Besitzer von umschlossenen und anderen Strahlenquellen, der diese von einem Mitgliedstaat in einen anderen verbracht hat, muss der zuständigen Behörde des Bestimmungsmitgliedstaates binnen 21 Tagen nach jedem Quartalsende durch die Verordnung festgeschriebene Angaben über die im Quartal erfolgten Lieferungen übermitteln. In Deutschland liegt die Zuständigkeit beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Eine Verbringung von umschlossenen Strahlenquellen muss zudem der Empfänger seiner zuständigen Behörde zusätzlich vorher ankündigen, wobei sich diese Erklärung auch auf mehrere Verbringungen erstrecken kann. Die Verbringung darf in jedem Fall erst durchgeführt werden, wenn der Empfänger der radioaktiven Stoffe dem Besitzer die behördlich bestätigte Erklärung zugeleitet hat (Art. 4 der Verordnung).

Richtlinie 2003/122/EURATOM zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener Strahlenquellen und herrenloser Strahlenquellen (ABl. L 346 v. 22. Dezember 2003)

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

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

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, deren Aktivität größer oder gleich den Aktivitätswerten der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3a der StrlSchV ist, zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

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

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

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

Die Richtlinie 92/3/EURATOM wurde 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 A₁-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 lebensretender 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).

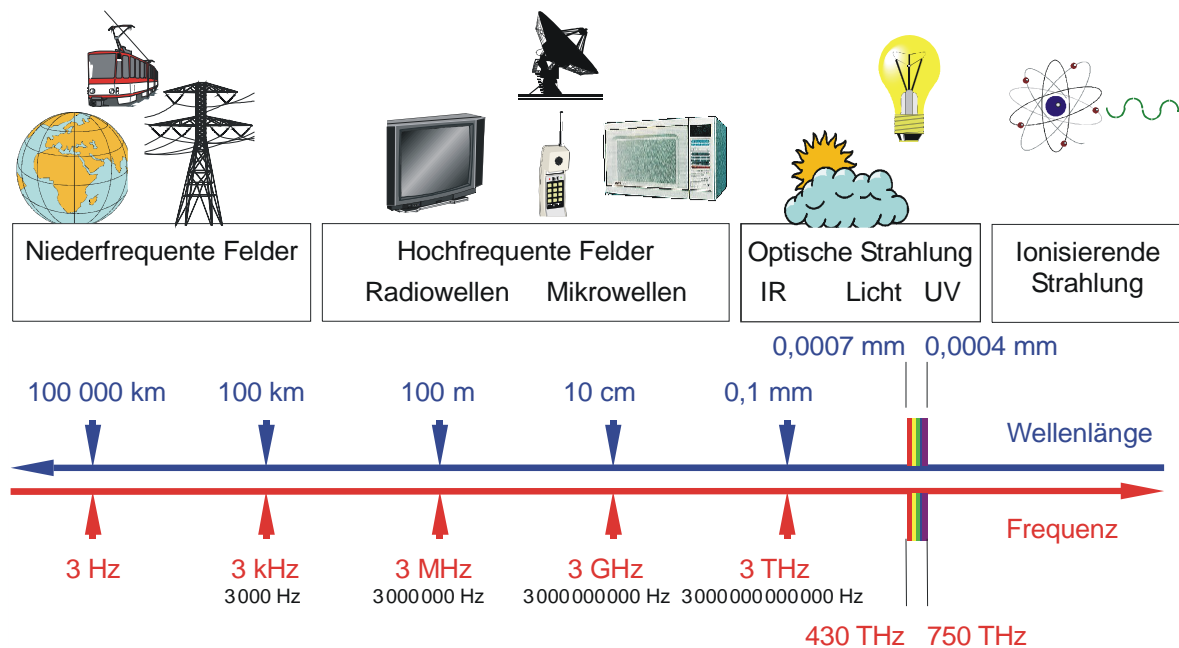


Abbildung 1-1 Das elektromagnetische Spektrum
(The electromagnetic spectrum)

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 Magnetflusssichten 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 Flusssichten 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 Flusssichte 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 Therapie Zwecken 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 Mobilfunksendeanlagen 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.

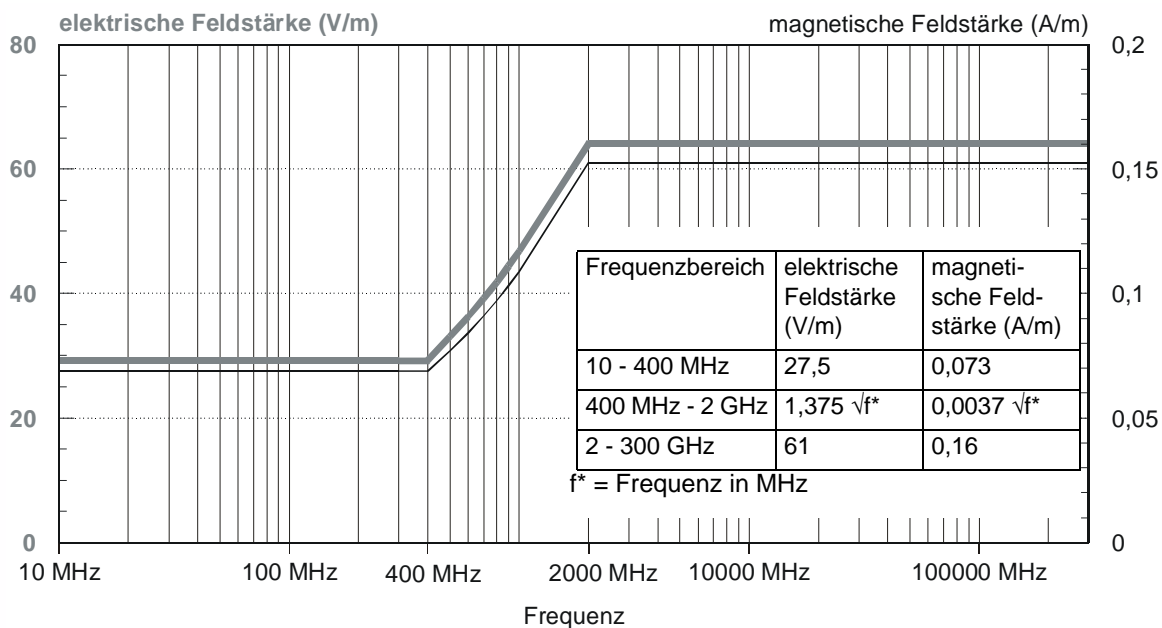


Abbildung 1.3-1 Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen
(Limit values of the 26th BImSchV for fixed high-frequency installations)

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 Gesamt ozonegehalt 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 Ozonegehaltes 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 Hautkrebserkrankungen (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 (Stadttrand 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 Hautkrebserkrankungen 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 einzuhaltender 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

(Berichtsstand 2012)

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

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

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

In Tabelle 2.1.1-1 sind die Fortluftmengen und die Ableitungen radioaktiver Stoffe aller Wismut-Sanierungsbetriebe in den Jahren von 1998 bis 2012 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter den - in Klammern angegebenen - genehmigten Werten liegen.

Tabelle 2.1.1-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre im Zeitraum 1998 bis 2012 (Messwerte der Wismut GmbH)
(*Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2012 – Values measured by the Wismut GmbH*)

Zeitraum	Fortluftmengen in 10 ⁹ m ³ /a	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Rn-222 in TBq/a *		Langlebige α-Strahler in MBq/a *	
1998	22,1	664,7	(1201,1)	31,3	(137,1)
1999	20,8	491,3	(926,2)	30,3	(107,4)
2000	18,3	380,4	(798,2)	10,0	(99,9)
2001	14,2	316,4	(557,4)	5,3	(101,1)
2002	11,8	260,5	(447,4)	13,9	(101,1)
2003	8,6	168,4	(298,4)	13,2	(83,1)
2004	8,3	147,3	(268,1)	14,0	(82,9)
2005	7,9	105,3	(298,1)	14,7	(79,9)
2006	6,2	80,3	(268,0)	6,53	(78,3)
2007	5,0	65,2	(269,0)	5,4	(78,4)
2008	3,6	92,9	(267,6)	4,9	(77,8)
2009	3,1	98,8	(267,6)	3,1	(77,8)
2010	2,6	101,2	(267,6)	4,55	(77,8)
2011	2,1	98,6	(267,6)	2,85	(77,8)
2012	2,0	97,3	(287,6)	2,67	(74,5)

* Genehmigungswerte in Klammern

¹ Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.

In Tabelle 2.1.1-2 ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2011 und 2012 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. An den Standorten Dresden-Gittersee und Königstein haben sich gegenüber dem Vorjahr die Jahresableitungen von Rn-222 etwa halbiert, während die Ableitungen von langlebigen Alpha-Strahlern ungefähr den Vorjahreswerten entsprechen. Der Rückgang der Radonableitung am Standort Königstein ist eine Folge der im Rahmen von Sanierungsarbeiten erfolgten Stilllegung eines Abwetterschachtes. Am Standort Schlema/Alberoda gab es gegenüber dem Vorjahr bei den Jahresableitungen sowohl für Radon als auch für die langlebigen Alpha-Strahler nur geringe Veränderungen. An den Thüringer Standorten Ronneburg, Seelingstädt und im sächsischen Pöhla konnten die Ableitungen völlig eingestellt werden. Die gesamten Radonableitungen werden fast ausschließlich vom Standort Schlema/Alberoda und die gesamten Ableitungen der langlebigen Alpha-Strahler von den Standorten Schlema/Alberoda und Königstein 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 2.1.1-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre in 2011 und 2012
(Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2011 and 2012
- Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	Anzahl der Abwet- terschächte und Wetterbohrlöcher		Abwetter- bzw. Abluftmengen in 10 ⁹ m ³ /a		Ableitung radioaktiver Stoffe			
					Rn-222 in TBq/a *		Langlebige α -Strahler in MBq/a *	
	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011
Schlema/Alberoda	1	1	1,25	1,29	97 (120)	98 (100)	1,4 (2,4)	1,7 (5,7)
Dresden-Gittersee	1	1	0,20	0,14	0,11 (1,6)	0,25 (1,6)	0,07 (1,6)	0,05 (1,6)
Königstein	1	1	0,53	0,67	0,16 (166)	0,3 (166)	1,2 (70,5)	1,1 (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 ist 2012 nach dem Nassjahr 2010 wieder auf das Niveau der Vorjahre gesunken. Während sich die Freisetzen von Uran in alle großen Vorfluter verringerten, stiegen die von Radium-226 an der Zwickauer Mulde und der Weißen Elster, siehe Tabelle 2.1.1-4. Dies ist durch veränderte hydraulische Strömungsverhältnisse in der gefluteten Grube Schlema/Alberoda und durch den höheren Anteil gereinigter Grubenwässer im Gebiet um Ronneburg zu erklären.

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 0,06 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 sowie unkontrollierte Flutungswasseraustritte erfasst und einer Behandlung zugeführt. Auch die Umlagerung von kontaminierten Materialien, verstärkt anfallende Flutungswässer und eine in einzelnen Flutungsbereichen veränderte Wasserzusammensetzung führen teilweise zur Erhöhung oder Stagnation der abgeleiteten Radionuklide und Schadstoffe. Auch durch die Winterperiode behindert ablaufende chemische Reaktionen sorgten für schwierige Bedingungen in den Wasserbehandlungsanlagen (WBA) bei der Fällung von Schadstoffen und somit temporär für erhöhte Ableitungen. Infolge der Behandlung weiterer bergbaulich beeinflusster Wässer wird langfristig jedoch eine Konzentrationsabnahme einsetzen.

Insgesamt wird deutlich, dass das jetzt erreichte Niveau der Ableitungen auch weiterhin durch meteorologische Verhältnisse geprägte Schwankungen unterliegen wird und somit keine steuerbare Größe darstellt. Die Funktion der WBA ist infolge ihrer Kapazitätserhöhung zuverlässig, da die genehmigten maximalen und mittleren Schadstoffkonzentrationen unterschritten wurden.

Die Genehmigungswerte für Abwässer aus den Wasserbehandlungsanlagen (siehe Tabelle 2.1.1-5) wurden jeweils aus der genehmigten Wassermenge multipliziert mit der Maximalkonzentration bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration errechnet.

Tabelle 2.1.1-3 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2012 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2012 – Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Abwassermenge in 10 ⁶ m ³ /a	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Uran in t/a*		Ra-226 in GBq/a*	
1998	14,7	3,8	(12,8)	4,8	(14,8)
1999	14,7	3,8	(9,4)	2,7	(13,6)
2000	16,1	4,1	(11,3)	3,6	(15,4)
2001	14,3	2,8	(13,1)	0,7	(16,7)
2002	18,4	4,5	(8,4)	0,8	(7,0)
2003	14,6	3,1	(8,2)	0,3	(6,8)
2004	13,9	2,8	(8,2)	0,2	(6,7)
2005	14,8	2,2	(8,0)	0,3	(6,7)
2006	16,3	2,4	(9,0)	0,3	(7,9)
2007	19,2	3,1	(9,0)	0,4	(8,2)
2008	20,2	3,0	(9,1)	0,3	(8,4)
2009	20,9	3,2	(9,5)	0,4	(8,5)
2010	25,0	4,4	(9,7)	0,6	(8,5)
2011	19,5	3,1	(10,5)	0,5	(8,8)
2012	16,1	2,6	(10,7)	0,7	(9,0)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle 2.1.1-4 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2011 und 2012 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2011 and 2012 – 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 *	
	2012	2011	2012	2011	2012	2011
ZWICKAUER MULDE (SACHSEN)	7,143 (-)	8,734 (-)	1,4547 (7,244)	1,6806 (7,244)	0,4605 (4,398)	0,2107 (4,398)
Schlema/Alberoda	6,243 (-)	7,479 (-)	1,333 (7,209)	1,505 (7,209)	0,4581 (4,345)	0,206 (4,345)
Crossen	0,787 (-)	1,140 (-)	0,120 (-)	0,174 (-)	0,002 (-)	0,004 (-)
Pöhl	0,113 (-)	0,115 (-)	0,0017 (0,035)	0,0016 (0,035)	0,00038 (0,053)	0,00034 (0,053)
ELBE (SACHSEN)	0,689 (5,885)	1,906 (5,869)	0,059 (1,713)	0,241 (1,708)	0,030 (2,284)	0,100 (2,278)
Königstein	0,689 (5,885)	1,906 (5,869)	0,059 (1,713)	0,241 (1,708)	0,030 (2,284)	0,100 (2,278)
PLEISSE (THÜRINGEN)	0,053 (0,250)	0,110 (0,250)	0,005 (0,025)	0,010 (0,025)	0,0005 (0,030)	0,001 (0,030)
Ronneburg	0,053 (0,250)	0,110 (0,250)	0,005 (0,025)	0,010 (0,025)	0,0005 (0,030)	0,001 (0,030)
WEISSE ELSTER (THÜRINGEN)	8,269 (11,419)	8,711 (10,279)	1,118 (1,727)	1,206 (1,553)	0,283 (2,284)	0,162 (2,056)
Ronneburg (WBA)	6,499 (8,784)	6,411 (7,650)	0,636 (0,936)	0,660 (0,765)	0,135 (1,757)	0,079 (1,530)
Seelingstädt	1,770 (2,635)	2,300 (2,629)	0,482 (0,791)	0,546 (0,788)	0,149 (0,526)	0,084 (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/l Uran, 0,3 Bq/l Radium-226	
Königstein	650			0,3 mg/l Uran, 0,4 Bq/l Radium-226
WBA Ronneburg	750		0,1 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226	
Seelingstädt	300			0,3 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226
WBA Schlema	1200		0,5 mg/l Uran, 0,4 Bq/l Radium-226	

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 Freisetzung, 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 2011/2012 bis Sommer 2012 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 Immissionsmessungen 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 2011/2012 und Sommer 2012; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - Winter 2011/2012 and summer 2012; 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 2011/2012					
Schlema/Alberoda	70	16	48	6	320
Pöhla	5	5	0	0	23
Seelingstädt	23	18	5	0	66
Crossen	32	23	8	1	110
Königstein	8	8	0	0	21
Gittersee	9	8	1	0	38
Ronneburg	31	31	0	0	25
Sommer 2012					
Schlema/Alberoda	72	14	35	23	650
Pöhla	5	4	1	0	80
Seelingstädt	23	5	16	2	110
Crossen	31	12	17	2	200
Königstein	8	5	2	0	47
Gittersee	6	4	2	0	58
Ronneburg	27	15	12	0	47

Tabelle 2.1.2-2 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2012 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 - 2012 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 – 2012	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2012
Schlema/Alberoda	20	40	28	22	39	32
Pöhla *	14	35	20	18	29	24
Seelingstädt	11	39	22	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 2011 und 2012 (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 2011 and 2012 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenahmestelle	Messpunkt	Uran in mg/l		Ra-226 in mBq/l	
			2012	2011	2012	2011
Sächsische Bergbaugebiete						
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,017	0,012	<10	10
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	0,026	0,019	11	14
	Elbe Rathen	k-0028	0,001	0,002	10	10
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,019	0,016	17	18
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,063	0,061	17	18
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,002	0,002	13	11
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,008	0,008	16	14
Pöhl	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	<0,001	<0,001	<10	<10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165A	0,021	0,019	19	15
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,009	0,006	12	13
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,010	0,008	11	12
	Oberrothenbacher Bach	M-204	0,180	0,195	14	15
	Zinnborn	M-232	0,180	0,080	130	124
Thüringische Bergbaugebiete						
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,002	0,002	<10	10
	Weißer Elster nach Einmündung Pölschbach	E-314	0,004	0,004	<10	<10
	Lerchenbach	E-369	0,210	0,170	25	16
	Fuchsbach vor Mündung	E-383	0,030	0,054	11	<10
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,005	0,007	<10	<10
Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,025	0,072	13	20
	Vereinigte Sprotte	s-609	0,005	0,007	<10	<10
	Wipsee	e-437	0,058	0,061	19	14
	Weißer Elster	e-419	0,006	0,005	<10	<10

Die im Jahr 2012 ermittelten Werte der Uran- und Radiumkonzentration in den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weißer Elster weisen im Vergleich zum Vorjahr nur geringe Veränderungen auf.

Im Oberlauf von Wismut-Ableitungen wurden an den Messpunkten m-131, m-115 und E-312 Urankonzentrationen bis zu einer Höhe von 2 µg/l und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 13 mBq/l für Ra-226 ermittelt. Diese Werte liegen im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus, das in Oberflächengewässern der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurde. Die in bergbaulich unbeeinflussten Oberflächengewässern in Deutschland festgestellten Aktivitätskonzentrationen überschreiten den Wert von 3 µg/l für U-238 und von 30 mBq/l für Ra-226 nicht und beinhalten mit den ebenfalls im Oberlauf von Wismut-Einleitungen gelegenen Messpunkten, 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 4 überschritten und reicht von Werten unter der Nachweisgrenze (< 10 mBq/l) bis zu 130 mBq/l, während es bei Uran bis zum Faktor 70 erhöht ist und Werte zwischen 5 und 210 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 (1 - 10 µg/l). Mit Werten von <10 bis 16 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. $0,9 \text{ mSv}$. 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 .

Radonkonzentration Bq/m^3	Relative Häufigkeit in %	tausend Häuser
> 100	10 – 12	1300 – 1600
> 200	1,6 – 3,1	220 – 420
> 400	0,3 – 0,9	40 – 140
> 1000	0,03 – 0,2	4 – 25

Tabelle 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)

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 $100\,000 \text{ Bq/m}^3$ gemessen. Werden Jahresmittelwerte der Radonkonzentration von über 100 Bq/m^3 Luft in Aufenthaltsräumen ermittelt, ist generell die Durchführung geeigneter Maßnahmen zu empfehlen. Dabei sollen die Höhe der Radonkonzentration, d. h. 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 BMUB 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 Jahr 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 Lebenszeitrisko 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 Lebenszeitrisko 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 [1]. 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.

Literatur

- [1] Egblomassé-Roidl C. Gesundheitsökonomische Betrachtung zu Radonsanierungsmaßnahmen. In: Bernhard-Ströl C, Gödde R, Hachenberger C, Löbke-Reinl A, Schmitt-Hannig A (Hrsg.). Strahlenschutzforschung - Programmreport 2010. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, *BfS-SCHR-49/11*, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201111236640>, Salzgitter 2011

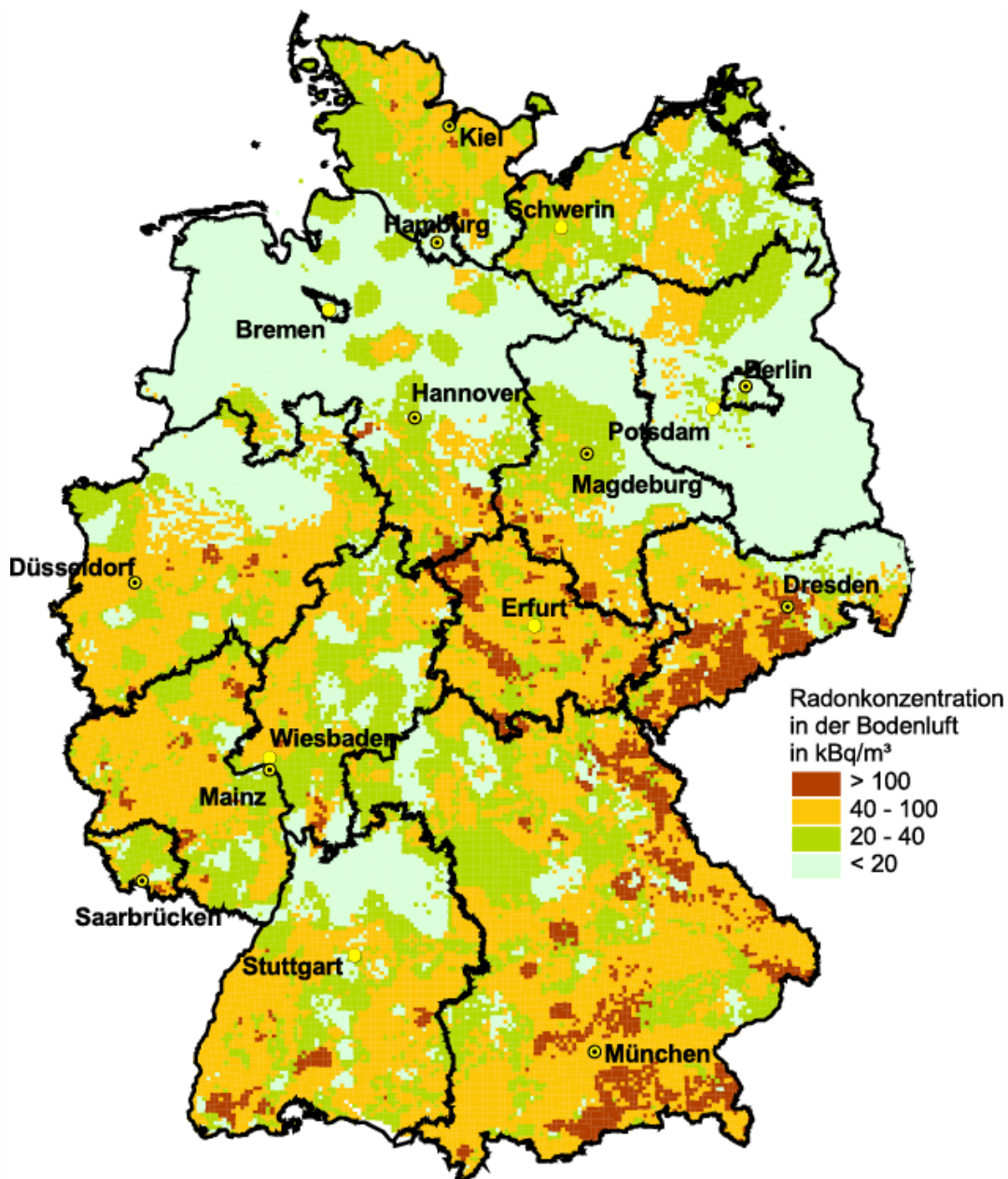


Abbildung 2.2-1 Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe (nach Daten von 2001)
(Overview of Radon concentration in soil air at 1 m depth - data from 2001)

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 Baustoffen untersucht.

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 Radonuklidbestimmungen in Baustoffgruppen
(Results of radonnuclide 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 Magmages Steine 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 2012 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.

Ende des Jahres 2012 war das Internationale Messnetz zu etwa 80 % aufgebaut. Von den Radionuklidstationen (RN-Stationen) für die Messung der partikelgebundenen Radionuklide waren 65 (81,3 % der vorgesehenen 80 RN-Stationen) in Betrieb, von diesen wurden bereits 62 nach den Vorgaben der CTBTO zertifiziert. Im Edelgasmessnetz sind 31 der 40 vorgesehenen Systeme (77,5 %) installiert, hinzu kommt - als nationaler Beitrag von Kanada - ein weiteres System in Ottawa. Zwölf der 31 Edelgasmesssysteme wurden bisher zertifiziert (39 %), von den 16 Radionuklidlaboratorien haben 11 (69 %) den Zertifizierungsprozess erfolgreich durchlaufen.

Die einzige Radionuklidstation in Mitteleuropa befindet sich an der deutschen Messstation Schauinsland des BfS (RN-Station, 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. Das Messsystem für den Nachweis partikelgebundener Radionuklide ist seit 2004 zertifiziert. Das Edelgasmesssystem SPALAX wird derzeit noch als Bestandteil des sog. Internationalen Edelgasexperimentes betrieben, die Zertifizierung des Systems ist für 2013 vorgesehen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz unterstützt mit seinem Edelgaslabor in der Dienststelle Freiburg die CTBTO als sog. „Support laboratory“ beim Aufbau eines Qualitätssicherungssystems für das Edelgasmessnetz. In diesem Zusammenhang werden derzeit vor allem Kontrollanalysen von Proben anderer Stationen dieses Messnetzes im Rahmen der Zertifizierungsprozesse durchgeführt.

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

Die mengenmäßig weitaus größten atmosphärischen Freisetzungen von Radionukliden aus zivilen Anlagen betreffen derzeit radioaktive Edelgase. Diese sind sehr flüchtig und daher schwer zurückzuhalten. Wegen dieser Eigenschaft sind sie einerseits schwierig zu messen, tragen andererseits aber auch nur sehr wenig zur Strahlenbelastung bei. Da radioaktive Edelgase so schwer zurückzuhalten sind, legt das CTBT-Messnetz gerade auf diese - speziell auf radioaktives Xenon - einen besonderen Wert. Das Messnetz ist dabei auch in der Lage, Schwankungen des weltweiten Untergrundpegels an radioaktivem Xenon zu erfassen, die auf variierende Emissionen ziviler Anlagen zurückzuführen sind. Überraschenderweise hat man mit Inbetriebnahme des Messnetzes festgestellt, dass der relative Beitrag von Kernkraftwerken zu dem weltweiten Untergrundpegel nicht so dominant war wie angenommen. Weitaus größere Emissionen beobachtet man bei Produktionsanlagen für Mo-99, welches als Mutternuklid von Tc-99m in großem Maßstab für medizinische Diagnostik und Therapie benötigt wird. Beim Produktionsprozess entsteht ebenfalls radioaktives Xenon, welches je nach Anlagentyp und Betriebsprozessen mit sehr unterschiedlicher Effizienz zurückgehalten wird. Das in die Atmosphäre freigesetzte Xenon wird über große Distanzen transportiert und zeigt Auswirkungen auf die Messungen auch an weitab gelegenen Stationen. Auf Grund des ständig steigenden Bedarfs an Tc-99m werden weltweit immer wieder neue Produktionsanlagen in Betrieb genommen oder sind in Planung.

Ein durch zivile Quellen geographisch und zeitlich sehr variabler Untergrund an Xe-133 sowie auch das sporadische Vorkommen anderer Xenonisotope erschwert die Detektion und insbesondere die Identifikation von möglichen Emissi-

onen 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, anhand der Messergebnisse und der vorliegenden Emissionsdaten für das Jahr 2005 noch davon ausgehen musste, dass radiopharmazeutische Anlagen pro Jahr eine Größenordnung mehr Xe-133 (ca. 10 000 TBq/a) freisetzen als alle Kernkraftwerke weltweit, beobachtet man seit 2008 einen deutlichen Rückgang des Untergrundpegels von Xe-133 an der Station auf dem Schauinsland. Die Ursache hierfür ist die vorübergehende Stilllegung einer der größten und ältesten Produktionsanlagen für radiopharmazeutisches Mo-99 in Chalk River, Kanada, sowie die Implementierung bestimmter emissionsreduzierender 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 2012. Die bisher ermittelte maximale Xe-133-Aktivitätskonzentration lag am 30.03.2011 bei $2,7 \text{ Bq/m}^3$, die auf den Unfall im Kernkraftwerk Fukushima zurückzuführen ist. Der höchste Wert der Xe-133-Aktivitätskonzentration für das Jahr 2012 betrug am 31.03.2012 119 mBq/m^3 . Dies ist, abgesehen von den durch Fukushima beeinflussten Ergebnissen, die seit Mitte 2005 (260 mBq/m^3) höchste Aktivitätskonzentration für Xe-133 an der RN-Station auf dem Schauinsland. In dieser Probe wurde neben Xe-133 auch Xe-135, Xe-133m und Xe-131m im Bereich von wenigen Millicurie pro Kubikmeter Luft nachgewiesen. Die Isotopenzusammensetzung und auch die Ergebnisse atmosphärischer Ausbreitungsrechnungen lassen auf die Isotopenproduktionsanlage in Fleurus, Belgien, als mögliche Quelle schließen.

Der Jahresmittelwert der Xe-133-Aktivitätskonzentration sank von $5,3 \text{ mBq/m}^3$ im Jahr 2005 auf 2 mBq/m^3 im Jahr 2012 und liegt damit nur geringfügig über dem Vorjahreswert von $1,5 \text{ mBq/m}^3$. Die Auswirkungen der Emissionsreduzierungen in Nordamerika und Europa lassen sich auch an anderen Messstationen der Nordhemisphäre in ähnlicher Form nachweisen.

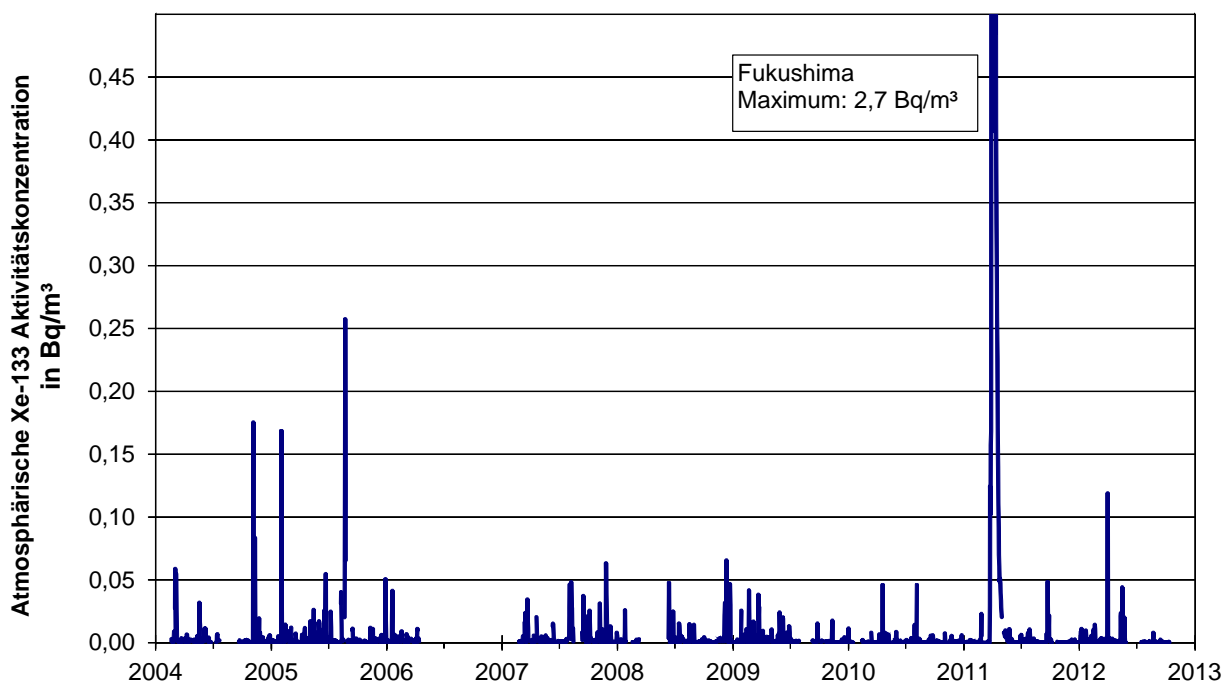


Abbildung 1.1-1 **Zeitreihe der Xe-133-Aktivitätskonzentration in den Jahren 2004 bis 2012 an der IMS-Station RN33 auf dem Schauinsland**
(Time series of Xe-133-activity concentration at IMS-station RN33 at Schauinsland mountain for the years 2004 to 2012)

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

Im Jahr 2012 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 lagen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wurde mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,22 Bq Cs-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv resultierte (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (K-40, Nuklide von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen wurden weiterhin höhere Werte gemessen. Die spezifischen Cs-137-Aktivitäten reichten bei einigen Arten von Wildpilzen, z. B. Maronenröhrlingen (41 Messungen) bis 940 Bq/kg und bei Pfifferlingen (98 Messungen) bis 1490 Bq/kg. Eine Wintertrüffel enthielt 1820 Bq/kg. Bei Fischen traten bis zu 42 Bq/kg bei Flussbarsch auf (17 Messungen).

Bei Wildschweinen werden nach wie vor Überschreitungen des Höchstwertes von 600 Bq pro kg für Cs-137 gemessen; diese dürfen 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 Bayern und Hessen verstärkt Proben genommen. Diese zeigten in einigen Fällen Überschreitungen. 2012 wurden auch außerhalb der hochbelasteten Gebiete Süddeutschlands Überschreitungen des Höchstwertes gefunden.

In Bayern lag der Mittelwert von 88 Messungen an Wildschweinen bei 351 Bq/kg, die Werte reichen bis 9800 Bq/kg. Für Rehe lag der Mittelwert von 93 Messungen bei 25 Bq/kg mit einem Höchstwert von 428 Bq/kg. Auch in allen anderen Bundesländern gab es 2012 keine Überschreitung des Höchstwertes bei Rehfleisch.

46 Messungen an Wildschweinfleisch in Nordrhein-Westfalen ergaben einen Mittelwert von 126 Bq/kg bei einem Höchstwert von 980 Bq/kg. In Niedersachsen lag der Mittelwert bei 86 Bq/kg (56 Messungen), der Maximalwert bei 1100 Bq/kg. 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.

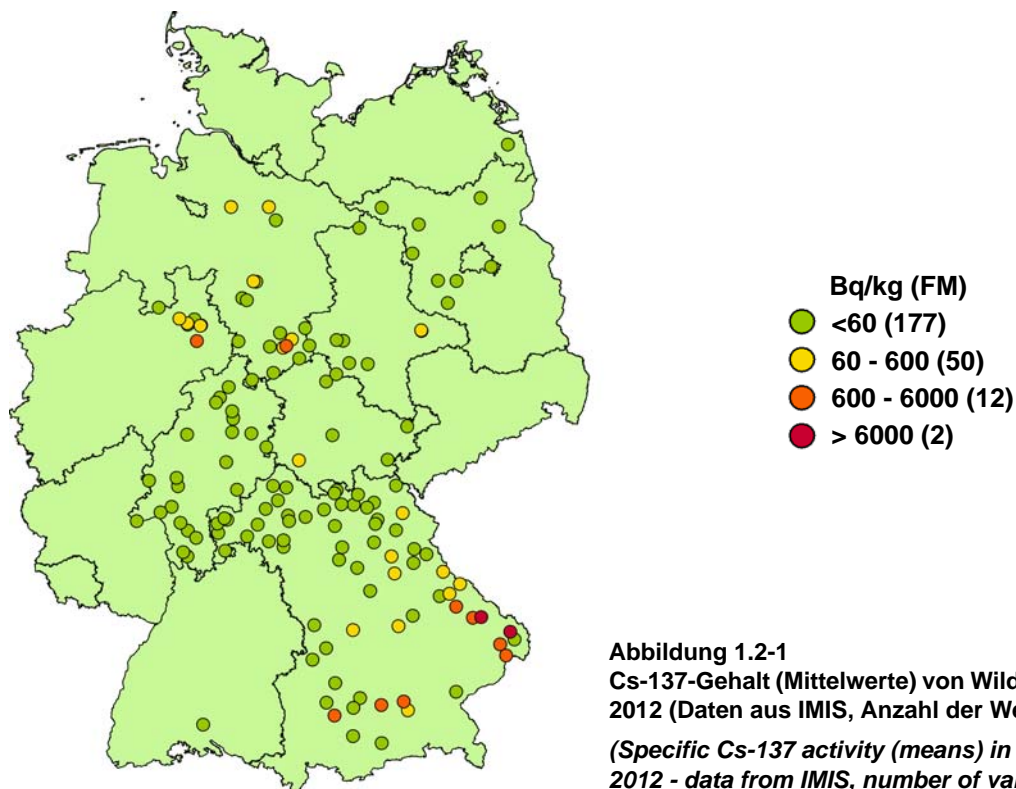


Abbildung 1.2-1
Cs-137-Gehalt (Mittelwerte) von Wildschweinen im Jahr 2012 (Daten aus IMIS, Anzahl der Werte in Klammern)
(Specific Cs-137 activity (means) in wild boar - year 2012 - data from IMIS, number of values in brackets)

Der einmalige Verzehr von 500 g Wildschweinfleisch des am höchsten kontaminierten Tieres (9800Bq/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).

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

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland existierten im Jahr 2012 folgende Anlagen nach Atomgesetz:

- 9 in Betrieb befindliche Kernkraftwerke (Tabelle 1.3-1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 12 696 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 99,5 TWh und einem Anteil von 16,1 % an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung und von rund 17,5 % an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2012. Acht Kernkraftwerke wurden bereits im Jahr 2011 endgültig abgeschaltet. Davon betroffen waren die Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel. Die Reaktoren MZFR Karlsruhe, AVR Jülich, KNK Karlsruhe, das Versuchsatomkraftwerk Kahl sowie die Leistungskraftwerke Rheinsberg, Gundremmingen A, Würgassen, Lingen, Greifswald, Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich, Stade und Obrigheim hatten den Betrieb bereits noch früher beendet.
- 3 Forschungsreaktoren (Tabelle 1.3-2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 30,1 MW.
- 2 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau.
- 17 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente (Tabelle 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 2012 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 2012 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 2012 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 2012 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 2012. 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. Brutto- leistung (MW)	Bruttostrom- erzeugung 2012* (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	0	1974/2011	Rhein
Biblis B	KWB B	DWR	1300	0	1976/2011	Rhein
Neckarwestheim 1	GKN 1	DWR	840	0	1976/2011	Neckar
Brunsbüttel	KKB	SWR	806	0	1976/2011	Elbe
Isar 1	KKI 1	SWR	912	0	1977/2011	Isar
Unterweser	KKU	DWR	1410	0	1978/2011	Weser
Philippsburg 1	KKP 1	SWR	926	0	1979/2011	Rhein
Grafenrheinfeld	KKG	DWR	1345	1210	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	1183	1984	Donau
Grohnde	KWG	DWR	1430	1335	1984	Weser
Gundremmingen C	KRB-II-C	SWR	1344	1212	1984	Donau
Philippsburg 2	KKP 2	DWR	1468	1230	1984	Rhein
Mülheim-Kärlich	KMK	DWR	1302	0	1986/1988	Rhein
Brokdorf	KBR	DWR	1480	1229	1986	Elbe
Isar 2	KKI 2	DWR	1485	1379	1988	Isar
Emsland	KKE	DWR	1400	1305	1988	Ems
Neckarwestheim 2	GKN 2	DWR	1400	1270	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 2013, Kernkraftwerke in Deutschland Betriebsergebnisse 2012

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 2012 belegt)	Stellplätze gesamt (Ende 2011 belegt)
SZL Biblis	22.09.2003	18.05.2006	135 (51)	135 (51)
SZL Brokdorf	28.11.2003	05.03.2007	100 (16)	100 (14)
SZL Brunsbüttel	28.11.2003	05.02.2006	80 (9)	80 (6)
SZL Grafenrheinfeld	12.02.2003	27.02.2006	88 (20)	88 (13)
SZL Grohnde	20.12.2002	27.04.2006	100 (18)	100 (13)
SZL Gundremmingen	19.12.2003	25.08.2006	192 (41)	192 (34)
SZL Isar	22.09.2003	12.03.2007	152 (25)	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 (41)
SZL Philippsburg	19.12.2003	19.03.2007	152 (36)	152 (36)
SZL Unterweser	22.09.2003	18.06.2007	80 (8)	80 (8)
AVR-Behälterlager Jülich (SZL)	17.06.1993	23.08.1993	158 (152)	158 (152)
Nasslager Obrigheim	26.10.1998	Mitte 1999	980 (342)	980 (342)
TBL Ahaus (ZL)	10.04.1987	06.1992	420 (56)*	420 (56)*
TBL Gorleben (ZL)	05.09.1983	25.04.1995	420 (113)	420 (113)
TBL im ZLN Rubenow (ZL)	05.11.1999	11.12.1999	80 (74)	80 (74)
SZL Obrigheim (beantragt)	beantragt	-	15	15

* Im Transportbehälterlager Ahaus waren im Berichtsjahr wie auch im Vorjahr 329 Behälter auf 56 Stellplätzen deponiert, siehe: Bredberg I, Hutter J, Kühn K, Philippczyk F, Dose J: Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2012. BfS-SK-Bericht BfS-SK-21/13, urn:nbn:de:0221-2013070510976, Salzgitter, Juli 2013

SZL Standortzwischenlager

TBL Transportbehälterlager

ZLN Transportbehälterlager im Zwischenlager Nord Rubenow

AVR Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich

ZL Zwischenlager

Tabelle 1.3-4 Schachtanlage Asse II und Endlager Morsleben für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland
(Asse II mine and the Morsleben radioactive waste repository in the Federal Republic of Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar*† (Stand 31.12.2012)	Inventar** (Stand 31.12.2011)
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	2,6 E15 Bq‡	2,7 E15 Bq

* Die Volumendifferenz zum Vorjahr ergibt sich aus der Einlagerung radioaktiver Betriebsabfälle, die im ERAM angefallen sind. Ohne Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Gesamtaktivität ein Wert von 3,8 E14 Bq.

† Das Inventar beinhaltet nicht die derzeit zwischengelagerten Abfälle.

‡ Berechnet mit der Datenbank „Assekat ISS 9.2“ und dem darin implementierten Programm „PAI“ (Stand: Februar 2010).

Tabelle 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 2012 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. Beim Endlager Morsleben wurde das Partikelmodell ARTM verwendet.

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 2012 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 2 μSv (unter 1 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Standort Gundremmingen sowie für Kleinkinder 4 μSv (unter 2 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV). Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 3 μSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) ebenfalls für Gundremmingen. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr etwas 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 Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis und der Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark) beträgt 1,6 μSv für Kleinkinder (entsprechend ca. 0,5 % 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 wurde eine effektive Jahresdosis von etwa 0,7 μSv für Erwachsene und 1,1 μSv für Kleinkinder ermittelt; für die Weser wurden für beide Personengruppen 0,3 μSv bzw. 0,4 μSv berechnet; am Main liegen die effektiven Jahresdosen bei 0,2 μSv bzw. 0,4 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 2012 als höchsten Wert 9 μSv (3 % des Grenzwertes) für Erwachsene beim Forschungszentrum Karlsruhe sowie 7 μSv (unter 3 % des Grenzwertes) für Kleinkinder aus. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 10 μSv (unter 2 % des Grenzwertes) ebenfalls am Standort Karlsruhe.

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 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 2012 1 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 4 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 5 μSv ; dies sind ca. 0,3 %, 1,3 % bzw. 1,7 % des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Dosis des kritischen Organs Knochenoberfläche für alle Altersgruppen errechnete sich zu 31 μSv für Erwachsene, 38 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 - 2 Jahre) und 55 μSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 1,7 %, 2,1 % bzw. 3,1 % des Grenzwertes). Die Dosiswerte sind allerdings sehr konservativ, da kein Abzug der Radioaktivität natürlichen Ursprungs in der Fortluft erfolgt. Da im Jahr 2012 erstmals ein weiterer Emittent (Schacht Marie) in die Dosisberechnungen einbezogen wurde, sind die Dosiswerte gegenüber dem Vorjahr größer. Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis liegen auch im Berichtsjahr 2012 unterhalb von 0,1 Mikrosievert für Erwachsene und Kleinkinder.

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 infolge von Ableitungen lag 2012 im Bereich des Vorjahres.

Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** ermittelte obere Wert der effektiven Dosis betrug 2012 für Erwachsene 19 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 26 μSv und für Säuglinge 28 μSv . Dies sind ca. 6 %, 9 % und 9 % des Grenzwertes gemäß Strahlenschutzverordnung. Die Dosis ohne Radon für das kritische Organ (rotes Knochenmark) wurde mit 40 μSv für Säuglinge, 25 μSv für Kleinkinder und 10 μSv für Erwachsene ermittelt. Dies sind ca. 13 %, 9 % und 3 % des zulässigen Grenzwertes.

Die potenzielle Strahlenexposition wird in der Schachtanlage Asse II insbesondere durch das radioaktive Edelgas Radon-222 (13 µSv bei allen Altersgruppen) und das Radionuklid Pb-210 (9 µSv bei Säuglingen, 5 µSv bei Kleinkindern und 2 µSv bei Erwachsenen) verursacht. Das Radionuklid Pb-210 entsteht durch radioaktiven Zerfall aus Radon-222 und wird zum Teil bereits mit den Frischwettern in die Grube eingebracht. Radon-222 ist ebenfalls bereits in den Frischwettern vorhanden, wird aber auch aus den in der Schachtanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfällen freigesetzt. Bei der Berechnung der potenziellen Strahlenexposition wurde nicht zwischen natürlichen und abfallbürtigen Radionukliden unterschieden, sondern konservativ angenommen, dass die in der Fortluft vorhandenen Radionuklide vollständig aus den eingelagerten Abfällen freigesetzt werden. Die berechneten potenziellen Strahlenexpositionen sind in Tabelle 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 2012 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 Schachtanlage Asse II und des Endlagers Morsleben, wo auf Grund der konservativen Abschätzung der potenziellen Strahlenexposition (kein Abzug der Radioaktivität natürlichen Ursprungs in der Fortluft) in Verbindung mit ungünstigen Ableitungsbedingungen 13 % 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 2012 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*					
	der effektiven Dosis				der Schilddrüsendosis	
	für Erwachsene in µSv		für Kleinkinder in µSv		für Kleinkinder in µSv	
	2012	2011	2012	2011	2012	2011
KKR Rheinsberg†	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWL Lingen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWO Obrigheim	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
KKS Stade	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWW Würgassen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KGR Greifswald†	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWB Biblis A, B	0,2	0,4	0,4	0,6	0,3	0,6
GKN Neckarwestheim 1, 2	1	0,7	2	1	2	1
KKB Brunsbüttel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKI Isar 1, 2	0,4	1	0,8	2	0,7	2
KKU Unterweser	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1
KKP Philippsburg 1, 2	0,3	1	0,5	2	0,5	2
KKG Grafenrheinfeld	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,5
KKK Krümmel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KRB Gundremmingen A, B, C	2	3	4	6	3	6
KWG Grohnde	0,6	0,6	1	1	0,9	1
THTR-300 Hamm-Uentrop	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KMK Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KBR Brokdorf	0,8	1	1	2	1	2
KKE Emsland	0,3	0,4	0,5	0,8	0,5	0,7

* Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

† Unvollständige Berechnung für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, da Werte für die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

Tabelle 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	
	2012	2011	2012	2011
KRB Gundremmingen A, B und C	0,2	0,2	0,2	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	0,1	0,2
GKN Neckarwestheim 1 und 2	0,5	0,6	0,8	1,1
KKB Brunsbüttel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKI Isar 1 und 2	0,2	0,3	0,4	0,5
KKU Unterweser	0,1	<0,1	0,2	<0,1
KKP Philippsburg 1 und 2	<0,1	<0,1	0,1	0,2
KKG Grafenrheinfeld	0,4	0,3	0,7	0,5
KKK Krümmel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWG Grohnde	0,2	0,2	0,4	0,4
KMK Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KBR Brokdorf	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
KKE Emsland	0,9	1,0	1,6	1,7
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	
	2012	2011	2012	2011	2012	2011
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) früher Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) *	9	10	7	9	10	9
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	4	14	5	8	3	13
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) Gesamtstandort *	1	0,7	2	2	1	3
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)*	0,3	0,4	0,5	0,7	0,5	0,6
Garching, FRM I und FRM II	1	0,2	2	0,4	2	0,3

* Entnommen aus den Jahresberichten 2012 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	
	2012	2011
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	<0,1	<0,1
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	1,4	4,6
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 und dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

Betrieb	Ableitung mit der Fortluft Oberer Wert						Ableitung mit dem Abwasser Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder in µSv	
	der effektiven Dosis in µSv				der Knochenoberfläche in µSv			
	für Erwachsene		für Kleinkinder		für Kleinkinder			
	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO D (Gronau)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,2	<0,1	<0,1

Tabelle 1.3.1-6 Strahlenexposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Direktstrahlung*
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to direct radiation)

Betrieb	Direktstrahlung			
	Gamma-Ortsdosis in mSv/a		Neutronen-Ortsdosis in mSv/a	
	2012	2011	2012	2011
ANF GmbH (Lingen)	0,65 (MP4)	0,73 (MP4)	<0,05 (alle MP, I.HJ) 0,07 (MP 3, II.HJ)	<0,1 (alle MP)
URENCO D (Gronau)	0,82 (MP3)	0,62 (MP3)	<0,15 (alle MP, I.HJ) 0,07 (MP 4, II.HJ)	<0,3 (alle MP)

* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrunds

MP Messpunkt, HJ = Halbjahr

Tabelle 1.3.1-7 Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse II durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
(Radiation exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

	Fortluft				Abwasser	
	Oberer Wert in μSv				Oberer Wert in μSv	
	der effektiven Dosis		der Organdosis*		der effektiven Dosis	
	2012	2011	2012	2011	2012	2011
Endlager Morsleben						
Erwachsene	1	0,11	31	0,21	<0,1	<0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	4	0,27	38	0,74	<0,1	<0,1
mit Muttermilch ernährte Säuglinge	5	0,7	55	2,2	<0,1	<0,1
Schachtanlage Asse II**						
Erwachsene	19	18	10	88	-	-
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	26	26	25	37	-	-
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	28	32	40	63	-	-

* 2011: Knochenoberfläche für Erwachsene, rotes Knochenmark für Säuglinge und Kleinkinder

2012: rotes Knochenmark für alle drei Altersgruppen

** keine Ableitungen mit dem Abwasser

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	
	2012	2011	2012	2011
Transportbehälterlager Ahaus	0,47 (MP 9)	0,48 (MP 3)	<0,10 (alle MP)	<0,100 (alle MP)
Zentrales Zwischenlager Nord (Rubenow)	0,85 (MP 15)	0,86 (MP 15)	<0,10 (alle MP, I. HJ) 0,57 (MP 15, II. HJ)	0,102 (MP 17)
Transportbehälterlager Gorleben	0,92 (MP 2)	0,99 (MP 2)	0,33 (MP 14) **	0,297 (MP 2)

* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrunds

** Messwert der unabhängigen Messstelle (NLWKN) im Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle des TBL Gorleben an der Grenze des Betriebsgeländes einschließlich des natürlichen Untergrunds (MP 14 liegt in der Nähe des MP 2 des Betreibers)

MP Messpunkt, HJ = Halbjahr

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 Laufe des Jahres 2011 wieder unter die Nachweisgrenzen. Insgesamt lag 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) verfü-

gen über einen zweiten Hochvolumensammler 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. $20 \mu\text{Bq/m}^3$ bis $30 \mu\text{Bq/m}^3$) auch zusätzlich solche mit der gewohnten Empfindlichkeit (NGW bezogen auf Co-60: ca. $0,3 \mu\text{Bq/m}^3$) 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 $3,7 \text{ mBq/m}^3$ (Potsdam) und $1,1 \text{ mBq/m}^3$ (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 $7,7 \text{ mBq/m}^3$ für I-131 gemessen. Für Cs-134 und Cs-137 wurden in Potsdam und Offenbach maximale Aktivitätskonzentrationen von ca. $0,4 \text{ mBq/m}^3$ gemessen. In Braunschweig und auf dem Schauinsland lagen die Maximalwerte bei ca. $0,1 \text{ mBq/m}^3$. 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 Nachweisempfindlichkeit erreicht. Mit diesem Verfahren konnten so, wie bei den zusätzlichen Messungen der PTB, weitere Radionuklide nachgewiesen werden (z. B. Te-129m, Cs-136), die in den „Schnellmessungen“ für tagesaktuelle Messwerte nicht zugänglich waren.

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

Radionuklide in Binnengewässern

Wie im Jahr 2011 waren auch 2012 relevante Auswirkungen des Reaktorunfalls von Fukushima nicht zu verzeichnen: Lediglich in einer Sedimentprobe wurde im RMP Cs-134 mit unter 0,5 Bq/kg TM nachgewiesen, was auf einen geringfügigen früheren Eintrag hindeuten könnte. Bei anderen Radionukliden, insbesondere I-131 und Cs-137, ist ein diesbezüglicher Einfluss wegen der anderweitigen Einträge bzw. Vorbelastungen nicht explizit darstellbar.

Radionuklide in Blattgemüse, Milch und Weidenbewuchs

Nach den ersten Meldungen von Spuren der künstlichen Radionuklide ^{131}I und ^{137}Cs in Luftfilterproben der BfS-Messstation Schauinsland, begann die Leitstelle in Kiel repräsentative Umweltmedien aus der Umgebung regelmäßig zu untersuchen. Die repräsentativen Umweltmedien waren Rohmilch (stellvertretend für Nahrungsmittel tierischer Herkunft), Winterlauch (stellvertretend für pflanzliche Nahrungsmittel) bzw. Weidebewuchs (stellvertretend für Futtermittel). Nach dem Erscheinen des ersten Berichts [2] zum Sonderthema Fukushima im Jahr 2011 wurden im weiteren Verlauf des Jahres 2011 23 Werte für I-131 und 24 Werte für Cs-134 in verschiedenen Umweltbereichen im IMIS erfasst, die wahrscheinlich Folge des Reaktorunfalls in Fukushima sind. Die Mehrzahl der Werte wurde in Weide- und Wiesenbewuchs bestimmt. 17 Werte wurden für I-131 und 11 Werte für Cs-134 abgegeben. Sie lagen zwischen 0,07 und 1,94 Bq I-131/kg FM (Mittelwert 0,55 Bq/kg FM) und zwischen 0,04 und 0,08 Bq Cs-134/kg FM. Die Proben wurden im Zeitraum 05. bis 26.04.2011 genommen. In zwei Grasproben (als Indikatoren) vom 05.04.2011 und 18.05.2011 wurden 5,9 bzw. 0,32 Bq I-131/kg TM bestimmt. In diesem Umweltmedium variierten die Cs-134-Werte im Bereich 0,13 und 0,62 Bq/kg TM mit einem Mittelwert von 0,29 Bq/kg TM bei 8 Proben. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Massenbezüge (FM/TM ca. 5) stimmen die Werte aus beiden Umweltbereichen überein.

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

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

Radionuklide in importierten Fischereierzeugnissen

Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 wurde ein europaweites Schnellwarnsystem zur Überwachung der Radioaktivität in importierten Lebensmitteln aus dem pazifischen Raum 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 Teil B-II-Tabelle 2.4.5-5 zusammengestellt, während die Werte für Cs-134 an denselben Proben alle unterhalb der Nachweisgrenze waren (Daten nicht gezeigt). Die im Jahr 2012 in Seefisch aus Japan nachgewiesenen Aktivitäten von Cs-137 waren mit einem Median von 0,10 Bq/kg in derselben Größenordnung wie die von Seefisch in der Nordsee, allerdings sind die Maximalwerte der Proben aus der Nordsee deutlich höher (vgl. Teil B-II-Tabelle 2.4.5-5 und Tabelle 2.4.5-3). In Krusten- und Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen konnten keine Cs-137-Aktivitäten oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt werden.

Inkorporationsmessungen an aus Japan eingereisten Personen

Ab März 2011 wurde den aus Japan einreisenden Personen angeboten, sich in Deutschland auf durch Inhalation oder über die Nahrung in den Körper aufgenommene („inkorporierte“) radioaktiver Stoffe untersuchen lassen. Diese Untersuchungen wurden von einigen der behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden von den Messstellen an die Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS weitergeleitet.

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.

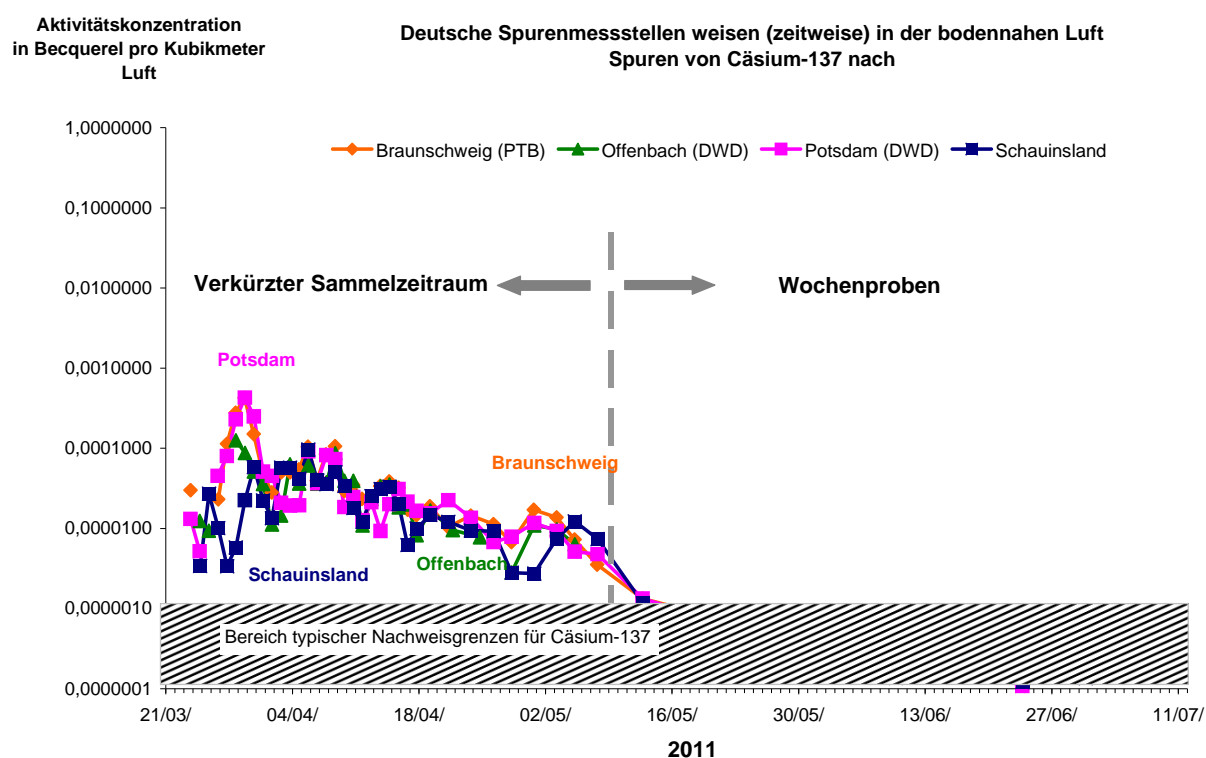
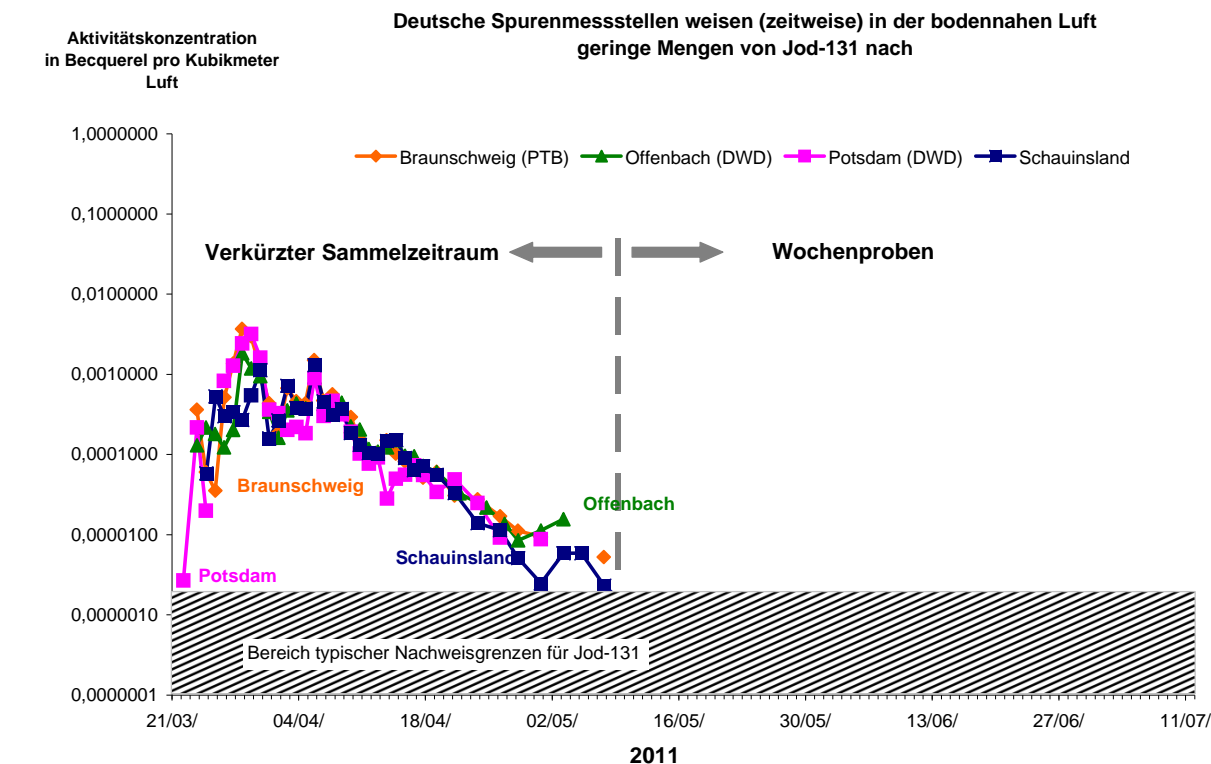


Abbildung 1.4-1 Aktivitätskonzentrationen von I-131 und Cs-137 an den deutschen Spurenmessstellen, die Bestandteil des EU-Sparse Network sind
(Activity concentrations of I-131 and Cs-137 in ground-level air at those German sampling sites, which are part of the EU-Sparse Network)

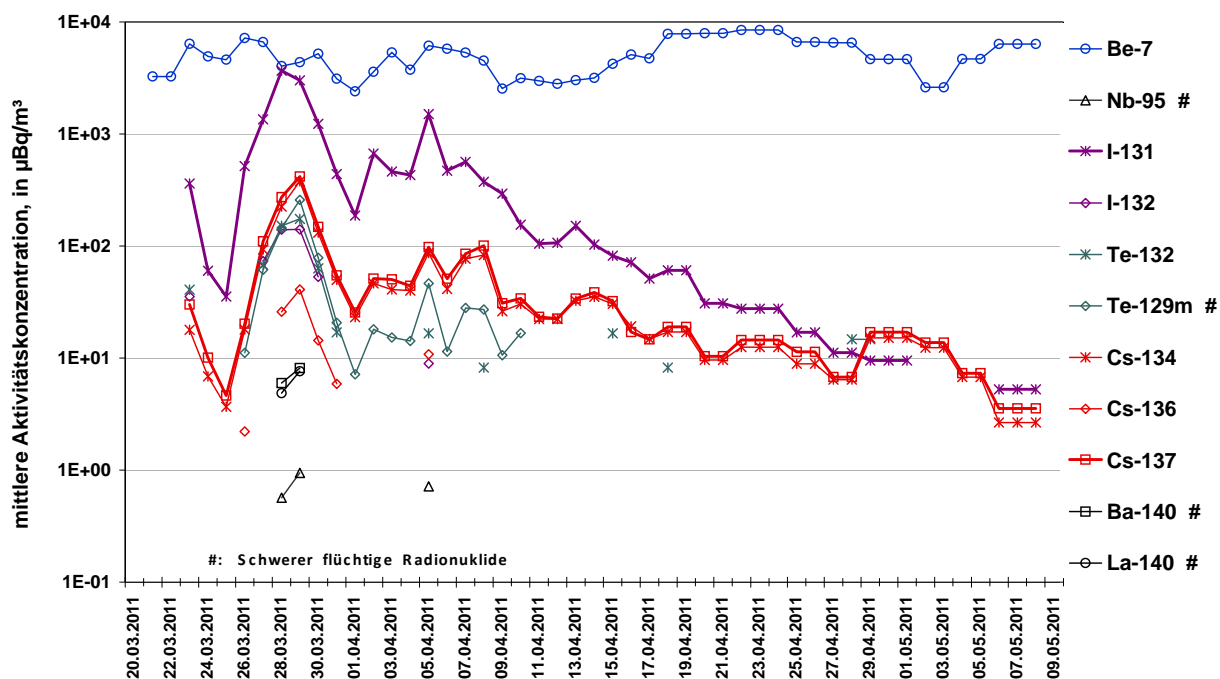


Abbildung 1.4-2 Aktivitätskonzentrationen verschiedener Radionuklide aus Fukushima in der bodennahen Luft im Zeitraum März 2011 bis Mai 2011 am Probenahmeort Braunschweig
(Activity concentrations of several radionuclides from Fukushima in ground-level air at the sampling site Braunschweig in the period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

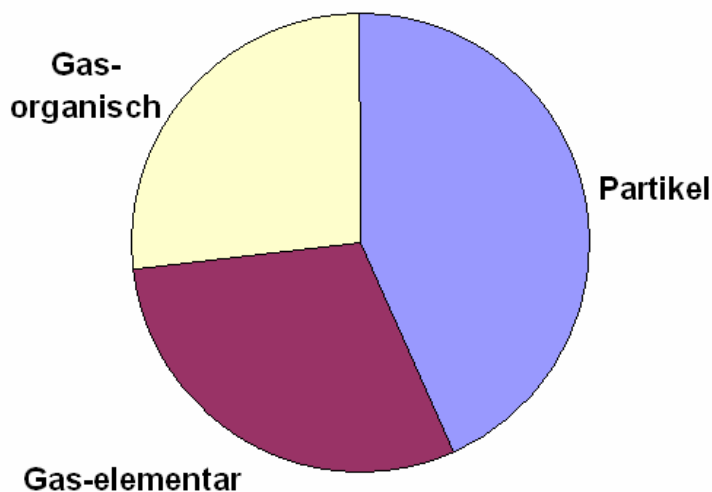


Abbildung 1.4-3 Anteil der I-131-Aktivität in München-Neuherberg in den Fraktionen partikelgebunden, gasförmig-elementar und gasförmig-organisch in der Periode 28. bis 31. März 2011
(Composition of the I-131 activity concentration in München-Neuherberg in the fractions aerosol bound, gaseous elementary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

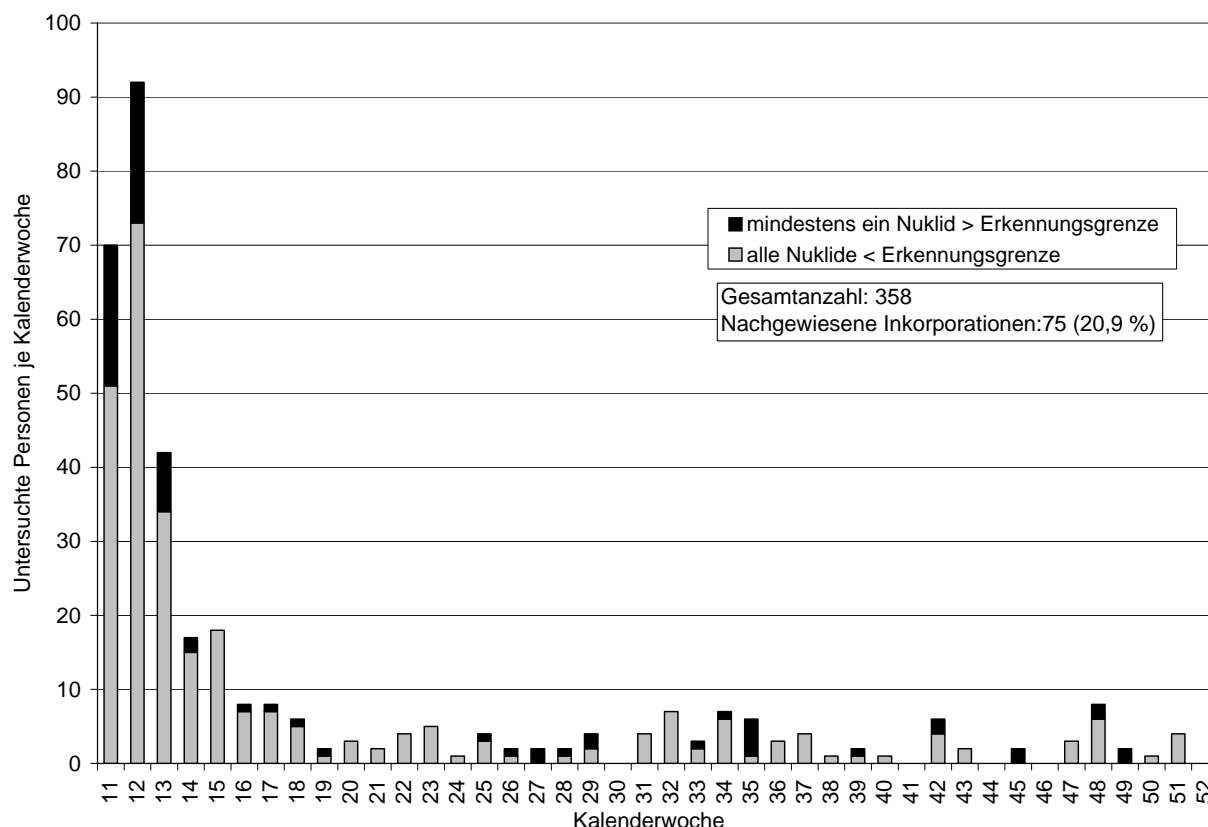


Abbildung 1.4-4 Anzahl der in Deutschland in 2011 untersuchten, aus Japan eingereisten Personen
(Number of persons examined in Germany in 2011 after having entered from Japan)

Bewertung des in Deutschland beobachteten Einflusses der Freisetzungen in Fukushima

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

Konsequenzen aus dem Reaktorunglück in Fukushima

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 29. März 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, Mauring A, Mietelski JW, Møller B, Nielsen SP, Overwater R.M.W., Pálsson S.E., Papastefanou C., Penev I., Pham, M., Povinec P.P., Ramebäck H., Reis M.C., Ringer W, Rodriguez A, Rulík P, Saey PRJ, Samsonov V, Schlosser C, Sgorbati G, Silobritiene BV, Söderström C, Sogni R, Solier L., Sonck M, Steinhauser G, Steinkopf 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>

1. Aktivitätsmessungen und Messnetze (Activity measurements and monitoring networks)

1.1 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 primär der Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen sowie der Beobachtung von Langzeittrends. Diese Messungen werden vom BfS, dem DWD, der PTB und dem Helmholtz Zentrum München durchgeführt. Die von DWD, BfS und PTB erhobenen Daten werden nicht nur für IMIS, sondern auch für die Berichterstattung gegenüber der EU 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 2012, 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.

1.1.1 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 12 Messstationen des DWD errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen Gesamt- β -Aktivitätskonzentration der Luft resultierte für das Jahr 2012 ein Wert von 0,7 mBq/m³ (2011: 0,6 mBq/m³). Der Wert liegt innerhalb des Schwankungsbereichs der Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Radionuklide in der Luft.

Edelgase

Auch im Jahr 2012 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. 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). Bedingt durch den Rückgang der Emissionen liegt der Untergrundpegel für Xe-133 mittlerweile im Bereich der Nachweisgrenzen, die mit den manuellen Analysesystemen des BfS erreicht werden können.

Nachdem der Grundpegel von Kr-85 in der Luft über lange Zeit mit ca. 30 mBq/m³ pro Jahr 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 Freisetzungsrates von Kr-85 größer war als seine durch die Halbwertszeit von 10,76 Jahren bestimmte Zerfallsrate. Die aktuellen Messdaten spiegeln auch für 2012 den eher rückläufigen Trend der Kr-85-Emissionen aus Wiederaufarbeitungsanlagen wider. So wurde von dem Hauptemittenten, der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague, im Jahr 2012 eine Aktivität von $2,2 \cdot 10^{17}$ 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 1,53 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.

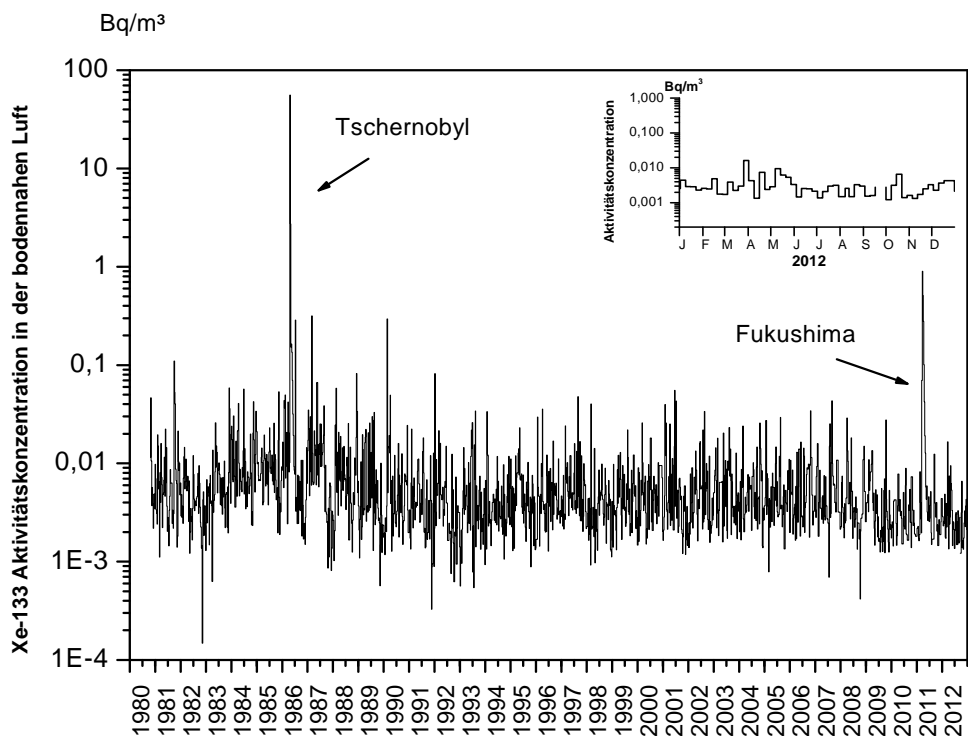


Abbildung 2.1.1-1 Xe-133-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenahmeort Freiburg/Schauinsland
(Xe-133-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Freiburg/Schauinsland)

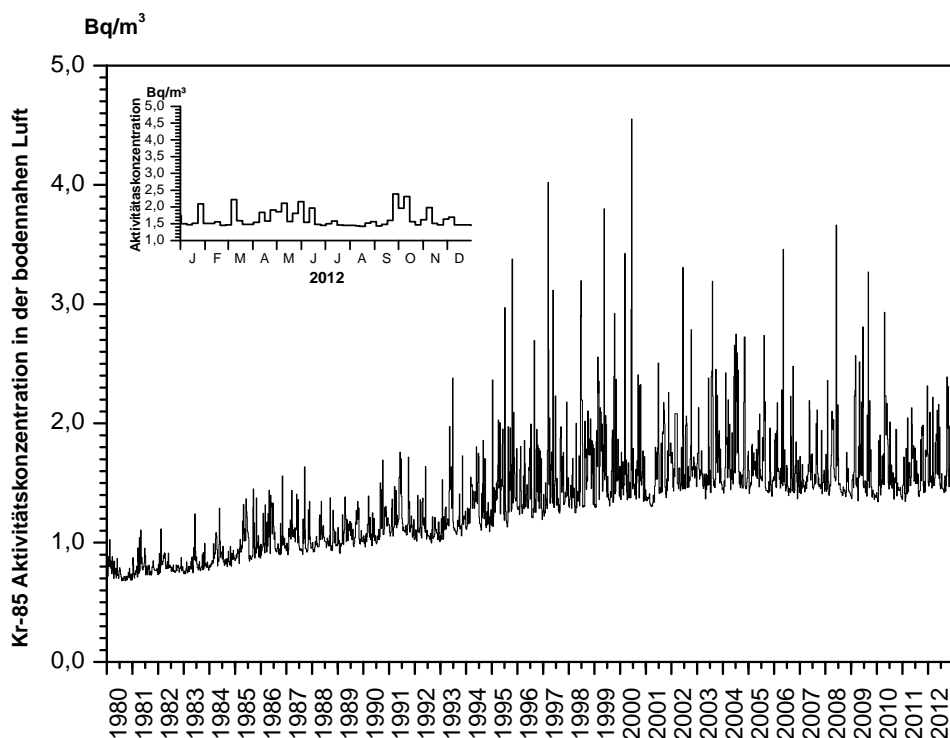


Abbildung 2.1.1-2 Kr-85-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft am Probenahmeort Freiburg/Schauinsland
(Kr-85-activity concentrations of in air close to ground level at the sampling location Freiburg/Schauinsland)

Gammaspektrometrie

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, 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 0,25 und 0,73 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 0,18 und 0,88 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, das kosmogene Be-7 in Potsdam mit Werten zwischen 2,0 und 4,5 mBq/m^3 Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 2,1 und 4,5 mBq/m^3 Luft nachweisen, das heißt, die Werte liegen im üblichen Schwankungsbereich.

An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei 0,26 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft (vgl. Abbildung 2.1.1-4, Tabelle 2.1.1-1d). Im Berichtszeitraum lagen die Aktivitätskonzentrationen im Rahmen der üblichen Schwankungen der Werte der vergangenen Jahre. Kurzfristige Erhöhungen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft treten vereinzelt, insbesondere bei Ostwind-Wetterlagen auf. Sie sind durch verstärkte Resuspension (z. B. bei langer Trockenheit) des Cäsiums aus höher belasteten Regionen in der Gegend um Tschernobyl erklärbar. Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt bei etwa 0,15 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft. Die Aktivitätskonzentrationen für Be-7 in den Wochenproben lagen mit Werten zwischen 1,2 und 7,9 mBq/m^3 Luft innerhalb des für diese Station üblichen Rahmens.

In Braunschweig lagen im Berichtszeitraum die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und der im Routinebetrieb zu bestimmenden natürlichen Radionuklide im unteren Teil des Schwankungsbereiches. Die jährlichen Schwankungen von K-40 (vgl. auch Abbildung 2.1.1-5) durch Pollenflug oder landwirtschaftliche Aktivitäten waren 2012 ungewöhnlich gering, dies ist durch die häufigen Niederschläge und die damit einher gehende Deposition von Pollen und Stäuben bedingt. Der Einfluss von Niederschlägen auf die Staubkonzentrationen in der Luft, und damit auch auf die Aktivitätskonzentration von K-40, wird in Abbildung 2.1.1-5 veranschaulicht. Zur Ermittlung der Niederschlagsmengen in den wöchentlichen Probenahmezeiträumen wurden die in einer Entfernung von ca. 2 km gemessenen Tagesmittelwerte der Niederschlagsmengen herangezogen. Die Tagesmittelwerte wurden vom Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung (ZAMF, Braunschweig) des DWD dankenswerterweise bereitgestellt. Der Einfluss des Silvesterfeuerwerks am Jahresbeginn hingegen ist gut sichtbar, weil der letzte nennenswerte Niederschlag am Silvesterabend gegen 19:00 Uhr fiel und es dann bis zum Ende der Probenahme am 2. Januar trocken blieb.

Großräumiger Nachweis von I-131 Ende Januar / Anfang Februar 2012

Über den Ring of 5 (Europäischer Verbund der Spurenmessstellen auf Arbeitsebene) wurde bekannt, dass in der Zeit vom 16.01. - 23.02.2012 in Finnland und Norwegen geringe Aktivitätskonzentrationen von I-131 (1 - 2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) nachgewiesen worden waren. In den darauf folgenden Wochen wurden in Polen, Tschechien, Braunschweig und Wien ebenfalls erhöhte Aktivitätskonzentrationen von I-131 im Bereich weniger Mikrobecquerel pro Kubikmeter beobachtet. So wurde in der Woche vom 30.01. - 06.02.2012 z. B. in Braunschweig I-131 in einer Aktivitätskonzentration von $4,0 \pm 0,6 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ nachgewiesen. An den Spurenmessstellen des DWD wurde kein I-131 festgestellt. An den beiden Spurenmessstellen des BfS auf dem Schauinsland und in Freiburg wurden auf Grund der vorherrschenden Luftströmung keine auffälligen Werte beobachtet. Atmosphärische Ausbreitungsrechnungen deuteten zunächst nach Ungarn, wo bereits im Oktober/November 2011 eine Freisetzung von I-131 bei einer Firma zur Herstellung von Radiopharmazeutika stattgefunden hatte. Ungarn teilte mit, dass es in Budapest in einer Isotopenproduktionsanlage im Januar Freisetzungen innerhalb des genehmigten Rahmens gegeben hatte, was zumindest teilweise die Ursache für die erhöhten Messwerte sein könnte. Die Quelle des nachgewiesenen Iods konnte jedoch nicht eindeutig ermittelt werden.

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.

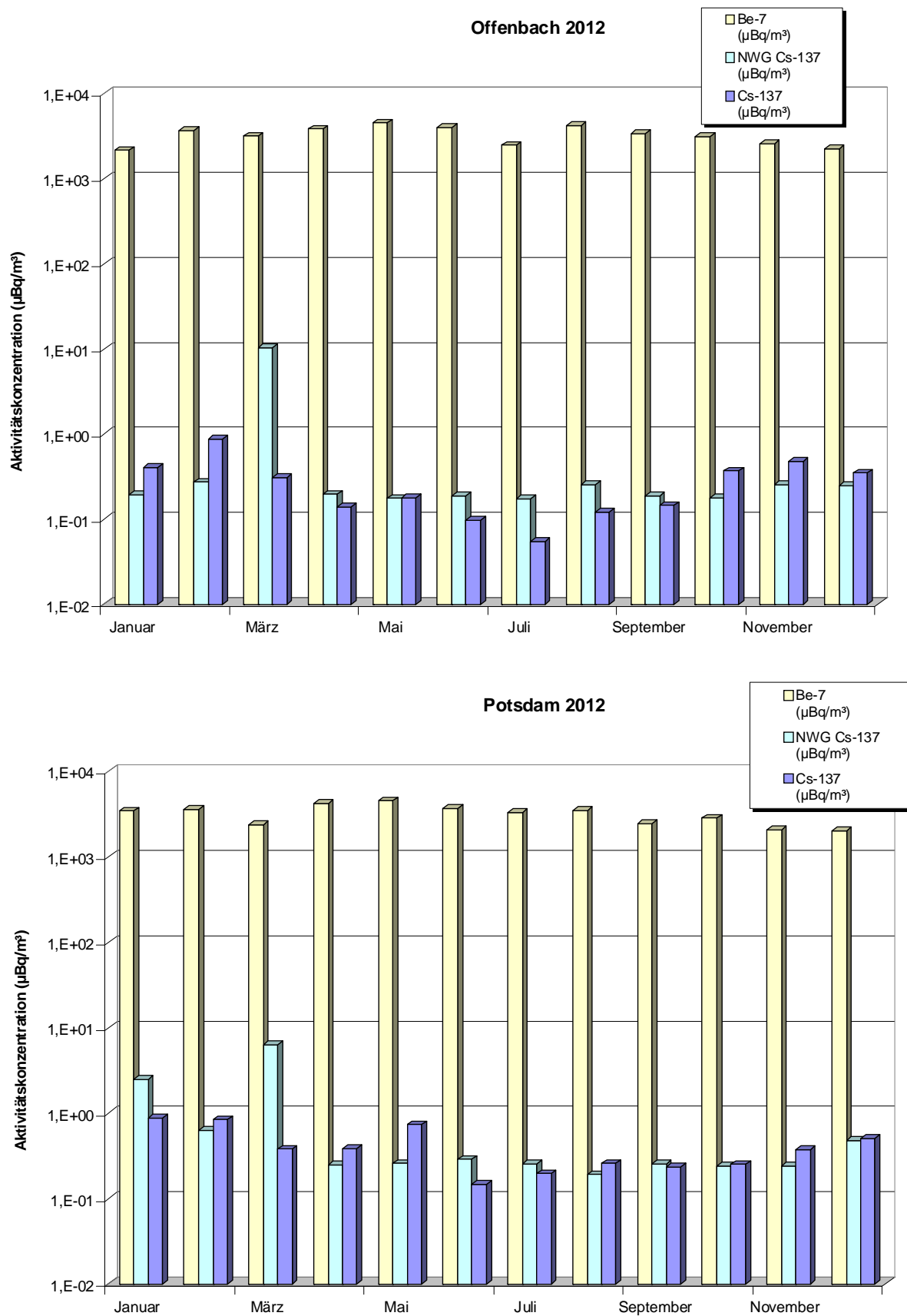


Abbildung 2.1.1-3 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2012 - DWD-Stationen Potsdam und Offenbach
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2012 at the DWD stations in Potsdam and Offenbach)

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
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
2012 *	3182	0,3	7,8	0,30	325
Januar	2230	0,2	5,6	0,29	351
Februar	3826	0,4	7,8	0,90	594
März	2966	0,3	7,9	0,43	273
April	3826	0,6	6,9	0,22	195
Mai	4402	0,7	11,2	0,34	296
Juni	3753	0,5	6,8	0,09	219
Juli	3119	0,4	10,0	0,11	239
August	3581	0,4	9,5	0,15	285
September	2820	0,2	8,0	0,19	286
Oktober	3100	0,2	8,6	0,27	451
November	2372	0,2	5,6	0,30	374
Dezember	2185	0,2	5,6	0,36	343

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

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
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	k. A.	3,02	676
2012 *	3470	<0,33	k. A.	0,94	441
Januar	2330	0,15	k. A.	1,21	363
Februar	2210	0,18	k. A.	1,05	351
März	3950	0,36	k. A.	1,26	466
April	4050	0,53	k. A.	0,67	316
Mai	4930	0,64	k. A.	0,67	356
Juni	4490	0,61	k. A.	0,31	348
Juli	4320	0,46	k. A.	0,33	434
August	4220	0,27	k. A.	0,38	467
September	3540	0,23	k. A.	0,52	543
Oktober	2990	0,19	k. A.	1,82	577
November	2570	<0,20	k. A.	1,76	725
Dezember	2010	0,20	k. A.	1,27	350

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

k. A. keine Angaben

- 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
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
2012 *	2461	<1,5	3261	<0,3	3149	<0,4	3108	<0,9
Januar	2005	<1,0	2130	0,4	3410	<0,9	2560	<0,7
Februar	3190	<1,2	3660	0,9	3550	<0,8	3380	<0,7
März	2330	<5,8	3150	<0,3	2350	<0,4	3000	<1,9
April	2860	<1,1	3810	<0,1	4230	0,4	3400	<0,6
Mai	3550	<1,3	4510	0,2	4520	0,7	4210	<0,8
Juni	2630	<1,0	3970	<0,1	3670	<0,1	3090	<0,9
Juli	2460	<1,0	2450	<0,1	3280	<0,2	3090	<0,7
August	2630	<1,3	4170	<0,1	3470	0,3	3580	<0,9
Sept.	2060	<1,1	3370	<0,1	2420	<0,2	2880	<0,9
Oktober	2290	<1,0	3100	0,4	2830	0,3	3490	<1,1
November	1900	<1,0	2570	0,5	2060	0,4	2510	<1,0
Dezember	1620	<1,1	2230	0,3	2000	0,5	2110	<0,7

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

** 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	Pb-210
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**	555
2012 *	4660	0,43	0,26	428
Januar	2500	0,21	<0,16	138
Februar	4490	0,31	0,67	687
März	5230	0,60	0,33	508
April	4310	0,53	<0,20	293
Mai	6310	0,76	0,24	413
Juni	5640	0,68	<0,18	385
Juli	5010	0,48	0,18	426
August	5760	0,43	0,18	592
September	5420	0,33	0,17	686
Oktober	4940	0,33	0,20	466
November	3770	<0,28	0,11	332
Dezember	2550	<0,21	<0,14	205

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

** Durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst

* 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
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**
2012 *	1620	2,5	1490	3,2
Januar	1570	3,3	1650	3,1
Februar	1480	3,5	1510	2,9
März	1660	3,2	1650	5,5
April	1690	2,8	1720	3,9
Mai	1810	4,5	1900	5,4
Juni	1740	<1,5	1610	2,2
Juli	1470	<1,6	1500	<2,4
August	1450	<1,7	1480	2,4
September	1710	2,4	1730	2,0
Oktober	1650	<1,5	1820	3,1
November	1660	2,0	1640	2,1
Dezember	1540	<1,6	1550	<3,4

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

** 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 0,02 bis zu einem Wert von 0,22 µBq/m³ ermittelt. Für U-238 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,018 und einem Wert von 0,22 µBq/m³ festgestellt. Diese Messwerte spiegeln die natürlich vorkommenden Aktivitätskonzentrationen wider.

In Schleswig wurden in den Monaten März und Mai Aktivitätskonzentrationen an Pu-(239+240) von 0,0028 µBq/m³ und von 0,0019 µBq/m³ gefunden, in Offenbach im Monat Juni ein Wert von 0,0009 µBq/m³ und in München im Monat Mai ein Wert von 0,0015 µBq/m³. Dies kann durch Resuspension von Pu-(239+240) aus dem Boden erklärt werden. In Schleswig wurden Aktivitätskonzentrationen von Am-241 zwischen 0,0014 µBq/m³ bis zu 0,015 µBq/m³ gemessen, in Offenbach im Monat März ein Wert von 0,0008 µBq/m³ und in München in den Monaten März und Mai Werte von 0,0024 µBq/m³ und von 0,0018 µBq/m³.

Die Aktivitätskonzentration des Sr-90 lag unterhalb der Nachweisgrenze. Diese betrug zwischen 0,03 und 0,74 µBq/m³ 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 µBq/m³ und für Sr-90 1 µBq/m³ gefordert. Diese wurden eingehalten.

In der PTB konnten im Jahr 2012 in ausgewählten Luftstaubproben der letzten Jahre für α - oder β -Teilchen emittierende Radionuklide wieder Messergebnisse ermittelt werden, deren Repräsentativität allerdings noch zu prüfen ist. Die Messwerte liegen im Bereich der Ergebnisse, die vor der Entwicklung eines ionenchromatographischen Trennungsganges erzielt wurden. An der Spurenmessstelle Braunschweig enthalten die Proben - standortbedingt - einen hohen Anteil an Po-210. Die Entfernung von Po-210 aus der Uranfraktion gelingt durch eine zusätzliche Reinigung der Proben mittels eines Ionenaustauschers. Die zunächst aus Zeit- und Kostengründen erfolgte Einsparung dieses Schrittes hatte sich nicht bewährt, er wurde daher wieder in den Trennungsgang aufgenommen. Die aktuellen radiochemischen Blindwerte für den in Details noch immer anzupassenden Trennungsgang sind noch zu bestimmen.

Beim BfS in Freiburg wurden nach Abschluss der Modernisierungsmaßnahmen im Radiochemielabor 2012 zunächst Maßnahmen zur Qualitätssicherung durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden Proben aus den Jahren 2008 und 2010 aufbereitet um den Anschluss an die bestehende Messreihe zu überprüfen und sicherzustellen. Die ermittelten Werte stimmen gut mit denen der vorangegangenen Jahren überein; die Aktivitätskonzentration für Sr-90 an der Messstation Schauinsland lag im Mittel bei ca. 0,07 µBq/m³. Die Nachweisgrenzen betragen etwa 1 µBq/m³ für Sr-89, 0,03 µBq/m³

für Sr-90 sowie $0,5 \text{ nBq/m}^3$ für die Isotope U-234, U-235, U-238, Pu-238 und Pu-239/240. Das Trennverfahren für die Plutonium-Analytik wird zurzeit noch optimiert, da bei großen Staubmengen, insbesondere am Probenahmeort Freiburg, die Kapazität der eingesetzten Chromatographiesäulen überschritten wird.

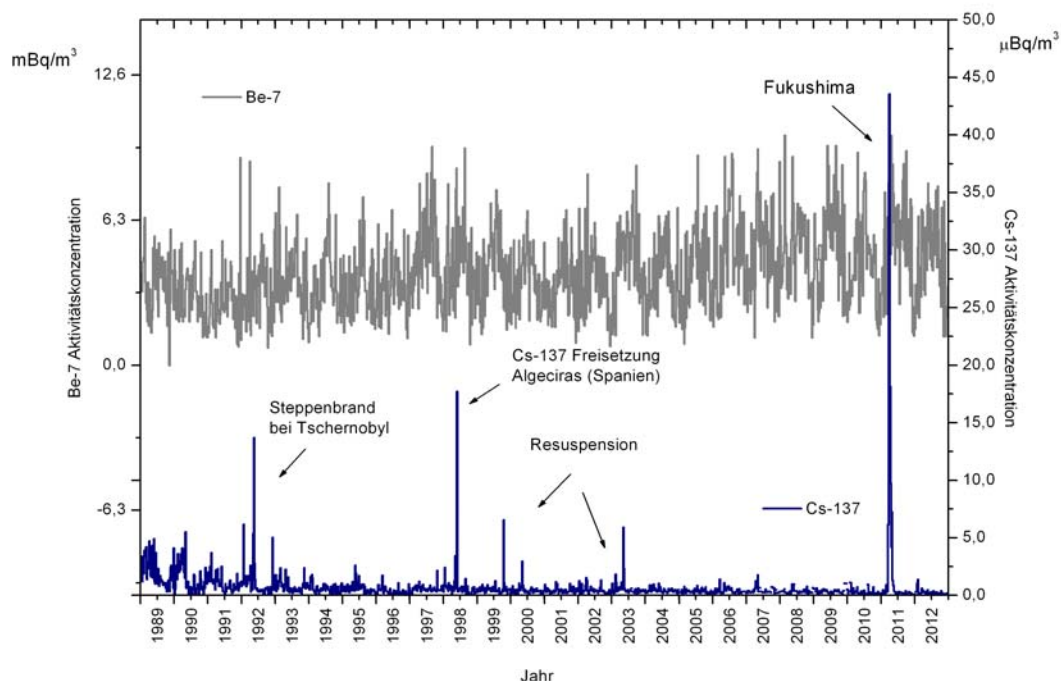


Abbildung 2.1.1-4: Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft am Probenahmeort Schauinsland

(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in ground level air at Schauinsland measuring station)

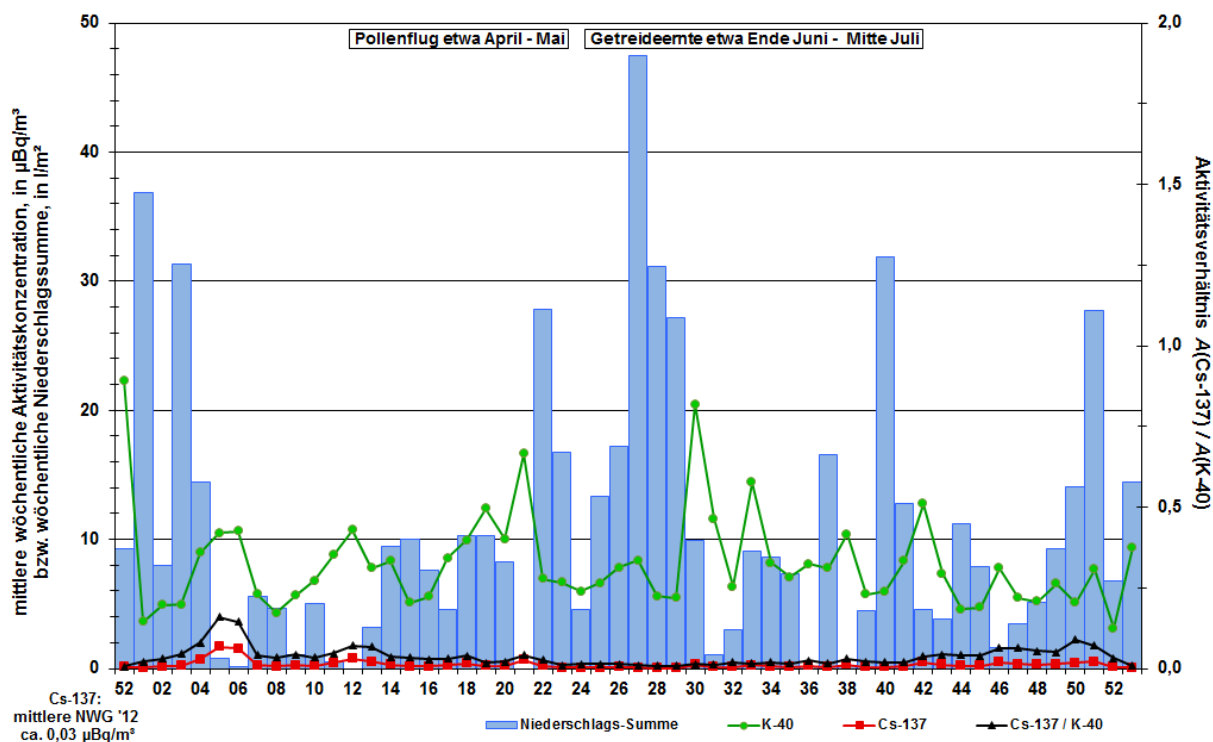


Abbildung 2.1.1-5: Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft 2012 am Probenahmeort Braunschweig

(Activity concentrations and activity ratio of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2012)

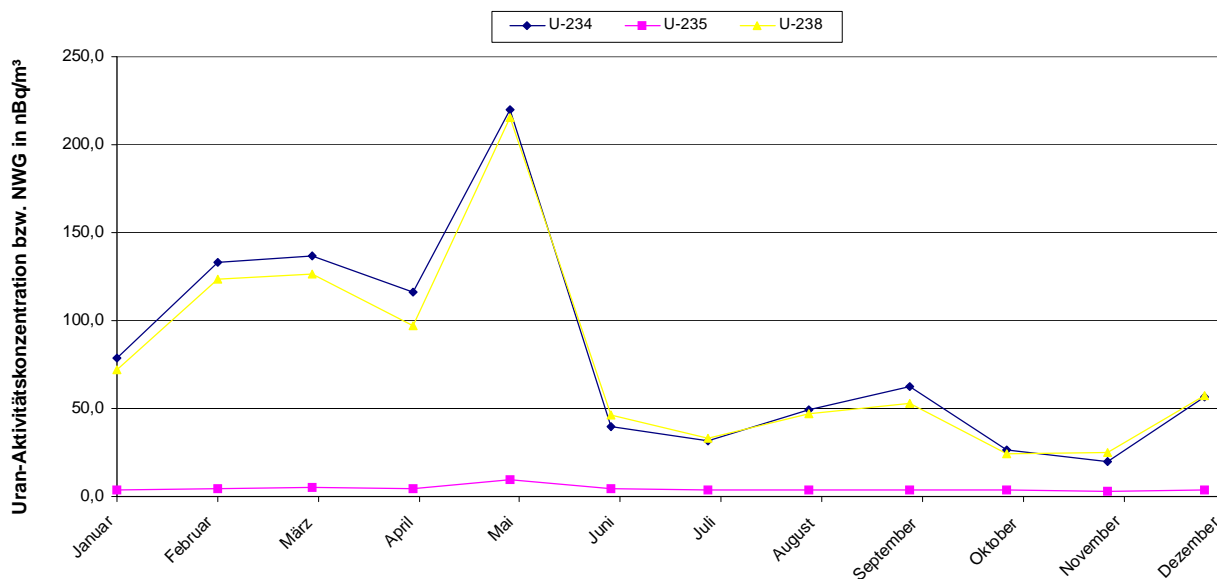


Abbildung 2.1.1-6 Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft von Uranisotopen für das Jahr 2012 am Probenahmeort Potsdam
(Activity concentrations and activity ratio of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Potsdam from 2012)

1.1.2 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 2012 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 38 Bq/m^2 (2011: 58 Bq/m^2).

Der Messwert liegt im Schwankungsbereich der Messunsicherheiten, somit ist keine Veränderung zum Vorjahr nachweisbar. Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl, das heißt im Bereich der natürlichen Schwankungen. Abbildung 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 2012 in Bq/m^2 . Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bq/m^2 zeigt Abbildung 2.1.2-2. Hier heben sich besonders die niederschlagsreichen Bergstationen hervor.

Gammaspektrometrie

Monatssammelproben von 40 Messstationen wurden γ -spektrometrisch analysiert. Die Nachweisgrenzen für die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen zwischen $0,002$ und $15,1 \text{ mBq/l}$ in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Niederschlagsmenge. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Potsdam, Offenbach und Schleswig in 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 2012 ähnlich denen der Jahre vor dem Reaktorunfall von Fukushima. 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 $0,09 \text{ Bq/m}^2$ und $0,14 \text{ Bq/m}^2$. In Potsdam wurden in den Monaten Mai und Juli Werte von $0,04 \text{ Bq/m}^2$ gemessen. Für kosmogenes Be-7 wurden Messwerte zwischen $12,1$ und 138 Bq/m^2 (Offenbach) und Messwerte zwischen $9,4$ und 87 Bq/m^2 (Potsdam) anhand von Monatsproben ermittelt.

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Niederschlagsproben der Messstationen Potsdam, München, Offenbach und Schleswig bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat analysiert. Es wurden Sr-90, H-3 sowie die Isotope von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betrugen je nach Niederschlagsmenge für Sr-90 ca. $0,3$ bis $21,3 \text{ mBq/l}$, für Pu-(239+240) und Am-241 ca. $0,002$ bis $0,2 \text{ mBq/l}$ und für H-3 zwischen $0,5$ und $1,6 \text{ Bq/l}$ bei der elektrolytischen Anreicherung. Natürlich vorkommendes aerosolgebundenes U-234 und U-238 wurde ausgewaschen.

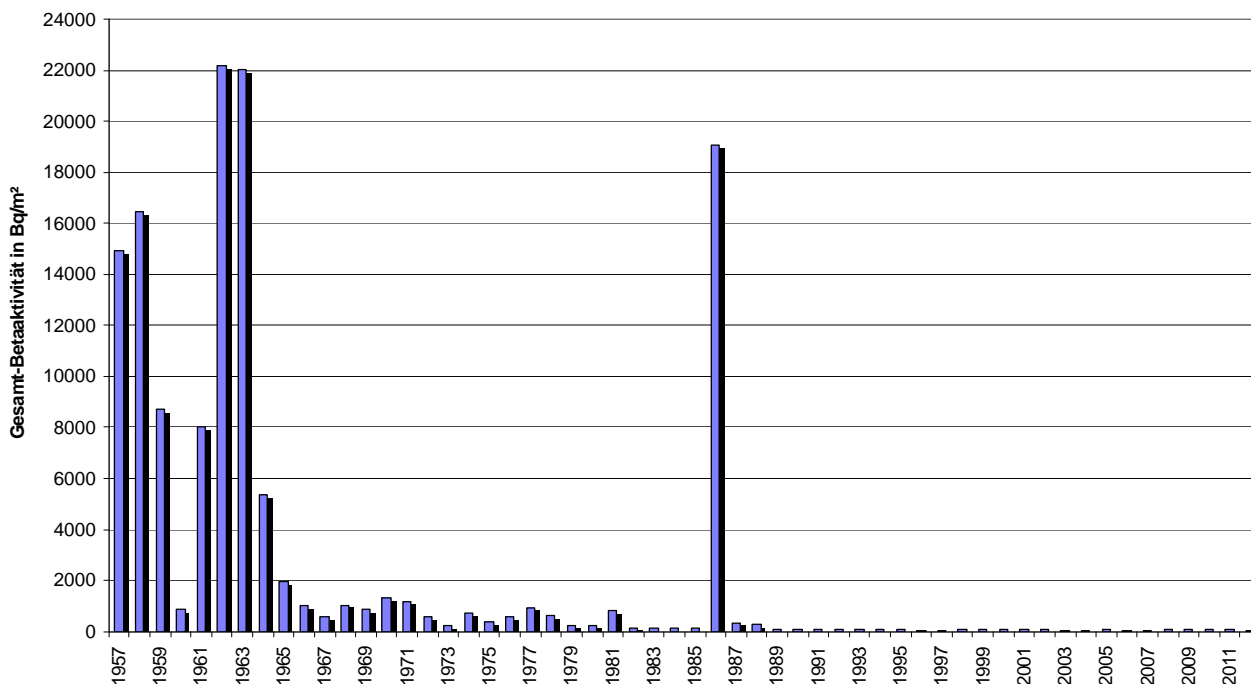


Abbildung 2.1.2-1 Langlebige Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag – Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messstationen von 1957 bis 2012
(Long-lived total β activity in precipitation – Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2012)

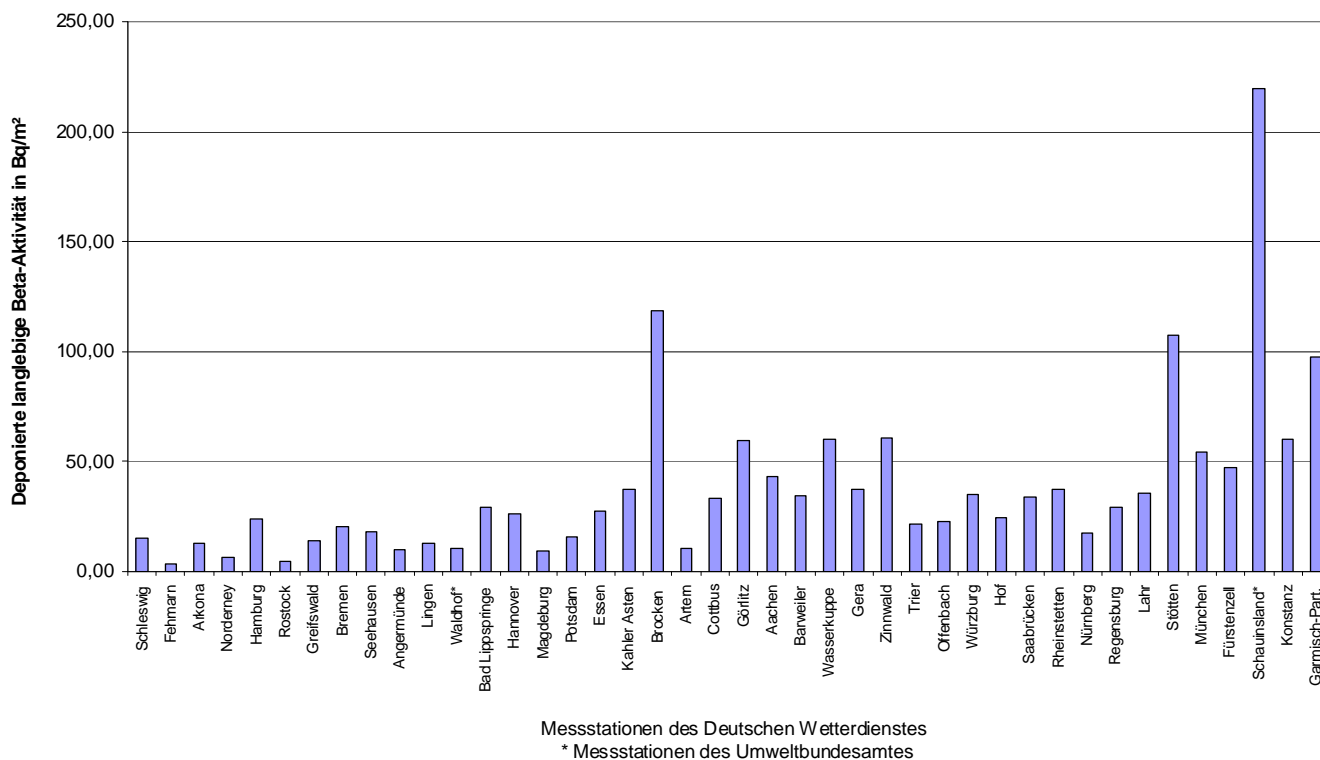


Abbildung 2.1.2-2 Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2012 zugeführte langlebige Gesamt- β -Aktivität – stationsspezifische Jahressummen
(Deposition of additional long-lived total β activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2012)

Tabelle 2.1.2-1 Deposition von Einzelnukliden 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
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
2012	667,7	718	<0,71	605,6	376,4	<1,15
Januar	53,8	41,3	<0,07	57,3	30,7	<0,10
Februar	3,7	12,4	<0,04	33,2	34,2	<0,14
März	12,2	12,1	<0,05	8,6	9,4	<0,09
April	41,8	58,1	<0,05	17,7	12,3	<0,10
Mai	56,5	61,0	<0,04	41,5	48,1	0,03
Juni	128,6	137,6	<0,08	97,9	51,5	<0,11
Juli	104,5	133,8	<0,06	147,9	87,1	0,04
August	28,0	23,5	<0,04	36,9	23,8	<0,10
September	44,6	62,9	<0,08	34,5	16,2	<0,11
Oktober	63,8	66,4	<0,08	32,2	12,4	<0,11
November	52,5	47,9	<0,07	49,1	24,3	<0,10
Dezember	77,7	61,0	<0,06	48,8	26,5	<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
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
2012	840,0	1032,2	<0,83	935,6	484,6	<0,88
Januar	114,2	149,6	<0,06	104,4	31,7	<0,08
Februar	25,3	33,9	<0,06	41,2	14,7	<0,07
März	16,8	16,6	<0,08	12,8	14,1	<0,07
April	50,1	60,6	<0,05	47,6	31,7	<0,07
Mai	43,6	87,2	<0,06	53,9	20,5	<0,07
Juni	101,6	128,0	<0,06	93,1	55,0	<0,08
Juli	109,5	194,9	<0,08	169,3	94,3	<0,08
August	64,2	39,4	<0,08	59,7	38,7	<0,08
September	28,0	15,0	<0,07	87,3	35,5	<0,07
Oktober	115,3	112,6	<0,08	88,9	48,2	<0,08
November	43,3	35,5	<0,07	65,2	33,4	<0,07
Dezember	128,1	158,8	<0,08	112,2	66,9	0,06

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

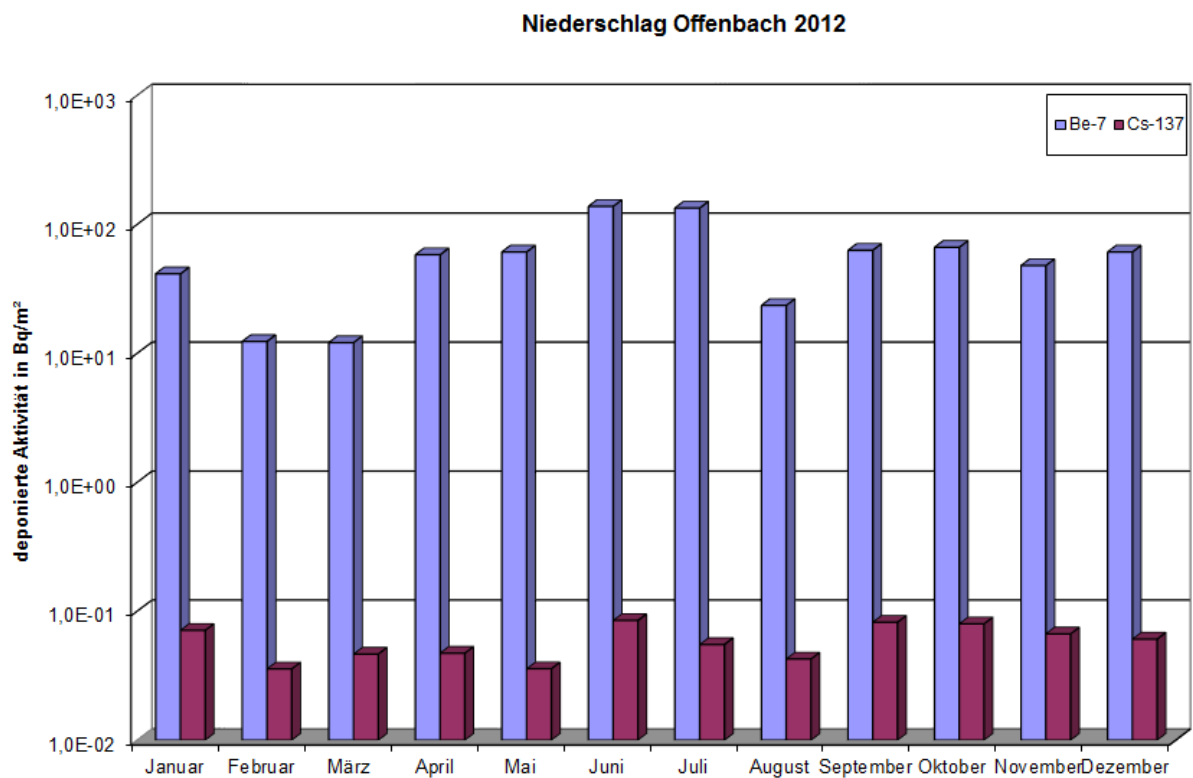
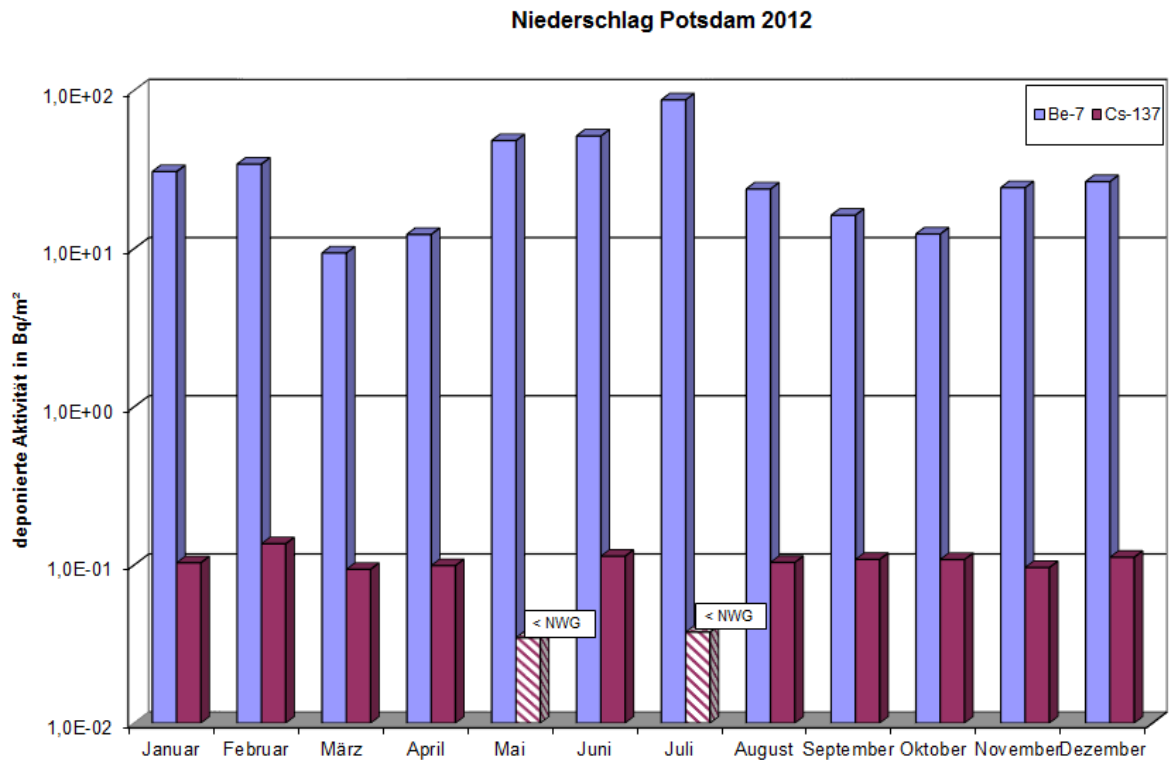


Abbildung 2.1.2-3 Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2012 - DWD-Stationen Potsdam und Offenbach
(Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2012 - DWD stations in Potsdam and Offenbach)

1.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung (Ambient gamma dose rate)

Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz des BfS gemessenen Werte der γ -Ortsdosisleistung in Deutschland sind im Vergleich zum Vorjahr nahezu unverändert. Die geographischen Unterschiede sind Ausdruck des unterschiedlichen Gehaltes an natürlichen Radionukliden im Boden sowie der mit der Höhe zunehmenden kosmischen Strahlung. Typische Werte für die γ -Ortsdosisleistung in Norddeutschland liegen zwischen 60 nSv/h und 105 nSv/h, entsprechend einer Jahresdosis von 0,5 mSv bzw. 0,9 mSv, während in den Mittelgebirgen Spitzenwerte bis zu 230 nSv/h (Jahresdosis 2 mSv) beobachtet werden. Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 40 nSv/h (Jahresdosis 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1500 Höhenmeter. Abbildung 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 zurückzuführenden künstlichen Beiträge zur γ -Ortsdosisleistung (praktisch ausschließlich von Cs-137) werden routinemäßig auch an den Sondenstandorten der ODL-Messstellen mit In-situ-Messfahrzeugen des Bundes und der Länder nuklidspezifisch ermittelt. Wegen der hohen Variabilität des natürlichen Untergrundes sind diese Gegenden in der Kartendarstellung praktisch nicht erkennbar. Mit Hilfe der im Ereignisfall durchzuführenden In-situ-Messungen lassen sich für eine eventuelle, frische Kontamination des Untergrundes/Bodens die Radionuklide und deren Aktivität schnell bestimmen.

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

Die Sonden und Messstellen im ODL-Messnetz unterliegen einem strengen Qualitätssicherungsverfahren wie z. B. wiederkehrende radiologische Sondenprüfung, elektrische Betriebsmittelprüfung und Standortdokumentation. Seit 2006 läuft eine umfangreiche, 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 2012 ebenfalls fortgesetzt werden. Durch den Einsatz der neuen Technik konnten bisher 109 ODL-Messstellen an Liegenschaften des DWD kostenneutral durch Nutzung des gesicherten DWD-WAN (Weitverkehrsnetz) integriert werden. Diese Messstellen liefern ihre Daten im Routinebetrieb alle 10 Minuten.

Seit Anfang 2012 laufen im ODL-Messnetz erste Feldversuche, bei denen spektrometrierende Sonden mit Cadmium-Zink-Tellurid- oder Lanthanbromid-Detektoren eingesetzt werden. Diese können, mit Hilfe von spektrometrischen Messdaten mittlerer Energieauflösung, nuklidspezifische Informationen liefern. Im Vergleich zu den herkömmlichen In-situ-Messsystemen mit hochauflösenden Reinstgermaniumdetektoren zeigen diese Systeme zwar eine geringere Energieauflösung, sind aber erheblich preiswerter und robuster und können bei normaler Umgebungstemperatur betrieben werden.

Gemäß BMUB-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.

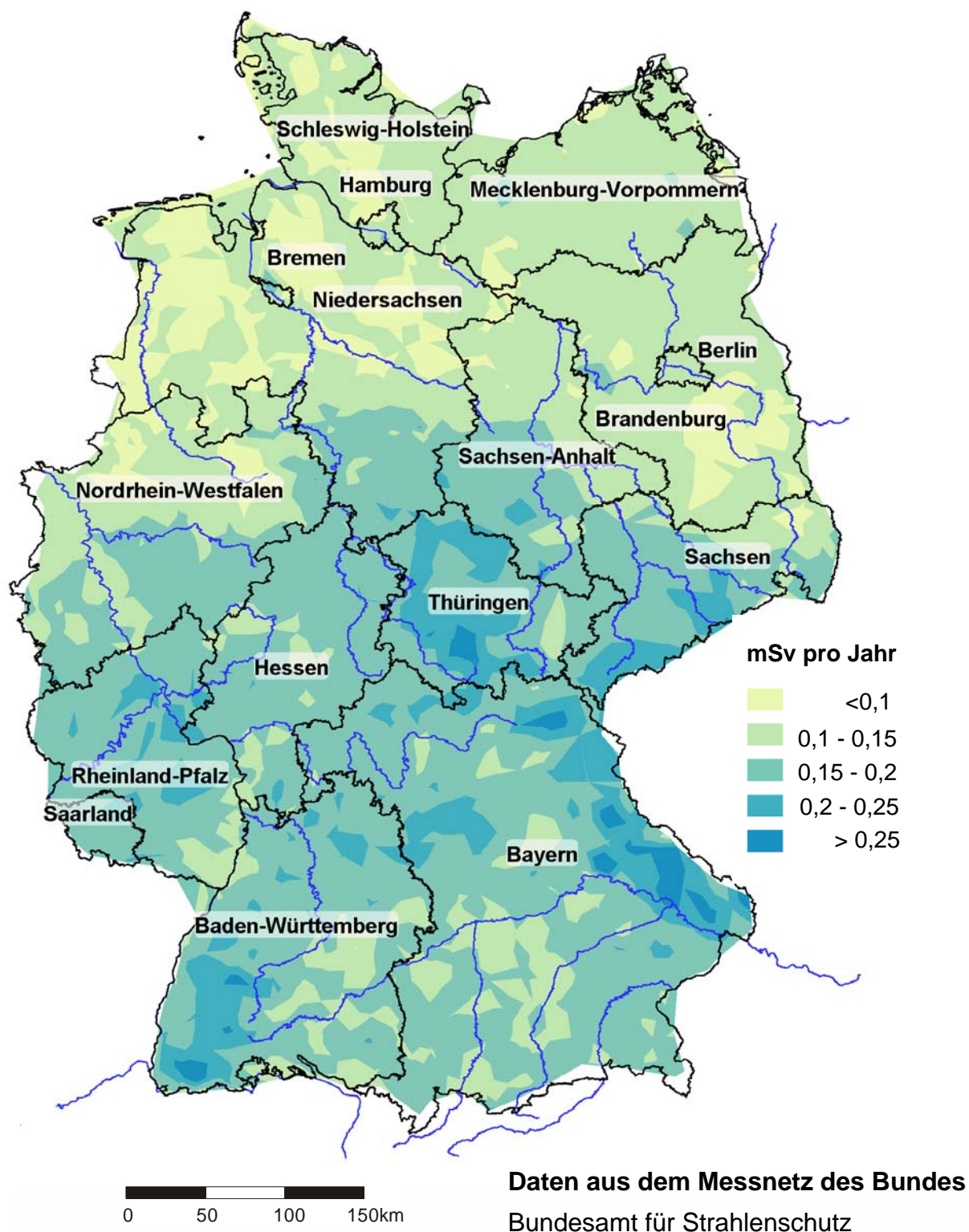


Abbildung 2.1.3-1 Externe Strahlenexposition im Jahr 2012 in Deutschland bei täglich 5 Stunden Aufenthalt im Freien
(External radiation exposure 2012, spending 5 hours per day outdoors)

1.1.4 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/m³ und bei den schwebstoffpartikelgebundenen Radionukliden, bezogen auf Co-60, bei 0,4 mBq/m³.

Für das gasförmige I-131 wurden im Allgemeinen nur Nachweisgrenzen gemessen. Im Berichtsjahr hat sich die Konzentration des emittierten I-131 gegenüber den Vorjahren - mit Ausnahme der zeitweise durch Fukushima beeinflussten Messwerte 2011 - nicht verändert (Tabelle 2.1.4-1a).

Die Aktivitätskonzentrationen der schwebstoffpartikelgebundenen Radionuklide lagen 2012, wie im Vorjahr, mit Ausnahme der zeitweise durch Fukushima beeinflussten Messwerte, an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen. 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 treten bauart- und empfindlichkeitsbedingte Veränderungen des gemessenen Pegels der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung auf. Zum einen können stark differierende Eigennulleffekte der Messgeräte oder die Überschätzung der kosmischen Komponente des Strahlungsfeldes hierfür der Grund sein, zum anderen bauartbedingte Einschränkungen der axialen oder radialen Empfindlichkeit des Messgerätes.

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 Bq/l gefordert. Die Niederschlagsmenge liegt im Durchschnitt je nach Jahreszeit und Standort zwischen 10 und 100 Liter pro Quadratmeter und Monat, so dass für die Deposition Nachweisgrenzen zwischen 0,5 Bq/m² und 5 Bq/m² resultieren können. Es liegen keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen vor. In Tabelle 2.1.4-4 sind die erzielten Nachweisgrenzen, bezogen auf Co-60, zusammengefasst. Höhere Messwerte erklären sich häufig aus der Resuspension von bereits deponierten schwebstoffgebundenen Radionukliden, deren Verfrachtung mit dem Wind und abschließender Deposition.

Tabelle 2.1.4-1 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131)
(in mBq/m³, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	I-131 (mBq/m ³)						
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BER Berlin	2	<0,26	[<0,40] ⁹	<0,4	<0,5	<0,38	<0,38	<0,39
KKB Brunsbüttel	2	<0,3	<0,31	<0,29	<0,29	<0,29	<0,3	<0,31
KBR Brokdorf	2	<0,39	<0,50	<0,57	<0,39	<0,35	<0,7	<0,59
KKK Krümmel	3	<0,36	<0,35	<0,33	<0,31	<0,27	<0,26	<0,28
GKSS Geesthacht	1	<0,24	<0,23	<0,20	<0,19	<0,19	<0,19	<0,19
KKS Stade	1	*	*	*	*	*	*	*
KKU Unterweser	2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	-	<2,0
KWG Grohnde	3	<0,65	<0,80	<0,82	<1,7	<1,4	-	<1,1
KKE Emsland	2	<0,33	<0,30	<0,32	<0,35	<0,32	-	<0,33
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	3	0,47**	0,11**	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	2	<0,66	<0,80	<0,66	<0,63	<0,61	<0,58	<0,52
KKP Philippsburg	4	<0,5	<0,49	<0,49	<0,5	<0,48	<0,53	<0,5
KWO Obrigheim	3	<0,18	<0,16	<0,22	*	*	*	*
GKN Neckarwestheim	2	<0,68	<0,66	<0,66	<0,64	<0,72	<0,64	<0,56
FZ Karlsruhe	-	-	-	-	-	-	*	*
KKI Isar	3	[<0,29] ⁹	<0,30	[<0,29] ⁹	<0,25	<0,27	<0,26	<0,25

Probenahmestelle	N	I-131 (mBq/m ³)						
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
KKG Grafenrheinfeld	3	[<0,5] ⁹	<0,52	[<0,54] ⁹	[<0,48] ⁹	<0,45	<0,61	<0,49
KRB Gundremmingen II	3	[<0,27] ⁹	<0,33	[<0,26] ⁹	[<0,34] ⁹	<0,37	<0,36	<0,29
KGR Greifswald	2	*	*	*	*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	+	-	-	-	-	*	0,034
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 2.1.4-2 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)						
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BER Berlin	2	<0,02	[<0,25] ⁹	<0,3	<0,29	<0,28	<0,27	<0,3
KKB Brunsbüttel	2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,06	<0,08	<0,23
KBR Brokdorf	2	<0,18	<0,18	<0,21	<0,18	<0,18	<0,24	<0,24
KKK Krümmel	3	<0,06	<0,06	<0,06	<0,07	<0,03	<0,03	<0,03
GKSS Geesthacht	1	<0,05	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
KKS Stade	1	<0,26	<0,31	<0,23	<0,2	<0,21	-	<0,2
KKU Unterweser	2	<0,40	<0,40	<0,40	<0,4	<0,4	-	<0,4
KWG Grohnde	3	<0,11	<0,11	<0,12	<0,14	<0,13	-	<0,11
KKE Emsland	2	<0,21	<0,18	<0,20	<0,19	<0,18	-	<0,21
KWW Würgassen	2	<0,10	<0,10	<0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
FZ Jülich	3	<0,4	<0,40	<0,40	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	3	<0,2	<0,22	<0,18	<0,19	<0,19	<0,17	<0,16
KKP Philippsburg	4	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
KWO Obrigheim	3	<0,06	<0,05	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
GKN Neckarwestheim	2	<0,13	<0,13	<0,13	<0,12	<0,14	<0,11	<0,14
FZ Karlsruhe	3	<0,008	<0,007	<0,006	<0,007	<0,006	<0,007	<0,007
KKI Isar	3	[<0,21] ⁹	<0,22	[<0,21] ⁹	<0,21	<0,23	<0,21	<0,21
KKG Grafenrheinfeld	3	[<0,062] ⁹	<0,064	[<0,067] ⁹	[<0,06] ⁹	<0,058	<0,066	<0,069
KRB Gundremmingen II	3	[<0,14] ⁶	<0,18	[<0,14] ⁹	[<0,18] ⁹	<0,2	<0,19	<0,16
KGR Greifswald	2	[<0,002] ⁹	<0,28	[<0,25] ⁹	[<0,08] ⁹	<0,0007	[<0,0008] ⁹	<0,001
VKTA Rossendorf	3	<0,002	<0,016	<0,01	<0,013	<0,015	<0,011	<0,006
KKR Rheinsberg	2	<0,08	<0,09	<0,09	<0,10	<0,1 +	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	<0,14	<0,12	<0,18	<0,19	<0,19	<0,21	<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						
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BER Berlin	2	72	73	a	[73] ⁹	70	70	69
KKB Brunsbüttel	2	84	82	85	83	91	88	89
KBR Brokdorf	2	59	58	59	58	56	74 ^{MT}	85
KKK Krümmel	3	58	61	57	53	54	64 ^{MT}	74
GKSS Geesthacht	1	85	86	89	88	84	84	84
KKS Stade	1	97	99	107	104	104	a	105
KKU Unterweser	2	98	101	102	104	101	a	95
KWG Grohnde	3	86	80	77	84	92 ^{MT}	a	97
KKE Emsland	2	75	75	76	76	74	a	72
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	12	79	83	84	97 ^{MT}	109	111	111
THTR Hamm-Uentrop	2	86	88	100 ^l	103 ^l	101 ^l	99 ^l	98 ^l
KWB Biblis	3	96	103	106	106	105	105	105
KKP Philippsburg	4	105	99	100	100	98	95	105
KWO Obrigheim	2	102	115	120	120	119	120	120

Probenahmestelle	N	γ -Ortsdosisleistung in nSv/h						
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
GKN Neckarwestheim	2	119	113	111	121	126	130	130
FZ Karlsruhe	6	83	83	83	84	102 ^{MT}	104	105
KKI Isar	3	99	97	[96] ⁹	[94] ⁹	92	93	93
KKG Grafenrheinfeld	3	104	105	[104] ⁹	[105] ⁹	102	105	103
KRB Gundremmingen II	3	65	64	[67] ⁹	[66] ⁹	65	78 ^{MT}	89
KGR Greifswald	20	84 ^j	83 ^j	83 ^j	83 ^j	81 ^j	[82] ^{9j}	84 ^j
VKTA Rossendorf	3	[115] ⁹	[112] ^{6k}	115 ^k	119 ^k	111 ^k	112 ^k	117 ^k
KKR Rheinsberg	4	84	90 ^z	85 ^z	99 ^z	98 ^z	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	127	125 ^{MT}	113	115	114	[113] ³	114

N Zahl der Messstationen

*Messungen eingestellt

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

MT Austausch des Messsystems

a Daten liegen nicht vor

j Anzahl der Messstationen auf 6 reduziert, gemäß überarbeitetem Umgebungsüberwachungsprogramm

k Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert, gemäß überarbeitetem Immissionsüberwachungsprogramm

z Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert (Bedingungen des Restbetriebes)

l leicht erhöhte ODL-Messwerte an einer Messstelle durch Bodenbearbeitung im Umfeld der Messstelle (Einbringung von Kalksteinschotter)

Tabelle 2.1.4-4 Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60
(Deposition of radioactivity related to Co-60)

Probenahmestelle	N	Aktivität in Bq/m ² oder in Bq/l							
		2009	2009	2010	2010	2011	2011	2012	2012
		(Bq/l)	(Bq/m ²)	(Bq/l)	(Bq/m ²)	(Bq/l)	(Bq/m ²)	(Bq/l)	(Bq/m ²)
BER Berlin	1		[<0,36] ⁹		<0,36		<0,39		<0,41
KKB Brunsbüttel	2		<0,8		<0,79		<0,84		<0,72
KBR Brokddorf	2		<1,5		<1,4		<1,5		<1,6
KKK Krümmel	4		<0,48		<0,51		<0,5		<0,46
GKSS Geesthacht	2		<1,4		<1,5		<1,4		<1,2
KKS Stade	2		<1,7		<2,0		-		-
KKU Unterweser	2		<0,52		<0,53		-		<0,44
KWG Grohnde	2		<1,6		<2,0		-		<1,6
KKE Emsland	2		<0,64		<0,66		-		<0,59
KWW Würgassen	2	< 0,006		< 0,005		< 0,003		< 0,0058	
FZ Jülich	1	< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	
THTR Hamm-Uentrop	*		*		*		*		*
KWB Biblis	2		<1,1		<1,3		<1,1		<1,0
KKP Philippsburg	4		<1,4		<1,4		<1,0		<1,1
KWO Obrigheim	2		<2,4		<2,7		<2,6		<2,3
GKN Neckarwestheim	2		<1,8		<2,2		<1,5		<2,1
FZ Karlsruhe	3		<2,7		<2,7		<2,7		<2,8
KKI Isar	3		[<2,9] ⁹		<3,0		<2,5		<2,6
KKG Grafenrheinfeld	2		[<0,59] ⁹		<0,62		<0,61		<0,62
KRB Gundremmingen II	2		[<2,3] ⁹		<2,1		<1,7		<2,1
KGR Greifswald	2		<1,8		<1,8		<16		<4,9
VKTA Rossendorf	2		<0,51		<0,69		*		<0,3
KKR Rheinsberg	2		<0,2		<0,2		<0,18		<0,18
KMK Mülheim-Kärlich	2		<0,92		<0,98		<0,51		<0,92

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

N Zahl der Messstationen

* Messungen eingestellt - keine Messwerte

1.1.5 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 2.1.5-7).

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft der Kernkraftwerke im Jahr 2012 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 2012 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 2012 mit $9,1 \cdot 10^{12}$ Bq kleiner als 2011 mit $1,9 \cdot 10^{13}$ Bq, die Summe der Jahresaktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden war mit $1,5 \cdot 10^7$ Bq kleiner als im Vorjahr mit $3,4 \cdot 10^7$ Bq. Die Gesamtaktivitätsableitung von I-131 lag 2012 mit $2,3 \cdot 10^7$ Bq unter dem Vorjahreswert von $3,9 \cdot 10^7$ 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 2012 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 2012 abgeleitete Gesamt-Alpha-Aktivität der Anlagen in Lingen und Gronau betrug $<4,7 \cdot 10^4$ Bq.

Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Endlager Morsleben ist in Tabelle 2.1.5-7 zusammengestellt. An der Schachtanlage Bartsleben und am Abwetterbauwerk Marie, welche Teile der Anlage „Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben“ (ERAM) und genehmigte Emittenten sind, werden jährlich etwa 2 Milliarden Kubikmeter Abwetter aus dem untertägigen Kontrollbereich über Stahlblech-Rohrleitungen (Abwetterlutton) nach Übertage gefördert und in die Umgebung abgegeben.

Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage 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 2012 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 2012 beträgt an den in Tabelle 2.1.5-1 aufgeführten Standorten etwa $3,5 \cdot 10^{12}$ Bq.

Tabelle 2.1.5-1 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2012
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2012)

Kernkraftwerk	Aktivitätsableitung in Bq				
	Radioaktive Edelgase	An Schwebstoffen gebundene Radionuklide ^{a)}	I-131	C-14 (als Kohlenstoffdioxid)	H-3
KKR Rheinsberg ^{b)}	-	5,7 E05	-	-	-
KRB Gundremmingen A ^{c)}	-	nn	-	1,5 E07	2,2 E08
KWL Lingen ^{c)}	-	nn	-	nn	6,0 E07
KWO Obrigheim ^{g)}	-	nn	-	5,9 E08	3,6 E09
KKS Stade ^{f)}	-	1,3 E04	-	nn	4,0 E09
KWW Würgassen ^{d)}	-	8,2 E06	-	3,5 E08	2,0 E09
KGR Greifswald ^{b)}	-	nn	-	-	-
KWB Biblis A ^{h)}	3,4 E10	nn	nn	1,4 E10	4,7 E11
KWB Biblis B ^{h)}	2,9 E10	nn	nn	9,7 E09	3,8 E11
GKN Neckarwestheim 1 ^{h)}	nn	2,5 E04	nn	4,0 E09	4,3 E10
KKB Brunsbüttel ^{h)}	nn	2,5 E06	nn	9,6 E08	2,6 E09
KKI Isar 1 ^{h)}	nn	nn	nn	1,3 E09	1,9 E10
KKU Unterweser ^{h)}	3,2 E12	4,0 E05	nn	1,3 E10	3,6 E11
KKP Philippsburg 1 ^{h)}	6,8 E10	9,0 E05	nn	6,0 E09	3,5 E09
KKG Grafenrheinfeld	8,0 E10	1,2 E06	nn	7,2 E10	1,5 E11
KKK Krümmel ^{h)}	nn	4,3 E05	nn	2,5 E09	nn
KRB Gundremmingen B, C	2,9 E12	5,5 E04	2,2 E07	9,8 E11	6,9 E11
KWG Grohnde	6,3 E10	1,1 E05	nn	7,1 E10	1,8 E11
THTR Hamm-Uentrop ^{e)}	-	2,2 E02	-	nn	5,6 E07
KKP Philippsburg 2	3,2 E11	1,5 E05	nn	5,0 E10	1,3 E12
KMK Mülheim-Kärlich ^{e)}	-	nn	-	3,3 E08	1,1 E09
KBR Brokdorf	1,8 E12	nn	6,9 E05	1,8 E11	2,8 E11
KKI Isar 2	2,9 E11	nn	nn	1,2 E11	2,1 E11
KKE Emsland	1,5 E11	1,9 E04	nn	1,7 E11	8,8 E11
GKN Neckarwestheim 2	1,4 E11	3,8 E03	nn	2,5 E11	1,7 E11

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

b) Betrieb beendet 1990

f) Betrieb beendet 2003

c) Betrieb beendet 1977

g) Betrieb beendet 2005

d) Betrieb beendet 1994

h) Betrieb beendet 2011

e) Betrieb beendet 1988

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Tabelle 2.1.5-2 Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2012
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2012)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Rheins-berg	Gundremmingen A / Lingen	Obrigheim	Würgas-sen	Stade	Greifswald	Biblis A	Biblis B
Ar-41	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-85m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-85	-	-	-	-	-	-	3,4 E10	2,9 E10
Kr-87	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-88	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Kr-89	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-131m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-133m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-133	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-135m	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-135	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-137	-	-	-	-	-	-	nn	nn
Xe-138	-	-	-	-	-	-	nn	nn

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

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philippsburg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Ar-41	7,4 E09	-	1,6 E11	-	1,4 E11	1,0 E11	1,5 E11	8,3 E10
Kr-85m	nn	-	1,4 E08	-	9,5 E09	3,4 E07	nn	nn
Kr-85	nn	-	1,1 E10	-	nn	1,8 E11	nn	3,6 E10
Kr-87	nn	-	6,0 E08	-	nn	6,8 E07	nn	1,5 E08
Kr-88	nn	-	1,2 E09	-	nn	1,4 E08	nn	5,1 E08
Kr-89	nn	-	5,8 E08	-	nn	1,1 E08	nn	nn
Xe-131m	nn	-	1,4 E11	-	nn	5,0 E09	nn	1,3 E10
Xe-133m	9,6 E08	-	1,3 E09	-	nn	3,6 E08	nn	2,1 E09
Xe-133	3,4 E10	-	1,4 E09	-	1,6 E12	nn	nn	4,3 E08
Xe-135m	nn	-	5,1 E07	-	nn	2,1 E07	nn	3,0 E07
Xe-135	2,0 E10	-	9,0 E08	-	3,7 E10	2,1 E08	nn	2,2 E08
Xe-137	nn	-	1,5 E08	-	nn	3,9 E07	nn	4,1 E08
Xe-138	nn	-	7,0 E08	-	nn	1,3 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 2012 (I-131: Tabelle 2.1.5-1)
(Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2012 - I-131: Table 2.1.5-1)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	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
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	7,5 E04	nn	nn	nn	2,9 E06	8,0 E03	nn	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	nn	nn	nn	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	2,2 E05	nn	nn	nn	5,1 E06	5,0 E03	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	2,0 E05	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	1,3 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239 +240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq								
	Biblis B	Neckar-westheim 1	Brunsbüt-tel	Isar 1	Unter-weser	Philipps-burg 1	Grafen-rheinfeld	Krüm-mel	Gundrem-mingen B, C
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	1,2 E04	nn	nn	4,3 E04	2,0 E04	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	nn	2,5 E04	1,5 E06	nn	4,0 E05	4,8 E05	1,1 E06	4,3 E05	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	3,0 E05	2,8 E04	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	5,5 E04
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	1,0 E04	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	8,7 E03	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	4,5 E03	nn	nn	nn
Cs-137	nn	nn	9,4 E05	nn	nn	5,3 E04	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	1,7 E04	nn	nn	nn
Eu-152	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239+240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-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
Co-57	nn	nn	8,3 E03	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	6,4 E03	nn	nn	nn	nn	6,0 E03
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	1,1 E05	nn	9,2 E04	nn	nn	nn	1,9 E04	2,5 E04
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	2,2 E02	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	7,0 E03
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	2,9 E04	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	nn	nn	9,1 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

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 2002 bis 2012 (*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 2002 to 2012*)

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostrom-erzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	
2002	1,8 E13	3,3 E08	5,7 E07	18 816
2003	1,4 E13	1,4 E08	6,2 E07	18 847*
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*

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostrom- erzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radio- nuklide	
2008	1,6 E13	5,7 E07	1,1 E08	21 497*
2009	1,3 E13	6,6 E07	6,8 E07	21 507*
2010	2,3 E13	8,7 E07	4,6 E07	16 045*
2011	1,9 E13	3,9 E07	3,3 E07	12 325*
2012	9,1 E12	2,3 E07	1,5 E07	11 354*

* 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 2012
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2012)

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 Technolo- gie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	2,0 E11	4,3 E06 ^{b)}	1,4 E05	2,3 E06	1,2 E10	6,4 E11
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	2,4 E09	2,8 E06	nn	-	3,8 E11	4,3 E12
Forschungszentrum Dresden- Rossendorf (FZD)	1,6 E10	1,8 E05	1,2 E06	nn	9,4 E08	2,7 E10
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszent- rum Geesthacht)	nn	2,8 E03	nn	-	1,1 E08	2,1 E10
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	2,8 E11	7,0 E03	4,5 E05	-	2,2 E09	2,2 E10
Garching, FRM I	-	nn	nn	-	nn	7,9 E08
Garching, FRM II	3,7 E11	nn	2,8 E04	-	1,9 E10	4,4 E11
Forschungsreaktor Mainz	1,4 E11	nn	nn	-	-	2,9 E06

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

b) davon Alphastrahler: 2,1 E04 Bq

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

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	
	2012	2011
ANF GmbH (Lingen)	<1,5 E04	<1,5 E04
URENCO D (Gronau)	3,2 E04	7,9 E04

<Messwert kleiner Erkennungsgrenze; der angegebene Wert entspricht der Erkennungsgrenze

Tabelle 2.1.5-7 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachthanlage Asse II und dem Endlager Morsleben
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine II and the radioactive waste repository Morsleben)

Radionuklid	Aktivitätsableitung in Bq	
	2012	2011
Morsleben		
H-3	1,4 E10	8,4 E09
C-14	1,5 E09	7,1 E08
Rn-222 ^{a)}	4,0 E10	3,3 E09
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	5,3 E06	1,7 E06
Schachthanlage Asse II		
H-3	3,5 E10	4,2 E10
C-14	1,8 E09	1,3 E09
Rn-222 (Gas)	1,3 E11	1,1 E11
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	2,3 E06	2,3 E06 ^{b)}

a) gleichgewichtsäquivalente Radon-222-Aktivitätskonzentration

b) 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.

Meerwasser in der Nordsee

Die Probenahme zur Überwachung der Nordsee erfolgte 2012 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 der Abbildung 2.2.1-3 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 Bq/m³).

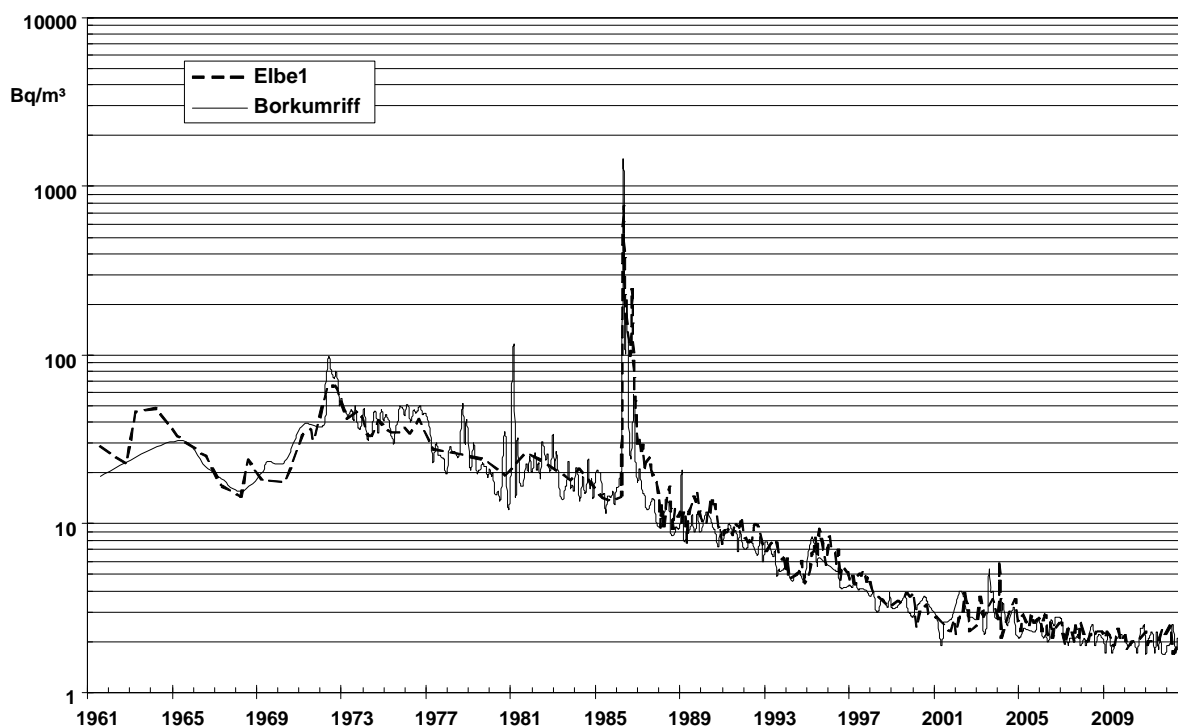


Abbildung 2.2.1-1 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) at two positions in the German Bight since 1961)

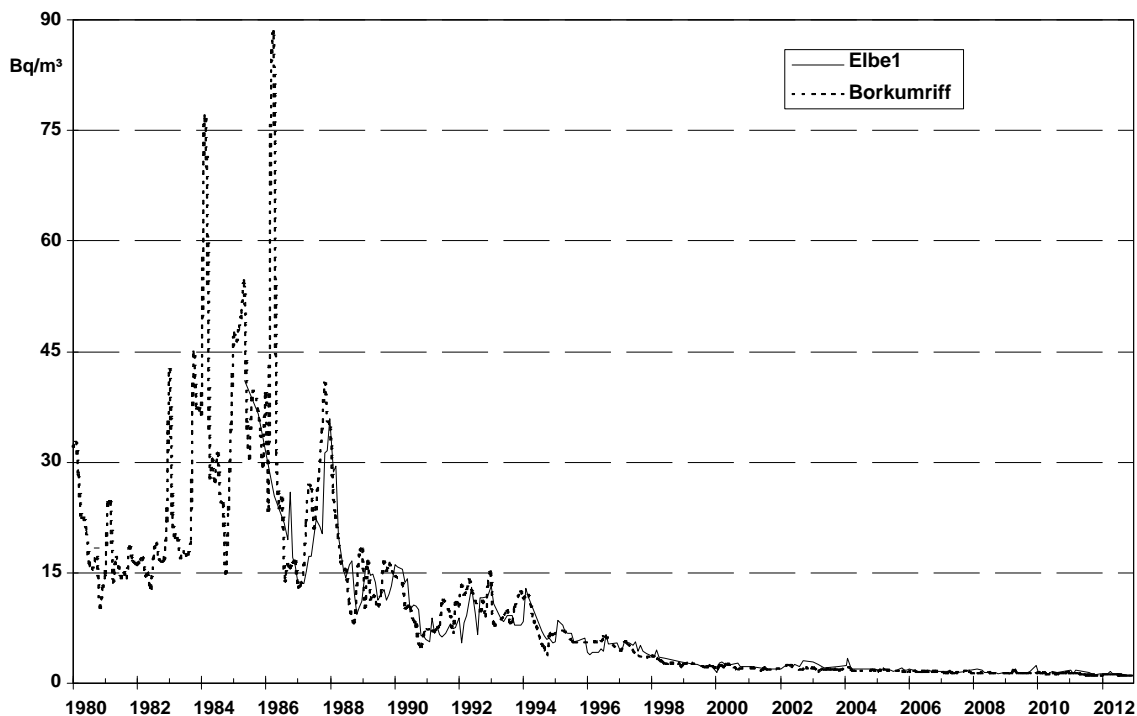


Abbildung 2.2.1-2 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980

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

In Abbildung 2.2.1-3 wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 an der Wasseroberfläche der Nordsee vom Englischen Kanal bis nördlich der Shetlandinseln im Jahr 2012 dargestellt.

Insgesamt befinden sich die Konzentrationen dieses Radionuklids für die gesamte Nordsee auf dem niedrigsten Niveau im gesamten Beobachtungszeitraum, das heißt seit Anfang der 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts. Die höchsten Aktivitätskonzentrationen an Cs-137 werden seit Jahren im Skagerrak und dem darauf folgenden norwegischen Küstenstrom nachgewiesen, mit bis zu $8,1 \text{ Bq/m}^3$ im Jahr 2012. Ursache ist der Ausstrom relativ hoch kontaminierten Ostseewassers durch das Kattegat (siehe Kapitel Meerwasser in der Ostsee). In der westlichen und südlichen Nordsee finden sich Aktivitätskonzentrationen um 3 Bq/m^3 , die gegenüber den Messwerten im Atlantik nördlich von Schottland (ca. $1,5 \text{ Bq/m}^3$) leicht erhöht sind. Ebenfalls geringfügig erhöht sind die Aktivitätskonzentrationen im Gebiet nordwestlich von Schottland mit Werten um 4 Bq/m^3 . Ursache sind in beiden Fällen 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 2.2.1-4 wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 im Oberflächenwasser der Nordsee bis $62^\circ 30'$ nördlicher Breite 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 2.2.1-5 ist die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Tritium (H-3) im Oberflächenwasser der Nordsee im August 2011 dargestellt. Während an der englischen Ostküste und in der zentralen Nordsee nur eine geringfügige Erhöhung der Konzentration gegenüber den Hintergrundwerten im Atlantik festzustellen ist, lässt sich an der kontinentalen Festlandsküste der Einfluss der Einleitungen der WAA La Hague deutlich sehen. Hier treten Werte bis zu $3,8 \text{ Bq/l}$ auf. Obwohl Tritium als radiologisch unbedenklich angesehen wird, strebt die grundsätzliche Strategie für radioaktive Substanzen im Geltungsbereich der OSPAR-Kommission eine Verminderung auch dieser legalen Einleitungen an. Im Falle des Tritiums lässt sich im Jahr 2011 keine eindeutige Tendenz zur Abnahme der Aktivitätskonzentration erkennen.

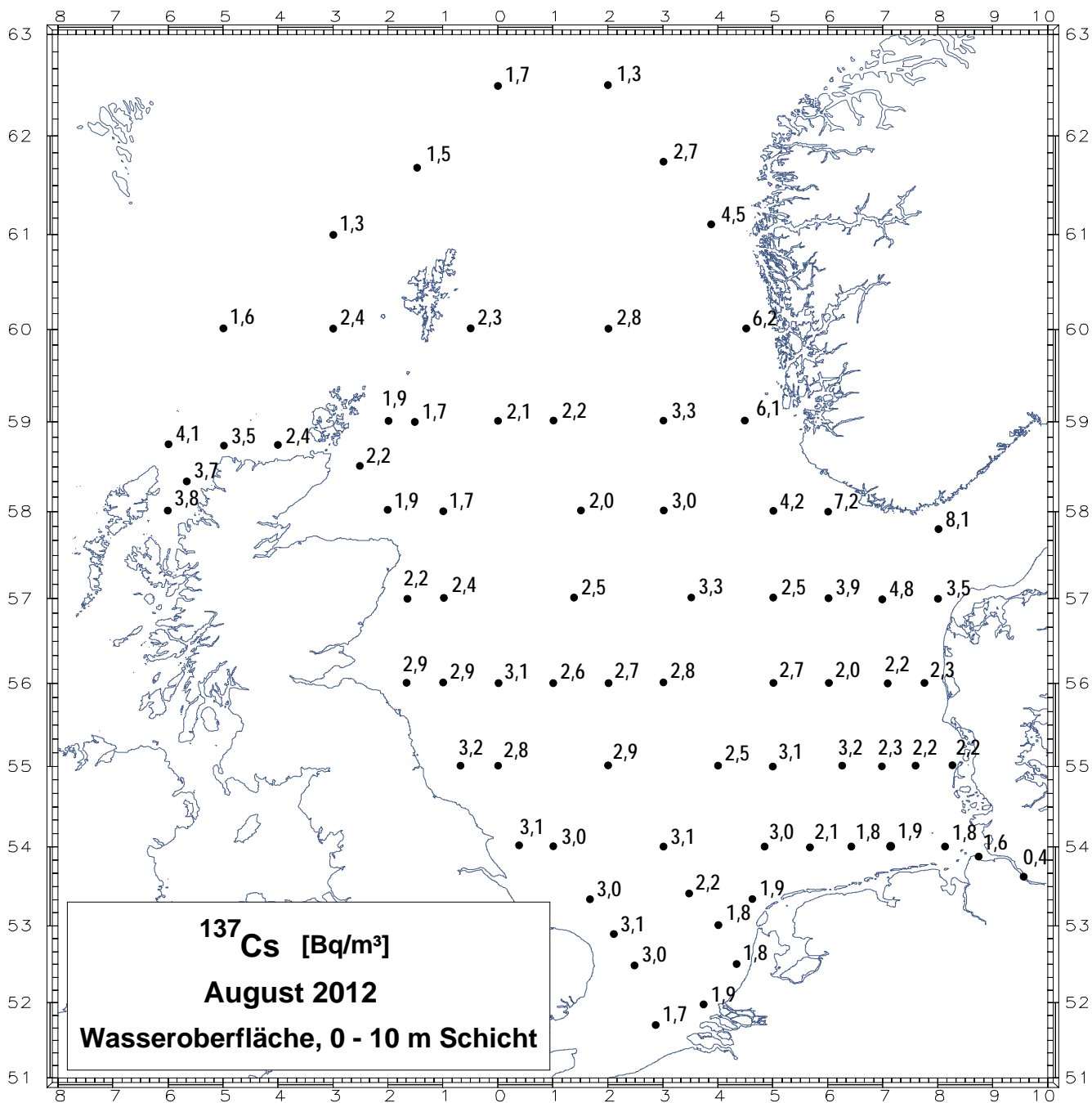


Abbildung 2.2.1-3 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2012
(Distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2012)

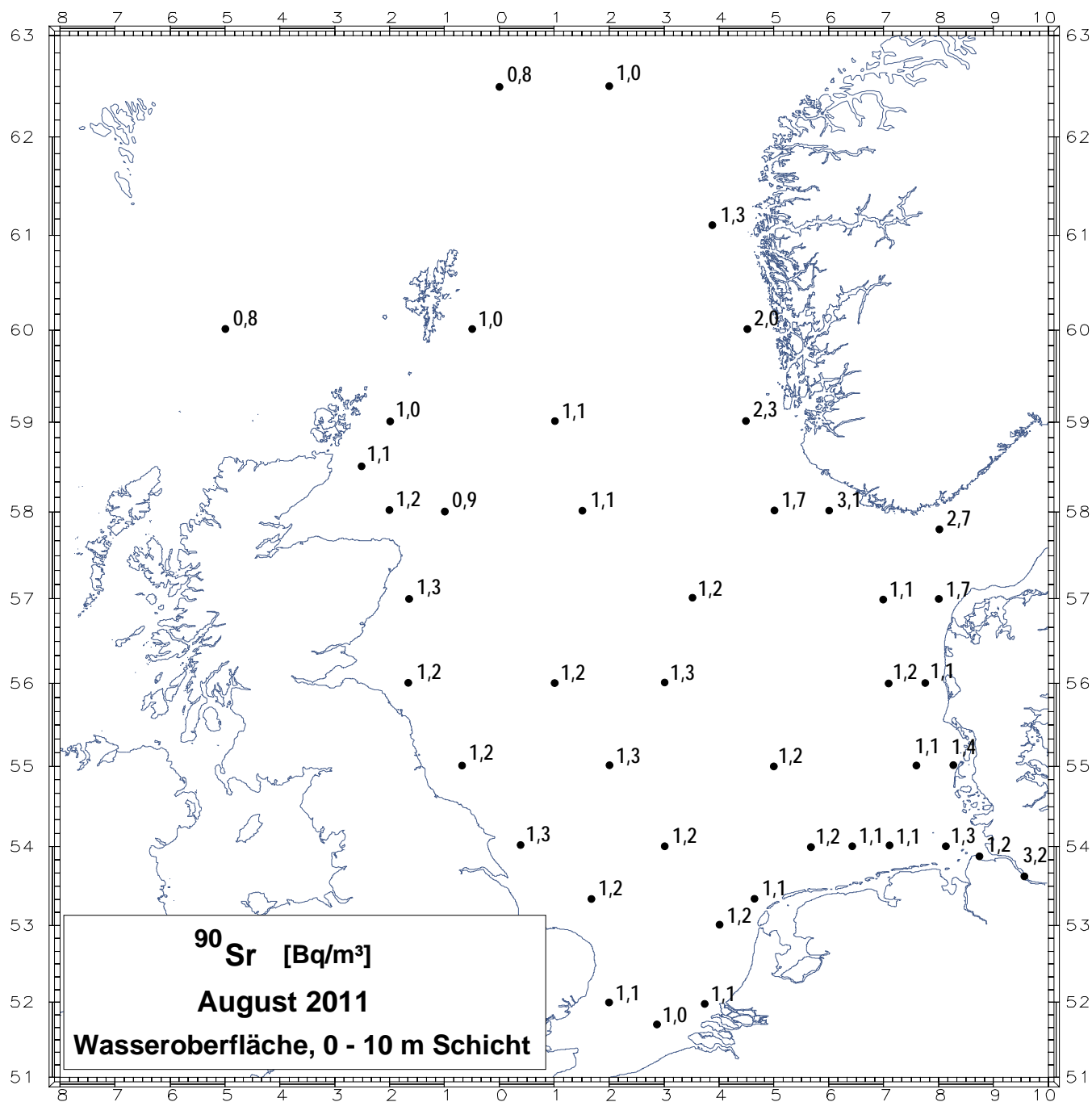


Abbildung 2.2.1-4 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2011
(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2011)

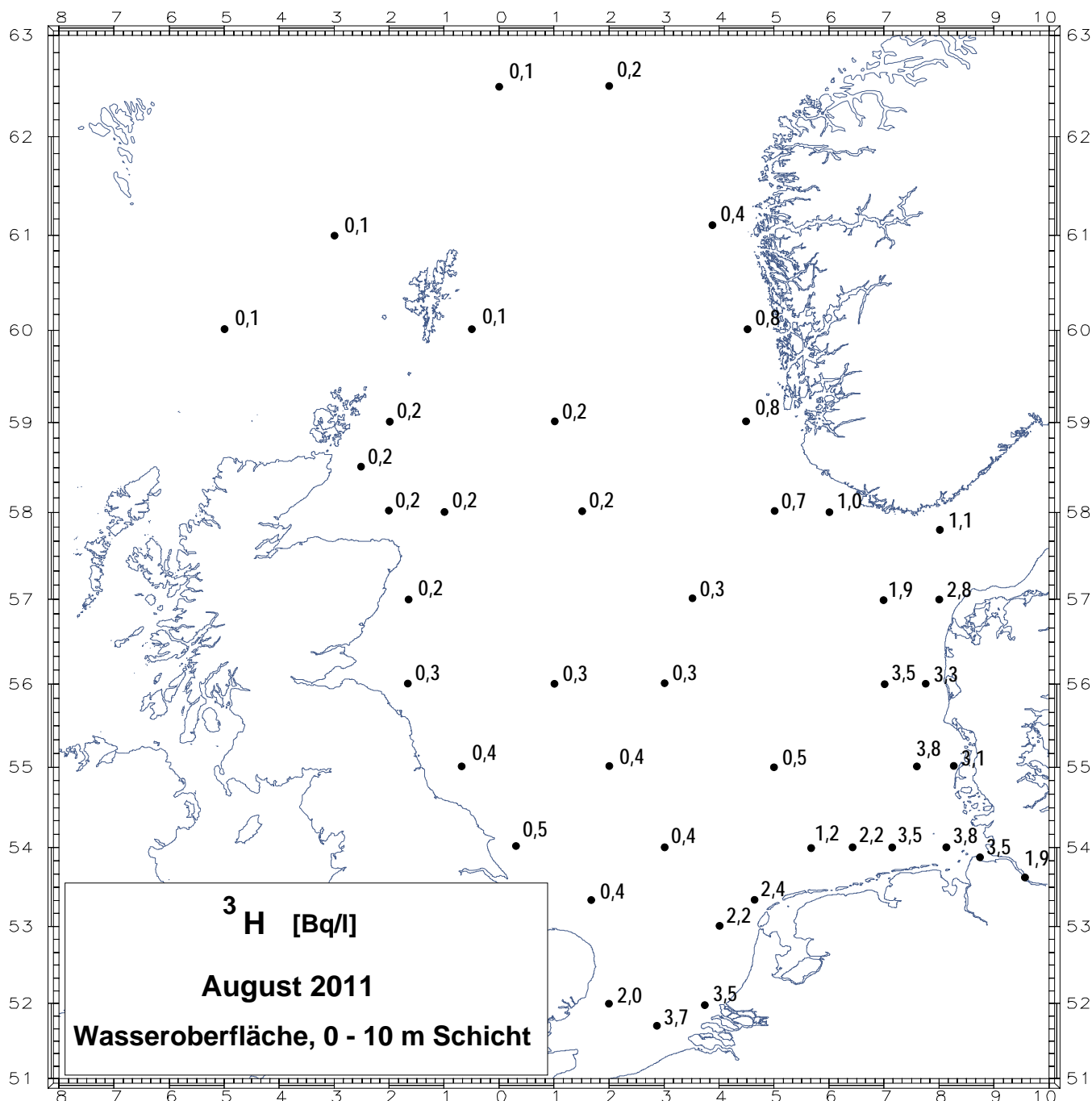


Abbildung 2.2.1-5 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (Bq/l) im Wasser der Nordsee im August 2011
(Distribution of the activity concentration of H-3 (Bq/l) in seawater of the North Sea in August 2011)

In Abbildung 2.2.1-6 ist die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Pu-(239+240) im Oberflächenwasser der Nordsee im August 2011 dargestellt. Im Gegensatz zur Verteilung des Tritiums kann man hier erkennen, dass die höchsten Konzentrationen im Wesentlichen an der englischen Ostküste auftreten. Dieses Verteilungsmuster ist charakteristisch für eine Quelle in der Irischen See, seien es direkte Einleitungen der Anlage Sellafield oder Resuspension aus dem Sediment der Irischen See. Da die im Rahmen des OSPAR-Übereinkommens publizierten Einleitungen an Pu-(239+240) sehr gering sind, bleibt als Quelle für die leicht erhöhten Konzentrationen nur das Sediment. Die in Abbildung 2.2.1-7 gezeigten Aktivitätsverhältnisse Pu-238/Pu(239+240) von 0,15 bis 0,20 an der englischen Ostküste und der zentralen Nordsee sind über viele Jahre charakteristisch für die Quelle Irische See.

Zum Redaktionsschluss waren die Analysen aus dem Jahr 2012 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 feststellen.

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

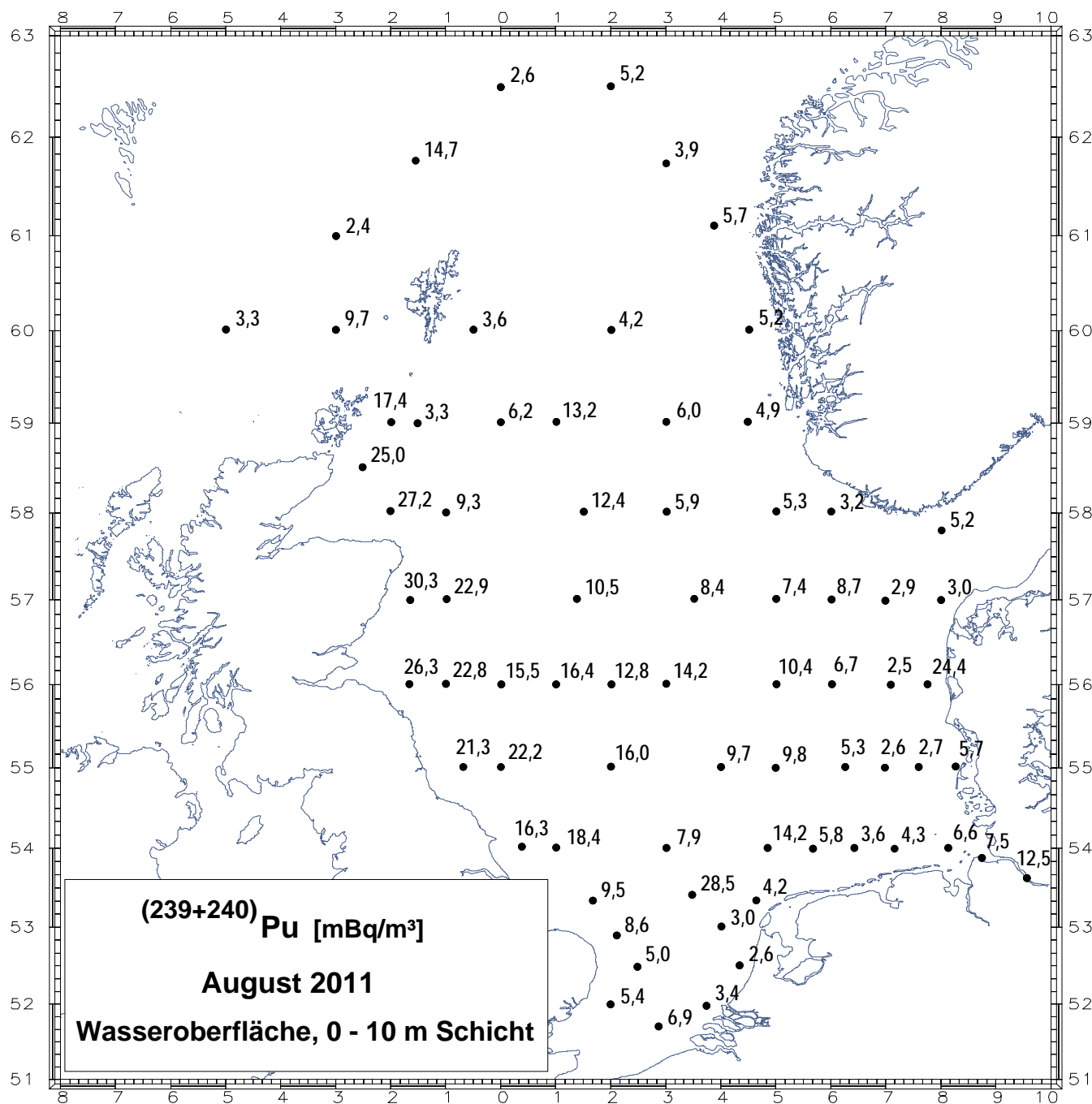


Abbildung 2.2.1-6 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Pu-(239+240) (mBq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2011

(Distribution of the activity concentration of Pu-(239-240) (mBq/m³) in seawater of the North Sea in August 2011)

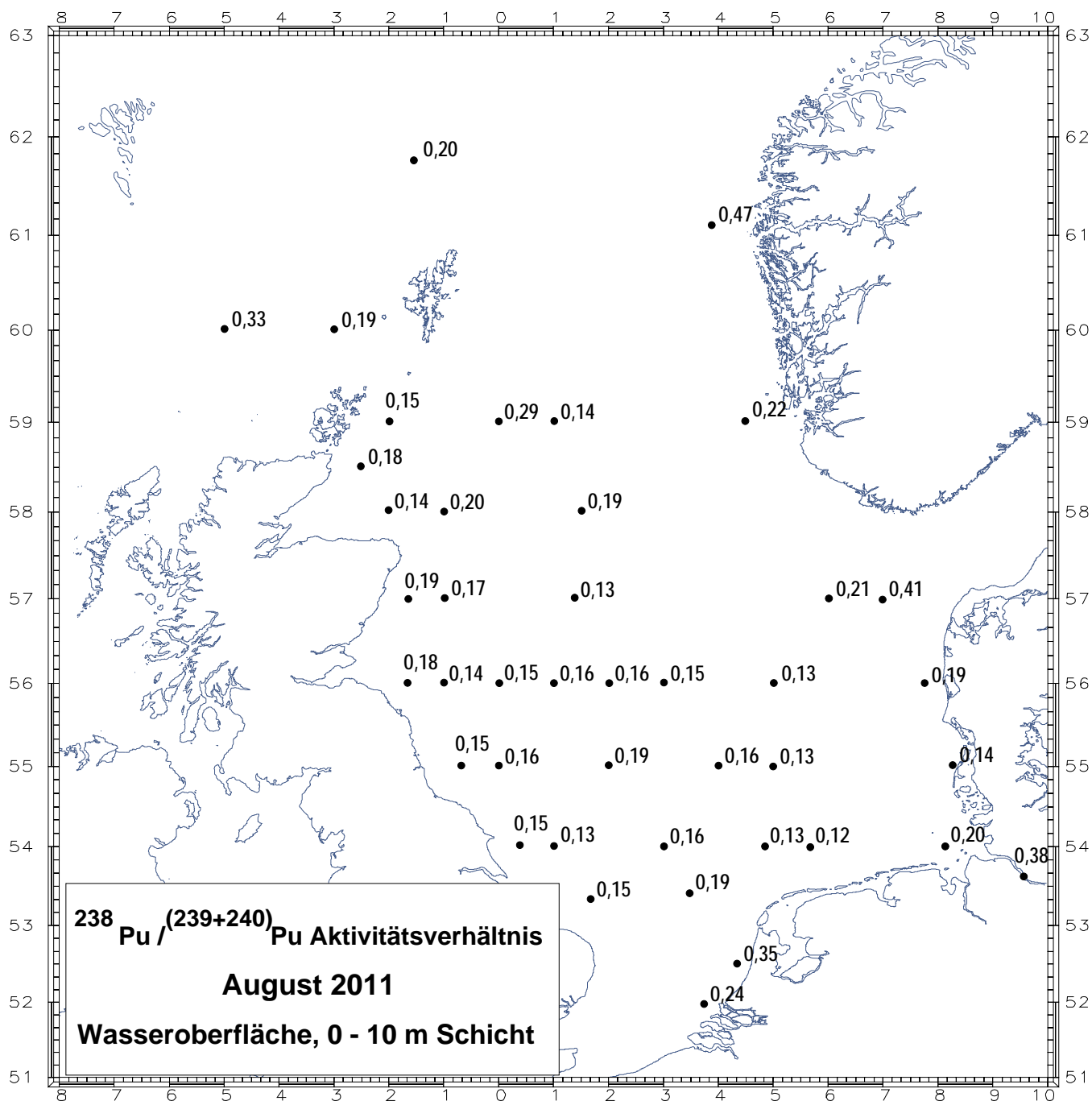


Abbildung 2.2.1-7 Die Verteilung des Aktivitätsverhältnisses von Pu-238/Pu-(239+240) im Wasser der Nordsee im August 2011

(Distribution of the activity ratio of Pu-238/Pu-(239+240) in seawater of the North Sea in August 2011)

Meerwasser der Ostsee

Die Ostsee erfuhr nach dem Unfall von Tschernobyl einen hohen Eintrag von Fallout, im Wesentlichen die Radionuklide Cs-137 und Cs-134 im Aktivitätsverhältnis 2:1. Der Schwerpunkt des Eintrages lag in der südlichen Bottnensee, 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. Das ebenfalls eingetragene Cs-134 ist auf Grund der relativ kurzen Halbwertszeit von 2,07 Jahren mittlerweile in der Ostsee nicht mehr nachweisbar. Die Ostsee ist das größte Brackwassermeer der Welt. Insgesamt besteht ein Süßwasserüberschuss, der mit dem salzarmen Oberflächenwasser über die Beltsee in die Nordsee transportiert wird. In der Tiefenschicht findet der Einstrom salzreichen Nordsee-

wassers statt. Dieses Wechselspiel spiegelt sich auch in den Konzentrationen des Radionuklids Cs-137 wider. Im Oberflächenwasser befinden sich die höheren Konzentrationen aus dem Tschernobylfallout, im Tiefenwasser finden sich durchweg niedrigere Konzentrationen bei höherem Salzgehalt.

Abbildung 2.2.1-8 stellt den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser an der Position Schleimündung in der westlichen Ostsee dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und von Cs-137 seit dem 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 zwischen etwa 21 Bq/m³ im westlichen und 31 Bq/m³ im östlichen Teil des im Juni 2012 überwachten Gebietes (Abbildung 2.2.1-9). Gegenüber dem Vorjahr ist eine leichte Abnahme festzustellen. 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 auf.

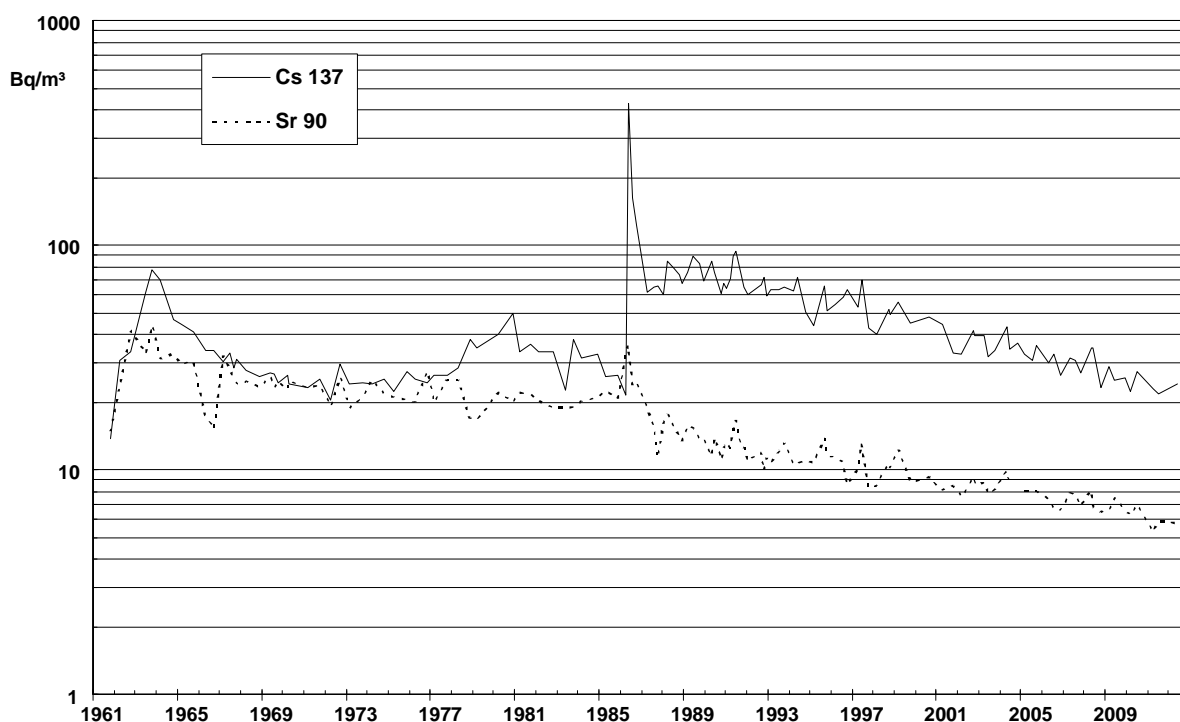


Abbildung 2.2.1-8 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m³) an der Position „Schleimündung“ (54°40'N, 010°05'O) seit 1961

(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m³) at the position „Schleimündung“ (54°40'N, 010°05'E) since 1961)

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, wurden in Abbildung 2.2.1-10 dargestellt. Neben dem generellen Trend zu geringeren Konzentrationen kann man sowohl die Differenzen zwischen Oberflächen- und Bodenwasser als auch 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 2012 im Bodenwasser des Fehmarnbelts eine Cs-137-Aktivitätskonzentration von unter 15 Bq/m³ gemessen wurde. Diese Konzentrationsgrenze entspricht der historischen Konzentration vor Tschernobyl und wurde von HELCOM dementsprechend als ökologisches Qualitätsziel für die Ostsee festgelegt. Diese Konzentration wird bislang in kaum einem Seegebiet der Ostsee erreicht.

Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak (siehe Abschnitt „Meerwasser in der Nordsee“). 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.

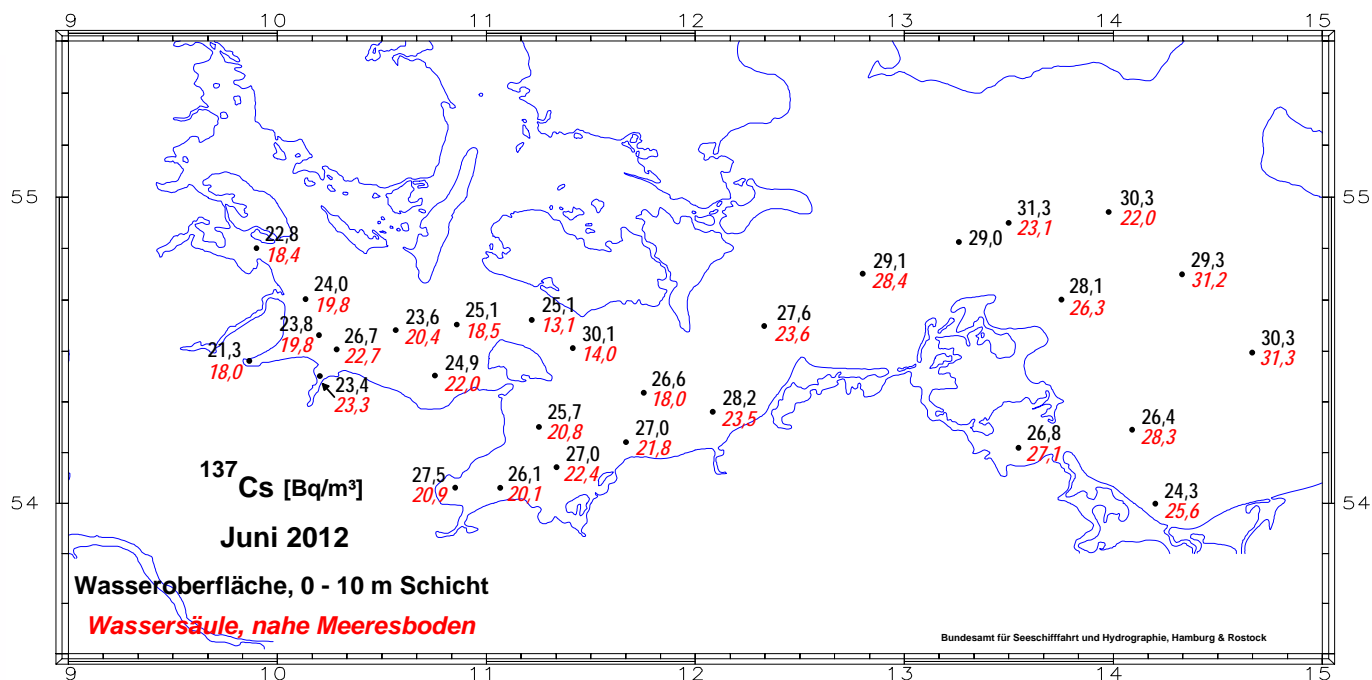


Abbildung 2.2.1-9 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2012

(Spatial distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in surface and bottom sea water of the western Baltic Sea in June 2012)

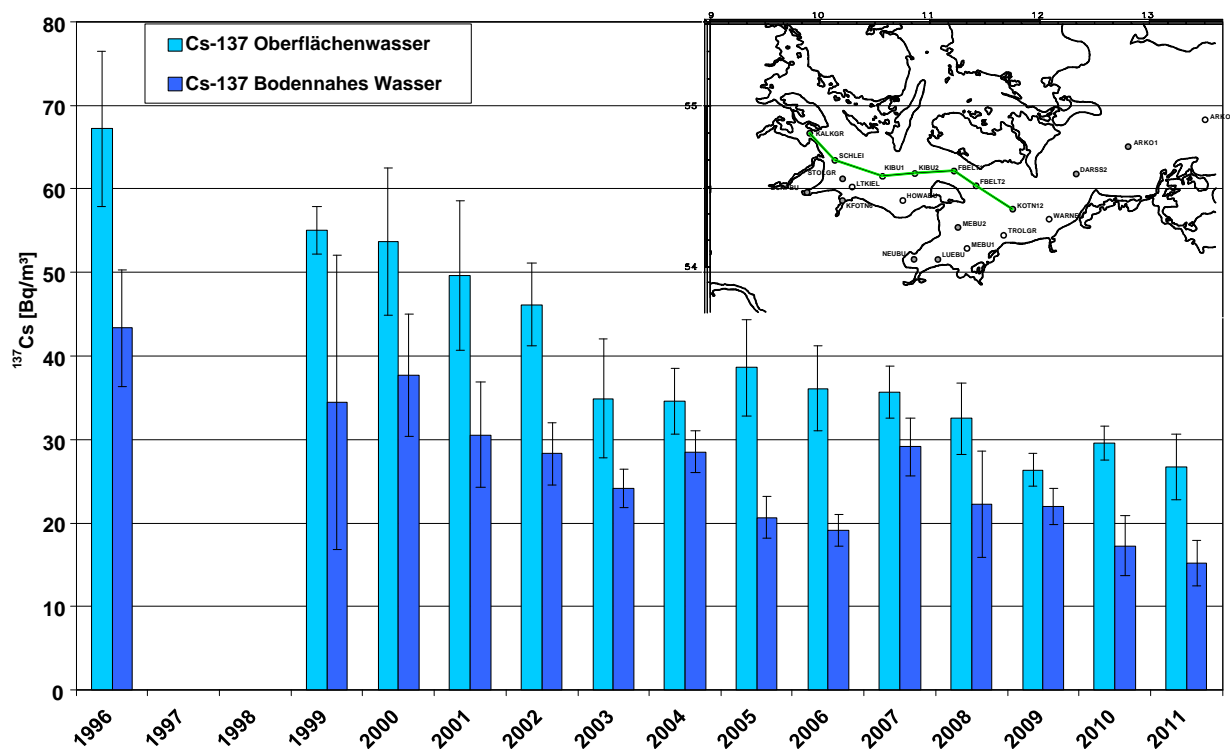


Abbildung 2.2.1-10 Zeitreihe der Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentrationen an 7 Indikatorstationen in der westlichen Ostsee

(Timeseries of mean values of Cs-137-activity concentrations from 7 indicator stations in the western Baltic Sea)

Die räumliche Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) im Oberflächenwasser auf einigen ausgewählten Stationen im Untersuchungsgebiet im Juni 2012 ist in Abbildung 2.2.1-11 dargestellt. Ergänzend wurde an vier Stationen auch die Aktivitätskonzentration im bodennahen Wasser festgestellt, die erwartungsgemäß etwas geringer war. Auch hier ist dieser Effekt auf den Einstrom von geringer kontaminiertem Nordseewasser zurückzuführen. Die Verteilung von Sr-90 ist sehr homogen, weil sie vom globalen Kernwaffenfallout und nicht vom Tschernobyl-Unfall bestimmt wird. Gleiches gilt für die in Abbildung 2.2.1-12 dargestellte Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m^3) im Jahr 2012. Die im Verhältnis zur südlichen Nordsee geringen H-3-Messwerte zeigen, dass in der Ostsee H-3 nur in sehr geringem Maße von kerntechnischen Anlagen eingeleitet wird. Die H-3-Konzentrationen in der westlichen Ostsee haben sich im Verlauf der letzten 15 Jahre mehr als halbiert.

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.

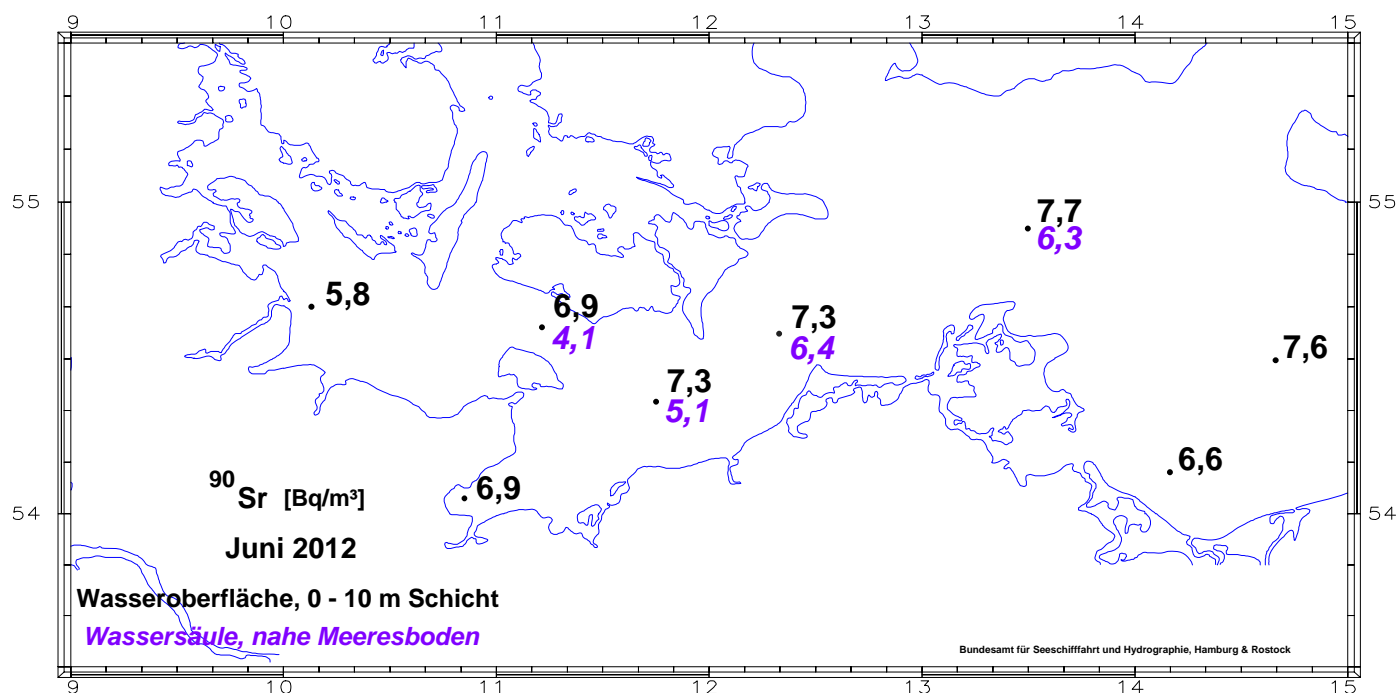


Abbildung 2.2.1-11 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2012

(Spatial distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m^3) in surface sea water of the western Baltic Sea in June 2012)

Schwebstoffe

In Abbildung 2.2.1-13 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. 10 m^3 Meerwasser gewonnen. Die 2012 gefundenen Aktivitäten im Bereich von 10 - 41 Bq/kg TM sind im langjährig gefundenen Schwankungsbereich der Cs-137-Konzentrationen im Schwebstoff, der sich bis ca. 50 Bq/kg TM erstreckt. Ausnahme ist die Station im Greifswalder Bodden, an der 116 Bq/kg TM gemessen wurden. Da die Probenahme der Schwebstoffe aus technischen und logistischen Gründen auf einem nicht regelmässigen Stationsnetz durchgeführt wird, liegen für den Greifswalder Bodden bisher keine Vergleichswerte vor. Es kann daher zurzeit nicht entschieden werden, ob dieser Messwert aussergewöhnlich ist oder nur auf den besonderen Verhältnissen des Greifswalder Boddens beruht.

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 2.2.1-14 sind die Profile der spezifischen Cs-137-Aktivität in Bq/kg TM einiger ausgewählter Sedimentstationen der westlichen Ostsee bis in 24 cm Tiefe im Jahr 2011 dargestellt. 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.

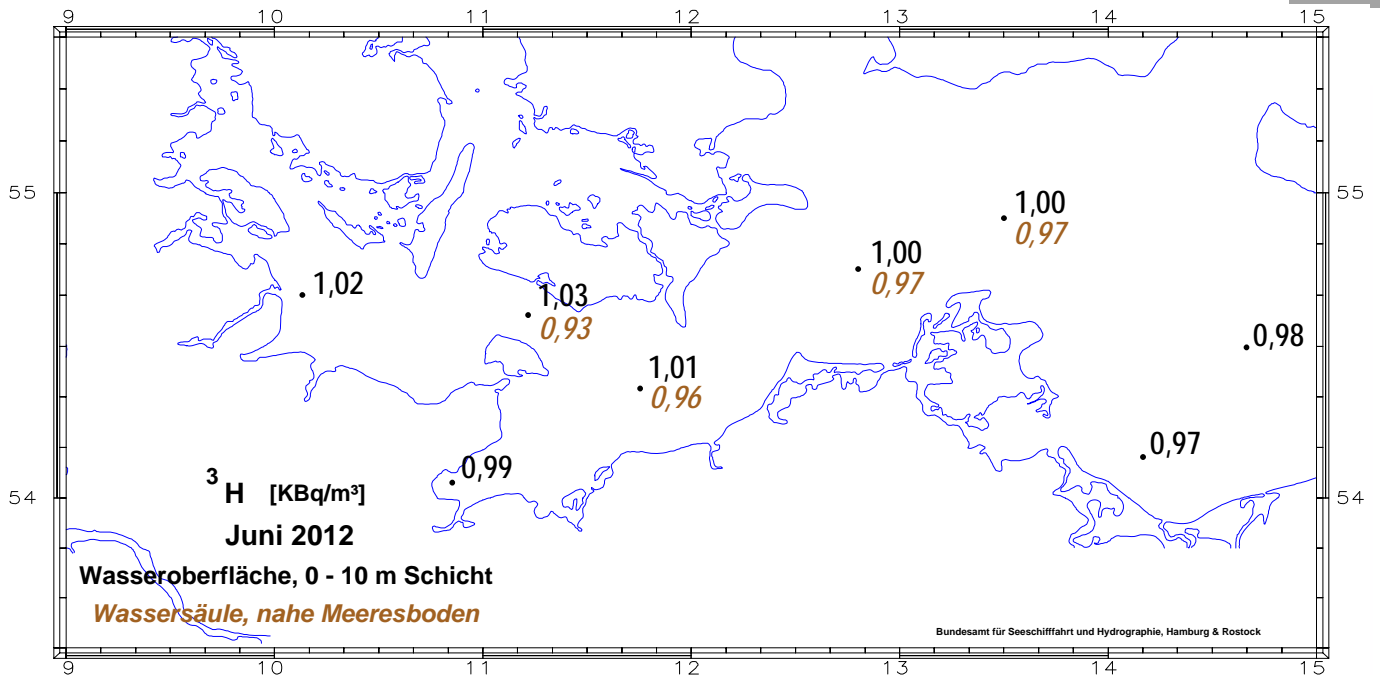


Abbildung 2.2.1-12 Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2012
(Spatial distribution of the activity concentration of H-3 (kBq/m³) in surface and sub-surface sea water of the western Baltic Sea in June 2012)

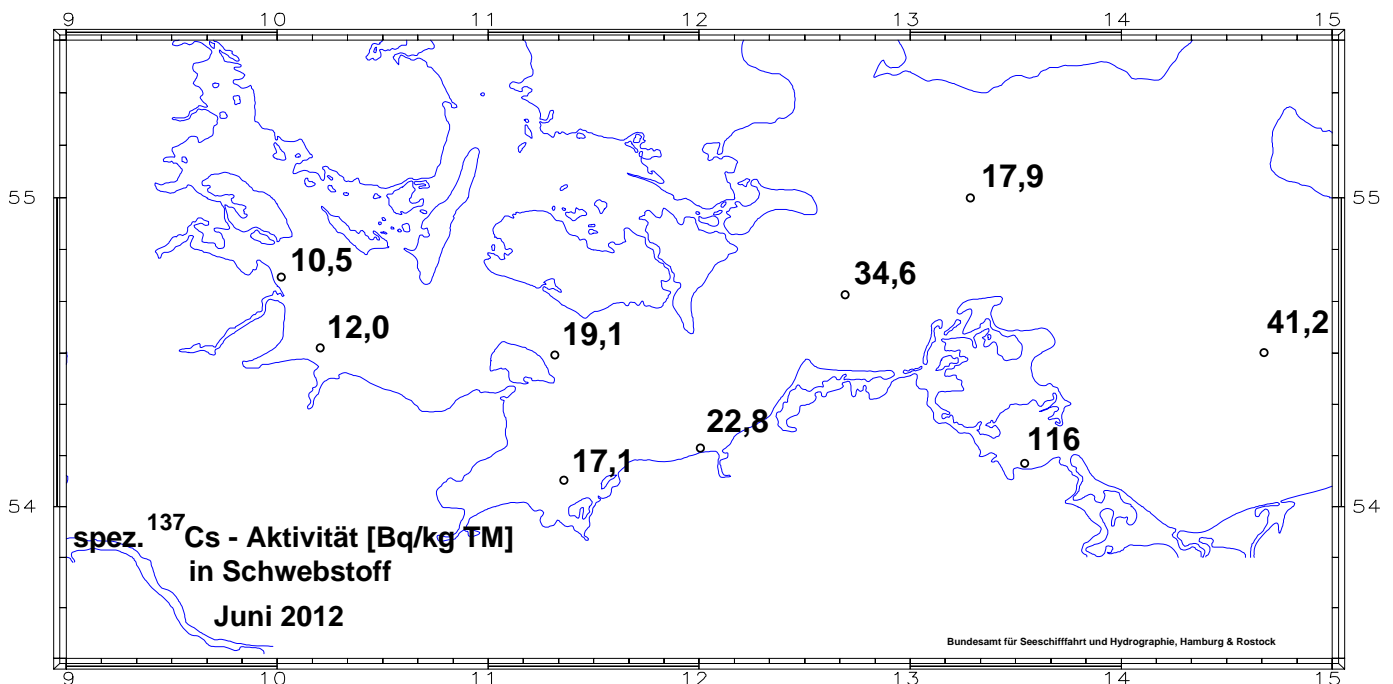


Abbildung 2.2.1-13 Verteilung der spezifischen Aktivität von Cs-137 (Bq/kg TM) in Schwebstoffproben aus der westlichen Ostsee im Juni 2012
(Spatial distribution of the specific activity of Cs-137 (Bq/kg d.w.) in suspended matter from the western Baltic Sea in June 2012)

Im Gegensatz zu der Situation in der Ostsee ist die Belastung der Sedimente in der Nordsee überwiegend nicht vom Tschernobyl-Fallout, sondern von den Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen und dem Kernwaffen-Fallout bestimmt. In Abbildung 2.2.1-15 sind die Cs-137-Profile zweier Sedimentkerne von einer Station auf der Position 57°45' N 008°00' E (Skagerrak) aus den Jahren 2001 und 2012 dargestellt. Zunächst fällt auf, dass die Höchstwerte der spezifischen Aktivität von 24 Bq/kg TM bzw. 19 Bq/kg TM im Skagerrak nur ca. ein Fünftel der Höchstwerte der Sedimente aus der

Ostsee erreichen. Der Peak des jeweiligen Cs-137-Profiles findet sich nach 11 Jahren ungefähr 10 cm tiefer im Sediment, was auf eine relativ hohe Sedimentationsrate schliessen lässt. Auf Grund der Analysen von Transuranelementen im Sedimentkern wird der Cs-137-Peak dem Kernwaffen-Fallout zugeordnet.

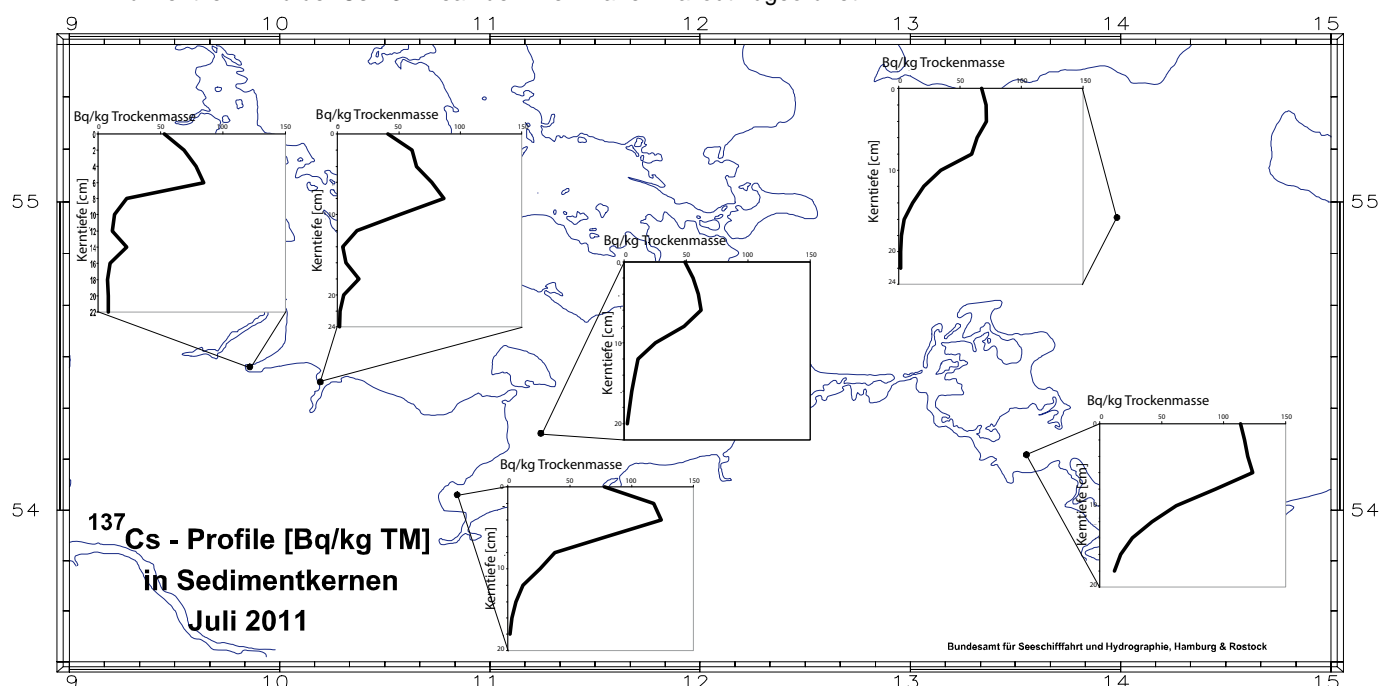


Abbildung 2.2.1-14 Cs-137 Profile (Bq/kg TM) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juli 2011
(Cs-137 profiles (Bq/kg d.w.) in sediment cores of the western Baltic Sea in July 2011)

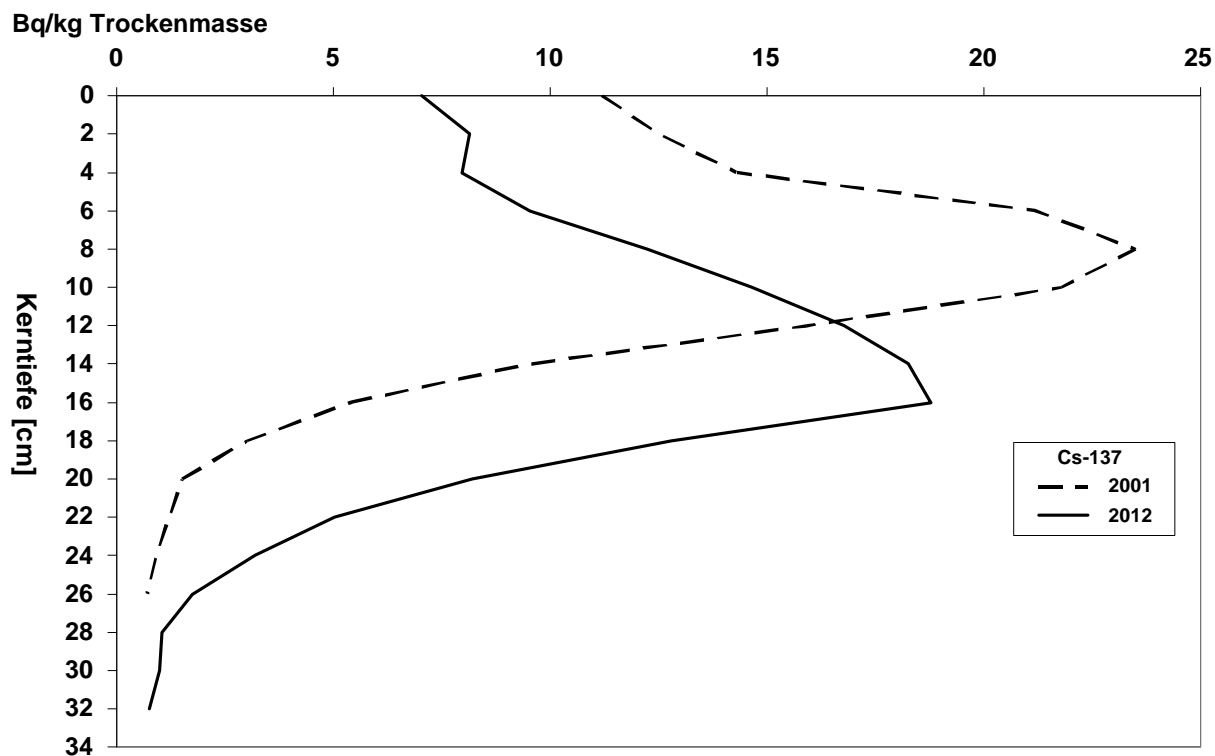


Abbildung 2.2.1-15 Vergleich der Cs-137 Profile (Bq/kg TM) in Sedimentkernen aus dem Skagerrak aus den Jahren 2001 und 2012
(Comparison of Cs-137 profiles (Bq/kg d.w.) in sediment cores from the Skagerrak from 2001 and 2012)

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 2012 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 160 Gewässern - davon 79 Flüsse und 81 Seen bzw. Talsperren - mit insgesamt ca. 20 900 Einzelwerten durchgeführt. Zur Auswertung wurden für repräsentative Entnahmestellen Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischen Aktivitäten berechnet und - zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten - den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt. Weiterhin sind die Anzahl der Werte (N) und die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) aufgelistet. Bei gemischten Datenreihen sind die Jahresmittelwerte stets derart berechnet worden, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit „<“ gekennzeichnet, so wurden auch die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Damit stellen diese Mittelwerte obere Grenzen dar, die die tatsächlichen mittleren Aktivitätsgehalte eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Auftragung „nn“ angegeben. Tabelle 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 2012 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, betrugen die Jahresmittelwerte bis höchstens 35 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit ebenfalls unter den Nachweisgrenzvorgaben 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 0,08 Bq/l. Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für U-234, U-235 und U-238 durchweg Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen: für U-238 schwankten die Werte beispielsweise regional bis 0,1 Bq/l.

In **Schwebstoffproben** betrugen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 vorwiegend unter 50 Bq/kg TM. Höhere Werte für Cs-137 wurden wiederum von einzelnen Seen berichtet: der maximale Jahresmittelwert lag bei 227 Bq/kg TM (Steinhuder Meer, Niedersachsen). Co-58 und Co-60 konnten in der Mosel nachgewiesen werden, wobei die Werte aber unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM lagen. Für I-131 wurden Einzelwerte bis 130 Bq/kg TM gemessen.

In **Sedimentproben** betrugen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 meist unter 50 Bq/kg TM. In einzelnen Seen traten auch hier noch höhere mittlere Gehalte an Cs-137 auf: Der maximale Jahresmittelwert ergab sich zu 204 Bq/kg TM (Wittensee, Schleswig-Holstein). Co-60 - in Mosel und Neckar gemessen - lag jeweils deutlich unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

Aus radiologischer Sicht ist der Gütezustand der Binnengewässer 2012 mit dem der letzten Vorjahre vergleichbar. Relevante Auswirkungen des Reaktorunfalls von Fukushima waren nicht zu verzeichnen. Die Schwankungen der mittleren spezifischen Aktivitäten bzw. Aktivitätskonzentrationen der langlebigen künstlichen Radionuklide können - vom radioaktiven Zerfall abgesehen - mit den in Gewässern ablaufenden dynamischen Austausch- und Transportprozessen erklärt werden. Diese können zu sehr inhomogenen und instationären Verteilungen der Radionuklide innerhalb der Gewässer führen. In Sedimenten variieren die Radionuklidgehalte - wie bei anderen Schadstoffen auch - mit der Korngrößenverteilung (siehe auch 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; Konsum 350 l/a) auf dem „Trinkwasser“-Pfad zu ca. 0,21 µSv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (<= 1 a; Konsum 170 l/a) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,54 µSv/a. Allein der von dem natürlichen Radionuklid K-40 für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 0,87 µSv/a bzw. 4,2 µSv/a deutlich darüber.

Insbesondere Cs-137 war auch 2012 in Sedimenten noch deutlich nachweisbar. Würde Sediment mit einem Cs-137-Gehalt von 100 Bq/kg TM bei Ausbaumaßnahmen für die Schifffahrt gebaggert und an Land gelagert, so kann die auf dem Expositionspfad „Aufenthalt auf Spülfeldern“ für Standardbedingungen für Erwachsene (> 17 a) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu ca. 11 µSv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag der natürlichen Radionuklide K-40, Th-nat und U-nat bei typischen Gehalten von 500, 40 und 40 Bq/kg TM für diesen Expositionspfad mit insgesamt ca. 28 µSv/a wesentlich höher.

Tabelle 2.2.2-1 Übersicht über die für 2012 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 2012, in accordance with the StrVG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times)

Kompartiment	Anzahl der Messungen	Maximalwert	Gewässer	Entnahmeort bzw. KT-Anlage	Datum / Zeitraum	Überwachungsprogramm
Nuklid						
Oberflächenwasser (Bq/l)						
Gα*	222	0,29	Ems	Terborg, km 24,65	November	StrVG
Gβ†/Rβ‡	112	4,7	Salzbach	ERAM Morsleben	Juni	REI
H-3	1695	3280	Ems	KKE Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
Co-60	1661	0,057	Isar	HML München Garching, km 130,3	I. Quartal	REI
Sr-90	325	0,015	Stechlinsee	Neuglobsow	07.03.	StrVG
I-131	663	8,9	Weschnitz	Biblis, KWB Biblis	07.03.	REI
Cs-137	1610	0,054	Arendsee	Arendsee	15.11.	StrVG
Pu-(239+240)	110	0,00006	Starnberger See	Starnberg	21.06.	StrVG
Schwebstoff (Bq/kg TM)						
Co-58	78	4,3	Mosel	Palzem, km 229,87	September	StrVG
Co-60	534	5,8	Mosel	Palzem, km 229,87	September	StrVG
I-131	252	130	Rhein	Worms, km 443,40	I. Quartal	StrVG
Cs-137	534	241	Steinhuder Meer	Wunstorf	III. Quartal	StrVG
AM-241	1	1,6	Elbe	HH (Bunthaus), km 609,8	August	StrVG
Sediment (Bq/kg TM)						
Gα	4	552	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	II. Quartal	REI
Gβ	4	1650	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	III. Quartal	REI
Co-58	98	1,7	Rhein	KKP Philippsburg, Auslaufbauwerk	II. Quartal	REI
Co-60	1092	7,9	Weser	KWW Würgasssen, Auslaufbauwerk	24.04.	REI
I-131	642	121	Rhein	KKP Philippsburg, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
Cs-134	960	0,68	Rhein	KKP Philippsburg, Auslaufbauwerk	II. Quartal	REI
Cs-137	1096	278	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	08.03.	REI
Am-241	24	27,1	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	08.03.	REI

*) Gesamt-Alpha-Aktivität

†) Gesamt-Beta-Aktivität

‡) Rest-Beta-Aktivität

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 Komparti- ment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2012	2011
RHEIN								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	12	0	1,14	3,87	1,83	1,49
		Koblenz, km 590,3	12	0	2,03	7,35	3,24	3,37
		Wesel, km 814,0	10	0	2,58	5,95	4,10	3,75
	Sr-90	Weil, km 172,97	3	0	0,0027	0,0037	0,0034	0,0030
		Koblenz, km 590,3	4	0	0,0022	0,0039	0,0032	0,0030
		Wesel, km 814,0	4	0	0,0030	0,0040	0,0035	0,0026
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	11	<0,0013	<0,0027	<0,0020	nn
		Koblenz, km 590,3	12	10	<0,0011	0,0033	<0,0018	<0,0029
		Wesel, km 814,0	11	11	<0,0010	<0,0023	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 172,97	12	12	<0,42	<3,21	nn	nn
		Koblenz, km 590,3	12	12	<0,27	<0,68	nn	nn
		Wesel, km 814,0	9	9	<1,26	<8,96	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	0	5,84	16,3	8,6	6,1
		Koblenz, km 590,3	12	0	6,98	10,2	8,2	8,6
		Wesel, km 814,0	9	3	7,13	13,2	9,0	9,0
	I-131	Weil, km 172,97	11	7	<3,52	<38,4	<13,0	<7,0
		Koblenz, km 590,3	12	2	<3,67	13,3	6,9	8,8
		Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 170,3	8	8	<0,34	<0,54
Worms, km 444,50-446,60	12			12	<0,17	<0,48	nn	nn
Koblenz, km 591,3	4			4	<0,19	<0,50	nn	nn
Düsseldorf, km 740,3-748,9	16			16	<0,14	<0,55	nn	nn
Cs-137	Weil, km 170,3		8	0	4,92	8,80	6,39	6,66
	Worms, km 444,50-446,60		12	0	0,37	7,38	3,94	3,47
	Koblenz, km 591,3		4	0	5,93	7,70	6,80	7,75
	Düsseldorf, km 740,3-748,9		16	0	2,41	11,3	6,4	7,2
	NECKAR							
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	11	0	2,62	15,2	7,2	16,6
		Rockenau, km 61,4	-					
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	3	2	<0,0015	0,0036	<0,0022	0,0035
		Rockenau, km 61,4	-					
Cs-137	Lauffen, km 125,2	11	9	<0,0012	<0,0023	<0,0017	<0,0022	
	Rockenau, km 61,4	-						
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Rockenau, km 61,4	-					
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	2	0	7,03	7,69	7,36	9,41
		Rockenau, km 61,4	-					
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Guttenbach, km 72,0-77,2	16	14	<0,21	<0,73	<0,39	<0,42
	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	22	0	3,12	8,57	5,33	5,26
		Neckarzimmern, km 85,8-86,2	6	0	0,90	11,9	5,85	6,77
		Guttenbach, km 72,0-77,2	16	0	0,58	8,46	4,61	5,3
MAIN								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	10	0	0,96	31,9	9,6	1,99
		Eddersheim, km 15,3	11	0	0,85	16,1	4,8	1,80
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	3	0	0,0028	0,0068	0,0046	0,0037
		Eddersheim, km 15,3	3	0	0,0028	0,0040	0,0034	0,0034
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	11	9	<0,0011	0,0030	<0,0018	<0,0024
		Eddersheim, km 15,3	11	10	<0,0013	<0,0022	<0,0018	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 323,7	4	4	<0,62	<1,91	nn	<0,72
	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	3	0	18,9	23,3	21,0	20,2
		Garstadt, km 323,7	4	0	10,2	18,6	14,9	11,1

GEWÄSSER Komparti- ment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
					min. Wert	max. Wert	2012	2011
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Garstadt, km 316,2-324,8	10	10	<0,19	<2,01	nn	nn
	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	8,04	18,0	13,0	14,1
		Garstadt, km 316,2-324,8	10	1	1,88	25,3	9,3	8,1
MOSEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	0	22,5	46,5	35,2	32,3
		Koblenz, km 2,0	11	0	8,40	19,1	14,7	15,4
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4	0	0,0024	0,0049	0,0033	0,0027
		Koblenz, km 2,0	4	0	0,0026	0,0038	0,0033	0,0043
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	11	<0,0012	<0,0036	<0,0020	<0,0024
		Koblenz, km 2,0	11	10	0,0010	<0,0027	<0,0020	<0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	7	0	0,98	3,33	1,84	5,5
	Co-60	Perl, km 241,96	10	0	0,60	5,62	2,94	7,2
		Koblenz, km 2,0	10	9	<0,35	<1,55	<0,90	nn
	Cs-137	Perl, km 241,96	10	0	8,11	13,3	10,8	9,7
		Koblenz, km 2,0	10	0	6,85	15,3	9,7	9,0
	I-131	Perl, km 241,96	10	2	<2,94	27,5	13,2	11,9
		Koblenz, km 2,0	10	6	<2,41	11,8	<6,8	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	14	11	<0,22	2,04	<0,57	nn
		Trier, km 184,1-196,1	8	4	<0,22	0,73	0,47	nn
		Koblenz/Güls km 4,05	3	3	<0,28	<0,41	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	14	0	4,33	25,4	13,4	11,1
		Trier, km 184,1-196,1	8	0	4,27	14,1	9,5	7,2
		Koblenz/Güls, km 4,05	3	0	11,4	18,8	14,1	10,0
SAAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	11	0	0,71	1,27	1,01	1,10
	Sr-90		4	0	0,0018	0,0042	0,0029	0,0027
	Cs-137		12	10	<0,0012	0,0027	<0,0021	<0,0019
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	11	0	9,75	17,9	14,5	13,5
	I-131		10	6	2,26	<24,4	<10,1	<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	0,97	1,74	1,28	1,44
		Vilshofen, km 2249,0	11	0	1,23	3,50	2,21	2,67
	Sr-90	Regensburg, km 2381,3	4	0	0,0023	0,0045	0,0033	0,0036
		Vilshofen, km 2249,0	3	0	0,0032	0,0036	0,0034	0,0042
	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<0,0036	<0,0083	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	10	7	<0,0013	0,0023	<0,0017	nn
		Vilshofen, km 2249,0	11	9	<0,0011	<0,0026	<0,0018	<0,0020
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Böfingen, km 2582,4	4	0	40,1	65,9	48,5	54,3
		Regensburg, km 2381,3	4	0	12,8	41,0	33,2	39,1
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	23,1	41,3	31,5	32,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Böfingen, km 2582,4	4	0	29,4	56,6	40,0	33,7
		Regensburg, km 2379,1-2381,4	6	0	6,82	18,4	11,1	18,3
		Straubing, km 2326,7	4	0	35,6	40,8	38,8	35,0
		Grünau, km 2205,5	2	0	24,5	44,5	34,5	30,8
ISAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
		Plattling, km 9,1	4	3	<5,2	<5,2	nn	nn
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0050	<0,0070	nn	nn
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,0035	<0,0062	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	14,1	21,9	17,7	22,1
		Plattling, km 9,1	4	0	10,8	35,5	24,7	37,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	3	0	18,6	25,6	21,6	29,3
		Plattling, km 9,1	3	0	6,58	26,0	15,9	18,5

GEWÄSSER Komparti- ment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2012	2011
EMS								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	10	0	2,04	43,7	17,5	17,8
		Terborg, km 24,64	11	0	1,32	13,4	5,9	6,0
	Co-60	Terborg, km 24,64	10	10	<0,0009	<0,0024	nn	<0,0019
		Sr-90	Geeste, km 106,3	3	0	0,0047	0,0060	0,0055
	Cs-137	Terborg, km 24,64	4	0	0,0029	0,0060	0,0044	0,0030
		Geeste, km 106,3	9	9	<0,0011	<0,0023	nn	<0,0027
		Terborg, km 24,64	10	0	0,0074	0,022	0,013	0,016
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Terborg, km 24,64	-					
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	0	7,74	15,4	12,7	15,5
		Terborg, km 24,64	-					
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Herbrum, km 212,75	4	0	3,12	5,02	3,80	4,19
WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	1,85	20,6	7,1	5,44
		Langwedel, km 329,4	12	0	1,43	7,93	3,87	3,33
		Blexen, km 430,00	12	0	2,30	8,94	4,60	3,21
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	4	2	<0,0015	0,0031	0,0024	0,0027
		Langwedel, km 329,4	4	1	<0,0015	0,0034	0,0030	0,0036
		Blexen, km 430,0	4	0	0,0018	0,0031	0,0025	0,0030
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	12	12	<0,0009	<0,0028	nn	<0,0024
		Langwedel, km 329,4	12	12	<0,0013	<0,0026	nn	<0,0025
		Blexen, km 430,0	11	5	<0,0012	0,0036	0,0019	0,0034
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Wilhelmshaven/Jadebusen	4	4	<0,33	<1,19	nn	nn
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	5,09	7,91	6,79	8,2
		Langwedel, km 329,4	12	0	5,33	16,7	7,8	7,9
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	0	2,20	8,34	4,74	2,05
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Nordenham, km 422,9	5	5	<0,31	<1,96	nn	<0,38
	Cs-137	Minden, km 204,40	4	0	2,57	7,40	4,61	5,54
		Bremen, km 373,97	5	0	3,70	8,11	5,82	5,22
		Nordenham, km 422,9	5	0	2,71	5,34	3,64	4,54
ELBE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	11	0	2,80	12,7	5,6	4,39
		Tangermünde, km 389,10	7	0	2,35	10,0	4,9	2,93
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	2	<0,59	4,47	3,60	4,43
		Cuxhaven, km 724,5	10	0	2,71	4,28	3,55	2,77
	Sr-90	Dresden, km 58,0	4	0	0,0028	0,0045	0,0036	0,0043
		Tangermünde, km 389,10	2	0	0,0037	0,0042	0,0040	0,0043
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0017	0,0034	0,0024	0,0031
		Cuxhaven, km 724,5	4	0	0,0028	0,0046	0,0034	0,0026
	Cs-137	Dresden, km 58,0	11	11	<0,0011	<0,0026	nn	<0,0021
		Tangermünde, km 389,10	7	6	<0,0013	0,0023	<0,0019	nn
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	2	<0,0011	<0,0017	0,0013	0,0014
		Cuxhaven, km 724,5	9	9	<0,0011	<0,0019	nn	<0,0020
	Pu-(239 +240)	HH (Bunthaus), km 609,8	4	2	<0,000001	0,000005	0,000004	0,000004
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	0	12,2	32,0	17,9	17,5
		Geesthacht, km 586,0	4	0	6,51	11,4	9,1	8,4
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	6,67	20,7	12,0	17,1
		Cuxhaven, km 724,5	4	1	<0,17	0,40	0,31	0,39
	I-131	HH (Bunthaus), km 609,8	4	4	<1,19	<4,54	nn	<3,88
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	5	0	6,99	16,8	13,1	11,6
		Arneburg, km 403,5	4	0	16,5	20,2	18,1	16,0
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	13,2	17,3	14,7	20,6
		Cuxhaven, km 726,3	3	0	2,36	3,59	2,77	4,58

GEWÄSSER Komparti- ment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2012	2011
ODER								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,20	11	0	0,74	1,30	0,94	0,98
		Schwedt, km 690,55	12	0	0,60	1,09	0,84	1,01
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,20	4	0	0,0028	0,0056	0,0045	0,0041
		Schwedt, km 690,55	4	0	0,0034	0,0050	0,0041	0,0056
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	12	8	0,0015	0,0029	<0,0019	<0,0023
		Schwedt, km 690,55	11	2	0,0015	0,0056	0,0036	0,0049
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	4	0	14,1	19,8	16,7	13,8
		Schwedt, km 690,55	1	0	14,0	14,0	14,0	11,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hohensaaten, km 667,5	4	0	11,1	14,4	12,5	10,6
SPREE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<2,20	<2,40	nn	nn
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	11	0	0,76	1,27	0,89	0,86
	Sr-90	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	4	0	0,0031	0,0048	0,0040	0,0043
		Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	0	0,0007	0,0022	0,0015	0,0014
	Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	11	10	<0,0012	<0,0039	<0,0021	<0,0031
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	12	0	12,5	35,8	21,3	22,2
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	3	0	2,98	11,9	7,8	9,9
	I-131	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	5	3	<6,90	22,2	<15,9	<44
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	3	3	<1,05	<5,49	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Fürstenwalde, km 74,7 Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	- 4	0	13,5	20,4	17,0	16,7
HAVEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	0	0,71	1,14	0,91	0,96
	Sr-90		4	0	0,0016	0,0048	0,0035	0,0035
	Cs-137		12	9	<0,0015	0,0033	<0,0020	0,0030
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	33,3	41,9	39,2	43,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	5	0	20,6	35,9	29,0	29,4
SAALE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Halle/Planena, km 104,5	12	0	0,56	4,52	1,17	1,15
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,8	<4,0	nn	nn
	Sr-90	Halle/Planena, km 104,5	4	0	0,0024	0,0042	0,0034	0,0038
		Camburg, km 187,0	4	2	0,0029	0,0043	0,0036	0,0035
	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	12	11	<0,0012	<0,0034	<0,0017	<0,0021
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,016	<0,034	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	4	0	7,16	17,3	11,9	10,9
		Camburg, km 187,0	4	0	25,5	37,1	29,6	21,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	5	0	6,64	13,6	10,5	6,51
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	10,6	15,8	12,9	11,8
PEENE								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	11	0	0,58	0,98	0,81	0,86
	Sr-90		4	0	0,0033	0,0041	0,0038	0,0046
	Cs-137		11	9	<0,0011	<0,0026	<0,0018	<0,0038
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	29,5	55,2	37,8	29,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	3	0	31,5	36,0	33,2	43,3

GEWÄSSER Komparti- ment	Nuklid	Probenahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2012	2011
TRAVE / UNTERTRAVE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	12	0	0,84	1,14	1,03	0,95
	Sr-90		4	0	0,0052	0,0070	0,0060	0,0045
	Cs-137		12	4	0,0016	0,016	0,0064	0,0096
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	4	0	23,2	51,9	41,1	49,3
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12	0	0,91	1,19	1,06	1,14
	Sr-90		4	0	0,0034	0,0060	0,0046	0,0046
	Cs-137		11	1	0,0015	0,0089	0,0046	0,0078
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	16,5	44,0	26,6	19,5

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 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
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	<0,0034	<0,0098	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<0,0048	<0,0065	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	1	<1,10	3,86	3,26	1,90
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seeon-See- bruck	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0037	0,0046	0,0041	0,0042
	Cs-137		4	4	<0,0058	<0,0067	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-See- bruck	4	0	32,1	44,9	39,6	36,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-See- bruck	3	0	7,56	12,7	10,0	11,3
Starnberger See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0069	0,0094	0,0078	0,0075
	Cs-137		4	4	<0,0032	<0,0069	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	140	154	146	148
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	112	132	122	126
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle41035	4	4	<2,20	<3,00	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0024	0,0048	0,0039	0,0050
	Cs-137		4	3	0,0016	<0,0040	<0,0024	<0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	0	0,83	17,5	6,8	1,90
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	0	23,4	36,8	32,2	23,7

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Probe- nahmeort	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
Stößensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<2,20	<2,40	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0035	0,0039	0,0037	0,0046
	Cs-137		4	3	<0,0013	<0,0023	<0,0016	0,0020
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	3	0	2,13	8,24	4,32	5,4
	I-131		3	2	<2,39	3,65	<3,07	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	57,5	101	86	78,4
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<5,52	<5,99	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,012	0,015	0,013	0,014
	Cs-137		4	3	<0,0052	<0,0097	<0,0074	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	10	13	12	14
Neuendorfer See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	4	4	<8,77	<9,95	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,004	0,007	0,005	0,005
	Cs-137		4	4	<0,012	<0,020	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	18	21	19	19
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	0,80	1,0	1,0	0,9
HESSEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<6,39	<7,27	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,005	0,011	0,0085	0,014
	Cs-137		4	4	<0,005	<0,008	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	20,2	24,5	22,0	21,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	3,14	7,19	5,14	4,00
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	4	<4,74	<4,91	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0069	<0,010	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	3	0	1,28	5,18	3,40	3,46
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	1,39	6,98	3,97	4,95
Schweriner See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	3	3	<4,71	<4,93	nn	nn
	Sr-90		3	0	0,0033	0,0068	0,048	0,0010
	Cs-137		3	3	<0,0048	<0,019	nn	0,0065
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	46,5	59,5	54,4	39,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	32,8	233	83	37,4
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	4	<1,33	<2,07	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0016	0,0019	0,0018	0,0020
	Cs-137		4	4	<0,0006	<0,0014	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	34,1	42,8	38,3	33,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	35,6	59,4	46,8	44,6

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Probe- nahmeort	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
Steinhuder Meer								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	4	<1,36	<2,04	nn	<1,54
	Cs-137		4	0	0,0051	0,0094	0,0075	0,010
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	217	241	227	255
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	93,8	122	106	110
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<3,07	<3,33	nn	nn
	Sr-90		1	0	0,0060	0,0060	0,0060	nn
	Cs-137		4	4	<0,0024	<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	3,7	7,3	5,8	8,7
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	3	1,1	<3,1	<2,6	nn
	Cs-137		4	0	0,022	0,026	0,024	0,028
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	49	62	58	63
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	4	<5,0	<5,5	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0053	<0,0061	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	13,5	39,1	25,5	23,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	44,9	64,0	54,2	47,4
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,032	0,054	0,045	0,048
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	62,2	91,8	76,9	61,2
Schollener See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	2	<0,0098	0,014	0,013	0,017
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	98,9	261	191	209
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	<0,0070	<0,017	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	122	160	146	118
Wittensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Groß Wittensee	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,006	<0,014	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Groß Wittensee	4	0	161	244	204	211
THÜRINGEN / Talsperre Ohra								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Luisenthal	4	4	<3,7	<4,1	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,020	<0,035	nn	nn

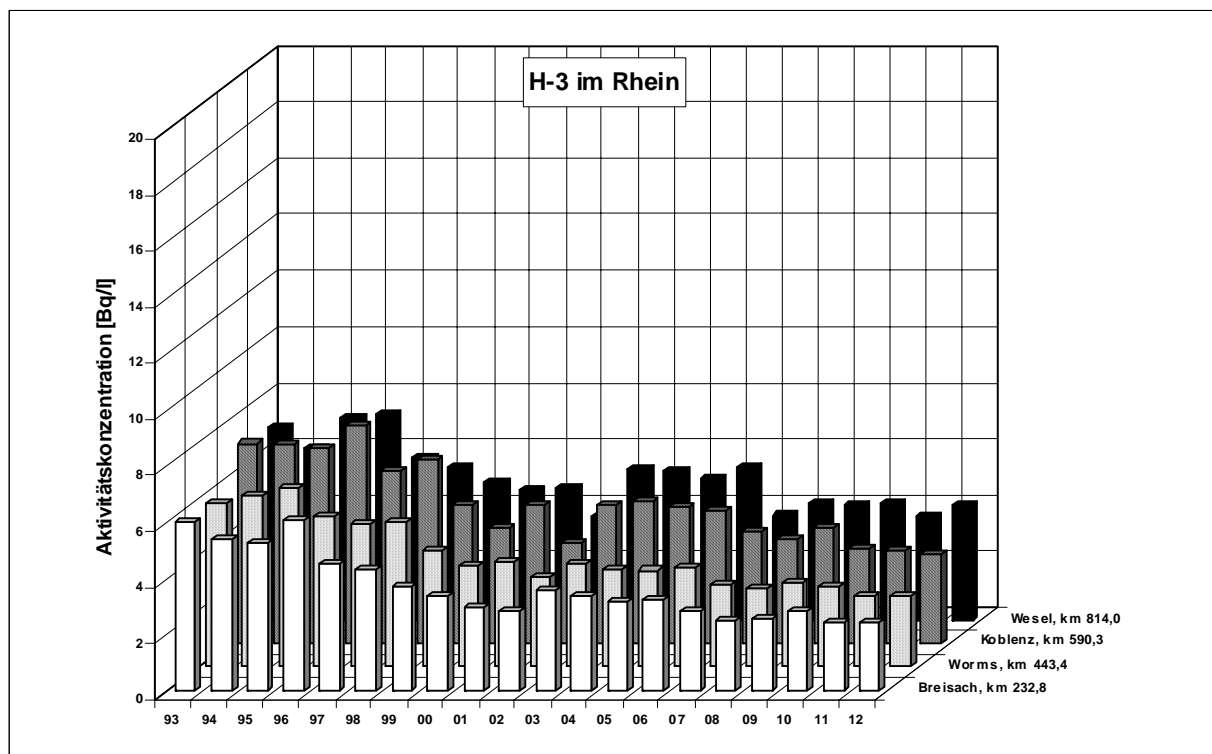


Abbildung 2.2.2-1 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)
(Contents of H-3 (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

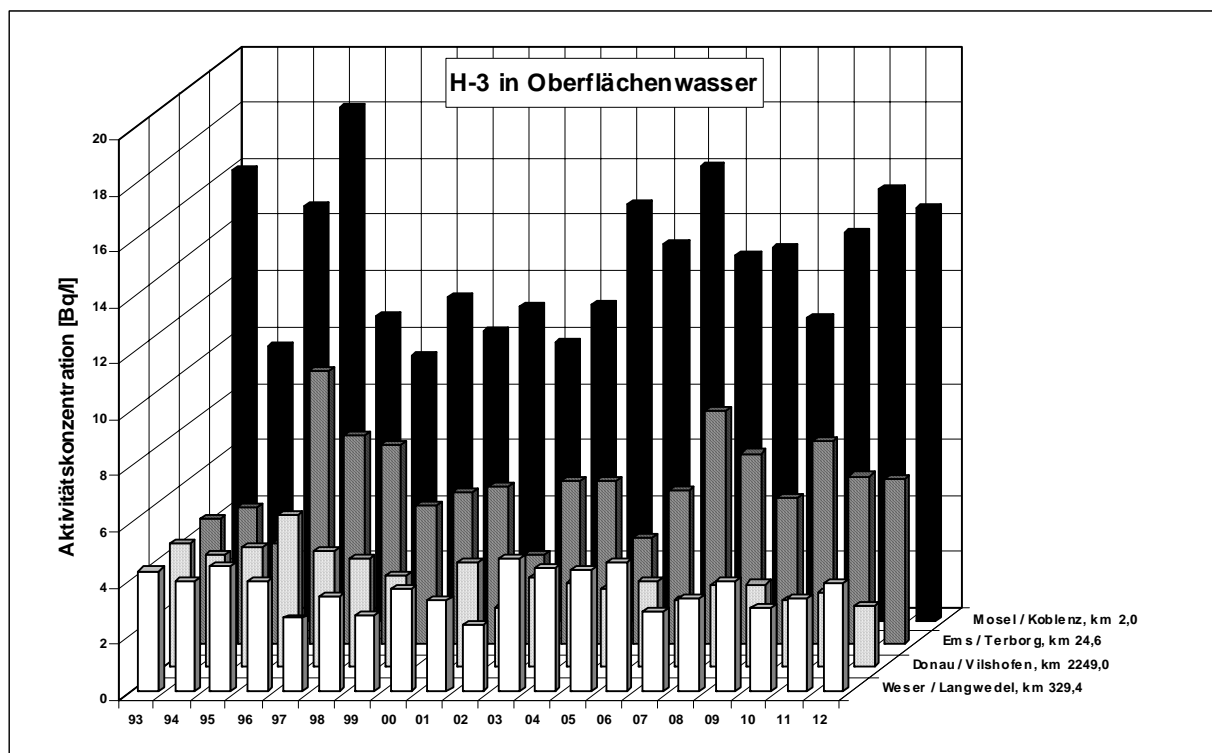


Abbildung 2.2.2-2 H-3-Gehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer
(Jahresmittelwerte)
(Contents of H-3 (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

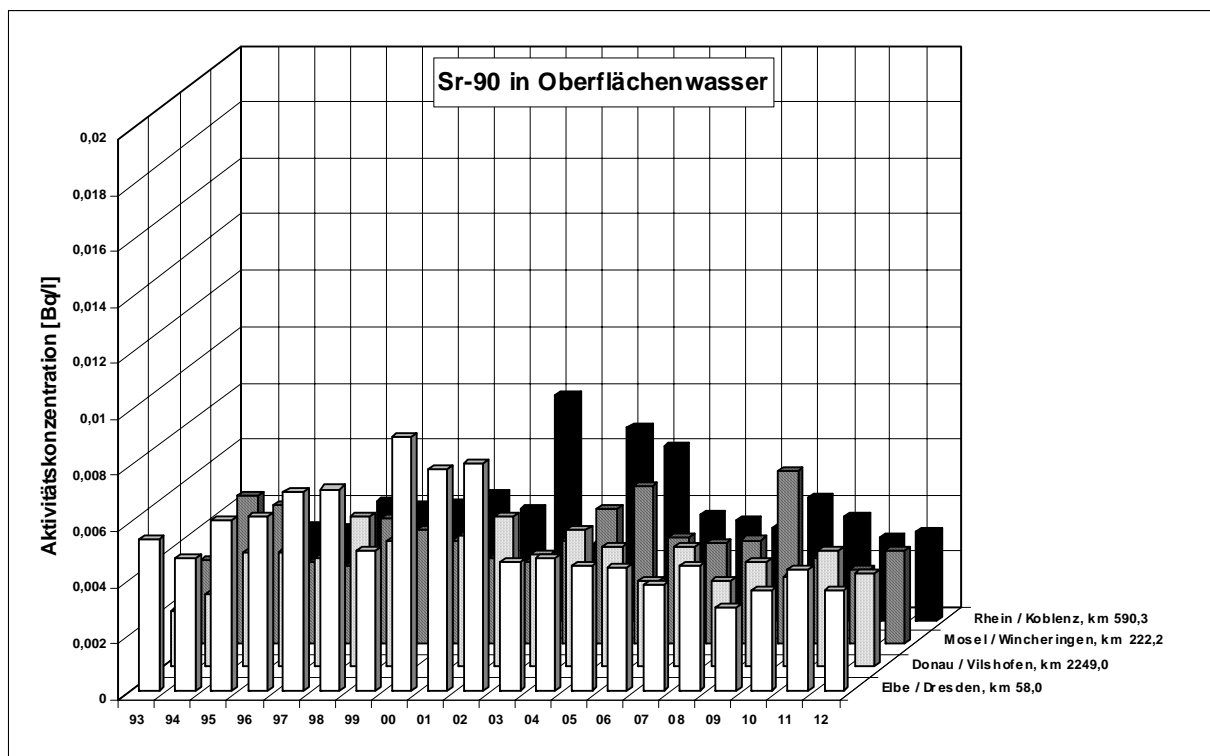


Abbildung 2.2.2-3 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Sr-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Sr-90 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

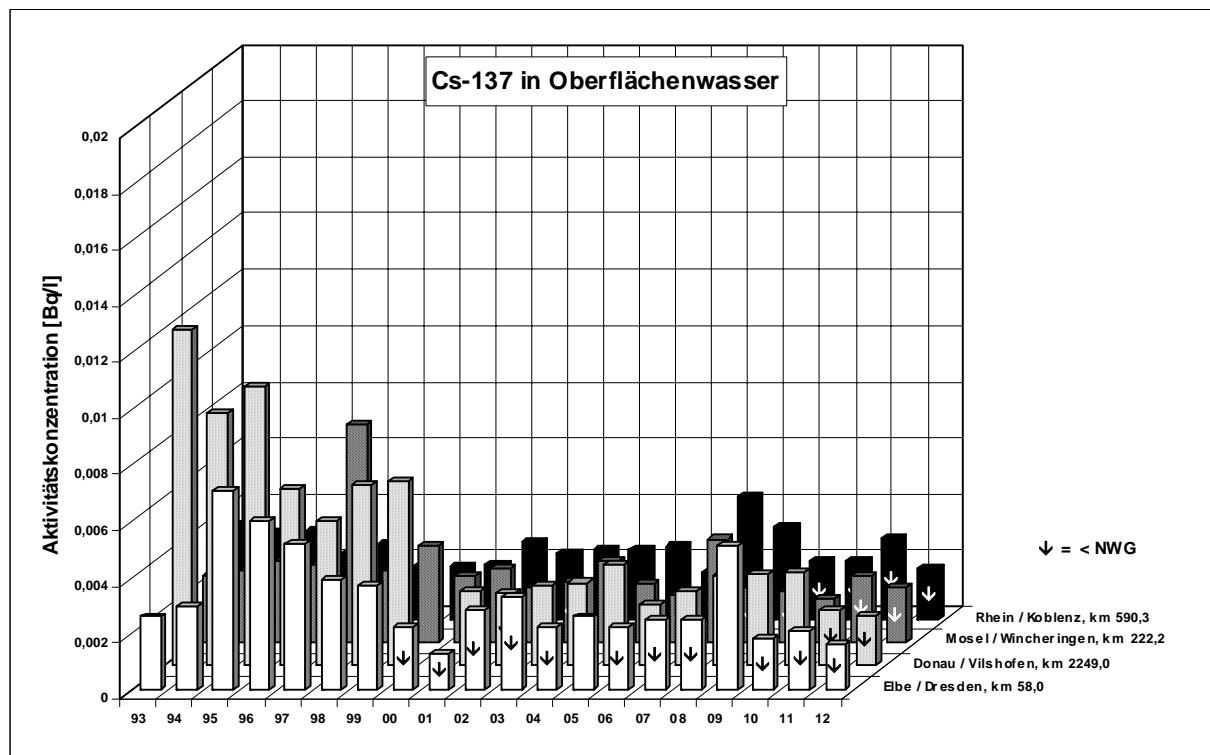


Abbildung 2.2.2-4 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cs-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

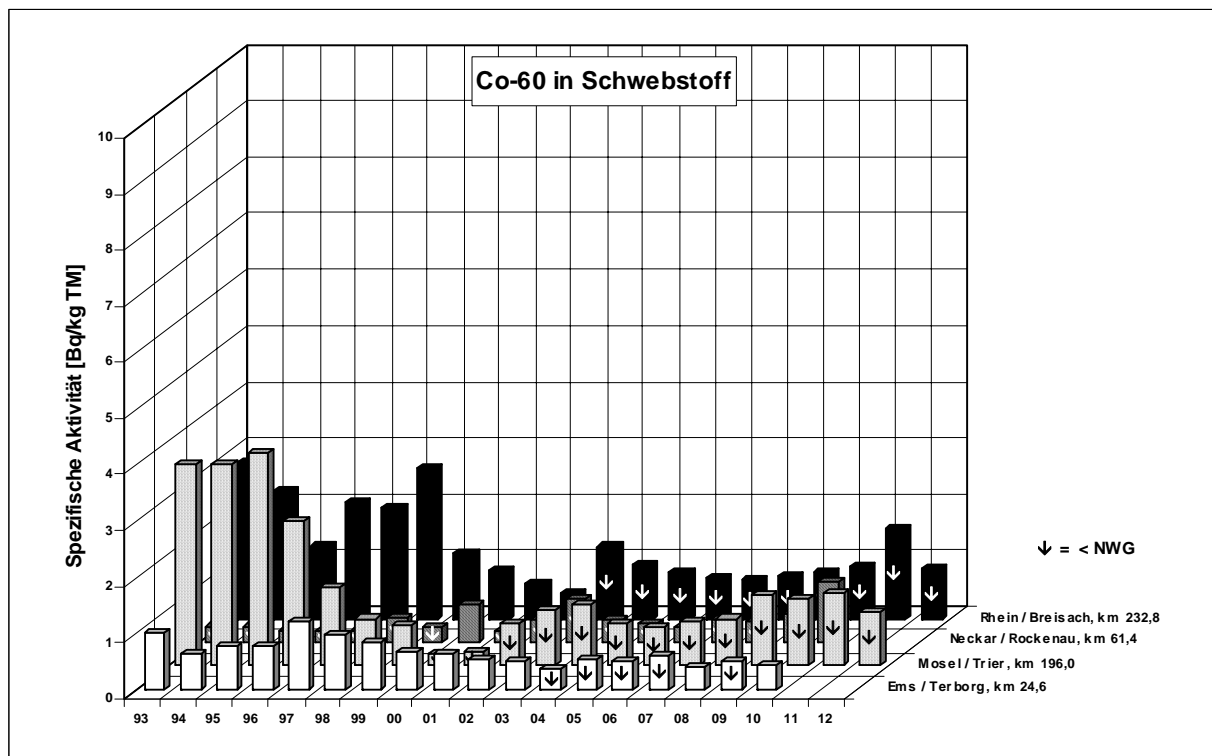


Abbildung 2.2.2-5 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(*Co-60 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values*)

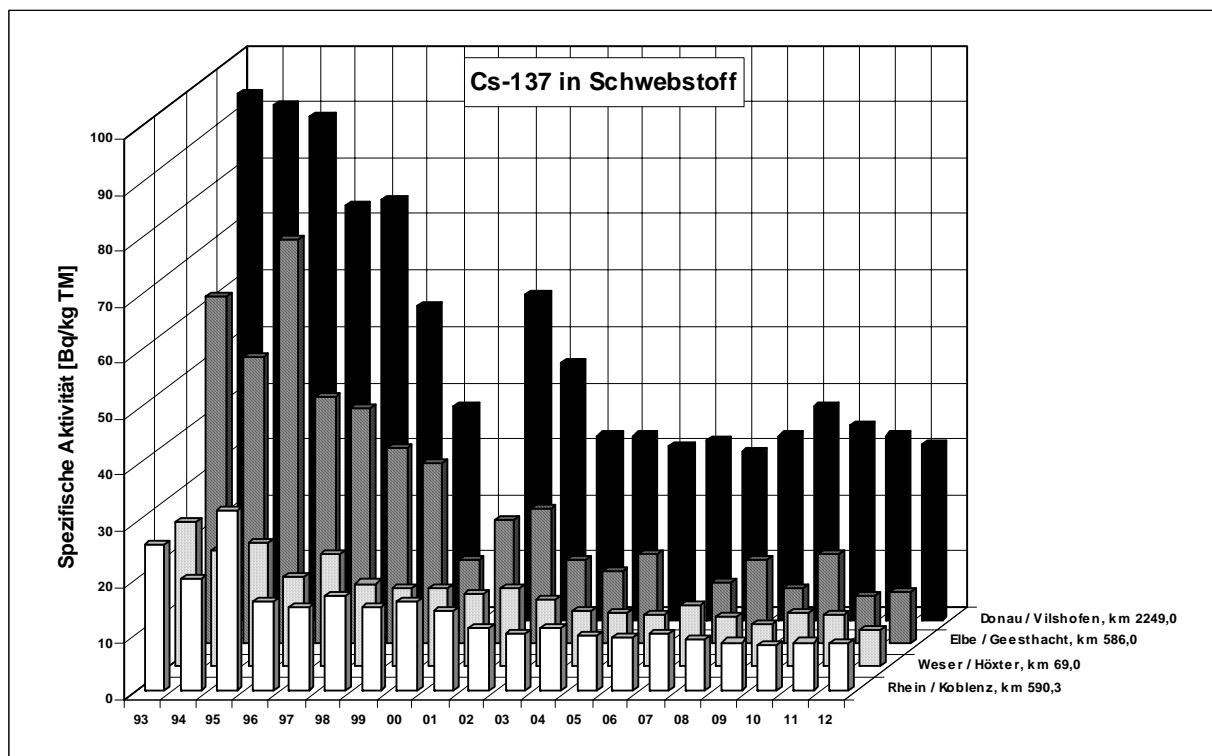


Abbildung 2.2.2-6 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(*Cs-137 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values*)

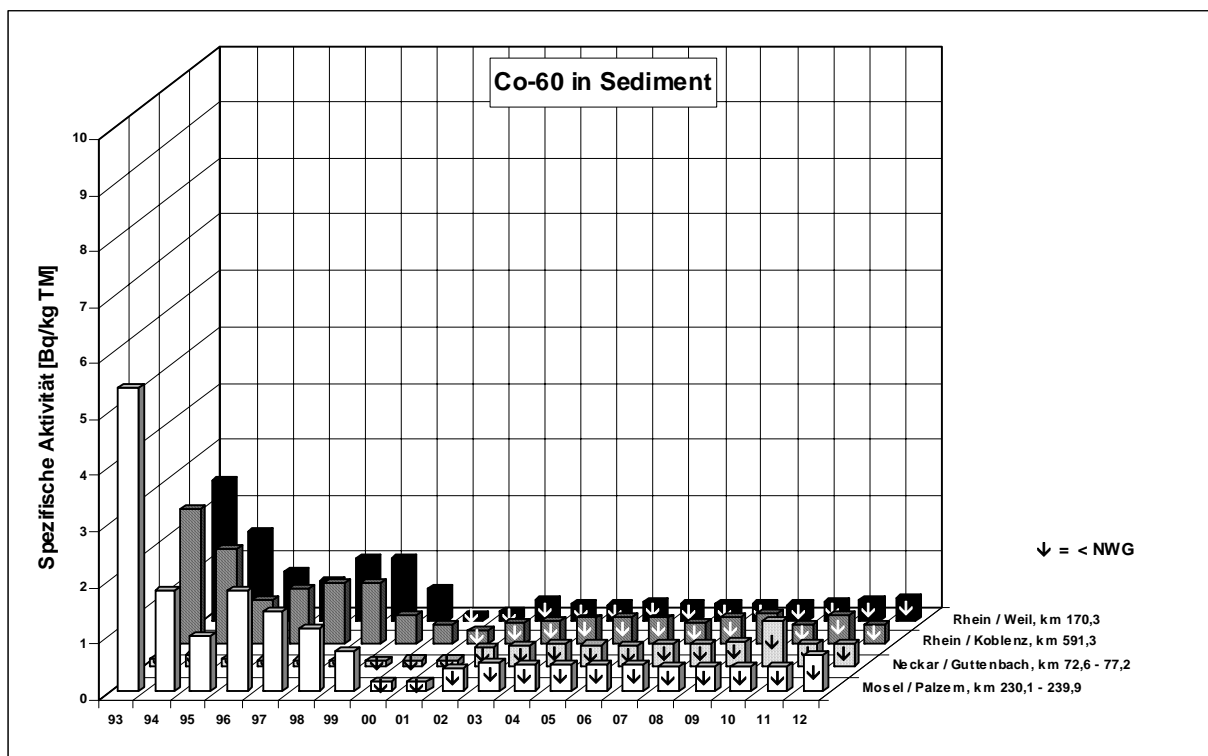


Abbildung 2.2.2-7 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Co-60 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

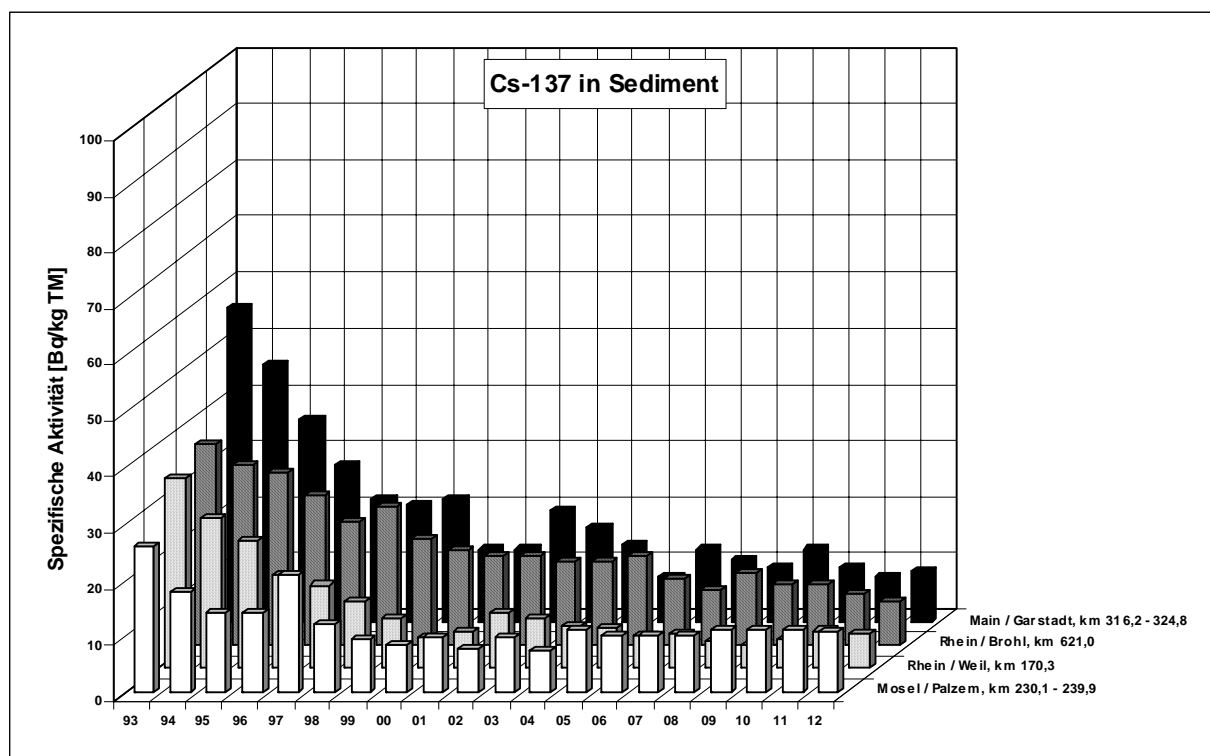


Abbildung 2.2.2-8 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters annual mean values)

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 2012. Insgesamt lagen ca. 6800 Einzelwerte von Messungen an Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben vor. Die Auswertung erfolgte wie im vorigen Kapitel beschrieben.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in **Oberflächenwasserproben** aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte in Einzelfällen nachweisbar (Tabelle 2.2.3-1). Erhöhte H-3-Konzentrationen wurden in Proben gemessen, die direkt an Auslaufbauwerken genommen wurden: Die Mittelwerte betrugen hier maximal 1400 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. 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 und Cs-137 wurden nachgewiesen, Einflüsse der jeweiligen kerntechnischen Anlagen waren aber 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- α) von 475 und für Am-241 von 13 Bq/kg TM 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. 38 Bq/l. Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich die aus dem „Trinkwasser“-Pfad für Erwachsene (> 17 a; Konsum 700 l/a) von H-3 resultierende effektive Dosis zu ca. 0,5 μ Sv/a. Für Kleinkinder (\leq 1 a; Konsum 340 l/a) 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 von Anlagen nach Atomgesetz
(Monitoring of bodies of water in the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
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	<0,0040	<0,0083	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,011	<0,058	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0049	<0,041	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0038	<0,0073	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,087	<0,022	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0038	<0,038	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,17	<0,29	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	2	2	<0,23	<0,26	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,21	<0,38	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	0	2,31	3,77	3,04	5,07
		vor KKW Leibstadt	2	0	3,71	5,36	4,54	6,17
		nach KKW Leibstadt	2	0	2,77	2,79	2,78	3,58
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil	14	14	<8,0	<8,0	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	Weil	14	14	<0,012	<0,035	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,012	<0,039	nn	nn
	Cs-137	Weil	14	14	<0,011	<0,028	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,012	<0,025	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Neuenburg/Grißheim km 206,5	1	1	<0,26	<0,26	nn	nn
		Breisach, km 232,0	2	1	0,15	<0,20	0,15	nn
	Cs-137	Neuenburg/Grißheim km 206,5	1	0	3,39	3,39	3,39	1,75
		Breisach, km 232,0	2	0	3,62	4,48	4,05	5,08
RHEIN / HIRSCHKANAL / KIT Karlsruhe								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	G-α	Hirschkanal	52	0	0,011	0,048	0,031	0,035
	G-β		52	9	0,059	0,222	0,127	0,100
	H-3		64	62	1,65	<8,0	<3,9	<3,7
	Co-60		4	4	<0,0058	<0,011	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0048	<0,0095	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	G-α	Hirschkanal	4	0	426	552	475	494
	G-β		4	0	1360	1650	1530	1810
	Co-60		8	7	0,24	<2,70	<1,42	<1,41
	Cs-137		8	0	63,4	278	122	145
	Am-241		7	3	5,84	27,1	13,1	13,1
RHEIN / KKP Philippsburg								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	15	12	1,9	<8,0	<7,0	<7,1
		Auslaufbauwerke I u. II	30	16	5,3	164	<22	29
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0040	<0,027	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	14	14	<0,0032	<0,028	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0033	<0,029	nn	nn
Auslaufbauwerke I u. II		14	14	<0,0028	<0,031	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Auslaufbauwerk	2	1	<0,65	1,71	1,71	1,42
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	2	0,25	<0,42	0,31	nn
		Auslaufbauwerk	4	0	0,20	2,34	1,09	1,46
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	7,81	12,3	9,9	10,8
		Auslaufbauwerk	4	0	5,70	9,90	7,84	10,2

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
RHEIN / KWB Biblis (außer Betrieb) und BE-Zwischenlager								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	5	4,65	<7,49	<6,06	<6,7
	Co-60	Auslaufbauwerke A u. B	16	3	<4,77	89,2	29,2	65
		vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,087	<0,026	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,011	<0,045	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0079	<0,023	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u, B	16	16	<0,010	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,46	<0,55	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,41	<0,46	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	7,7	8,2	8,0	7,7
		nach Auslaufbauwerk	2	0	6,9	13	10	10
RHEIN / KMK Mülheim-Kärlich (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<8,7	<8,7	nn	8,3
	Co-60	Auslaufbauwerk	4	2	<3,1	7,5	<7,1	4,2
		vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,018	<0,020	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,010	<0,019	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,016	<0,020	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0089	<0,016	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,47	<0,49	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,41	<0,46	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	11	11	11	7,8
		nach Auslaufbauwerk	2	0	6,2	10,0	8,1	12
NECKAR / GKN Neckarwestheim								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	12	<4,5	<8,0	nn	<7,6
	Co-60	Auslaufbauwerk	12	3	<4,5	640	280	190
		vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0051	<0,046	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	12	<0,0073	<0,049	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0044	<0,050	nn	nn
		Auslaufbauwerk	12	12	<0,0061	<0,051	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,26	<0,32	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,24	<0,35	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	3,34	4,46	3,90	4,17
		nach Auslaufbauwerk	4	0	2,16	9,23	5,51	5,46
NECKAR / KKO Obrigheim (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	3	<8,0	13,8	11,9	15,1
	Co-60	Auslaufbauwerk	8	4	<7,9	13,9	12,2	15,4
		vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0049	<0,015	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	5	<0,0056	<0,016	<0,012	<0,010
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0042	<0,019	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0043	<0,019	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,23	<0,30	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,29	<0,40	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	0,76	1,18	0,97	0,55
		nach Auslaufbauwerk	4	0	5,45	6,93	6,09	6,08
MAIN / KKG Grafenrheinfeld								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<5,7	<10	nn	nn
	Co-60	Auslaufbauwerk	8	1	<6,4	308	202	166
		vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,018	<0,049	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,028	<0,050	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,016	<0,030	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,020	<0,028	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,43	<0,60	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	2	0,44	<5,0	0,72	<1,6
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	18	23	21	26,0
		nach Auslaufbauwerk	4	0	19	26	22	25,5

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
MAIN / AREVA NP GmbH Karlstein								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	oberhalb Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,18	<0,18	nn	nn
		unterhalb Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,20	<0,20	nn	nn
	Cs-137	oberhalb Kläranl. Schleifbach	1	0	0,90	0,90	0,90	1,30
		unterhalb Kläranl. Schleifbach	1	1	<0,16	<0,16	nn	1,25
MOSEL / KKW Cattenom (Frankreich)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Palzem, km 230	12	0	21	48	38	36
	Co-60		12	12	<0,013	<0,028	nn	nn
	Cs-137		12	12	<0,012	<0,026	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Palzem, km 230	2	1	<0,46	0,58	0,58	nn
	Cs-137		2	0	5,8	8,3	7,1	7,1
DONAU / KRB Gundremmingen								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<2,83	<6,69	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	0	107	239	148	141
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0025	<0,038	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	4	0,0060	<0,039	0,0082	0,0069
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0025	<0,040	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	7	<0,0026	<0,040	<0,020	<0,020
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,30	<0,45	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	0	1,07	6,26	4,49	4,22
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	64,9	88,3	75,5	79,4
		nach Auslaufbauwerk	4	0	34,9	49,8	43,7	47,0
ISAR / KKI Isar 1 und 2								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<2,9	<8,1	nn	nn
		Auslaufbauwerke	16	8	<2,9	320	199	196
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0033	<0,040	nn	nn
		Auslaufbauwerke	16	16	<0,0019	<0,043	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0033	<0,0053	nn	nn
		Auslaufbauwerke	8	8	<0,0019	<0,0055	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,19	<0,34	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,19	<0,25	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	33,2	41,3	37,9	42,5
		nach Auslaufbauwerk	4	0	27,2	39,4	32,0	35,6
ISAR / FRM II Forschungsneutronenquelle HML München								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	nach FRM II, km 130,3	8	6	<3,96	15,0	<7,6	40,4
	C-14		8	8	<0,11	<5,8	nn	nn
	Co-60		8	7	<0,0086	0,057	<0,035	0,107
	Cs-137		4	4	<0,0057	<0,037	nn	nn
	U-235		2	2	<0,0094	<0,026	nn	nn
	Pu-238		2	2	<0,0095	<0,011	nn	nn
	Am-241		2	2	<0,0033	<0,0073	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	nach FRM II, km 124,6	4	4	<0,26	<3,21	nn	nn
	Cs-137		4	0	13,7	18,4	16,1	27,0
	U-235		1	0	1,10	1,10	1,10	1,23
	Pu-238		1	1	<0,069	<0,069	nn	nn
	Am-241		1	1	<0,11	<0,11	nn	nn
EMS / KKE Emsland								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	3	<1,49	2,37	<1,92	nn
		Auslaufbauwerk	4	0	566	3280	1390	1910
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0067	<0,012	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0046	<0,011	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0057	<0,0099	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0046	<0,0080	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	4	<0,24	<0,37	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,49	<0,62	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	0	8,77	16,2	13,1	17
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	0	22,7	29,6	27,7	29
WESER / KWW Würgassen (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Auslaufbauwerk	7	6	<1,5	<10	<3	a
	Co-60	Auslaufbauwerk	7	7	<0,023	<0,50	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47,2	1	1	<1,35	<1,35	nn	a
		Auslaufbauwerk	1	0	7,9	7,9	7,9	
		Wehrden, km 60,2	1	1	<1,6	<1,6	nn	
	Cs-137	Herstelle, km 47,2	1	0	10	10	10	
		Auslaufbauwerk	1	0	32	32	32	
		Wehrden, km 60,2	1	0	13	13	13	
WESER / KWG Grohnde								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	3	<1,59	4,11	<2,34	5,5
		Auslaufbauwerk	4	0	13,4	35,5	20,6	48
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0073	<0,012	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0044	<0,0069	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0064	<0,011	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0040	<0,059	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,37	<0,52	nn	nn
		Hess. Oldendorf, km 147	4	4	<0,20	<0,29	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	0	8,2	11,0	9,7	9,3
		Hess. Oldendorf, km 147	4	0	4,7	6,9	6,0	5,8
UNTERWESER / KKK Unterweser (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	0	3,6	6,7	4,9	<8,7
		Auslaufbauwerk	4	0	10,6	310	146	<10
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0067	<0,0099	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0061	<0,0085	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0065	<0,0073	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0056	<0,0080	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	4	<0,34	<0,47	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	3	0,16	<0,41	<0,29	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	0	4,6	6,3	5,4	5,8
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	3,5	5,5	4,5	5,7
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Selhausen	7	7	<10	<10	nn	nn
		Jülich-Süd	7	7	<10	<10	nn	63
	Co-60	Selhausen	7	7	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	7	7	<0,05	<0,05	nn	nn
	G-α	Selhausen	3	3	<0,05	<0,05	nn	a
		Jülich-Süd	3	3	<0,05	<0,05	nn	a
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Selhausen	1	1	<1,3	<1,3	nn	a
		Jülich-Süd	1	1	<1,3	<1,3	nn	
	Cs-137	Selhausen	1	0	11	11	11	
		Jülich-Süd	1	0	11	11	11	
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	G-α	Hauptentwässerungsleitungen	8	8	<0,16	<0,24	nn	nn
		Retentionsanlage	7	7	<0,20	<0,24	nn	a
		Goorbach, unterhalb der Straßenkreuzung	3	3	<0,20	<0,2	nn	a
Sediment (Bq/kg TM)	Ra-226	Dinkel, nach Kläranlage Gronau	1	0	95	95	95	-
	Ra-228		1	0	59	59	59	-

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
			N	<NWG	Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
AHAUSER AA / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	G-α	Ahauser Aa	3	3	<0,07	<0,07	nn	a
	R-β		3	3	<0,11	<0,11	nn	
	H-3		3	3	<10	<10	nn	
	Co-60		3	3	<0,05	<0,05	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Einleitung Moorbach	2	2	<2,0	<2,0	nn	a
		Ahauser Aa	3	3	<1,5	<2,0	nn	
	Cs-137	Einleitung Moorbach	2	0	18	23	21	
		Ahauser Aa	3	0	32	41	36	
		Retentionsbecken	4	0	8,3	12,3	10,7	9,6
	Ra-226	Retentionsbecken	4	0	6,4	12,4	10,6	12,4
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<5,3	<10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<5,3	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,016	<0,032	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,016	<0,042	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,016	<0,034	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,016	<0,044	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,32	<1,1	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,46	<1,4	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,26	<1,2	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	5	0,43	<1,4	<0,8	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	<0,0051	<0,039	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0053	<0,042	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0060	<0,046	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0063	<0,045	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,14	<1,2	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,13	<0,73	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	1	0,64	3,5	1,6	1,0
		Auslaufbauwerk	8	4	0,29	<0,78	0,43	0,56
ELBE / KBR Brokdorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	11	<5,1	10,4	<6,3	nn
		Auslaufbauwerk	16	0	5,2	47,8	27,6	21,6
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,0102	<0,046	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,0105	<0,042	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,049	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,047	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,79	<0,89	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,74	<1,1	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,84	<1,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	3	<0,82	1,4	<1,0	2,3
ELBE / KKS Stade (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	5	0	2,7	9,0	4,8	3,9
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	0	2,9	5,0	3,7	1,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	5	5	<0,0015	<0,0093	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	4	<0,001	<0,0015	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	5	4	0,0022	<0,0084	<0,0055	<0,0019
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	2	0,001	0,0017	<0,0013	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	4	<0,28	<0,34	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	4	<0,14	<0,46	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	0	3,8	7,6	5,5	4,5
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	0	3,9	6,3	4,9	1,7

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
ELBE / KKB Brunsbüttel (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	24	24	<3,57	<5,8	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<3,57	<5,8	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0109	<0,021	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0090	<0,023	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0017	0,0031	0,0024	0,0034
		Auslaufbauwerk	12	0	0,0014	0,0035	0,0028	0,0036
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0105	<0,023	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0098	<0,025	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,83	<1,5	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,68	<1,2	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	1	<0,94	4,6	3,0	3,3
		nach Auslaufbauwerk	4	1	<0,81	3,3	1,9	0,9
ELBE / GNS Gorleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schnackenburg, km 474,6	4	0	3,47	6,77	5,08	a
		Dömitz, km 504,4	4	3	<1,53	7,00	5,14	
	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	4	4	<0,0010	<0,0016	nn	
		Dömitz, km 504,4	4	4	<0,0009	<0,0017	nn	
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	8	3	<0,0003	0,0015	0,0009	
		Dömitz, km 504,4	8	3	0,0003	<0,0014	0,0006	
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,0006	<0,0006	nn	
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,0007	<0,0007	nn	
	Pu-239	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,0006	<0,0006	nn	
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,0006	<0,0007	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	4	4	<0,14	<0,43	nn	a
		Dömitz, km 504,4	4	4	<0,16	<0,41	nn	
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	4	0	11,7	20,9	14,8	
		Dömitz, km 504,4	4	0	1,32	19,1	7,2	
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,10	<0,12	nn	
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,11	<0,12	nn	
	Pu-239	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,10	<0,12	nn	
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,11	<0,12	nn	
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungsstandort Rossendorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kalter Bach	20	19	<3,7	<5,6	<4,9	<5,1
		Wesenitz	2	2	<5,0	<5,0	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	15	15	<0,0013	<0,018	nn	<0,010
		Wesenitz	2	2	<0,0063	<0,0078	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	15	9	0,0021	<0,016	<0,010	<0,011
		Wesenitz	2	2	<0,0061	<0,0070	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	3	1	0,24	<0,72	0,37	<0,33
		Wesenitz	2	2	<0,38	<0,47	nn	nn
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	2	<0,35	<0,37	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	3	0	11	26	17	10
		Wesenitz	2	0	2,6	4,7	3,7	3,0
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	0	0,84	1,1	1,0	7,2
ALLER / Endlager Morsleben								
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
	G-β	vor Salzbach	12	0	0,31	0,48	0,39	0,35
		nach Salzbach	12	0	0,35	0,49	0,43	0,40

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti- ment	Nuklid	Probenahmestelle	Anzahl 2012		Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2012		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2012	2011
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Belsdorf	1	1	<0,17	<0,17	nn	nn
		Schwanefeld	1	1	<0,21	<0,21	nn	nn
	Cs-137	Belsdorf	1	0	2,7	2,7	2,7	3,6
		Schwanefeld	1	0	2,1	2,1	2,1	2,4
Diverse Vorfluter / Schachanlage Asse II								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	R-β	Vorfluter b. Vahlberg	4	1	<0,10	0,13	0,11	0,14
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,29	<0,41	nn	nn
		Vorfluter b. Denkte	-	-	-	-	-	0,13
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Vorfluter b. Bansleben	1	1	<0,20	<0,20	nn	nn
		Vorfluter b. Denkte	1	1	<0,13	<0,13	nn	nn
	Cs-137	Vorfluter b. Bansleben	1	0	4,8	4,8	4,8	2,0
		Vorfluter b. Denkte	1	0	2,2	2,2	2,2	4,2
HAVEL / KKR Rheinsberg (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	50m vor Auslauf	5	5	<5,1	<9,6	nn	nn
		50m nach Auslauf	5	5	<5,1	<9,6	nn	nn
	Co-60	50m vor Auslauf	16	16	<0,0033	<0,017	nn	nn
		50m nach Auslauf	16	16	<0,0027	<0,018	nn	nn
	Cs-137	50m vor Auslauf	16	14	<0,0013	<0,015	<0,008	<0,008
		50m nach Auslauf	16	12	<0,0018	<0,016	<0,009	<0,007
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	50m vor Auslauf	2	2	<0,013	<0,072	nn	nn
		50m nach Auslauf	2	2	<0,10	<0,15	nn	nn
	Cs-137	50m vor Auslauf	2	0	12	13	13	13
		50m nach Auslauf	2	0	4,8	5,2	5,0	4,2
GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (stillgelegt)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslauf	16	16	<4,72	<10	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	15	<4,76	<10	<8,8	nn
	Co-60	vor Auslauf	16	16	<0,0039	<0,049	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	16	<0,0042	<0,048	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	16	12	0,012	<0,053	<0,037	<0,033
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	12	0,018	<0,052	<0,040	<0,038
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslauf	2	2	<0,20	<0,30	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	2	<0,15	<0,26	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	2	0	4,2	6,3	5,2	16,6
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	0	3,4	4,1	3,7	3,3

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 2012 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Im Jahr 2012 wurden aus dem Kontrollbereich des ERAM insgesamt 26 m³ Abwasser abgeleitet (Vorjahr: 9 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 0,5 GBq bzw. 0,6 GBq Spalt- und Aktivierungsprodukte abgegeben. Die H-3-Abgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 160 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 2012 wurden aus der Schachthanlage Asse II keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet. Die Strahlenexposition in der Umgebung der Schachthanlage Asse II resultiert daher ausschließlich aus Ableitungen über den Luftpfad (vgl. Teil B -II- 2.1.5). Für die aus dem Nebengestein zutretende Salzlösung wurde das Lösungsmanagement der Schachthanlage 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 2012 (Summenwerte, H-3 und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2012 - summation values, H-3 and alpha sources)

Kernkraftwerk	Aktivität in Bq		
	Spalt und Aktivierungsprodukte (außer H-3)	H-3	α-Strahler
Siedewasserreaktoren			
KWL Lingen ^a	3,1 E05	4,4 E07	3,6 E03
KWW Würgassen ^a	5,4 E05	9,4 E07	nn
KKB Brunsbüttel ^b	1,3 E07	7,3 E09	nn
KKI Isar 1 ^b	2,9 E07	4,8 E10	nn
KKP Philippsburg 1 ^b	3,3 E07	8,6 E10	nn
KKK Krümmel ^b	nn	1,3 E09	nn
KRB Gundremmingen	4,9 E08	3,5 E12	nn
Druckwasserreaktoren			
KWO Obrigheim ^a	2,7 E08	6,4 E08	7,2 E04
KKS Stade ^a	1,1 E07	1,2 E09	1,6 E04
KWB Biblis Block A ^b	1,2 E07	8,6 E11	1,4 E05
KWB Biblis Block B ^b	1,2 E07	6,0 E12	6,1 E04
GKN Neckar 1 ^b	nn	2,0 E12	nn
KKU Unterweser ^b	1,4 E08	1,9 E13	nn
KKG Grafenrheinfeld	2,0 E07	2,1 E13	nn
KWG Grohnde	2,7 E06	1,8 E13	nn
KKP Philippsburg 2	4,0 E07	1,1 E13	nn
KMK Mülheim-Kärlich ^a	2,9 E06	1,6 E07	nn
KBR Brokdorf	nn	2,3 E13	nn
KKI Isar 2	1,1 E06	2,3 E13	nn
KKE Emsland	nn	1,6 E13	nn
GKN Neckar 2	3,2 E06	2,0 E13	nn
KGR Greifswald Block 1 bis 5 ^a	8,9 E04	9,1 E08	nn
KKR Rheinsberg ^a	3,8 E06	4,9 E06	1,4 E05

a Anlage stillgelegt

b Anlage im Nichtleistungsbetrieb

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	
	2012	2011	2012	2011	2012	2011
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	3,0 E07	1,9 E08	5,7 E10	3,9 E11	3,9 E06	2,1 E06
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	9,5 E07	1,3 E08	3,0 E11	1,0 E12	nn	nn
GKSS Forschungszentrum Geesthacht	3,7 E06	8,1 E06	1,5 E08	4,5 E08	4,5 E03	2,4 E04
Helmholtz-Zentrum Berlin (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	4,6 E04	1,7 E05	6,9 E08	2,2 E08	1,5 E04	1,5 E04
Garching FRM I	-	-	-	-	-	-
Garching FRM II	6,7 E07	1,4 E08	2,8 E09	8,0 E09	nn	nn
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	3,1 E06	2,0 E06	6,5 E07	3,1 E08	5,2 E03	7,3 E04

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	
	2012	2011
ANF GmbH (Lingen)	nn	nn
URENCO (Gronau)	3,1 E03	4,6 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 radioactive waste repository Morsleben)

Radionuklid	Aktivität in Bq	
	2012	2011
H-3	2,5 E05	3,1 E03
Nuklidgemisch (außer H-3)	5,9 E03	1,3 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 2012 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 2012 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	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
	2012	0 - 10	14	26,1	80,8	8	1,3	2,0
Bayern	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
	2012	0 - 10	21	83,0	389,4	17	4,4	9,6
Berlin	2010	0 - 10	4	8,2	15,0	1	0,6	
	2011	0 - 10	3	6,0	6,8	1	0,6	
	2012	0 - 10	3	7,3	8,7	1	0,5	
Brandenburg	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
	2012	0 - 10	9	10,4	26,0	4	1,1	1,6
Bremen	2010	0 - 10	2	14,3	18,7	-	-	-
	2011	0 - 10	2	19,6	32,1	-	-	-
	2012	0 - 10	2	21,8	31,6	-	-	-
Hamburg	2010	0 - 10	a	a	a	-	-	-
	2011	0 - 10	1	5,3		-	-	-
	2012	0 - 10	1	4,8				

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	2010	0 - 10	2	17,4	25,9	-	-	-
	2011	0 - 10	2	14,5	16,0	-	-	-
	2012	0 - 10	2	11,9	12,7	-	-	-
Mecklenburg-Vorpommern	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
	2012	0 - 10	10	13,2	53,0	3	0,5	0,9
Niedersachsen	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
	2012	0 - 10	15	16,6	31,3	10	2,2	4,2
Nordrhein-Westfalen	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
	2012	0 - 10	16	8,6	13,0	5	<1,2	3,8
Rheinland-Pfalz	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
	2012	0 - 10	7	13,8	20,9	3	0,8	1,1
Saarland	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
	2012	0 - 10	4	26,7	40,7	a	a	a
Sachsen	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
	2012	0 - 10	8	11,9	41,3	5	0,8	1,0
Sachsen-Anhalt	2010	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2011	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2012	0 - 10	a	a	a	a	a	a
Schleswig-Holstein	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
	2012	0 - 10	8	11,1	17,7	6	1,0	1,3
Thüringen	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
	2012	0 - 10	7	17,4	27,3	3	1,0	1,2

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	Entnahme- tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden- Württemberg	2010	0 - 30	9	18,6	74,9	1	<0,2	
	2011	0 - 30	12	19,4	73,3	1	0,9	
	2012	0 - 30	11	16,6	53,4	a	a	a
Bayern	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
	2012	0 - 30	31	24,2	176,1	3	<4,6	10,5
Berlin	2010	0 - 30	2	6,7	7,7	1	0,7	
	2011	0 - 30	2	6,2	7,4	1	0,4	
	2012	0 - 30	2	6,3	7,1	1	1,0	
Brandenburg	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
	2012	0 - 30	9	6,9	24,0	3	0,4	0,7
Bremen	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
	2012	0 - 30	3	8,7	12,3	2	<0,5	0,5
Hamburg	2010	0 - 30	a	a	a	a	a	a
	2011	0 - 30	1	6,3		1	0,8	
	2012	0 - 30	1	4,9		1	0,6	
Hessen	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
	2012	0 - 30	6	8,9	16,6	2	0,7	1,0
Mecklenburg- Vorpommern	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
	2012	0 - 30	7	7,5	13,7	2	0,3	0,3
Niedersachsen	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
	2012	0 - (25/30)	25	8,0	14,0	7	1,0	1,6
Nordrhein- Westfalen	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
	2012	0 - 30	7	7,1	12,3	3	<1,6	4,0
Rheinland-Pfalz	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
	2012	0 - (25/30)	8	6,6	14,2	2	0,8	0,9
Saarland	2010	0 - 30	1	16,2		a	a	a
	2011	0 - 30	1	10,2		a	a	a
	2012	0 - 30	1	9,9		a	a	a
Sachsen	2010	0 - 30	7	7,4	16,6	a	a	a
	2011	0 - 30	7	6,9	17,1	a	a	a
	2012	0 - 30	7	7,4	18,8	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	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
	2012	0 - 30	15	9,7	46,0	5	<0,6	1,2
Schleswig-Holstein	2010	0 - 30	5	7,0	8,6	a	a	a
	2011	0 - 30	5	6,7	9,2	a	a	a
	2012	0 - 30	5	6,4	8,8	a	a	a
Thüringen	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
	2012	0 - 30	6	8,6	14,9	2	1,0	1,0

a Messwerte lagen nicht vor

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	2010	0 - 10	4	40,9	67,2	1	0,8	4,8
	2011	0 - 10	4	57,0	126,0	1	2,8	
	2012	0 - 10	4	28,3	59,5	2	2,8	
Niedersachsen	2010	0 - 10	2	98,6	119,0	1	9,0	a
	2011	0 - 10	2	119,5	131,0	1	23,0	
	2012	0 - 10	2	59,6	65,6	a	a	
Nordrhein-Westfalen	2010	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2011	0 - 10	a	a	a	a	a	a
	2012	0 - 10	a	a	a	a	a	a
Sachsen-Anhalt	2012	0 - 10	2	56,4	105,9	-	-	-

a Messwerte lagen nicht vor

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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	2010	20	<0,5	2,8	6	0,3	0,4
	2011	25	<0,14	0,5	13	0,2	0,6
	2012	25	<0,2	0,9	12	0,6	3,1
Bayern	2010	57	<0,7	5,2	28	<0,5	1,7
	2011	57	<0,6	6,8	30	0,4	2,0
	2012	55	<0,8	7,6	28	0,6	1,7
Berlin	2010	4	<0,3	0,5	1	0,3	1,2
	2011	3	0,4	0,6	1	2,2	
	2012	3	<0,7	1,2	1	1,2	
Brandenburg	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	2012	17	<2,0	14,0	9	0,5	1,5
	2010	2	0,3	0,3	1	0,4	
	2011	2	<0,3	0,4	1	0,3	
	2012	2	<0,2	0,2	1	0,4	
Hamburg	2010	1	0,1		a	a	a
	2011	2	<0,1	0,2	a	a	a
	2012	2	<0,1	0,1	a	a	a
Hessen	2010	15	<0,3	0,8	8	0,4	1,3
	2011	15	<0,3	0,4	8	0,3	1,2
	2012	16	<0,4	1,8	9	0,3	0,9
Mecklenburg-Vorpommern	2010	20	<1,5	26,1	8	0,3	1,0
	2011	23	<0,3	2,6	8	0,3	0,6
	2012	20	<0,4	6,2	8	0,2	0,8
Niedersachsen	2010	42	<0,8	7,5	21	0,3	1,0
	2011	45	<0,7	5,2	21	1,2	2,6
	2012	44	<0,6	4,3	21	0,9	2,1
Nordrhein-Westfalen	2010	27	<0,7*	<5,9**	10	0,7	2,5
	2011	8	<0,5	1,5	3	0,3	0,7
	2012	25	<0,4	<2,5**	10	0,2	0,5
Rheinland-Pfalz	2010	14	<0,2	0,6	7	0,3	0,4
	2011	14	<0,2	0,6	7	0,5	0,9
	2012	14	<0,3	0,7	7	0,2	0,4
Saarland	2010	5	<0,5	<0,5	2	0,5	0,7
	2011	4	<0,5	<0,5	2	0,4	0,6
	2012	4	<0,5	<0,5	2	0,1	0,1
Sachsen-Anhalt	2010	10	<0,5	2,0	5	0,1	0,2
	2011	10	<0,5	2,2	5	0,1	0,2
	2012	10	<0,3	1,0	5	0,1	0,3
Sachsen	2010	14	<0,3	1,5	6	0,2	0,3
	2011	14	<0,5	4,1	6	0,2	0,4
	2012	14	<0,7	6,7	6	0,2	0,3
Schleswig-Holstein	2010	22	<0,4	2,5	11	0,3	0,6
	2011	21	<0,3	0,8	11	0,3	0,5
	2012	22	<0,2	1,0	12	0,2	0,6
Thüringen	2010	17	<0,2	0,4	5	0,2	0,3
	2011	17	<0,1	0,2	5	0,1	0,2
	2012	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.	2010	236	<0,6	10,7	1	0,3	
Maissilagen	2011	211	<0,5	4,8	-	-	-
	2012	236	<0,4	4,3	-	-	-
Futterrüben	2010	24	<0,6	1,7	-	-	-
	2011	21	<0,4	1,5	-	-	-
	2012	24	<0,3	0,7	-	-	-
Futtergetreide	2010	131	<0,2	<0,8	-	-	-
	2011	124	<0,2	1,9	-	-	-
	2012	144	<0,2	2,2	-	-	-
Grünfutterpflanzen (ohne Mais)	2010	6	<0,3	<0,4	-	-	-
	2011	5	<0,2	<0,3	-	-	-
	2012	6	<0,5	<1,6	1	0,1	
Futterkartoffeln	2010	76	<0,5	2,4	-	-	-
	2011	65	<0,5	3,9	-	-	-
	2012	76	<0,4	1,5	-	-	-
Erbsen	2010	1	<0,2		-	-	-
	2011	3	<0,2	<0,3	-	-	-
	2012	3	<0,2	<0,3	-	-	-
Raps	2010	36	<0,3	1,3	-	-	-
	2011	20	<0,3	1,0	-	-	-
	2012	41	<0,3	4,6	-	-	-
Ölkuchen/ Ölschrote	2010	7	<0,3	0,4	-	-	-
	2011	7	<0,3	0,6	-	-	-
	2012	7	<0,2	0,3	-	-	-
Sonnenblumen	2010	1	0,9		-	-	-
	2011	a	a	a	-	-	-
	2012	1	<0,3		-	-	-
Kraftfuttermischung	2010	a	a	a			
	2011	1	<0,2		-	-	-
	2012	a	a	a			
Silage	2011	14	<0,3	0,5			
	2012	2	<0,4	0,4	1	2,3	

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	2010	16	<0,3	1,4
	2011	12	<0,4	1,9
	2012	6	<0,7	1,9
Mais, Maisprodukte	2010	7	<0,2	<0,4
	2011	11	<0,2	<0,5
	2012	9	<0,2	<0,5
Heu, Cobs	2010	a	a	a
	2011	1	<0,5	
	2012	a	a	a
Maniok, Tapioka	2010	1	<0,1	
	2011	a	a	a
	2012	1	<0,1	
Ölkuchen, Ölschrote	2010	45	<0,3	0,8
	2011	37	<0,3	0,7
	2012	39	<0,3	1,0
Sonnenblumen	2010	4	<0,3	0,4
	2011	1	<0,1	
	2012	a	a	a
Sojabohnen	2010	6	<0,4	1,0
	2011	8	<0,4	1,0
	2012	12	<0,3	0,8
Kraftfuttermischung	2010	a	a	a
	2011	3	<0,2	<0,5
	2012	2	<0,1	<0,1
Mühlennachprodukte	2010	4	<0,2	<0,2
	2011	a	a	a
	2012	1	<0,1	
Citrustrester	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	2010	108	<10,9	491,9
	2011	106	<11,8	705,6
	2012	110	<6,9	123,9

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Nadeln	2010	54	<40,7*	1126,0**
	2011	54	<32,7*	1010,0**
	2012	58	<21,9*	279,2**
Gras	2010	106	<13,3*	568,5**
	2011	103	<7,6	120,4
	2012	111	<14,6	374,0
Farne (Thüringen)	2010	2	33,6	66,4
	2011	2	37,6	73,8
	2012	2	48,9	96,5

* Der Wert ist nicht repräsentativ. Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Nadeln:

<20,2 in 2010;

<14,2 in 2011;

<17,4 in 2012.

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					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	8	12,4	8	12,0	6	4,8 (2,0 - 10,0)
	Pu-238	6	<0,95	6	<1,1	4	<1,6 (<0,9 - <2,7)
	Pu-(239+240)	6	<0,58	6	<0,7	4	<1,0 (<0,7 - <1,6)
	Sr-90	2	0,3	2	1,2	a	
KWO Obrigheim	Cs-137	6	6,1	4	5,3	2	3,4(3,2 - 3,6)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	6	7,4	4	7,8	4	5,5 (2,6 - 8, 8)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	11,1	6	11,5	6	10,1 (0,9 - 18,0)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	16,3	6	15,3	6	16,6 (11,7 - 27,9)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	17,7	2	14,1	2	14,5 (12,7 - 16,2)
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	33,8	10	36,7	10	35,4 (14,8 - 62,2)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKI Isar	Cs-137	12	37,6	12	47,5	12	37,3 (10,6 - 85,3)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	5,1	10	5,9	10	4,4 (0,5 - 7,9)
Forschungsreaktor München	Cs-137	3	39,5	4	38,4	4	10,4 (3,7 - 17,2)
Framatome ANP Erlangen KWU	Cs-137	4	15,2	4	13,1	4	8,7 (2,5 - 12,1)
	Pu-238	4	<0,13	4	<0,05	4	<0,11 (<0,05 - <0,36)
	Pu-(239+240)	4	<0,21	4	<0,14	4	<0,42 (<0,03 - <0,88)
	U-235	4	<0,25	4	0,37	4	<0,14 (<0,1 - 0,21)
	U-238	4	5,1	4	7,2	4	3,7 (1,3 - 6,0)
	Am-241	4	<0,1	4	<0,1	4	<0,06 (<0,04 - <0,09)
Framatome ANP Karlstein KWU	Cs-137	2	11,0	2	11,08	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	6	9,4	4	7,5	4	8,3 (7,0 - 10,3)
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	8	8,4	8	7,2	8	8,2 (5,9 - 13,0)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	6	6,3	10	6,2	6	6,2 (5,3 - 7,0)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	8	11,2	4	8,7	8	7,1 (4,4 - 10,3)
	U-235			2	0,55	4	0,71 (0,55 - 0,82)
Zwischenlager Nord	Cs-137	12	7,1	6	6,4	12	7,5 (1,4 - 15,6)
	U-235			6	0,64	a	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	5	12,4	7	10,1	4	11,9 (7,9 - 15,0)
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	10	10,7	10	11,2	8	9,7 (0,7 - 17,0)
	Sr-90	a		a		a	
KWG Grohnde	Cs-137	8	15,7	8	14,2	6	12,8 (8,5 - 18,2)
	Sr-90	a		a		a	
KKE Emsland	Cs-137	10	13,2	10	13,8	8	10,4 (4,7 - 20,0)
	Sr-90	a		a		a	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	23	20,4	22	22,8	26	22,2 (9,0 - 51,0)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Schacht Konrad II ^c	Sr-90	4	6,1	2	3,9	4	7,7 (5,4 - 12,3)
	Pu-238	2	b)<0,10; <0,10	1	<0,13	2	<0,11; <0,12
	Pu-(239+240)	2	b)<0,10; <0,10	1	<0,13	2	<0,11; <0,12
	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Cs-137	12	6,7	a		a	
	U-234	a		a		a	
	U-235	a		a		a	
	U-238	a		a		a	
Schachtanlage Asse II	Cs-137	8	15,0	12	13,6	4	13,0 (7,7 - 18,0)
	U-238			4	27	a	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	8	11,3	8	7,5	8	8,3 (4,1 - 16,0)
	Sr-90	6	0,5	6	0,3	6	0,5 (0,2 - 0,9)
KWW Würgassen	Cs-137	18	12,0	18	11,1	18	10,9 (3,7 - 29,5)
THTR Uentrop	Cs-137	6	16,2	4	17,8	4	31,5 (18,3 - 55,9)
	Sr-90	a		a		a	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	5	8,8	5	9,6	5	8,8 (6,1 - 9,9)
	Sr-90	5	0,5	5	0,7	5	0,6 (0,3 - 0,8)
UAG Gronau	U-238	10	<0,1	10	<0,2	10	<0,2 (<0,2 - <0,2)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	7,1	4	6,9	4	7,5 (3,5 - 13,5)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	11	9,3	11	7,6	11	9,7 (2,0 - 16,6)
SACHSEN							
VKTA Dresden-Rossendorf	Cs-137	10	5,6	8	4,8	10	3,3 (1,8 - 6,1)
	Sr-90	a		a		a	
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	8	5,9	4	5,1	8	6,4 (3,3 - 11,0)
	Sr-90	4	0,2	4	0,2	4	0,4 (0,2 - 0,52)
	Gesamt-β	4	595	2	580	4	600 (490 - 690)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	6	6,8	6	7,6	6	7,0 (5,4 - 8,8)
	Sr-90	2	0,3	2	0,2	2	0,3 (0,2 - 0,3)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	22,4	6	20,4	6	19,3 (8,5 - 37,2)
	Sr-90	1	2,6	1	3,3	a	
KKK Krümmel	Cs-137	10	5,9	8	5,7	8	6,0 (4,9 - 9,5)
	Sr-90	5	0,6	4	0,7	4	0,5 (0,4 - 0,8)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KBR Brokdorf	Cs-137	10	11,5	10	11,8	10	11,1 (5,0 - 20,0)
	Sr-90	4	1,8	4	2,0	4	1,7 (1,4 - 1,9)

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					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	9	<0,12	10	<0,16	10	<0,14 (0,06 - 0,30)
	Pu-238	4	<0,04	4	<0,05	4	<0,06 (<002 - <0,15)
	Pu-(239+240)	4	<0,01	4	<0,02	4	<0,03 (<0,01 - <0,06)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,20	6	<0,22	4	<0,21 (0,06 - <0,36)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	6	<0,39	6	<0,25	4	<0,22 (<0,04 - <0,38)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	<0,40	6	<0,44	6	<0,35 (0,04 - 0,56)
	Sr-90	a		a		a	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	0,21	6	0,32	9	<0,22 (0,05 - 0,77)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	0,28	2	0,41	2	0,74 (0,15 - 1,33)
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	<0,31	10	<0,35	10	<0,32 (0,06 - 0,67)
KKI Isar	Cs-137	12	0,46	12	0,64	12	0,57 (0,16 - 1,11)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	<0,17	10	<0,22	10	<0,14 (<0,08 - <0,23)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	1,78	4	1,30	4	<0,14 (<0,09 - 0,23)
Framatome ANP Erlangen KWU	Cs-137	4	<0,89	4	<0,47	4	<0,24 (<0,13 - <0,30)
	Pu-238	4	<0,01	4	<0,01	4	<0,03(<0,01 - <0,08)
	Pu-(239+240)	4	<0,03	4	<0,03	4	<0,04(<0,01 - <0,08)
	U-235	4	<0,04	4	<0,03	4	<0,05(<0,01 - <0,11)
	U-238	4	<0,04	4	<0,03	4	0,21 (0,04 - 0,62)
	Am-241	4	<0,02	4	<0,03	4	<0,03(<0,01 - 0,05)
Framatome ANP Karlstein	Cs-137	2	<0,16	2	<0,22	a	
	Pu-238	a		a		a	
	Pu-(239+240)	a		a		a	
	U-235	a		a		a	
	U-238	a		a		a	
	Am-241	a		a		a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
SBWK Karlstein	Gesamt- α	a		a		a	
BERLIN							
Forschungsreaktor BER II	Cs-137	6	<0,72	4	0,83	4	0,90 (0,53 - 1,70)
	Sr-90	a		a		a	
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	8	2,4	8	3,51	8	3,29 (0,65 - 7,0)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	6	<0,15	6	<0,11	6	<0,11 (<0,08 - <0,13)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	8	<0,19	4	<0,18	8	<0,21 (<0,05 - 0,53)
Zwischenlager Nord	Cs-137	12	<0,25	6	<0,16	12	<0,26 (0,08 - 1,03)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	6	<0,07	6	<0,12	4	<0,10 (<0,05 - 0,14)
KKU Unterweser	Cs-137	12	<0,21	10	<0,16	8	<0,08 (<0,04 - <0,15)
	Sr-90	a		a		a	
KWG Grohnde	Cs-137	8	<0,10	8	<0,10	6	<0,12 (<0,03 - 0,27)
Zwischenlager Grohnde	Cs-137	a		a		a	
KKE Emsland	Cs-137	10	<0,25	10	<0,30	8	<0,29 (<0,05 - 0,83)
Zwischenlager Lingen	Cs-137	a		a		a	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	20	2,65	16	5,7	20	6,0 (0,22 - 32,5)
	Sr-90	4	1,73	2	8,0	4	1,3 (0,4 - 2,2)
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	4	0,1	a		4	<0,3 (0,08 - 0,69)
	Pu-238	a		a		a	
	Pu-(239+240)	a		a		a	
	U-234	5	0,11	1	0,027	4	0,15 (0,05 - 0,39)
	U-235	5	<0,01	1	<0,004	4	<0,013 (<0,01 - 0,017)
	U-238	5	0,09	1	0,018	4	0,16 (0,06 - 0,41)
Schachtanlage Asse	Cs-137	10	<0,51	12	<0,28	6	<0,3 (<0,1 - <0,5)
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	8	<0,11	8	<0,06	8	<0,4 (<0,03 - <0,5)
	Sr-90	a		a		a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWW Würgassen	Cs-137	10	<0,06	9	<0,15	10	0,07 (0,02 - 0,1)
	Sr-90	a		a		a	
THTR Uentrop	Cs-137	6	<0,51*	4	<0,24*	2	0,2 (0,1 - 0,2)
	Sr-90	a					
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	5	<0,10	10	0,19	10	0,3 (0,03 - 0,9)
	Sr-90	5	0,23	10	0,86	10	1,5 (0,7 - 2,3)
UAG Gronau	U-238	5	<0,5*	3	<0,2*	4	<0,6*(<0,6 - <0,6)
	Uran	12	<0,16*	a		a	
	Fluor (mg/kg TM)	12	<2,3	a		a	
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	<0,22	4	<0,21	4	<0,18 (<0,05 - <0,41)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	6	<0,10	6	<0,09	12	<1,5 (<0,05 - 6,0)
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	10	<0,27*	10	0,16*	10	<0,4 (<0,3 - 0,7)
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	4	<0,30	4	<0,28	8	<0,19 (<0,07 - <0,30)
	Gesamt-β	4	190	2	255	4	240 (200 - 270)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,15	4	<0,24	4	<0,19(0,07 - 0,16)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	<0,12	6	<0,08	6	<0,10 (<0,08 - <0,12)
	Sr-90						
KKK Krümmel	Cs-137	4	0,18	4	0,25	4	0,32 (0,23 - 0,40)
	Sr-90	4	0,40	4	0,37	4	0,25 (0,18 - 0,31)
KBR Brokdorf	Cs-137	10	<0,46	10	<0,48	10	<0,18 (<0,07 - <0,33)
	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

* 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 2012 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 0,63 mBq/l bis 95 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Werte beträgt <7 mBq/l (2011: <6,5 mBq/l).

In 23 % der gemessenen Proben konnte Sr-90 mit Aktivitätskonzentrationen von 0,25 mBq/l bis 24 mBq/l (2011: 0,3 bis 25 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei <2,7 mBq/l (2011: 2,3 mBq/l).

In den auf H-3 untersuchten Grundwasserproben wurden ebenfalls ausschließlich Messwerte unterhalb der Nachweisgrenzen zwischen 1,6 Bq/l und 10 Bq/l (52 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 nahezu 100 % aller Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,15 mBq/l bis 90 mBq/l, ein tatsächlich gemessener Wert liegt bei 4,7 mBq/l (2011: zwischen 1,3 und 4,4 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <6,2 mBq/l (2011: <6,2 mBq/l).

In 52 % der untersuchten Proben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,057 mBq/l und 13 mBq/l (2011: 0,047 und 12 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei <3 mBq/l (2011: <2,8 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 von bis zu etwa 90 mBq/l. In der Wasserversorgungsanlage Friedland (Mecklenburg-Vorpommern) wurden noch etwas höhere Maximalwerte gefunden, U-234: 230 mBq/l, U-238: 200 mBq/l. Konzentrationen von Plutoniumisotopen konnten oberhalb der geforderten Nachweisgrenzen nicht nachgewiesen werden.

Eine Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Weg über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr klein. Legt man die Maximalwerte für Cs-137 von 4,7 mBq/l und für Sr-90 von 13 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 0,043 bzw. 0,25 µSv/a. Für den Säugling (0 bis 1 Jahr) errechnen sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 340 Liter Ingestionsdosen von 0,034 bzw. 1,0 µSv/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	2012						2011
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^a	Maximal- wert ^a	Mittel- wert ^a	Median	Median
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	93	53	22	3700		<160	<160
	Cs-137	93	93				<7	<6,5
	Sr-90	44	34	0,25	24		<2,7	2,3
	H-3	52	52				<4700	<4600
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	102	63	28	810		<140	<150
	Cs-137	110	106	2,8	4,5		<5,5	<4,9
	Sr-90	57	26	0,075	19	4,8	3,9	3
	H-3	67	63	1500	3800		<3600	<3500
Reinwasser	K-40	237	167	27	1100		<140	150
	Cs-137	237	236	4,7	4,7		<6,2	<6,2
	Sr-90	69	33	0,057	13	3.3	<3	<2,8
	H-3	77	74	1800	4800		<3500	<3700

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 2012 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 136 Grundwassermessstellen mitgeteilt.

Für Cs-137 liegen (von 197 untersuchten Wasserproben) alle Messwerte unter den angegebenen Nachweisgrenzen von 0,063 mBq/l bis 330 mBq/l. Der Median aller angegebenen Nachweisgrenzen liegt bei <23 mBq/l (2011: <24 mBq/l).

In 75 % der untersuchten Proben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Werte für die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,16 mBq/l und 27 mBq/l. Der Median liegt bei 3,6 mBq/l (2011: 4,5 mBq/l).

Die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 17 mBq/l und 170 mBq/l (2011: 19 bis 200 mBq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von 34 mBq/l (2011: 36 mBq/l).

In 6,4 % der untersuchten Wasserproben wurde H-3 im Konzentrationsbereich von 1,3 Bq/l bis 16 Bq/l nachgewiesen (2011: 1,6 Bq/l bis 17 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei <6,0 Bq/l (2011: <5,5 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 maximalen H-3-Konzentrationen bis 16 Bq/l (2011: 17 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 25 mBq/l (2011: 94 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 außerhalb des Kernkraftwerkes Philippsburg weisen H-3-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 10 Bq/l auf.

Trinkwasser

Im Jahr 2012 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz Messwerte von 35 Rohwasser- und 32 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 bei 81 untersuchten Proben zwei Messwerte (0,35 und 0,52 mBq/l) oberhalb der angegebenen Nachweisgrenzen von 0,21 mBq/l bis 39 mBq/l (2011: keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen) ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei <6,5 mBq/l (2011: <8,6 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentration für Sr-90 (von 17 Proben 9 Messwerte über der Nachweisgrenze) liegt zwischen 0,13 mBq/l und 4 mBq/l (2011: ein Messwert über Nachweisgrenze, 3 mBq/l), mit einem Median aller Werte von <2 mBq/l.

In 2 von 86 gemessenen Proben wurde H-3 in Konzentrationen bei 17 Bq/l und 20 Bq/l (2011: 20 bis 22 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei <5,5 Bq/l (2011: <3,5 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 weist lediglich H-3-Konzentrationen von <10 Bq/l auf. Selbst unter der Annahme, dass der gesamte Trinkwasserbedarf mit Wasser aus den Einzelwasserversorgungen gedeckt würde, ergäbe sich nur eine unwesentliche Erhöhung gegenüber der natürlichen Strahlenexposition für die betroffenen Personen.

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

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	2012						2011
		Anzahl gesamt ^a	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^b	Maximal- wert ^b	Mittel- wert ^b	Median	Median
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	178	98	15	3000		<470	<480
	Co-60	348	342	6	25		<26	<31
	Cs-137	197	197				<23	<24
	H-3	357	334	1300	16 000	<6000	<5500	
	Sr-90	24	6	0,16	27	5,9	3,6	4,5
	R-Beta	51	40	110	300		120	
	G-Alpha	34	16	17	170	4,1	34	36
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	55	40	28	560		190	<350
	Co-60	86	86				<8,6	<14
	Cs-137	60	60				<6,6	<11
	H-3	87	82	2400	9000	<3100	<3200	
	Sr-90	17	12	0,14	3,5	<5	4	
	G-Alpha	3	0	45	60	54	56	58
	Reinwasser	K-40	81	43	24	380		<110
Co-60		82	82			<7		<11
Cs-137		81	79	0,35	0,52	<6,5		<8,6
H-3		86	84	17 000	20 000	<5500	<3500	
Sr-90		17	8	0,13	4	1,2	<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 für Co-60 sein.

b 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.

2.4.3 Milch und Milchprodukte (Milk and milk products)

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall deponierten Cs-137, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cs-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die Sr-90-Aktivitätskonzentration ist gegenüber dem Jahr 2011 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 Ländermessstellen 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 2012.

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.

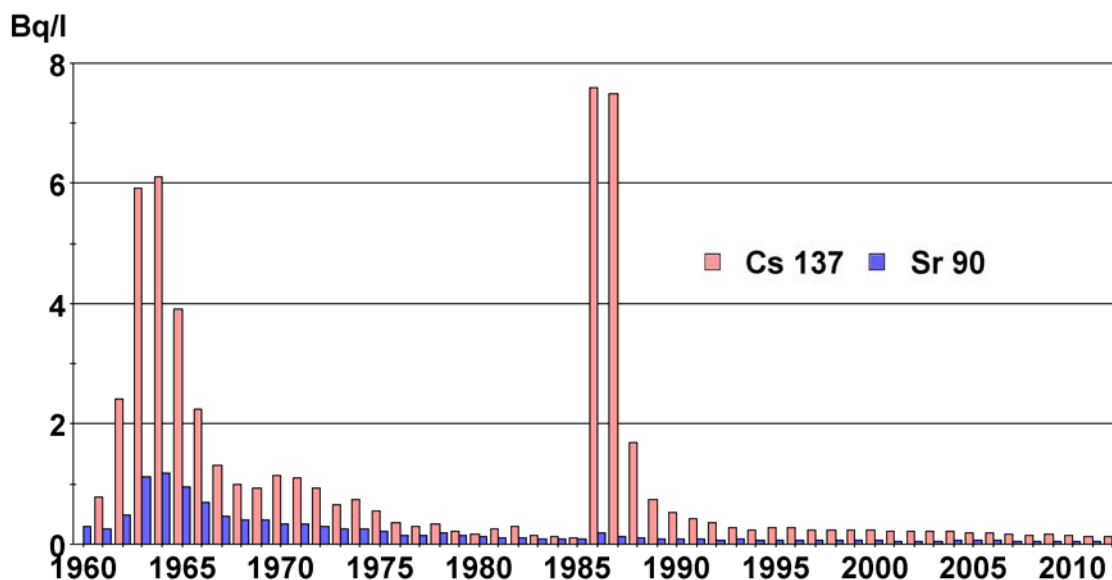


Abbildung 2.4.3-1 Jahresmittelwerte der Sr-90- und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland
(Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)

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	2010	8	<0,06	82	<0,11
	2011	22	0,06	77	<0,12
	2012	24	0,04 (0,02 - 0,06)	84	<0,11 (<0,02 - 0,37)
Bayern	2010	24	<0,04	214	<0,15
	2011	30	<0,04	214	<0,15

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Berlin	2012	26	0,05 (0,01 - 0,10)	214	<0,13 (<0,06 - 0,35)
	2010	12	0,02	24	<0,50
	2011	12	0,02	24	0,29
	2012	12	<0,02 (<0,01 - 0,02)	26	<0,09 (<0,03 - 0,28)
Brandenburg	2010	17	0,03	51	<0,16
	2011	16	0,02	51	<0,16
	2012	16	0,02 (0,01 - 0,03)	52	<0,13 (0,05 - 0,40)
Bremen	2010	12	<0,02	12	<0,34
	2011	12	<0,12	12	<0,32
	2012	12	<0,04 (<0,02 - 0,9)	12	<0,27 (<0,01 - 1,01)
Hamburg	2010	6	0,02	12	<0,07
	2011	12	0,01	12	<0,06
	2012	13	0,02 (0,01 - 0,04)	14	<0,09 (<0,05 - 0,34)
Hessen	2010	15	0,03	50	<0,08
	2011	21	0,03	48	<0,08
	2012	19	<0,04 (<0,02 - 0,30)	51	<0,07 (<0,03 - <0,1)
Mecklenburg-Vorpommern	2010	12	0,02	48	<0,14
	2011	12	<0,02	48	<0,12
	2012	12	<0,02 (<0,01 - 0,08)	47	<0,14 (0,06 - 0,40)
Niedersachsen	2010	29	0,04	198	<0,26
	2011	65	<0,05	154	<0,19
	2012	65	<0,06 (0,01 - <1)	192	<0,16 (<0,01 - 0,59)
Nordrhein-Westfalen	2010	13	<0,03	116	<0,12
	2011	23	0,03	94	<0,11
	2012	22	<0,02 (0,01 - 0,05)	122	<0,10 (<0,04 - <0,27)
Rheinland-Pfalz	2010	11	0,03	50	<0,06
	2011	22	0,02	39	<0,06
	2012	23	0,02 (0,02 - 0,03)	51	<0,05 (0,01 - <0,12)
Saarland	2010	12	<0,05	15	<0,20
	2011	10	<0,08	13	<0,20
	2012	12	0,10 (0,01 - 0,26)	15	<0,20 (<0,2 - <0,2)
Sachsen	2010	12	0,02	60	<0,09
	2011	12	0,02	60	<0,09
	2012	12	0,02 (0,01 - 0,02)	60	<0,09 (0,05 - 0,26)
Sachsen-Anhalt	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	71	<0,39
	2012	12	<0,03 (<0,02 - 0,11)	72	<0,35 (0,08 - 2,9)
	2010	12	0,04	88	<0,15
	2011	24	0,03	84	<0,13
	2012	23	<0,03 (<0,02 - 0,06)	95	<0,12 (<0,05 - 0,18)
Thüringen	2010	12	0,01	36	<0,09
	2011	12	<0,01	36	<0,09
	2012	12	0,02 (0,01 - 0,02)	36	<0,12 (<0,1 - <0,19)
Bundesrepublik (gesamt)	2010	219	<0,03	1128	<0,17
	2011	317	<0,04	1037	<0,16
	2012	315	<0,03 (<0,01 - <1)	1143	<0,14 (<0,01 - 2,9)

Tabelle 2.4.3-2 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2012
(Areas of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2012)

Produkt	N	Cs-134 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1143	<0,27	<0,01	2,9	<0,01
Käse	1	<0,15		0,29	
Sauermilcherzeugnisse	2	<0,18	<0,16	1,07	<0,66
Importe					
Käse	62	<0,2	<0,05	<0,5	<0,06
Frischkäse	6	<0,16	<0,06	0,27	<0,08
Schafskäse	8	<0,23	<0,06	<0,2	<0,07
Ziegenkäse	2	<0,16	<0,05	<0,17	<0,06
Lakenkäse	4	<0,16	<0,05	<0,19	<0,08

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 in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz
(Radioactive contamination of milk from the surroundings of facilities according to the Atomic Energy Act)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2011		2012	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG					
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,02	2	<0,02 (0,01 - <0,03)
	Sr-90	2	0,03	a	
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,039 - 0,07	1	<0,04
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,03	4	<0,04(<0,02 - <0,06)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2011		2012	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
GKN Neckarwestheim	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,005 - <0,013	9	<0,006 - <0,008
	Cs-137	4	<0,06	4	<0,04 (<0,03 - <0,04)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,005 - <0,009	10	<0,03 - <0,09
KKP Philippsburg	Cs-137	4	<0,04	4	<0,02 (<0,02 - <0,03)
	Sr-90	4	0,02	2	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,004 - <0,008	11	<0,005 - <0,01
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	7	<0,04	7	<0,03 (<0,02 - <0,05)
	Sr-90	5	0,03	5	0,03 (0,03 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,004 - <0,012	11	<0,004 - <0,007
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	<0,04	4	<0,04 (<0,03 - <0,05)
	Sr-90	4	0,03	2	0,03 (0,03 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,008 - <0,098	10	<0,004 - <0,007
BAYERN					
KRB Gundremmingen	Cs-137	6	<0,02	6	0,03 (0,02 - 0,05)
	Sr-90	6	<0,02	6	<0,01 (<0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,004 - <0,007	18	<0,004 - <0,007
KKI Isar	Cs-137	4	0,07	4	0,07 (0,05 - 0,08)
	Sr-90	4	<0,02	4	<0,03 (<0,01 - 0,06)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,004 - <0,007	12	<0,004 - <0,008
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	6	<0,18	6	<0,15 (<0,12 - <0,20)
	Sr-90	6	<0,02	6	<0,02 (<0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,004 - <0,009	18	<0,002 - <0,007
FRM II	Cs-137	2	0,03	2	<0,02 (<0,01 - <0,02)
	Sr-90	2	<0,01	2	<0,02 (<0,01 - 0,03)
BRANDENBURG					
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	<0,09	4	<0,13 (<0,1 - 0,2)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	4	0,07 - 0,23	4	<0,09 - <0,106
HESSEN					
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,07	9	<0,06 (<0,02 - <0,13)
	Sr-90	6	0,01	4	0,01 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	31	<0,003 - <0,14	27	<0,003 - <0,008
MECKLENBURG-VORPOMMERN					
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,102	4	<0,10 (<0,08 - <0,12)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2011		2012	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	Sr-90	4	0,02	4	0,015 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	4	<0,088 - <0,138	2	<0,09 - 0,12
NIEDERSACHSEN					
KKS Stade	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
	I-131 (nur Bereich)	a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	4	<0,07	4	<0,08 (<0,07 - <0,10)
	Sr-90	4	0,03	4	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,05 - <0,14	12	<0,001 - <0,026
KWG Grohnde	Cs-137	4	<0,07	3	<0,06 (<0,06 - <0,07)
	Sr-90	4	0,03	3	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,06 - <0,035	11	<0,004 - <0,023
KKE Emsland	Cs-137	4	<0,09	4	<0,07 (<0,05 - 0,09)
	Sr-90	4	0,03	4	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,018	12	<0,003 - <0,02)
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	24	<0,26	24	<0,24 (<0,07 - 0,45)
	Sr-90	12	0,04	12	0,03 (0,02 - 0,05)
	I-129 (µBq/l)	a		a	
Endlager Konrad ^b	Cs-137	a		a	
	Sr-90	a		a	
	I-131 (nur Bereich)	a		a	
Schachtanlage Asse	Cs-137	2	<0,12	1	<0,1
NORDRHEIN-WESTFALEN					
FZ Jülich	Cs-137	4	<0,2	4	<0,11 (<0,06 - <0,2)
	Sr-90	4	0,03	4	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	50	<0,003 - 0,129	36	<0,003 - <0,01
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)	a		a	
	Fluor (mq/l)	a		a	
RHEINLAND-PFALZ					
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	1	<0,09	2	<0,07 (<0,06 - 0,07)
	Sr-90	a		a	

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2011		2012	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
KKW Cattenom	I-131 (nur Bereich)	a		a	
	Cs-137	2	<0,02	6	<0,02 (0,01 - <0,02)
	Sr-90	2	0,02	6	0,03 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	6	<0,008 - <0,008	12	<0,007 - <0,008
SACHSEN					
VKTA Rossendorf	Cs-137	2	<0,09	2	<0,09 (<0,08 - <0,09)
	Sr-90	2	0,03	2	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,067 - <0,097	2	<0,07 - <0,07
SACHSEN-ANHALT					
Endlager Morsleben	Cs-137	2	<0,11	4	<0,11 (<0,10 - <0,11)
	Sr-90	a		a	
SCHLESWIG-HOLSTEIN					
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,14	4	<0,13 (<0,12 - <0,15)
	Sr-90	4	0,03	4	<0,03 (<0,02 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,004 - <0,01	10	<0,005 - <0,01
KKB Brunsbüttel	Cs-137	4	<0,05	4	<0,08 (<0,03 - 0,11)
	Sr-90	4	0,03	4	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	28	<0,006 - <0,02	28	<0,006 - <0,01
KKK Krümmel	Cs-137	6	<0,05	5	0,05 (0,03 - 0,08)
	Sr-90	6	0,03	5	0,03 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	20	<0,005 - <0,01	15	<0,006 - <0,01
KBR Brokdorf	Cs-137	4	<0,06	4	<0,05 (<0,03 - <0,1)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	20	<0,006 - <0,01	20	<0,007 - <0,01
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	1	<0,05	1	<0,03
	Sr-90	1	0,02	1	0,03
	I-131 (nur Bereich)	5	<0,009 - <0,01	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 spezifische Aktivitäten einzelner Radionuklide in Fischen, Krusten- und Schalentieren der Binnengewässer und der Meere für das Jahr 2012 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 repräsen-

tativer Mittelwertschätzer verwendet. Die hier angegebenen Gesamtanzahlen N von Messwerten umfassen auch die nicht nachgewiesenen (nn), also 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) sind auch im Jahr 2012 etwa eine Größenordnung höher als die aus Fischteichen und aus Fließgewässern (Tabelle 2.4.5-1).

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

Messungen der Bundesländer

Gewässer	Region	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2012					2011
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Binnenseen	Norddeutschland	46	5	<0,10	24,0	1,56	1,30
	Mitteldeutschland	8	3	<0,10	42,3	0,22	0,06
	Süddeutschland	23	1	0,20	17,8	2,33	1,80
Fischteiche	Norddeutschland	10	4	<0,10	0,67	0,25	0,21
	Mitteldeutschland	27	11	<0,10	0,47	0,15	0,14
	Süddeutschland	17	10	<0,10	0,43	0,13	0,14
Fließgewässer	Norddeutschland	7	1	<0,16	0,75	0,25	0,22
	Mitteldeutschland	25	19	0,09	2,11	0,072	0,04
	Süddeutschland	6	3	<0,10	0,70	0,14	0,35
nicht spezifizierte Gewässer	Norddeutschland	1	0	0,18	0,18	0,18	1,28
	Mitteldeutschland	1	0	0,17	0,17	0,17	
	Süddeutschland	7	6	<0,13	<0,31	<0,20	0,13

Der in der Region „Mitteldeutschland“ berichtete Maximalwert geht auf eine Probe von Flussbarsch aus dem Arendsee in Sachsen-Anhalt zurück, auf den Messwerte von 24,7 und 5,22 Bq/kg FM für einen Hecht und eine Schleie aus dem Schollener See folgten. Die Aktivitäten der restlichen Proben betrug maximal 0,25 Bq/kg FM. 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					
	2012					2011
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Forellen	36	21	<0,10	0,63	0,11	0,14
Karpfen	29	9	<0,10	5,60	0,18	0,20

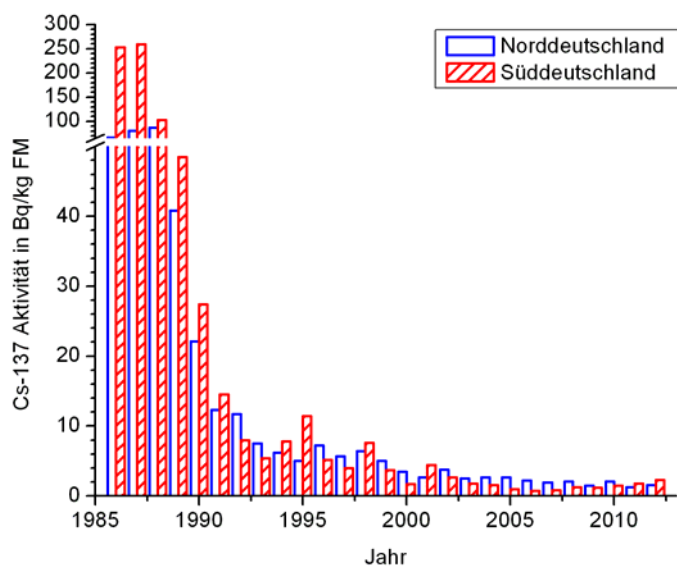


Abbildung 2.4.5-1
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from lakes in Bq/kg WW)

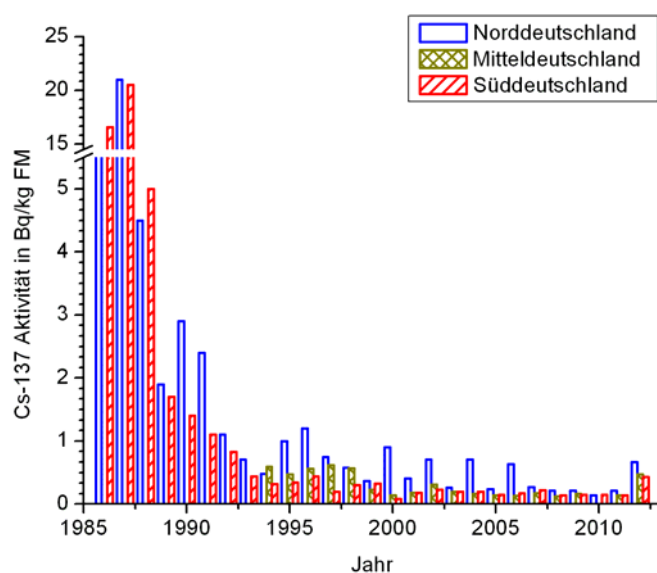


Abbildung 2.4.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms in Bq/kg WW)

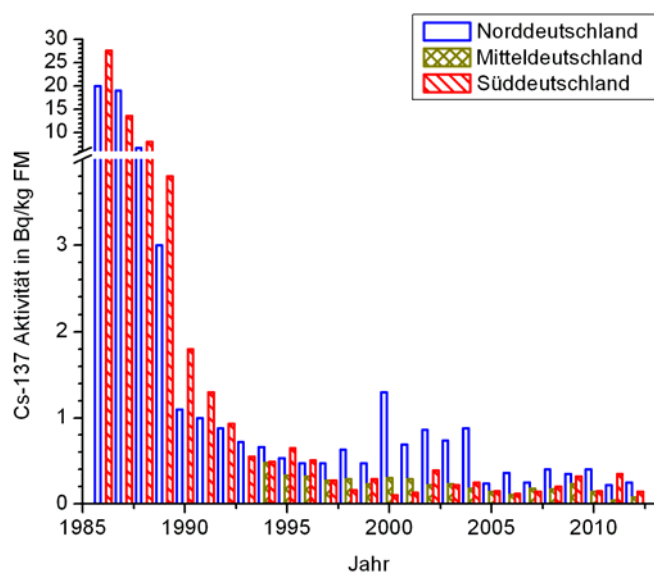


Abbildung 2.4.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers in Bq/kg WW)

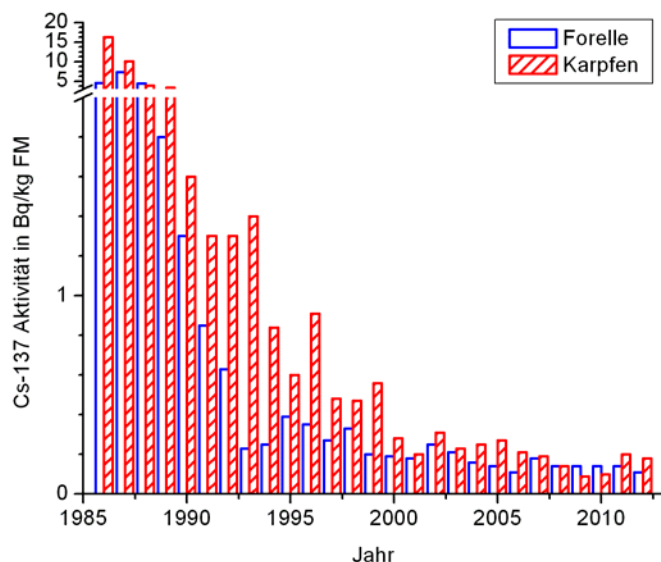


Abbildung 2.4.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in carp and trout in Bq/kg WW)

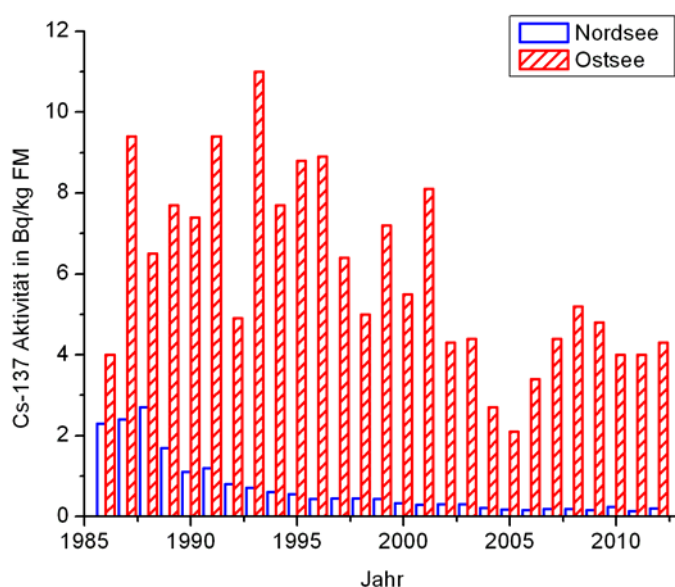


Abbildung 2.4.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas in Bq/kg WW)

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 2012 bis auf zwei Proben unterhalb von 0,7 Bq/kg. Der Median liegt bei 0,20 Bq/kg. Die beiden höheren Werte von 5,7 Bq/kg (Kabeljau) und 7,4 Bq/kg (Wittling) sind wahrscheinlich eher der Ostsee bzw. dem Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee zuzuordnen, bzw. der Fisch ist aus der Ostsee 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 ermittelte Cs-137-Aktivität in Fischen aus der Ostsee dominiert. Unterstrichen werden diese Vermutungen noch dadurch, dass der Maximalwert von 8,4 Bq Cs-137/kg FM in der Ostsee ebenfalls in einer Probe von Wittlingen bestimmt wurde. 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 Garnelenfleisch, die an der Nordseeküste entnommen und deren Messwerte von den Landesmessstellen übermittelt wurden, konnte im Jahr 2012 kein Cs-137 nachgewiesen werden, weil sämtliche Einzelwerte unterhalb der Nachweisgrenze lagen (vgl. Tabelle 2.4.5-3). Dagegen wurde in Proben von Miesmuscheln Cs-137 mit Aktivitäten von maximal 0,29 Bq/kg FM ermittelt. Die Aktivitäten bewegen sich aber insgesamt auf sehr niedrigem Niveau im Bereich der Nachweisgrenzen. Dieses ist wahrscheinlich auf einen ähnlichen Konzentrationsverlauf im Meerwasser der Nordsee zurück zu führen (siehe Kapitel 2.2.1), wobei die Miesmuscheln eine schnellere Reaktion zeigen als die Garnelen.

Die im Jahr 2012 in Proben aus Importen ermittelten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tabelle 2.4.5-4) lagen bei etwa 0,07 Bq/kg (Süßwasserfisch) und 0,09 Bq/kg (Seefisch); für Fischereierzeugnisse sowie Krusten- und Schalentiere wurde kein signifikanter Wert gefunden.

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

Gewässer	Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2012					2011
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Nordsee	Fische	48	8	0,07	7,4	0,20	0,14
	Garnelen	14	14	<0,11	<0,18	<0,14	<0,14
	Miesmuscheln	16	12	<0,10	0,29	0,13	<0,14
Ostsee	Fische	18	1	<0,15	8,4	4,3	4,0

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

Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2012					2011
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Süßwasserfisch	29	16	<0,10	1,8	0,07	0,04
Seefisch	127	72	0,07	7,35	0,09	0,09
Krusten- u. Schalentiere	11	11	<0,10	<0,26	<0,13	<0,14
Fischereierzeugnisse	10	10	<0,10	<0,41	<0,16	0,08

Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 wurde ein europaweites Schnellwarnsystem zur Überwachung der Radioaktivität in importierten Lebensmitteln aus dem pazifischen Raum eingerichtet. Danach werden in die EU eingeführte Waren aus Japan stichprobenartig auf die Aktivitäten von Cs-134 und Cs-137 kontrolliert und die ermittelten Werte mit denen verglichen, die 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 2.4.5-5 zusammengestellt, während die Werte für Cs-134 an denselben Proben alle unterhalb der Nachweisgrenze waren (Daten nicht gezeigt). Die im Jahr 2012 in Seefisch aus Japan nachgewiesenen Aktivitäten von Cs-137 waren mit einem Median von 0,10 Bq/kg in derselben Größenordnung wie die von Seefisch in der Nordsee, allerdings sind die Maximalwerte der Proben aus der Nordsee deutlich höher (vergleiche Tabelle 2.4.5-5 und Tabelle 2.4.5-3). In Krusten- und Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen konnten keine Cs-137 Aktivitäten oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt werden.

Tabelle 2.4.5-5 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen aus dem Pazifik
(*Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans and fishery products from the Pacific Ocean*)

Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2012					2011
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Seefisch	16	11	0,09	0,26	0,10	0,14
Krusten- u. Schalentiere	0	0				<0,36
Fischereierzeugnisse	10	10	<0,1	<0,41	<0,16	<0,44

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 als 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-Aktivitätskonzentration bewirken können. Für Fische aus Nord- und Ostsee lagen für 2012 noch keine Ergebnisse von Sr-90-Messungen der Leitstelle vor.

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

Probenart	Gewässer	spez. Sr-90-Aktivität in Bq/kg FM					
		2012					2011
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch	Binnenseen	15	5	<0,0070	0,050	0,019	0,031
	Fischteiche	9	3	<0,0051	0,440	0,014	0,014
	Fließgewässer	6	4	<0,0096	0,016	<0,015	<0,020
Garnelen	Nordsee	12	9	<0,020	0,080	0,010	0,025
Miesmuscheln	Nordsee	12	8	0,020	0,061	0,0074	0,016

Routineprogramm der Leitstelle

Fischproben aus Ostsee, Nordsee, Barentssee und der Grönlandsee wurden während diverser Reisen mit dem FFS „Walther-Herwig-III“ genommen. Zusätzlich wurden vom Thünen-Institut für Ostseefischerei eine Reihe von Fischproben aus der Ostsee zur Verfügung gestellt, die das Institut über das Jahr verteilt u. a. von Reisen kommerzieller Fischkutter beschaffte. Die gammaspektrometrischen Messungen des größeren Teils der Proben aus dem Berichtsjahr 2012 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.

Tabelle 2.4.5-7 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten von Fischen aus verschiedenen Meeresgebieten inkl. Nachtrag zu früheren Jahren
(Specific radionuclide activities in fish from different marine areas incl. supplement to earlier years)
 Ergebnisse von „Walther-Herwig-III“-Fahrten in den Jahren 2010 bis 2012;
 Messungen der Leitstelle-vT1

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	2012	2	1	0,00094	<0,0014	<0,0014
	Cs-137	2012	15	0	0,12	0,24	0,16
Norwegische See							
Fischfleisch	Cs-137	2012	4	0	0,19	0,27	0,23
	Sr-90	2012	1	0	0,00096	0,00096	0,00096
südlich Grönland							
Fischfleisch	Cs-137	2012	2	0	0,17	0,45	0,31
	Cs-134	2012	2	1	<0,0044	0,0090	<0,0067
		2011	4	2	<0,0032	0,0059	0,0037
Nordsee							
Fischfleisch	Cs-137	2012	13	0	0,067	0,33	0,19
	Sr-90	2012	2	0	0,0011	0,0013	0,0012
		2011	1	0	<0,0021	<0,0021	<0,0021
Gesamtfisch	Cs-137	2012	13	0	0,060	0,21	0,11
	Sr-90	2011	8	0	0,0021	0,0089	0,0047
		2010	3	1	0,0024	0,011	0,0024
Ostsee (südliche und westliche)							
Fischfleisch	Cs-137	2012	13	0	0,80	8,4	4,4
	Sr-90	2011	7	0	0,00085	0,015	0,0030
Gesamtfisch	Cs-137	2012	16	0	0,79	3,5	2,6
	Cs-134	2011	48	41	0,0026	<0,0097	0,0035
	Sr-90	2011	8	0	0,0063	0,043	0,015

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 Fische der Nordsee, verglichen mit den 1980er und 1990er Jahren, erheblich abgenommen hat.

In einigen der bei Grönland und in der Ostsee genommenen Fischproben des Jahres 2011 wurden sehr niedrige spezifische Aktivitäten von Cs-134 gefunden. Im Rahmen gamma-spektrometrischer Nachuntersuchungen wurde der Hinweis erhärtet [3], dass diese Werte, im Mittel $5,9 \text{ mBq kg}^{-1}$ bei Grönland und $3,5 \text{ mBq kg}^{-1}$ in der Ostsee, dem luftgetragenen Eintrag des Fukushima-Fallouts zuzuordnen waren. In zwei im Herbst 2012 bei Grönland genommenen Fischproben wurden sogar bis zu 9 mBq kg^{-1} nachgewiesen. Weil die ermittelten Cs-134 Aktivitäten aber nur einen Bruchteil der Cs-137 Aktivität im jeweiligen Fisch ausmachen, würde der Verzehr dieser Fische zu keinem nennenswert erhöhten Dosisbeitrag führen.

Literatur

- [1] Kanisch G, Kirchhoff K, Michel R, Rühle H, Wiechen A: „Genauigkeit von Messwerten, Empfehlungen zur Dokumentation“. Kapitel IV.4. In: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen. Stand: 1.10.2000 http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/strlisch_messungen_dokum_genau.pdf.
- [2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 2008: „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2007“
- [3] Kanisch, G., Aust, M.-O.: "Does the Fukushima NPP disaster affect the Caesium activity of North Atlantic Ocean fish?" Biogeosciences Discuss., 10, 4127-4156, 2013; www.biogeosciences-discuss.net/10/4127/2013/; doi:10.5194/bgd-10-4127-2013

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 2012 wurden für 25 kerntechnische Anlagen Werte γ -spektrometrischer Messungen (vor allem Cs-137) an 99 Fischfleischproben und 9 Proben von Wasserpflanzen gemeldet. Sr-90-Messungen wurden an 14 Fischfleischproben durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 14 Süßwasserfischarten und Mischungen verschiedener Süßwasserfischarten inkl. „Friedfisch“ und „Raubfisch“ vier mariner 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 etwas höhere Cs-137-Aktivitäten auf.

Bei den wenigen in Tabelle 2.4.6-1 mit aufgenommenen Messdaten von Wasserpflanzen, die als Indikatoren für im Wasser vorhandene künstliche 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	2012					2011
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Median-wert	Medianwert
Fisch (Bq/kg FM)								
Donau	KRB Gundremmingen	Cs-137	6	1	0,14	1,4	0,19	0,13
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	6	0	0,17	0,24	0,20	0,23
	KKK Krümmel	Cs-137	4	0	0,21	0,33	0,26	0,24
	PKA Gorleben	Cs-137	4	0	0,11	0,17	0,14	0,25
	KKS Stade	Cs-137	4	0	0,099	0,54	0,33	0,29
	KBR Brokdorf	Sr-90	6	6	<0,0076	<0,019	<0,009	<0,011

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2012					2011
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Ems	KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	0	0,11	1,1	0,43	0,31
	KKE Emsland	Cs-137	6	0	0,14	0,56	0,22	0,31
	KGR Greifswald	Cs-137	5	0	0,20	0,33	0,24	0,47
	KGR Greifswald	Cs-137	4	0	0,64	3,1	1,9	3,1
Stölpchensee	HMI Berlin	Cs-137	1	0	0,36	0,36	0,36	0,94
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	4	<0,14	<0,17	<0,15	0,28
	FRM II Garching	Cs-137	1	0	0,29	0,29	0,29	0,08
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	3	<0,12	0,22	<0,18	0,20
	VAK Kahl	Cs-137						
Mosel	Cattenom	Sr-90	2	1	<0,02	0,034	<0,034	<0,028
	(Frankreich)	Cs-137	3	0	0,062	0,19	0,13	0,32
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	1	0	0,037	0,037	0,037	<0,049
	KWO Obrigheim	Cs-137	3	0	0,032	0,14	0,039	1,4
Rhein	KKW Beznau/Leibstadt	Cs-137	3	0	0,11	0,14	0,13	0,099
	(Schweiz)							
	KWB Biblis	Sr-90	4	0	0,019	0,041	0,024	0,016
		Cs-137	8	3	<0,060	0,61	0,072	0,11
	KKW Fessenheim	Cs-137	6	2	<0,079	0,17	0,098	0,070
	(Frankreich)							
	KKP Philippsburg	Sr-90	1	0	0,031	0,031	0,031	
		Cs-137	6	0	0,070	0,11	0,086	0,12
Ruhr	KIT Karlsruhe	Cs-137	1	0	0,20	0,20	0,20	
	FZ Jülich	Cs-137						
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Sr-90	1	0	0,030	0,030	0,030	
		Cs-137	1	0	22	22	22	43
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	1	0	8,7	8,7	8,7	10
Weser	KKU Unterweser	Cs-137	5	0	0,13	0,26	0,16	0,15
	KWG Grohnde	Cs-137	6	1	<0,030	0,19	0,047	
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)								
Donau	KRB Gundremmingen	Co-60	2	1	<0,98	6,5	2,8	<0,75
		I-131	1	0	1,5	1,5	1,5	
		Cs-137	2	0	6,7	11	8,9	<4,6
Isar	FRM II Garching	Co-60	4	3	<0,69	5,2	<0,83	<0,59
		Cs-137	4	0	4,5	6,4	5,4	6,3
	KKI 1/2 Isar	Mn54	1	0	0,78	0,78	0,78	
		Co-60	1	0	1,1	1,1	1,1	
Main	KKG Grafenrheinfeld	I-131	1	0	27	27	27	29
		Cs-137	1	0	9,4	9,4	9,4	9,4
		Co-60	2	1	<0,35	0,66	<0,5	<0,5
		Cs-137	2	0	2,1	4,2	3,2	2,9

In Tabelle 2.4.6-2 sind Daten aufgeführt, die zu dem Termin der Erstellung des betreffenden früheren Jahresberichts nicht berücksichtigt werden konnten.

Tabelle 2.4.6-2 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen
(im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz):
Nachtrag zu 2011
(*Specific activity in fish and aquatic plants*
- *within the framework of ambient surveillance for facilities according to the Atomic Energy Act*): Supplement to 2011

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2011					2010
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch (Bq/kg FM)								
Elbe	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
Ems	KKE Emsland	Cs-137	4	0	0,19	1,2	0,47	0,19
Weser	KWG Grohnde	Cs-137	6	2	<0,033	0,11	0,044	0,053

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

Einzelebensmittel

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 Einzelebensmittel, 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	2011	24	<0,13 (<0,03 - <0,20)	3	0,17 (0,08 - 0,24)
	2012	21	<0,12 (<0,06 - <0,19)	2	0,10 (0,08 - 0,13)
Bayern	2011	51	<0,16 (<0,08 - <0,26)	9	<0,16 (<0,04 - 0,34)
	2012	41	<0,14 (<0,07 - 0,20)	11	0,21 (0,12 - 0,36)
Berlin	2011	1	<0,11	1	0,1
	2012	1	<0,14	1	0,13
Brandenburg	2011	17	<0,10 (<0,05 - <0,18)	-	
	2012	18	<0,10 (<0,04 - <0,15)	1	0,07

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Bremen	2011	2	<0,13 (<0,10 - <0,16)	-	
	2012	2	<0,15 (<0,15 - <0,15)	-	
Hamburg	2011	2	<0,10 (<0,07 - <0,14)	1	0,08
	2012	5	<0,06 (<0,05 - <0,06)	1	0,07
Hessen	2011	18	<0,10 (<0,06 - <0,14)	-	
	2012	16	<0,10 (<0,06 - <0,17)	-	
Mecklenburg-Vorpommern	2011	36	<0,11 (<0,08 - <0,14)	2	0,09 (0,05 - 0,13)
	2012	31	<0,13 (<0,09 - <0,17)	2	0,07 (0,06 - 0,07)
Niedersachsen	2011	37	<0,17 (<0,09 - <0,60)	3	0,18 (0,10 - 0,30)
	2012	42	<0,15 (<0,09 - <0,25)	6	0,13 (0,05 - 0,24)
Nordrhein-Westfalen	2011	26	<0,11 (<0,04 - <0,19)	4	0,13 (0,05 - 0,20)
	2012	23	<0,10 (<0,03 - <0,16)	2	0,54 (0,09 - 0,99)
Rheinland-Pfalz	2011	19	<0,08 (<0,04 - <0,12)	2	0,17 (0,06 - 0,27)
	2012	23	<0,09 (<0,03 - <0,17)	3	0,06 (0,04 - 0,08)
Saarland	2011	2	<0,20 (<0,20 - <0,20)	1	0,18
	2012	2	<0,20 (<0,20 - <0,20)	1	0,12
Sachsen	2011	30	<0,10 (<0,08 - 0,18)	3	0,08 (0,06 - 0,10)
	2012	30	<0,09 (0,07 - <0,12)	3	0,11 (0,08 - 0,15)
Sachsen-Anhalt	2011	31	<0,13 (<0,08 - 0,39)	3	0,15 (0,06 - 0,26)
	2012	35	<0,12 (<0,09 - <0,18)	3	0,09 (0,05 - 0,14)
Schleswig-Holstein	2011	38	<0,14 (<0,06 - <0,19)	4	0,14 (0,08 - 0,20)
	2012	36	<0,14 (<0,08 - <0,21)	4	0,12 (0,08 - 0,18)
Thüringen	2011	34	<0,11 (<0,08 - <0,13)	1	0,03
	2012	34	<0,12 (<0,09 - <0,16)	1	0,04
Bundesrepublik (gesamt)	2011	368	<0,13 (<0,03 - <0,60)	37	<0,14 (0,03 - 0,34)
	2012	360	<0,12 (<0,03 - <0,25)	41	0,15 (0,04 - 0,99)

- 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)
Kanada	2011	1	<0,1
	2012	2	<0,15 (<0,10 - <0,20)
Kasachstan	2012	1	<0,1
Österreich	2012	1	<0,17
Polen	2011	2	<0,09 (<0,06 - <0,12)
	2012	1	<0,06
Russische Föderation	2012	1	<0,1
Tschechische Republik	2011	3	<0,09 (<0,07 - <0,10)
	2012	5	<0,09 (0,06 - <0,19)
Ukraine	2012	1	<0,1
Vereinigte Staaten	2012	1	<0,2

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	2011	2	<0,10	(<0,09 - <0,04)	-		
	2012		<0,17	(<0,13 - 0,22)			
Gerste	2011	97	<0,14	(<0,05 - 0,47)	4	0,18	(0,03 - 0,49)
	2012	116	<0,14	(<0,06 - 0,27)	6	0,16	(0,10 - 0,32)
Hafer	2011	19	<0,25	(<0,11 - 1,58)	1	0,19	(0,19 - 0,19)
	2012	20	<0,23	(<0,04 - 1,04)	-		
Hirse	2011	7	<0,15	(<0,09 - 0,27)	-		
	2012	3	<0,18	(<0,08 - 0,32)	-		
Mais	2011	3	<0,11	(0,08 - <0,14)	-		
	2012	1	<0,06		-		
Reis	2011	7	<0,16	(<0,07 - 0,35)	-		
	2012	11	<0,09	(<0,06 - <0,14)	-		
Roggen	2011	153	<0,16	(<0,04 - 1,70)	17	0,15	(0,04 - 0,44)
	2012	153	<0,15	(<0,03 - 1,22)	13	0,16	(0,06 - 0,32)
Triticale	2011	15	<0,13	(0,08 - <0,23)	1	0,06	(0,06 - 0,06)
	2012	11	<0,13	(<0,05 - <0,18)	-		

- 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	2011	6	<0,33 (<0,14 - 1,03)
	2012	6	<0,37 (0,19 - 0,59)
Bayern	2011	9	<0,29 (<0,11 - 0,61)
	2012	7	<0,28 (0,10 - 0,41)
Berlin	2011	-	
	2012	-	
Brandenburg	2011	4	6,22 (0,20 - 20,10)
	2012	4	0,66 (0,20 - 1,30)
Bremen	2011	3	0,40 (0,26 - 0,49)
	2012	3	0,32 (0,29 - 0,36)
Hamburg	2011	3	0,66 (0,29 - 1,38)
	2012	3	0,25 (0,18 - 0,36)
Hessen	2011	3	<0,14 (<0,09 - 0,19)
	2012	3	<0,20 (<0,11 - 0,36)
Mecklenburg-Vorpommern	2011	2	0,96 (0,21 - 1,71)
	2012	4	<1,49 (<0,08 - 4,65)
Niedersachsen	2011	13	<1,36 (<0,10 - 10,00)
	2012	10	<0,44 (<0,10 - 2,42)
Nordrhein-Westfalen	2011	16	<0,23 (<0,04 - 0,58)
	2012	15	<0,19 (<0,06 - 0,43)
Rheinland-Pfalz	2011	1	0,11
	2012	2	0,22 (0,20 - 0,23)
Saarland	2011	2	<0,20 (<0,20 - <0,20)
	2012	1	<0,2
Sachsen	2011	3	<0,22 (0,14 - 0,37)
	2012	3	0,48 (0,12 - 1,19)
Sachsen-Anhalt	2011	3	0,45 (0,38 - 0,60)
	2012	3	0,35 (0,26 - 0,43)
Schleswig-Holstein	2011	3	<0,39 (<0,20 - 0,55)
	2012	1	0,53
Thüringen			

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Bundesrepublik (gesamt)	2011	3	<0,13 (<0,10 - 0,17)
	2012	2	<0,14 (<0,13 - 0,16)
	2011	74	<0,82 (<0,04 - 20,10)
	2012	67	<0,39 (<0,06 - 4,65)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2011	50	<0,31 (<0,10 - 3,96)
	2012	47	<0,48 (<0,09 - 3,55)
Bayern	2011	92	<0,62 (<0,07 - 7,79)
	2012	96	<0,47 (<0,07 - 7,08)
Berlin	2011	6	<0,79 (0,14 - 1,50)
	2012	6	<0,28 (<0,13 - 0,55)
Brandenburg	2011	11	<1,65 (<0,10 - 7,20)
	2012	12	<1,18 (<0,10 - 6,10)
Bremen	2011	6	<0,33 (<0,09 - 0,91)
	2012	6	<0,62 (<0,09 - 2,38)
Hamburg	2011	6	0,79 (0,28 - 1,79)
	2012	6	0,39 (0,08 - 1,32)
Hessen	2011	12	<0,15 (0,05 - 0,36)
	2012	12	<0,14 (<0,08 - 0,46)
Mecklenburg-Vorpommern	2011	13	3,29 (0,07 - 14,60)
	2012	15	<1,04 (<0,08 - 4,68)
Niedersachsen	2011	49	<0,71 (<0,10 - 4,87)
	2012	47	<0,57 (<0,10 - 3,22)
Nordrhein-Westfalen	2011	54	<0,26 (<0,06 - 3,88)
	2012	58	<0,16 (<0,02 - 0,78)
Rheinland-Pfalz	2011	13	<0,12 (<0,07 - 0,26)
	2012	13	<0,13 (0,07 - 0,28)
Saarland	2011	6	<0,20 (<0,20 - <0,20)
	2012	6	<0,20 (<0,20 - <0,20)
Sachsen	2011	11	<0,36 (0,08 - 1,44)
	2012	11	<0,38 (0,09 - 1,98)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	2011	10	<0,37 (<0,10 - 1,98)
	2012	12	<0,10 (<0,07 - <0,13)
Schleswig-Holstein	2011	26	<0,45 (<0,12 - 2,67)
	2012	25	<0,30 (<0,07 - 1,49)
Thüringen	2011	10	<0,11 (<0,08 - 0,18)
	2012	11	<0,13 (<0,09 - 0,24)
Bundesrepublik (gesamt)	2011	375	<0,58 (0,05 - 14,60)
	2012	383	<0,42 (<0,02 - 7,08)

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2011	24	<0,20 (<0,10 - 0,51)
	2012	22	<0,17 (<0,10 - <0,29)
Bayern	2011	42	<0,93 (<0,09 - 19,50)
	2012	51	<0,14 (<0,06 - 0,26)
Berlin	2011	6	<0,44 (<0,07 - 1,55)
	2012	6	<0,16 (<0,09 - 0,33)
Brandenburg	2011	13	<0,14 (<0,07 - 0,40)
	2012	13	<0,10 (<0,06 - 0,20)
Bremen	2011	9	<0,21 (<0,08 - 0,77)
	2012	8	<0,16 (0,07 - 0,48)
Hamburg	2011	6	0,14 (0,10 - 0,20)
	2012	6	0,11 (0,06 - 0,16)
Hessen	2011	12	<0,11 (<0,08 - <0,19)
	2012	12	<0,10 (<0,08 - <0,15)
Mecklenburg-Vorpommern	2011	20	<0,13 (0,04 - 0,37)
	2012	20	<0,16 (0,04 - 0,58)
Niedersachsen	2011	71	<0,17 (<0,08 - 0,29)
	2012	70	<0,18 (0,08 - 0,60)
Nordrhein-Westfalen	2011	100	<0,13 (<0,01 - 1,07)
	2012	95	<0,13 (<0,04 - 1,02)
Rheinland-Pfalz	2011	13	<0,10 (<0,07 - 0,29)
	2012	15	<0,10 (0,07 - 0,14)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Saarland	2011	6	<0,18 (0,08 - <0,20)
	2012	6	<0,20 (<0,20 - <0,20)
Sachsen	2011	11	<0,12 (0,08 - 0,18)
	2012	11	<0,18 (0,08 - 0,62)
Sachsen-Anhalt	2011	24	<0,12 (<0,07 - 0,40)
	2012	24	<0,11 (<0,07 - 0,16)
Schleswig-Holstein	2011	12	<0,14 (<0,11 - <0,20)
	2012	11	<0,21 (<0,07 - 0,98)
Thüringen	2011	14	<0,13 (<0,08 - 0,48)
	2012	14	<0,12 (<0,08 - <0,15)
Bundesrepublik (gesamt)	2011	383	<0,24 (<0,01 - 19,50)
	2012	384	<0,14 (<0,04 - 1,02)

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	2011	17	<0,26 (<0,06 - 1,10)
	2012	20	<0,17 (<0,05 - 0,40)
Geflügel Ente	2011	18	<0,13 (<0,06 - <0,24)
	2102	16	<0,13 (<0,06 - <0,27)
Gans	2011	22	<0,20 (<0,09 - 0,99)
	2012	14	<0,18 (<0,09 - 0,44)
Huhn	2011	122	<0,13 (<0,04 - <0,29)
	2012	140	<0,13 (<0,05 - <0,58)
Pute	2011	42	<0,13 (<0,06 - <0,22)
	2012	45	<0,13 (<0,05 - <0,20)

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

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Haarwildfleisch				
Damwild	2011	20	<5,10	(<0,11 - 28,7)
	2012	18	<14,72	(<0,12 - 79,0)
Hirsch	2011	36	<26,61	(<0,08 - 277,9)
	2012	25	<6,85	(<0,09 - 74,3)
Reh	2011	181	<25,91	(<0,07 - 1353)
	2012	194	<22,50	(<0,04 - 428)
Wildschwein	2011	168	<422,3	(<0,08 - 10 200)
	2012	224	<188,79	(<0,11 - 9836)
Sonstiges Wildfleisch	2011	6	<6,58	(<0,11 - 25,0)
	2012	5	24,30	(0,67 - 84,6)

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	2011	4	<0,08 (<0,05 - <0,16)	1	0,02
	2012	12	<0,14 (<0,02 - 0,45)	1	0,02
Bayern	2011	32	<0,22 (<0,08 - 2,14)	4	0,04 (0,02 - 0,08)
	2012	28	<0,16 (<0,09 - <0,22)	4	0,02 (0,01 - 0,03)
Berlin	2011	2	<0,15 (<0,12 - 0,18)	1	0,01
	2012	2	<0,08 (<0,07 - <0,10)	1	0,01
Brandenburg	2011	7	<0,13 (<0,09 - <0,16)	1	0,02
	2012	7	<0,12 (<0,05 - 0,20)	1	0,01
Bremen	2011	2	<0,15 (<0,10 - <0,20)	-	
	2012	2	<0,10 (<0,08 - <0,12)	-	
Hamburg	2011	2	<0,10 (<0,08 - <0,12)	-	
	2012	2	<0,14 (<0,11 - <0,17)	-	
Hessen	2011	5	<0,09 (<0,07 - <0,13)	1	0,03
	2012	5	<0,13 (<0,08 - <0,23)	1	0,03
Mecklenburg-Vorpommern	2011	12	<0,08 (0,05 - 0,16)	1	0,01
	2012	10	<0,12 (0,06 - 0,46)	1	0,02
Niedersachsen	2011	63	<0,16 (<0,00 - 0,91)	7	<0,44 (0,01 - <1,00)
	2012	62	<0,18 (0,04 - 1,10)	12	<0,35 (0,00 - <1,00)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Nordrhein-Westfalen	2011	20	<0,13 (<0,06 - <0,23)	5	<0,02 (<0,01 - 0,05)
	2012	19	<0,12 (<0,04 - 0,21)	4	<0,03 (<0,01 - <0,04)
Rheinland-Pfalz	2011	12	<0,08 (<0,03 - <0,12)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
	2012	8	<0,07 (<0,03 - <0,11)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
Saarland	2011	2	<0,20 (<0,20 - <0,20)		
	2012	2	<0,20 (<0,20 - <0,20)		
Sachsen	2011	6	<0,10 (<0,08 - <0,13)	1	0,02
	2012	6	<0,10 (<0,08 - <0,12)	1	0,02
Sachsen-Anhalt	2011	9	<0,14 (<0,11 - <0,19)	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	2012	9	<0,13 (<0,10 - <0,18)	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
Schleswig-Holstein	2011	5	<0,13 (<0,10 - <0,14)	1	<0,04
	2012	5	<0,14 (<0,11 - <0,18)	1	0,04
Thüringen	2011	3	<0,10 (<0,10 - <0,11)	1	<0,01
	2012	3	<0,11 (<0,11 - <0,12)	1	0,01
Bundesrepublik (gesamt)	2011	186	<0,14 (<0,00 - 2,14)	28	<0,13 (<0,01 - <1,00)
	2012	182	<0,14 (<0,02 - 1,10)	32	<0,14 (0,00 - <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	2011	652	<0,14 (<0,01 - 1,00)	69	<0,15 (<0,02 - 0,59)
	2012	650	<0,15 (<0,02 - 4,40)	66	<0,11 (0,02 - 0,47)
Fruchtgemüse	2011	207	<0,13 (<0,02 - <1,12)	11	<0,05 (<0,01 - 0,14)
	2012	208	<0,13 (<0,02 - <0,51)	15	0,05 (0,01 - 0,11)
Sprossgemüse	2011	252	<0,13 (<0,02 - <0,33)	18	<0,07 (0,01 - 0,31)
	2012	247	<0,13 (<0,02 - <0,47)	22	<0,04 (<0,01 - 0,19)
Wurzelgemüse	2011	186	<0,14 (<0,01 - 0,38)	20	<0,12 (<0,01 - 0,34)
	2012	182	<0,14 (<0,03 - <0,33)	14	<0,12 (0,03 - 0,30)

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	2011	6	<0,15	(<0,08 -	<0,20)	
	2012	12	<0,18	(<0,09 -	0,31)	
Wild-Blätterpilze	2011	45	<31	(<0,11 -	191)	
	2012	30	<28,63	(<0,14 -	221)	
Wild-Leisten- u. Trompetenpilze *	2011	29	43,9	(0,25 -	387)	
	2012	70	<92,09	(0,13 -	1490)	
Wild-Röhrenpilze	2011	132	132,5	(0,33 -	1360)	
	2012	97	<99,80	(<0,32 -	943)	
Sonstige Wildpilze	2011	16	<99,9	(0,17 -	1147)	
	2012	12	190,42	(0,21 -	1820)	
Wildpilzmischungen	2011	8	<28,4	(<0,07 -	104)	
	2012	9	34,94	(2,40 -	134)	
Wildpilzprodukte, getrocknet	2012	7	<47,80	(<1,65 -	150)	

* 2011 und 2012 nur Pfifferlinge

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	2011	9	<0,12	(0,01 -	1	0,05	(0,05 - 0,05)
	2012	7	<0,14	(<0,07 -	-		
Erdbeeren	2011	97	<0,12	(<0,01 -	6	0,04	(0,02 - 0,05)
	2012	109	<0,12	(<0,02 -	8	0,07	(0,02 - 0,27)
Johannisbeere	2011	20	<0,12	(<0,07 -	2	0,05	(0,04 - 0,06)
	2012	21	<0,11	(<0,04 -	1	0,04	(0,04 - 0,04)
Stachelbeere	2011	3	<0,11	(<0,08 -	-		
	2012	6	<0,11	(<0,06 -	-		
Tafelweintruben	2011	16	<0,10	(<0,07 -	-		
	2012	13	<0,12	(<0,06 -	-		
Wald- u. Wildbeeren	2011	19	<7,79	(0,45 -	-		
	2012	14	<34,7	(<0,13 -			
Kernobst	2011	213	<0,13	(<0,02 -	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	2012	215	<0,13	(<0,02 - <0,31)	25	<0,02	(0,01 - 0,10)
	2011	16	<0,12	(<0,05 - <0,20)	2	0,19	(0,04 - 0,34)
	2012	17	<0,10	(<0,05 - <0,15)	-		
Steinobst	2011	109	<0,12	(<0,01 - <0,26)	11	<0,04	(0,01 - 0,12)
	2012	93	<0,12	(<0,06 - <0,27)	5	<0,03	(0,02 - 0,06)
Zitrusfrüchte	2011	11	<0,12	(<0,07 - <0,15)	-		
	2012	11	<0,12	(<0,07 - <0,16)	-		
Sonstige Obstarten	2011	10	<0,15	(<0,09 - <0,22)	-		
	2012	12	<0,15	(<0,08 - <0,25)	-		

- 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)	
Honig	2011	40	< 9,84	(<0,01 - 113)
	2012	38	<12,56	(<0,09 - 139)
Mischgetränke aus Obst bzw. Fruchtweinen	2012	7	<0,22	(<0,09 - <0,50)
Schalenobst (Nüsse)	2011	4	<0,15	(<0,13 - <0,17)
	2012	8	<0,95	(<0,11 - 3,29)
Sojasoße	2011	2	<0,15	(<0,14 - <0,16)
	2012	1	<0,21	(<0,21 - <0,21)
Tee	2011	2	<47,53	(<2,55 - 92,50)*
	2012	6	<7,12	(<0,34 - 40,39)

- 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
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

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
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	<0,04	<0,02 *	<1,13	<0,21	<1,44	<0,15	<0,20	<0,13 *
2007	0,16	<0,05	<0,02 *	<0,65	<0,16	<1,11	<0,13	<0,17	<0,13 *
2008	0,15	<0,02	<0,02 *	<0,64	<0,19	<1,07	<0,14	<0,14	<0,12 *
2009	<0,16	<0,05	<0,02 *	<0,50	<0,22	<0,78	<0,14	<0,16	<0,12 *
2010	<0,16	<0,10	<0,02 *	<0,83	<0,20	<1,03	<0,13	<0,20	<0,13 *
2011	<0,14	<0,13	<0,02 *	<0,58	<0,24	<0,82	<0,13	<0,14	<0,13 *
2012	0,15	<0,14	<0,02 *	<0,42	<0,14	<0,39	<0,12	<0,14	<0,13 *

* Inland und Einfuhr

- Angabe nicht erforderlich

Gesamtnahrung

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

Die mittlere tägliche Cs-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2012 mit $0,22 \text{ Bq}/(\text{d} \cdot \text{p})$ ($\text{d} = \text{Tag}$; $\text{p} = \text{Person}$) nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Da in diese Mittlung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss. Für Sr-90, mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von $0,08 \text{ Bq}/(\text{d} \cdot \text{p})$, 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 : $29 \text{ Bq}/(\text{a} \cdot \text{p})$ [Vorjahr: $29 \text{ Bq}/(\text{a} \cdot \text{p})$]

Cs-137 : $80 \text{ Bq}/(\text{a} \cdot \text{p})$ [Vorjahr: $84 \text{ Bq}/(\text{a} \cdot \text{p})$]

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 $\text{Bq}/(\text{d} \cdot \text{p})$ ($\text{d} = \text{Tag}$ und $\text{p} = \text{Person}$)		Aktivitätszufuhr Sr-90 in $\text{Bq}/(\text{d} \cdot \text{p})$ ($\text{d} = \text{Tag}$ und $\text{p} = \text{Person}$)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2011	64	<0,19 (0,02 - <0,43)	18	<0,09 (0,03 - 0,39)
	2012	70	<0,18 (0,03 - <0,45)	24	<0,08 (0,01 - 0,23)
Februar	2011	53	<0,18 (<0,03 - <0,44)	6	<0,08 (0,04 - 0,19)
	2012	54	<0,18 (<0,00 - <0,45)	4	<0,04 (0,01 - 0,06)
März	2011	65	<0,19 (<0,00 - 0,50)	4	0,11 (0,04 - 0,18)
	2012	59	<0,20 (<0,05 - 0,94)	4	0,08 (0,02 - 0,13)
April	2011	59	<0,45 (<0,04 - 16,60)	18	0,07 (0,02 - 0,25)
	2012	58	<0,16 (<0,02 - 0,50)	19	0,08 (0,01 - 0,22)
Mai	2011	63	<0,17 (<0,03 - <0,48)	7	<0,07 (0,03 - 0,12)
	2012	58	<0,19 (<0,00 - <0,40)	5	0,10 (0,02 - 0,23)
Juni	2011	53	<0,25 (<0,02 - 2,32)	3	0,15 (0,05 - 0,30)
	2012	55	<0,19 (<0,03 - <0,40)	2	0,07 (0,03 - 0,11)
Juli	2011	58	<0,21 (<0,03 - 1,00)	19	<0,08 (0,02 - 0,19)
	2012	71	<0,23 (<0,00 - 2,49)	24	<0,07 (0,01 - 0,20)
August	2011	60	<0,23 (<0,03 - 2,12)	4	0,16 (0,04 - 0,36)
	2012	55	<0,18 (<0,00 - 0,60)	1	0,06 (0,06 - 0,06)
September	2011	56	<0,23 (<0,02 - 2,60)	6	0,06 (0,02 - 0,11)
	2012	54	<0,45 (<0,04 - 5,16)	5	0,09 (0,03 - 0,20)
Oktober	2011	61	<0,26 (0,01 - 3,15)	15	0,07 (0,01 - 0,14)
	2012	61	<0,19 (0,02 - <0,40)	20	0,09 (0,00 - 0,59)
November	2011	57	<0,26 (<0,05 - 3,30)	6	<0,07 (<0,02 - 0,12)

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)
Dezember	2012	58	<0,32 ($<0,03 - 2,10$)	4	<0,08 ($0,03 - 0,13$)
	2011	56	<0,18 ($0,02 - 0,54$)	3	0,06 ($0,02 - 0,09$)
	2012	49	<0,24 ($<0,05 - 1,94$)	2	0,09 ($0,03 - 0,14$)
Jahr (gesamt)	2011	705	<0,23 ($<0,00 - 16,60$)	109	<0,08 ($0,01 - 0,39$)
	2012	702	<0,22 ($<0,00 - 5,16$)	114	<0,08 ($0,00 - 0,59$)

**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	2011	19	<0,11 ($<0,02 - 0,27$)	8	0,03 ($0,01 - 0,07$)
	2012	21	<0,15 ($<0,03 - 1,20$)	7	<0,03 ($<0,01 - 0,06$)
Februar	2011	20	<0,10 ($<0,02 - 0,27$)	5	<0,03 ($0,02 - 0,07$)
	2012	19	<0,16 ($<0,02 - 1,00$)	6	<0,03 ($<0,02 - 0,06$)
März	2011	19	<0,11 ($<0,01 - <0,22$)	6	<0,04 ($<0,01 - 0,16$)
	2012	20	<0,14 ($<0,03 - 0,80$)	5	<0,05 ($<0,02 - 0,15$)
April	2011	19	<0,12 ($<0,03 - 0,22$)	6	<0,04 ($<0,01 - 0,10$)
	2012	22	<0,11 ($<0,03 - <0,21$)	6	<0,07 ($<0,02 - 0,21$)
Mai	2011	24	<0,12 ($<0,03 - 0,27$)	1	0,02 ($0,02 - 0,02$)
	2012	21	<0,11 ($<0,03 - <0,26$)	1	0,03 ($0,03 - 0,03$)
Juni	2011	16	<0,09 ($<0,03 - <0,22$)	1	0,04 ($0,04 - 0,04$)
	2012	18	<0,13 ($<0,02 - 0,35$)	1	0,02 ($0,02 - 0,02$)
Juli	2011	21	<0,13 ($0,02 - 0,58$)	6	0,03 ($0,00 - 0,04$)
	2012	20	<0,11 ($<0,01 - <0,49$)	8	<0,02 ($0,00 - 0,04$)
August	2011	27	<0,15 ($<0,02 - 0,40$)	6	<0,03 ($0,02 - 0,04$)
	2012	20	<0,13 ($<0,03 - 0,35$)	3	<0,04 ($<0,02 - 0,07$)
September	2011	17	<0,12 ($<0,00 - <0,25$)	4	0,05 ($0,02 - 0,11$)
	2012	22	<0,12 ($<0,02 - <0,23$)	6	<0,07 ($0,02 - <0,17$)
Oktober	2011	21	<0,09 ($<0,01 - <0,21$)	4	<0,02 ($0,00 - 0,05$)
	2012	22	<0,14 ($<0,02 - 0,55$)	3	<0,02 ($<0,01 - 0,04$)
November	2011	21	<0,12 ($<0,02 - 0,35$)	1	0,02 ($0,02 - 0,02$)
	2012	22	<0,11 ($<0,03 - <0,20$)		
Dezember	2011	15	<0,11 ($<0,03 - <0,21$)	1	0,02 ($0,02 - 0,02$)
	2012	14	<0,12 ($<0,03 - 0,30$)	0	0,00 ($0,00 - 0,00$)
Jahr (gesamt)	2011	239	<0,11 ($<0,00 - 0,58$)	49	<0,03 ($0,00 - 0,16$)

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	2012	241	<0,13 ($<0,01 - 1,20$)	48	<0,04 (0,00 - 0,21)

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 von Anlagen nach Atomgesetz liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Sie spiegeln damit die Situation bei den Böden wider, die nach wie vor durch die Depositionen nach den Kernwaffenversuchen und dem Unfall in Tschernobyl geprägt ist. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Gemüse und Getreide in 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					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	24	<0,07	21	<0,05	18	<0,05 (<0,02 - <0,11)
	Sr-90	8	<0,05	4	<0,04	2	0,08 (0,04 - 0,11)
KWO Obrigheim	Cs-137	8	<0,06	9	<0,05	10	<0,06 (<0,04 - <0,11)
	Sr-90	4	0,09	6	0,09	7	0,07 (0,02 - 0,16)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	13	<0,06	10	<0,05	7	<0,04 (<0,02 - <0,06)
	Sr-90	5	0,07	6	0,07	5	0,07 (0,04 - 0,1)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	<0,07	7	<0,05	7	<0,05(<0,03 - <0,07)
	Sr-90	4	0,04	3	0,05	1	0,07
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	11	<0,06	8	<0,06	8	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	7	0,21	5	0,12	5	0,08 (0,04 - 0,14)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	<0,04	9	<0,05	10	<0,04 (<0,02 - <0,06)
	Sr-90	4	<0,12	5	0,12	1	0,02
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	1	<0,04	1	<0,04	1	0,06
	Sr-90	1	0,15	1	0,05	1	0,09
KKI Isar	Cs-137	1	<0,02	1	<0,02	1	0,02
	Sr-90	1	0,13	1	0,07	1	0,13
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	3	<0,04	3	<0,05	3	<0,07(<0,04 - <0,1)
	Sr-90	4	<0,13	3	<0,08	3	0,07 (<0,03 - 0,13)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	0,06	1	<0,06	1	0,09
	Sr-90	1	0,05	1	<0,03	1	0,08

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	17	<0,14	16	<0,18	14	<0,16 (<0,07 - <0,48)
	Sr-90	3	0,05	6	0,07	3	0,07 (0,05 - 0,09)
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	10	<0,17	12	<0,15	9	<0,15 (0,1 - 0,2)
	Sr-90	10	0,29	12	0,22	9	0,57 (0,10 - 1,5)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	9	<0,04	11	<0,05	10	<0,04 (<0,1 - <0,11)
	Sr-90	9	0,03	2	0,01	9	0,04 (0,03 - 0,06)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	2	<0,07	2	<0,08	2	<0,06 (<0,06 - <0,06)
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	7	<0,08	7	<0,07	7	<0,08 (<0,06 - 0,11)
	Sr-90	7	<0,07	7	0,15	7	0,07 (0,03 - 0,1)
KWG Grohnde	Cs-137	5	<0,08	5	<0,07	5	<0,06 (<0,04 - <0,07)
	Sr-90	5	0,09	5	0,11	5	0,05 (0,01 - 0,11)
KKE Emsland	Cs-137	7	<0,10	7	<0,10	7	<0,08 (<0,06 - <0,11)
	Sr-90	7	0,09	7	0,11	7	0,11 (0,03 - 0,19)
Schacht Konrad II ^b	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schachtanlage Asse	Cs-137	3	<0,17	4	<0,17	4	<0,16 (<0,14 - <0,18)
	Sr-90			2	0,11	2	0,14 (0,1 - 0,17)
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	4	<0,09	4	<0,1	3	<0,1 (<0,09 - <0,11)
	Sr-90	4	0,05	4	0,06	2	0,04 (0,02 - 0,06)
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	4	6,2	a		a	
	Uran (Bq/kg TM)	4	1,1	a		a	
	U-238 (Bq/kg TM)	a		1	<0,2	1	<0,2
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a		a		a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	Sr-90						
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	1	<0,14	1	<0,14	1	<0,14
	Sr-90	1	0,12	1	0,14	<	0,19
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	3	<0,13	2	<0,15	2	<0,18 (<0,17 - <0,18)
	Sr-90	1	0,10	1	0,14	1	0,10
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,09	1	<0,05	a	
	Sr-90	1	0,10	1	0,05	a	
KKB Brunsbüttel	Cs-137	1	<0,04	a		1	<0,05
	Sr-90						
KKK Krümmel	Cs-137	1	<0,07	1	<0,05	1	<0,04
	Sr-90	1	0,12	1	0,08	1	0,02

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					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	4	<0,06	4	<0,07	2	<0,08 (<0,08 - <0,08)
	Sr-90	2	0,10	2	0,15	2	0,04 (0,04 - 0,05)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,07	4	<0,06	4	<0,05(<0,04 - <0,06)
	Sr-90	2	0,16	2	0,12	2	0,07 (0,05 - 0,09)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,06	4	<0,06	3	<0,05 (<0,05 - <0,06)
	Sr-90	2	0,14	2	0,11	a	
KKP Philippsburg	Cs-137	2	<0,07	5	<0,07	2	<0,08 (<0,04-<0,12)
	Sr-90	1	0,09	4	0,10	a	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	5	<0,06	6	<0,06	5	<0,05 (0,03 - <0,09)
	Sr-90	2	0,17	2	0,26	a	
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	<0,06	2	<0,06	3	<0,05 (<0,04 - <0,07)
	Sr-90	2	0,14	1	0,13	2	0,14 (0,14 - 0,15)
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	4	<0,15	4	<0,03	4	<0,04 (<0,02 - 0,08)
	Sr-90	4	<0,04	4	<0,03	4	<0,05 (<0,01 - 0,10)
KKI Isar	Cs-137	5	<0,08	5	<0,03	5	<0,03 (<0,02 - 0,06)
	Sr-90	5	<0,10	5	<0,08	5	<0,09 (<0,01 - <0,17)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,04	2	<0,03	2	<0,1 (<0,1 - <0,1)
	Sr-90	2	<0,03	2	<0,04	2	<0,03 (<0,02 - <0,04)
Forschungsreaktor München	Cs-137	1	0,37	1	<0,06	1	<0,11
	Sr-90	1	0,08	1	0,12	1	0,06
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	a		a		a	
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	1	<0,08	1	<0,08	1	<0,12
	Sr-90	1	0,06	a		a	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	8	<0,13	5	<0,12	6	<0,13 (<0,10 - <0,16)
	Sr-90	5	0,14	5	0,12	5	0,11 (0,07 - 0,18)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		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	<0,08	2	<0,06	2	<0,09 (<0,08 - <0,09)
	Sr-90	2	0,16	2	0,07	2	0,11 (0,10 - 0,12)
KKE Emsland	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schacht Konrad II ^b	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schachtanlage Asse II	Cs-137	2	<0,16	2	<0,12	3	<0,17 (<0,16 - <0,17)
	Sr-90	2	0,07	1	0,08	2	0,06 (0,05 - 0,07)
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)	21	<1,6	a		a	
	Uran (Bq/kg TM)	21	<0,23	a		a	
	U-238 (Bq/kg TM)	6	<0,2	6	<0,2	6	<0,2 (<0,2 - <0,2)
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	2	<0,04 (<0,03 - <0,04)
	Sr-90	2	0,04	1	<0,06	2	0,11 (0,10 - 0,13)
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	4	<0,18	4	<0,14	4	<0,13 (<0,13 - <0,14)
	Sr-90	2	0,14	2	0,10	2	0,10 (0,08 - 0,12)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,13	1	<0,15	1	<0,15
	Sr-90	1	0,23	1	0,18	1	0,06
KKB Brunsbüttel	Cs-137	2	<0,10	2	<0,13	2	<0,14 (<0,12 - <0,15)
	Sr-90	2	0,09	2	0,06	2	0,04 (0,02 - 0,05)
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,09	2	<0,06	2	<0,13 - <0,13)
	Sr-90	2	0,20	2	0,27	2	0,11 (0,10 - 0,12)

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					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,02	3	<0,03	3	<0,07 (<0,02 - 0,15)
	Sr-90	a		1	0,06	a	
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,06	4	<0,06	4	<0,04 (<0,02 - <0,06)
	Sr-90	2	0,06	2	0,14	2	0,06 (0,04 - 0,08)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	3	<0,05	3	<0,06	4	<0,04 (<0,02 - <0,05)
	Sr-90	2	0,06	1	0,23	2	0,08 (0,06 - 0,10)
KKP Philippsburg	Cs-137	3	<0,08	4	<0,06	4	<0,05 (<0,03 - <0,09)
	Sr-90	1	0,02	1	0,01	1	0,02
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	5	<0,04	4	<0,03	4	<0,03 (<0,02 - <0,05)
	Sr-90	4	0,03	4	<0,02	1	0,12
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	<0,04	1	<0,09	1	<0,03
	Sr-90	1	0,07	a		1	0,06
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	2	<0,02	2	<0,03	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		a	
	Sr-90	a		a		a	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,04	2	<0,04	2	<0,03 (<0,02 - <0,05)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	Sr-90	2	<0,03	2	<0,04	2	<0,03 (<0,03 - <0,04)
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	7	<0,12	10	<0,12	7	<0,12 (<0,04 - <0,20)
	Sr-90	2	0,07	1	0,16	2	<0,08 (<0,005 - 0,15)
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a		a		1	<0,13
	Sr-90	a		a		1	0,01
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	11	<0,06	7	<0,05	9	<0,6 (<0,02 - <0,14)
	Sr-90	9	0,03	2	0,12	5	0,02 (0,01 - 0,03)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	6	<0,07	4	<0,06	4	<0,06 (<0,04 - <0,08)
	Sr-90	5	<0,03	4	0,02	4	0,01 (0,01 - 0,02)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	7	<0,06	7	0,06	7	<0,06 (<0,04 - <0,09)
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KWG Grohnde	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KKE Emsland	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schacht Konrad II ^c	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
Schachtanlage Asse II	Cs-137	4	<0,12	3	<0,15	3	<0,12 (<0,11 - <0,13)
	Sr-90	1	0,03	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; <1,5	a		a	
	Uran (Bq/kg TM)	2	b <0,23; <0,23	a		a	
	U-238 (Bq/kg TM)	4	<0,2 (Rha- barber)	3	<0,2 (Rha- barber)	3	<0,2 (Rhabarber)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	5	<0,02	5	<0,02	5	<0,03 (<0,01 - <0,04)
	Sr-90	a		a		a	
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	3	<0,03	1	0,02	3	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	3	<0,01	1	0,01	3	<0,01 (<0,01- 0,01)
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	1	<0,13	1	<0,12	1	<0,11
	Sr-90	1	0,02	a		1	0,01
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	4	<0,15	4	<0,14	3	<0,13 (<0,10 - <0,17)
	Sr-90	1	<0,04	1	<0,02	1	<0,02
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,06	2	<0,28	2	<0,05 (<0,04 - <0,06)
	Sr-90	2	0,03	2	0,04	2	0,03 (0,02 - 0,04)

- 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					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	3	<0,05	3	<0,06	2	<0,05 (<0,04 - <0,05)
	Sr-90	1	0,02	1	0,02	2	<0,03 (<0,02 - <0,03)
KWO Obrigheim	Cs-137	1	<0,08	1	<0,03	1	<0,03
	Sr-90	1	0,04	a		a	
GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	<0,06	2	<0,09	2	<0,04 (<0,03 - <0,04)
	Sr-90	2	0,03	a		2	0,02 (0,02 - 0,02)
KKP Philippsburg	Cs-137	2	<0,08	1	<0,06	1	<0,04
	Sr-90	a		1	0,01	a	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	<0,04	2	<0,05	2	<0,03 (<0,03 - <0,03)
	Sr-90	2	0,05	2	0,10	a	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	<0,03	2	<0,04	2	<0,07 (<0,06 - <0,07)
	Sr-90	2	0,02	a		a	
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	1	<0,03	1	<0,04	1	<0,03
	Sr-90	1	0,03	1	0,32	1	0,02
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Sr-90	a		1	0,02	1	<0,01
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Sr-90	a		a		a	
HESSEN							
KWB Biblis	Sr-90	3	0,02	3	<0,01	5	<0,02 (<0,01 - 0,03)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	a		a		a	
	Sr-90	a		a		a	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	1	<0,08	1	<0,07	1	<0,09
	Sr-90	a		a		a	
KKU Unterweser	Cs-137	1	<0,13	1	<0,08	1	<0,07
	Sr-90	1	<0,02	1	0,01	1	0,01
KWG Grohnde	Cs-137	1	<0,08	1	<0,08	1	<0,09
	Sr-90	1	0,03	1	0,02	1	0,02
KKE Emsland	Cs-137	1	0,10	a		1	0,09
	Sr-90	1	<0,06	a		1	0,01
Schachtanlage Asse II	Cs-137	a		a		a	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	2	<0,1	2	<0,1	3	<0,07 (<0,05 - <0,08)
	Sr-90	2	0,03	2	0,01	3	0,03 (0,01 - 0,07)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2010		2011		2012	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a		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. Der Schwerpunkt der Überwachung liegt bei gammastrahlenden Radioisotopen, insbesondere Cs-137, einem Falloutbestandteil der oberirdischen Kernwaffenversuche sowie des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Im Jahr 2012 wurden Proben der am höchsten belasteten pflanzlichen Ausgangsstoffe für Arzneimittel (Island Moos, Bitterkleeblätter und Gänsefingerkraut) stichprobenartig untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.5-1 zusammengefasst. Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte pflanzlicher Ausgangsstoffe aus Polen und Bosnien-Herzegowina im Zeitraum 2000 - 2012 ist in den Abbildungen 2.5-1 bis 2.5-3 dargestellt.

Die spezifischen Aktivitäten des Radionuklids Cs-137 können je nach Art und lokalen Gegebenheiten, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den verschiedenen Anbaugebieten der Herkunftsländer, erhebliche Variabilitäten aufweisen. Die untersuchten Proben sind jeweils Mischproben des Herkunftslandes, wie sie in der Regel über den Großhandel vermarktet werden.

Die Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 schwanken im Wesentlichen entsprechend dem Kaliumgehalt der untersuchten Pflanzenproben, da der Gehalt dieses Elements in der Pflanze geregelt wird. Die spezifischen Aktivitäten von K-40 lagen mit maximal 960 Bq/kg (TM) bei Bitterkleeblättern und minimal 57 Bq/kg (TM) bei Island Moos im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite.

Tabelle 2.5-1 **Ermittelte Werte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 in ausgewählten Arzneimittelpflanzen für das Jahr 2012**
(Measured values of Cs-137 and K-40 specific activities in selected medicinal plants for the year 2012)

Artikel	Ursprungsland	K-40 in Bq/kg TM	Cs-137 in Bq/kg TM
Bitterkleeblätter, geschnitten	Polen	960 ± 19	69 ± 1,8
Gänsefingerkraut, geschnitten	Polen	710 ± 16	33 ± 1,0
Island-Moos, geschnitten	Serbien	59 ± 2,5	18 ± 0,5

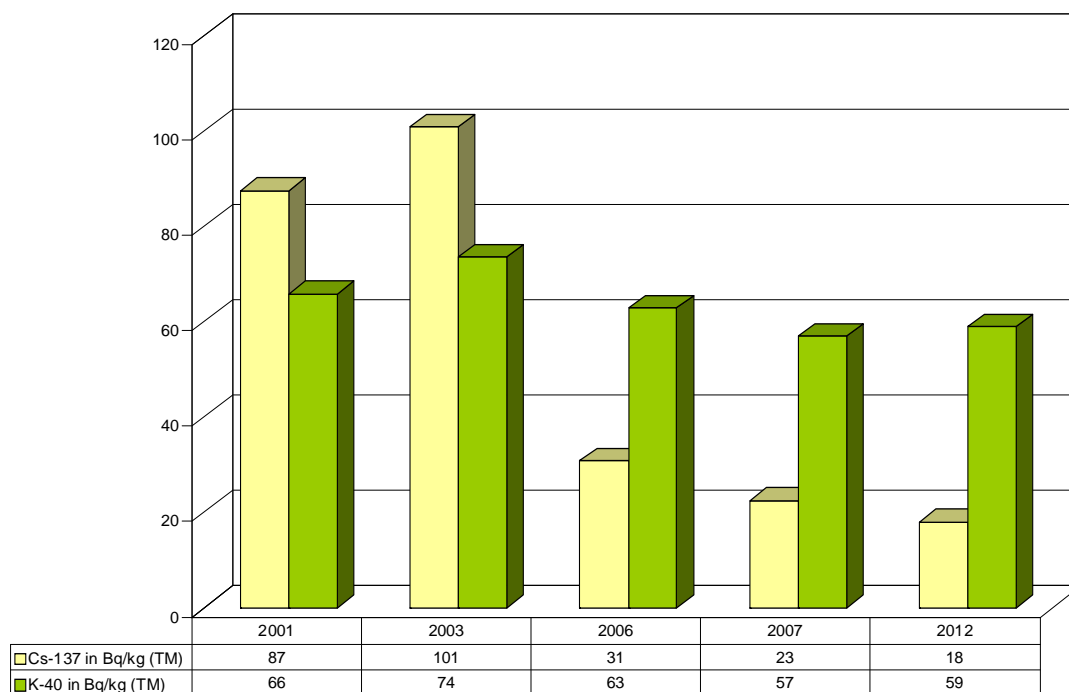


Abbildung 2.5-1 **Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivität von Cs-137 und K-40 in Island Moos aus Bosnien-Herzegowina für die Jahre 2001 bis 2012**
(Annual mean values of Cs-137 and K-40 specific activities in island moss for the years 2001 - 2012 from Bosnia-Herzegovina)

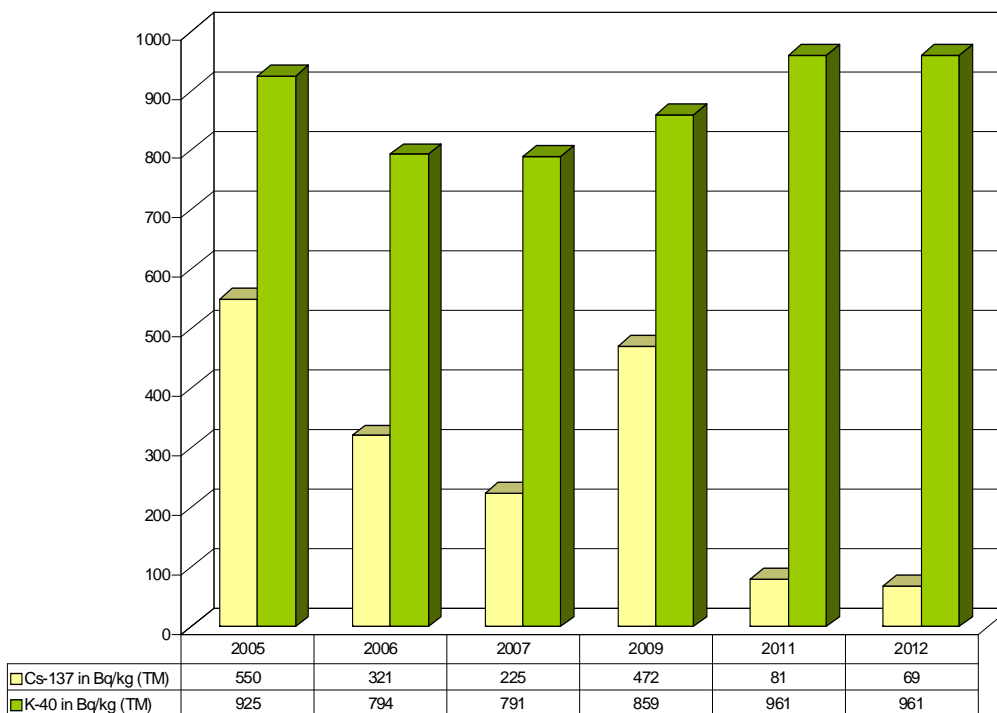


Abbildung 2.5-2 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivität von Cs-137 und K-40 in Bitterkleeblättern aus Polen für die Jahre 2005 bis 2012

(Annual mean values of Cs-137 and K-40 specific activities in bogbean for the years 2005 - 2012 from Poland)

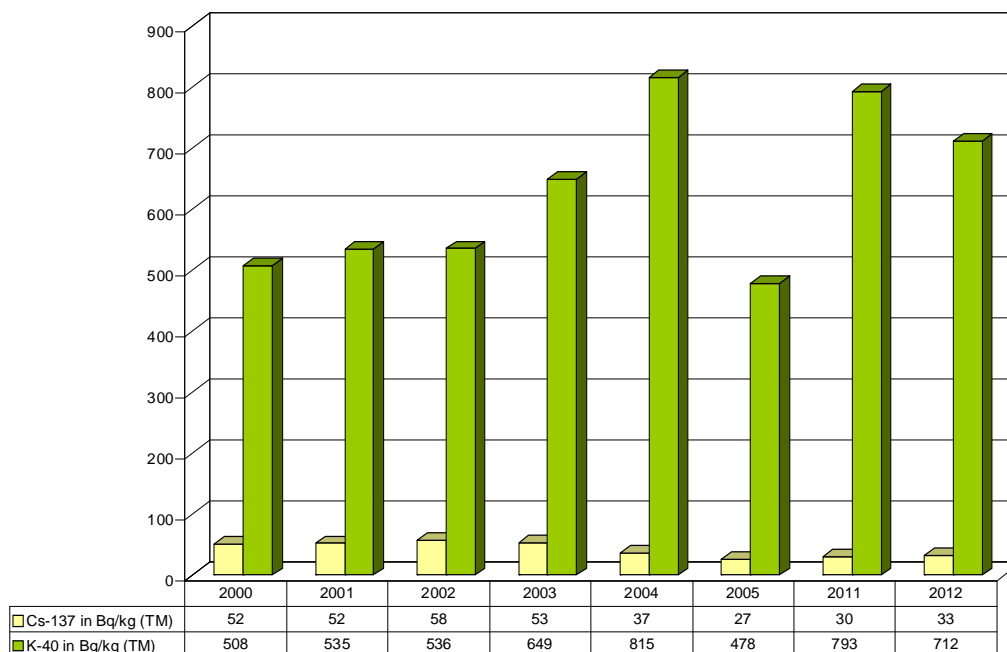


Abbildung 2.5-3 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivität von Cs-137 und K-40 in Gänsefingerkraut aus Polen für die Jahre 2000 bis 2012

(Annual mean values of Cs-137 and K-40 specific activities in silverweed for the years 2000 - 2012 from Poland)

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 2012 liegen die Messergebnisse aus 90 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Messwerte für Abwässer beziehen sich auf gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und die Messwerte für Klärschlämme auf konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen, z. B. 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 2012 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 880 Bq/kg TM (Vorjahr bis 1000 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 220 bzw. 190 Bq/kg TM (Vorjahr 160 bzw. 150 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 1700 Bq/kg TM (Vorjahr 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: 34 Bq/kg TM; Maximalwert: 1000 Bq/kg TM, Vorjahr 33 bzw. 1500 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m (Tc-99m; Maximalwert Klärschlamm: 300 Bq/kg TM) sowie Thallium-201 (Tl-201; Maximalwert: 18 Bq/kg TM), Thallium-202 (Tl-202; Maximalwert: 5,0 Bq/kg TM) und Indium-111 (In-111; Maximalwert: 7,2 Bq/kg TM). In den Kläranlagen Kaiserslautern, Bitburg und Hamburg-Köhlbrandhöft wurden sehr geringe Spuren von Plutonium gefunden (Maximalwerte Pu-238: 6,3 mBq/kg TM, Pu-239: 36 mBq/kg, Pu-240: 6,5 mBq/kg, Pu-239/240: 19 mBq/kg). Die nach dem Routine-messprogramm geforderte Nachweisgrenze beträgt 5 Bq/kg TM.

Von den infolge des Atomkraftwerkkunfalls 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 von 1945 bis etwa 1975 bedingt sind. Das kurzlebigere Cs-134 (Halbwertszeit ca. 2 Jahre) war bis 2010 dagegen nicht mehr nachzuweisen. Während im Jahr 2011 infolge der Havarien mehrerer Reaktoren des Atomkraftwerks in Fukushima-Daiichi in einigen wenigen Klärschlammproben erstmals auch wieder Spuren von Cs-134 auftraten (Maximalwert 2011: 1,4 Bq/kg), war dies 2012 schon nicht mehr der Fall.

Die im Vergleich zu der Zeit vor dem Atomkraftwerkkunfall 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 98 % 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 2012 zwischen 0,00099 und 0,12 Bq/l, bei einem Median von < 0,024 Bq/l (2011: zwischen 0,019 und 0,12 Bq/l). Die Messwerte für Sr-90 oberhalb der erreichten Nachweisgrenzen (49 % der Messwerte) lagen zwischen 0,00079 und 0,092 Bq/l, bei einem Median von < 0,0049 Bq/l.

In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Atomkraftwerkkunfall 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 2012 - wie seit bereits mehr als 15 Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 46 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, 43 und 46 Bq/kg TM.

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 2012 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, 19 und 14 Bq/kg TM. 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.

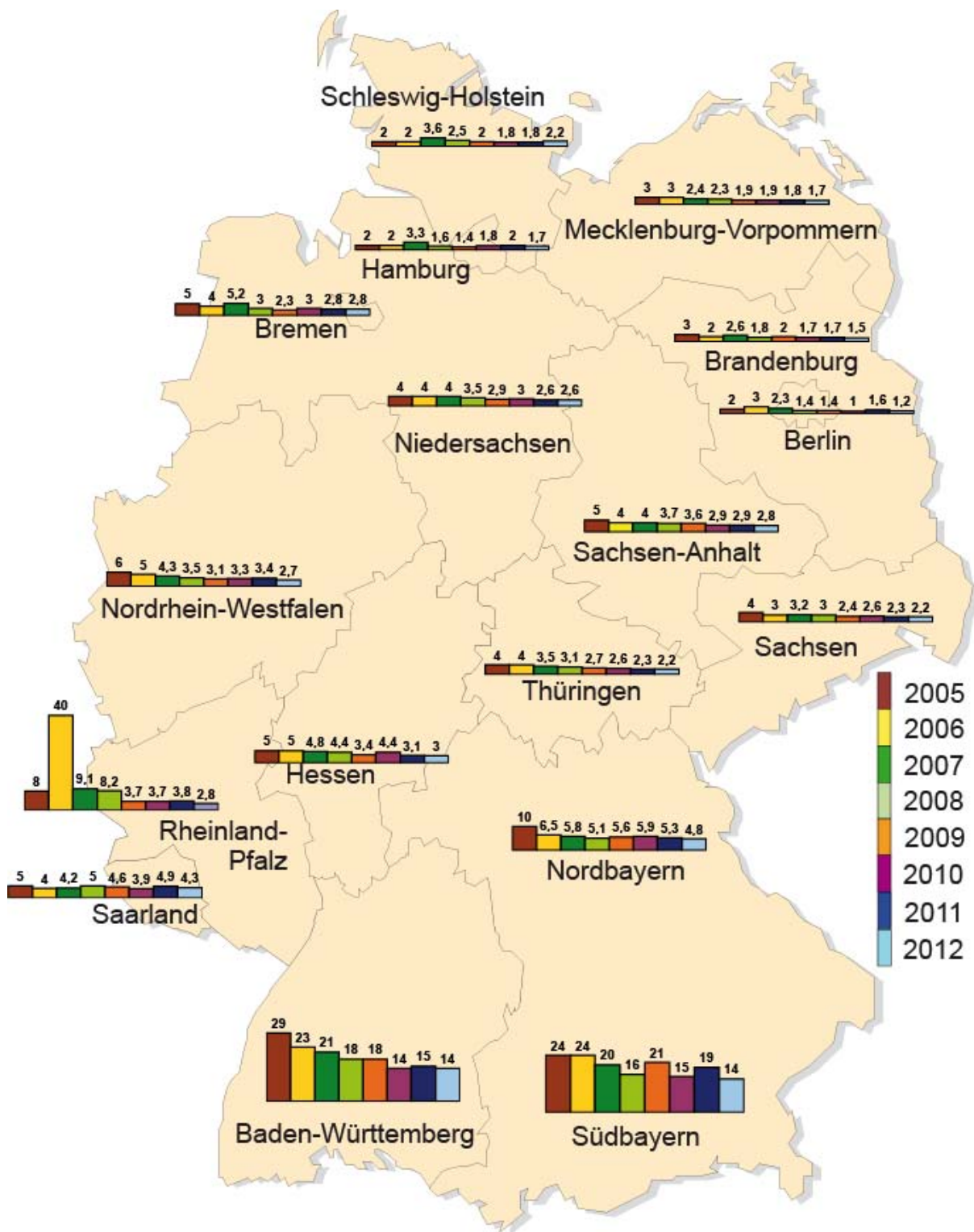


Abbildung 2.6-1 Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)
(Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal states)

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 46 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 8 Bq/m² Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flä-

chenbelastung 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.

Tabelle 2.6-1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2012 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte

(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2012 - minimum, maximum, and mean values)

Land	Nuklid	2012						2011
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	14	5,7	11		<0,83	6,8
	Co-60	20	20				<0,087	<0,081
	I-131	20	17	0,16	0,42		<0,13	<0,12
	Cs-137	20	20				<0,09	<0,087
	Sr-90	4	4				<0,1	<0,1
	U-234	4	4				<0,1	<0,1
	U-235	4	4				<0,1	<0,1
	U-238	4	4				<0,1	<0,1
Hamburg	K-40	4	4				<1,5	<1,2
	Co-60	4	4				<0,067	<0,045
	I-131	4	0	0,11	0,55	0,28	0,23	0,2
	Cs-137	4	4				<0,075	<0,046
	Sr-90	4	0	0,00079	0,0011	0,0009	0,00085	0,00073
	U-234	4	0	0,000093	0,00044	0,00022	0,00017	<0,00016
	U-235	4	4				<0,000044	<0,00012
	U-238	4	2	0,00018	0,00018	0,00018	<0,00018	<0,00016
Niedersachsen	K-40	48	24	0,44	1	0,68	<0,63	<0,65
	Co-60	48	48				<0,026	<0,024
	I-131	48	18	0,045	3,5	0,28	0,094	0,081
	Cs-137	48	48				<0,021	<0,02
	Sr-90	6	3	0,0088	0,0091	0,009	0,0088	<0,0076
	U-234	4	0	0,00065	0,0066	0,0024	0,0013	0,001
	U-235	4	4				<0,00053	<0,00051
	U-238	4	0	0,00043	0,0048	0,002	0,0014	0,00094
Bremen	K-40	8	2	0,65	1,4	1	1	<0,95
	Co-60	8	8				<0,038	<0,05
	I-131	8	0	0,11	0,3	0,22	0,22	0,24
	Cs-137	8	8				<0,047	<0,055
	Sr-90	4	4				<0,024	<0,027
	U-234	4	4				<0,0092	0,0036
	U-235	4	4				<0,0031	<0,00098
	U-238	4	3	0,0086	0,0086		0,0086	0,0031
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	28	0,58	5,1		<1,1	<1,1
	Co-60	40	40				<0,047	<0,049
	I-131	37	23	0,037	0,87		<0,16	<0,13
	Cs-137	40	39	0,12	0,12		<0,05	<0,044
	Sr-90	4	2	0,034	0,092	0,063	0,034	0,061
	U-234	4	0	0,0072	0,0089	0,0083	0,0086	0,01
	U-235	4	4				<0,0022	<0,0031
	U-238	4	1	0,0066	0,0067	0,0067	0,0066	0,0068
Hessen	K-40	20	20				<0,76	<0,75
	Co-60	20	20				<0,032	<0,03
	I-131	20	20				<0,14	<0,1
	Cs-137	20	20				<0,037	<0,037
	Sr-90	4	4				0,025	0,01
	U-234	4	1	0,008	0,013	0,011	0,0095	
	U-235	4	4				<0,005	
	U-238	4	1	0,007	0,009	0,0077	0,007	

Land	Nuklid	2012						2011
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Rheinland-Pfalz	K-40	20	8	0,59	2,2	1,2	0,74	0,72
	Co-60	20	20				<0,024	<0,019
	I-131	20	8	0,024	0,45	0,12	0,037	0,054
	Cs-137	20	20				<0,02	<0,02
	Sr-90	4	0	0,0014	0,0018	0,0017	0,0016	0,0021
	U-234	4	0	0,01	0,023	0,015	0,013	0,017
	U-235	4	4				<0,0044	<0,0057
	U-238	4	0	0,0093	0,023	0,014	0,011	0,015
Baden-Württemberg	K-40	81	3	0,18	0,82	0,44	0,44	0,46
	Co-60	81	81				<0,013	<0,015
	I-131	50	39	0,016	1		<0,026	0,066
	Cs-137	81	81				<0,012	<0,013
	Sr-90	4	4				<0,003	<0,003
	U-234	4	0	0,0014	0,011	0,0049	0,0036	0,0038
	U-235	4	3	0,00053	0,00053		0,00053	<0,00051
	U-238	4	0	0,0012	0,01	0,004	0,0022	0,0034
Bayern	K-40	37	37				<1,5	<1,5
	Co-60	37	37				<0,073	<0,091
	I-131	36	29	0,18	1		<0,19	0,26
	Cs-137	37	37				<0,071	<0,089
	Sr-90	4	0	0,0031	0,087	0,0036	0,027	<0,0094
	U-234	4	1	0,0096	0,013	0,012	0,011	0,01
	U-235	4	2	0,0006	0,00079	0,00069	<0,0028	<0,0044
	U-238	4	1	0,0066	0,014	0,011	0,0096	0,0099
Saarland	K-40	8	0	0,22	0,99	0,65	0,74	0,76
	Co-60	8	8				<0,0074	<0,0075
	Cs-137	8	8				<0,0071	<0,0075
	Sr-90	4	2	0,0032	0,0082	0,0057	<0,0062	0,0066
	U-234	3	0	0,0023	0,0055	0,0036	0,0029	0,0025
	U-235	3	3				<0,00025	<0,00029
	U-238	3	0	0,0011	0,0042	0,0023	0,0015	0,0018
Berlin	K-40	4	0	0,89	1,1	0,97	0,95	0,85
	Co-60	4	4				<0,002	<0,0016
	I-131	4	4				<0,044	<0,019
	Cs-137	4	2	0,0015	0,0019	0,0017	<0,0021	<0,0019
	Sr-90	4	0	0,0023	0,0039	0,003	0,0029	0,0026
	U-234	4	0	0,0028	0,0038	0,0034	0,0035	0,0036
	U-235	4	0	0,00012	0,00021	0,00015	0,00014	0,00017
	U-238	4	0	0,0025	0,0033	0,0029	0,003	0,003
Brandenburg	K-40	31	10	0,7	10	1,4	0,89	0,83
	Co-60	31	31				<0,02	<0,021
	I-131	31	23	0,06	0,9		<0,085	<0,056
	Cs-137	31	25	0,00099	0,003		<0,019	<0,02
	Sr-90	12	0	0,001	0,005	0,0028	0,0026	0,0036
	U-234	12	4	0,0006	0,003	0,0017	0,0011	0,002
	U-235	12	10	0,000072	0,000093		<0,00021	<0,00022
	U-238	12	5	0,00092	0,003	0,0016	0,00096	0,0015
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	2	0,47	1,1	0,76	0,7	0,64
	Co-60	20	20				<0,01	<0,011
	I-131	20	8	0,044	0,81	0,21	0,12	0,12
	Cs-137	20	20				<0,0071	<0,0078
	Sr-90	4	3	0,008	0,008		<0,0032	0,0061
	U-234	4	2	0,0067	0,011	0,009	0,011	0,0084
	U-235	4	4				<0,0059	<0,0032
	U-238	4	2	0,0039	0,008	0,0059	0,008	0,0077

Land	Nuklid	2012						2011
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Sachsen	K-40	20	6	0,48	1,1	0,76	0,8	0,77
	Co-60	20	20				<0,07	<0,065
	I-131	20	7	0,047	0,49	0,18	<0,12	0,12
	Cs-137	20	20				<0,062	<0,06
	Sr-90	4	4				<0,0085	<0,013
	U-234	4	0	0,0016	0,0095	0,0055	0,0054	0,015
	U-235	4	4				<0,0015	<0,0019
	U-238	4	0	0,0017	0,0083	0,0051	0,0053	0,013
Sachsen-Anhalt	K-40	20	1	0,43	1	0,69	0,73	0,7
	Co-60	20	20				<0,01	<0,0097
	I-131	20	4	0,02	0,23	0,098	0,045	0,041
	Cs-137	20	20				<0,01	<0,0097
	Sr-90	4	4				<0,1	<0,055
	U-234	4	0	0,0087	0,035	0,02	0,017	0,02
	U-235	4	3	0,0017	0,0017		0,0017	<0,0015
	U-238	4	0	0,005	0,023	0,014	0,013	0,017
Thüringen	K-40	20	16	0,96	3,2		<2,3	1,1
	Co-60	20	20				<0,084	<0,069
	I-131	20	14	0,13	0,32		<0,1	<0,0194
	Cs-137	20	20				<0,088	<0,072
	Sr-90	4	4				<0,0032	<0,0029
	U-234	4	0	0,018	0,079	0,047	0,045	0,046
	U-235	4	2	0,0022	0,0042	0,0032	<0,0022	<0,002
	U-238	4	0	0,0094	0,046	0,026	0,024	0,025
Bundesrepublik Deutschland	K-40	401	175	0,18	11	0,96	<0,73	<0,75
	Co-60	401	401				<0,028	<0,027
	I-131	358	214	0,016	3,5		0,1	0,098
	Cs-137	401	392	0,00099	0,12		<0,024	<0,024
	Sr-90	74	38	0,00079	0,092		<0,0049	0,0048
	U-234	71	16	0,000093	0,079	0,0097	0,0055	0,0051
	U-235	71	59	0,000072	0,0042		<0,00061	<0,00062
	U-238	71	19	0,00018	0,046	0,0074	0,0042	0,0048
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	57	100	78	76	84
	Co-60	20	20				<1,2	<0,56
	I-131	20	6	3,6	130	29	<18	23
	Cs-137	20	11	0,77	5,8	2,2	1,9	1,2
	Sr-90	4	0	2	4,5	3,3	3,4	3,3
	U-234	4	0	12	15	13	13	15
	U-235	4	4				<5	<5
	U-238	4	0	9,1	15	13	13	13
Hamburg	K-40	8	0	110	420	250	230	270
	Co-60	8	8				<0,91	<1,2
	I-131	8	0	16	79	42	37	33
	Cs-137	8	3	0,85	2,2	1,7	<1,9	2,2
	Sr-90	4	0	0,17	1,6	0,9	0,91	1,1
	U-234	4	0	15	19	17	16	16
	U-235	4	0	0,69	0,89	0,8	0,82	0,76
	U-238	4	0	13	17	15	14	15
Niedersachsen	K-40	40	0	20	880	230	100	94
	Co-60	40	40				<0,86	<1,1
	I-131	40	2	8,9	1000	190	76	62
	Cs-137	40	5	0,88	8,3	2,6	2	1,7
	Sr-90	4	0	1,8	2,2	2,1	2,2	2,1
	U-234	4	0	12	38	24	24	23
	U-235	4	0	0,33	1,6	0,92	0,87	0,48
	U-238	4	0	12	30	21	21	19

Land	Nuklid	2012						2011
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Bremen	K-40	8	0	160	420	290	280	320
	Co-60	8	8				<1,3	<2,1
	I-131	8	0	25	100	61	60	56
	Cs-137	8	5	1,6	4,1	2,8	<1,9	2,8
	Sr-90	4	0	1,3	7,3	3,3	2,3	<1,7
	U-234	3	2	19	19		<17	17
	U-235	3	3				<9,3	<2,5
	U-238	3	2	14	14		14	13
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	2	46	450	170	140	120
	Co-60	40	40				<0,25	<0,33
	I-131	40	1	2,5	140	48	36	45
	Cs-137	40	8	0,57	7,2	2,7	2,4	2,7
	Sr-90	4	0	0,79	8,3	3,1	1,7	3,1
	U-234	4	0	37	45	40	40	42
	U-235	4	0	1,4	1,9	1,6	1,5	1,6
	U-238	4	0	30	34	32	32	33
Hessen	K-40	20	0	89	170	120	120	120
	Co-60	20	20				<0,92	<0,92
	I-131	17	2	2,8	110	31	24	29
	Cs-137	20	7	1,6	5,8	3	2,4	<2
	Sr-90	4	2	0,71	1,2	0,94	0,71	
	U-234	4	0	50	220	130	110	82
	U-235	4	0	1,6	7,3	3,8	3,2	3
	U-238	4	0	33	120	71	67	56
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	91	230	160	170	180
	Co-60	20	20				<0,55	<0,61
	I-131	20	2	0,69	210	36	15	17
	Cs-137	20	4	1,2	7,2	2,8	2,3	3,2
	Sr-90	4	0	0,78	1,6	1,1	1	1,1
	U-234	4	0	44	66	56	57	84
	U-235	4	0	1,4	2,1	1,7	1,6	4,2
	U-238	4	0	32	37	36	36	55
Baden-Württemberg	K-40	40	0	66	420	170	170	160
	Co-60	40	40				<0,61	<0,43
	I-131	40	30	0,88	470	88	49	13
	Cs-137	40	0	1,9	57	14	7,8	6,9
	Sr-90							1,5
	U-234	2	0	30	48	39	39	40
	U-235	2	0	1,2	1,9	1,6	1,6	2
	U-238	2	0	25	44	34	34	32
Baden-Württemberg (West ²)	Co-60	28	28				<0,61	<0,39
	Cs-137	28	0	1,9	28	6,5	3,9	5
	Sr-90							1,6
Baden-Württemberg (Ost ³)	Co-60	12	12				<0,65	<0,58
	Cs-137	12	0	8,6	57	33	37	33
	Sr-90							1,3
Bayern	K-40	36	0	56	710	260	220	190
	Co-60	36	36				<1,9	<1,7
	I-131	35	2	6,9	340	53	32	38
	Cs-137	36	4	3,2	32	11	6,5	7,4
	Sr-90	4	0	2,7	5,8	4,1	3,9	3,5
	U-234	4	0	39	180	83	54	72
	U-235	4	1	1,8	8,5	4	3	2,7
	U-238	4	0	38	170	77	51	69
Bayern (Nord ²)	Co-60	17	17				<2,4	<2,1
	Cs-137	17	4	3,2	6,6	4,8	<4,6	4,7
	Sr-90	2	0	5	5,8	5,4	5,4	6,9

Land	Nuklid	2012						2011
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Bayern (Süd ³)	Co-60	19	19				<1,7	<1,6
	Cs-137	19	0	4	32	14	11	15
	Sr-90	2	0	2,7	2,8	2,7	2,7	3,3
Saarland	K-40	8	0	85	400	230	210	210
	Co-60	8	8				<0,27	<0,36
	I-131	8	0	2,5	74	22	15	20
	Cs-137	8	0	0,95	8,3	4,3	1,8	4,5
	Sr-90	4	0	2,1	3,5	2,6	2,7	2,4
	U-234	2	0	50	71	61	61	63
	U-235	2	0	1,7	2	1,9	1,9	2,1
	U-238	2	0	48	49	49	49	46
Berlin	K-40	4	0	23	100	55	49	78
	Co-60	4	4				<0,54	<0,87
	I-131	4	0	21	66	48	53	110
	Cs-137	4	1	0,47	2,5	1,2	0,56	1,5
	Sr-90	2	0	0,93	1,1	1	1	0,88
	U-234	2	0	6,7	15	11	11	17
	U-235	2	0	0,34	0,81	0,57	0,57	0,85
	U-238	2	0	5,5	13	9,3	9,3	15
Brandenburg	K-40	32	0	26	200	100	85	84
	Co-60	32	32				<0,29	<0,28
	I-131	31	1	5,7	290	91	68	40
	Cs-137	32	3	0,5	3,7	1,5	1	1,3
	Sr-90	9	0	1	3,4	1,9	2,2	2,6
	U-234	9	0	14	40	23	19	26
	U-235	9	1	0,49	2	1,2	0,95	1,1
	U-238	9	0	13	40	22	20	19
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	51	200	110	100	110
	Co-60	20	20				<0,28	<0,25
	I-131	20	3	1,2	310	120	81	89
	Cs-137	20	1	0,17	4,2	1,7	1,4	1,5
	Sr-90	4	4				<3,4	9,9
	U-234	4	0	17	25	21	21	19
	U-235	4	1	0,74	0,98	0,86	0,92	1
	U-238	4	0	15	24	20	21	18
Sachsen	K-40	20	0	92	200	140	140	120
	Co-60	20	20				<0,53	<0,54
	Cs-137	20	0	0,72	5,3	2,2	1,7	<1,7
	Sr-90	4	0	1,1	3,7	1,9	1,4	1,3
	U-234	4	0	52	78	65	65	100
	U-235	4	1	1,6	4,5	3,1	3,2	3,2
	U-238	4	0	49	78	62	60	80
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	87	390	190	150	140
	Co-60	20	20				<0,27	<0,22
	I-131	20	7	3	440	93	6	15
	Cs-137	20	0	0,96	8,5	2,8	1,9	1,9
	Sr-90	4	3	6,3	6,3		6,3	3,5
	U-234	4	0	54	180	120	130	86
	U-235	16	0	2,7	7,6	5,1	4,8	4
	U-238	19	0	23	190	86	67	68
Thüringen	K-40	20	0	100	280	200	190	220
	Co-60	20	20				<0,48	<0,42
	I-131	20	4	10	550	92	30	36
	Cs-137	20	0	0,69	5,1	2,2	2,1	2,1
	Sr-90	4	0	0,81	1	0,93	0,94	1,1
	U-234	4	0	49	150	94	90	59
	U-235	4	1	1,7	3,7	3	3,6	1,8
	U-238	4	0	29	75	52	51	36

Land	Nuklid	2012						2011
		Anzahl Gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median	Median
Bundesrepublik Deutschland	K-40	356	2	20	880	170	130	130
	Co-60	356	356				<0,59	<0,54
	I-131	331	33	0,69	1000	81	34	33
	Cs-134	356	356				<0,56	<0,53
	Cs-137	356	52	0,17	57	4,8	<2,5	2,7
	Sr-90	63	9	0,17	8,3	2,2	2	2
	U-234	62	2	6,7	220	51	39	36
	U-235	75	12	0,33	8,5	2,7	2,4	1,9
	U-238	77	2	5,5	190	48	35	33
Bundesrepublik Deutschland (Nord ²)	Co-60	325	325				<0,53	<0,52
	Cs-137	325	52	0,17	28	2,9	<2,2	2,4
	Sr-90	61	9	0,17	8,3	2,2	2	1,9
Bundesrepublik Deutschland (Süd ³)	Co-60	31	31				<1,2	<1,1
	Cs-137	31	0	4	57	22	16	18
	Sr-90	2	0	2,7	2,8	2,7	2,7	3

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 2012 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 Bayern 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 0,46 Bq/l bzw. 0,2 Bq/l (2011: 0,48 Bq/l bzw. 0,32 Bq/l), der Median für die gesamte Bundesrepublik beträgt <0,048 Bq/l (2011: 0,047 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,2 Bq/l bis 73 Bq/l, der Median bei 12 Bq/l (2011: 0,084 bis 100 Bq/l, Median: 13 Bq/l).

H-3 wurde in 81 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 4,5 Bq/l und 480 Bq/l (2011: 5 bis 580 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 270 Bq/kg TM (2011: 310 Bq/kg TM), für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt er bei 87 Bq/kg TM (2011: 110 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 240 Bq/kg TM bis 2700 Bq/kg TM, der Median bei 860 Bq/kg TM (2011: 31 bis 3200 Bq/kg TM, Median: 1000 Bq/kg TM).

Co-60 wurde in sehr geringer spezifischer Aktivität in einer Probe aus der MVA Büddenstedt (Niedersachsen: 0,48 Bq/kg TM) gemessen (2011: Niedersachsen: 0,58 Bq/kg TM).

In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,29 Bq/kg TM bis 9,5 Bq/kg TM (2011: 0,3 bis 39 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 43 Bq/kg TM (2011: 40 Bq/kg TM). Der gemessene Wert südlich/östlich liegt bei 6,7 Bq/kg TM (2011: 14 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 100 Bq/kg TM bis 1700 Bq/kg TM (2011: 36 bis 1700 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,039 Bq/kg TM bis 77 Bq/kg TM (2011: 0,65 bis 41 Bq/kg TM) mitgeteilt.

Auch in einer Probe Rohschlacke aus der o. g. MVA wurden Spuren von Co-60 (0,91 Bq/kg TM) festgestellt (2011: 0,48 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 58 Bq/kg TM (2011: 44 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie konnte in 66 % der untersuchten Proben Cs-137 nachgewiesen werden, bei einem Median von 1,5 Bq/kg TM (2011: 2 Bq/kg TM).

Die K-40-Messwerte liegen im Bereich von 1,8 Bq/kg TM bis 1900 Bq/kg TM (2011: 3,1 bis 1800 Bq/kg TM) mit einem Median von 91 Bq/kg TM (2011: 100 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,41 Bq/kg TM bis 160 Bq/kg TM (2011: 0,27 bis 520 Bq/kg TM) ermittelt.

Bei den **flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** liegen die ermittelten Werte für Cs-137 im Bereich von 0,086 Bq/l bis 1,3 Bq/l, in den höher belasteten Gebieten unterhalb der gefundenen Nachweisgrenze (2011: ebenfalls alle Werte kleiner Nachweisgrenze), für das Gebiet der Bundesrepublik wurde ein Median von < 0,082 Bq/l (2011: < 0,081 Bq/l) berechnet.

I-131 wurde in 24 von 28 untersuchten Proben mit Werten zwischen 0,12 Bq/l und 920 Bq/l (2011: 0,27 und 1300 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 2 Bq/l (2011: 3,1 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 18 Bq/kg TM bis 51 Bq/kg TM (2011: 15 bis 52 Bq/kg TM) mit einem Median von 28 Bq/kg TM (2011: 30 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 1,8 Bq/kg TM und 13 Bq/kg TM (2011: 2 bis 19 Bq/kg TM), der Median liegt bei 6 Bq/kg TM (2011: 6,1 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 230 Bq/kg TM bis 840 Bq/kg TM, der Median bei 500 Bq/kg TM (2011: 290 bis 750 Bq/kg TM, Median: 480 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
(Monitoring of wastes)

Land	Nuklid	2012						2011
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ¹	Maximal- wert ¹	Mittel- ¹ einzelwert	Median	Median
Sickerwasser (Bq/l)								
Nord ²	Cs-137	64	40	0,0022	0,46		<0,046	0,4
Süd ³	Cs-137	6	2	0,085	0,2	0,12	0,093	0,14
Alle Länder	K-40	70	13	0,2	73	19	12	13
	H-3	70	17	4,5	480	59	24	20
Flugasche / Filterstaub (Bq/kg TM)								
Nord ²	Cs-137	44	3	0,81	87	20	15	15
Süd ³	Cs-137	2	0	140	270	210	210	290
Alle Länder	K-40	46	0	240	2700	1100	860	1000
	Co-60	46	45			0,48	<0,34	<0,27
	I-131	42	24	0,29	9,5		<0,6	0,88
Schlacke (Bq/kg TM)								
Nord ²	Cs-137	64	4	0,3	43	2,9	1,2	<0,16
Südl ³	Cs-137	2	0	5	6,7	5,9	5,9	9,6
Alle Länder	K-40	66	0	100	1700	340	280	290
	Co-60	66	65			0,91	<0,19	<0,2
	I-131	59	51	0,039	77		<0,29	<0,34
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)								
Nord ²	Cs-137	41	14	0,15	75	16	1,5	2
Süd ³	Cs-137	2	0	31	84	58	58	44
Alle Länder	K-40	43	1	1,8	1900	440	91	100
	I-131	41	13	0,41	160	22	2,9	3,5
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)								
Nord ²	Cs-137	26	18	0,086	1,3		<0,079	<0,079
Süd ³	Cs-137	2	2				<0,11	<0,11
Alle Länder	K-40	28	7	1,1	47	13	6,3	4
	I-131	28	4	0,12	920	80	2	3,1
Kompost (Bq/kg TM)								
Nord ²	Cs-137	71	1	1,8	13	6,3	6	6,1
Süd ³	Cs-137	4	0	18	51	31	28	30
Alle Länder	K-40	75	0	230	840	480	500	480

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 bzw. 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.

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	52	1,14	282	56	0,9
2012	306	49	1,12	262	54	0,9
Monatsmittelwerte für 2012						
Januar	27	45	1,2	20	51	0,9
Februar	15	48	1,1	17	55	0,9
März	31	53	1,1	24	58	1,0
April	29	50	1,2	17	56	1,0
Mai	7	46	1,0	6	52	0,8
Juni	35	49	1,1	27	53	0,9
Juli	25	48	1,1	27	55	0,9
August	24	47	1,0	21	53	0,9
September	33	49	1,2	27	54	0,9
Oktober	31	47	1,1	26	53	0,9
November	23	49	1,1	26	55	1,0
Dezember	26	53	1,2	24	57	1,0

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
2012	43	47	0,12	82	65	0,08
Monatsmittelwerte für 2012						
Januar	6	50	0,13	9	65	0,20
Februar	7	47	0,03	7	62	0,02
März	6	48	0,14	10	65	0,10
April	0			0		
Mai	0			0		
Juni	1	46	0,00	9	66	0,02
Juli	5	47	0,13	8	69	0,03
August	4	45	0,11	8	64	0,09
September	3	47	0,07	8	63	0,06
Oktober	4	50	0,17	7	65	0,06
November	4	47	0,24	8	67	0,02
Dezember	3	43	0,21	8	63	0,18

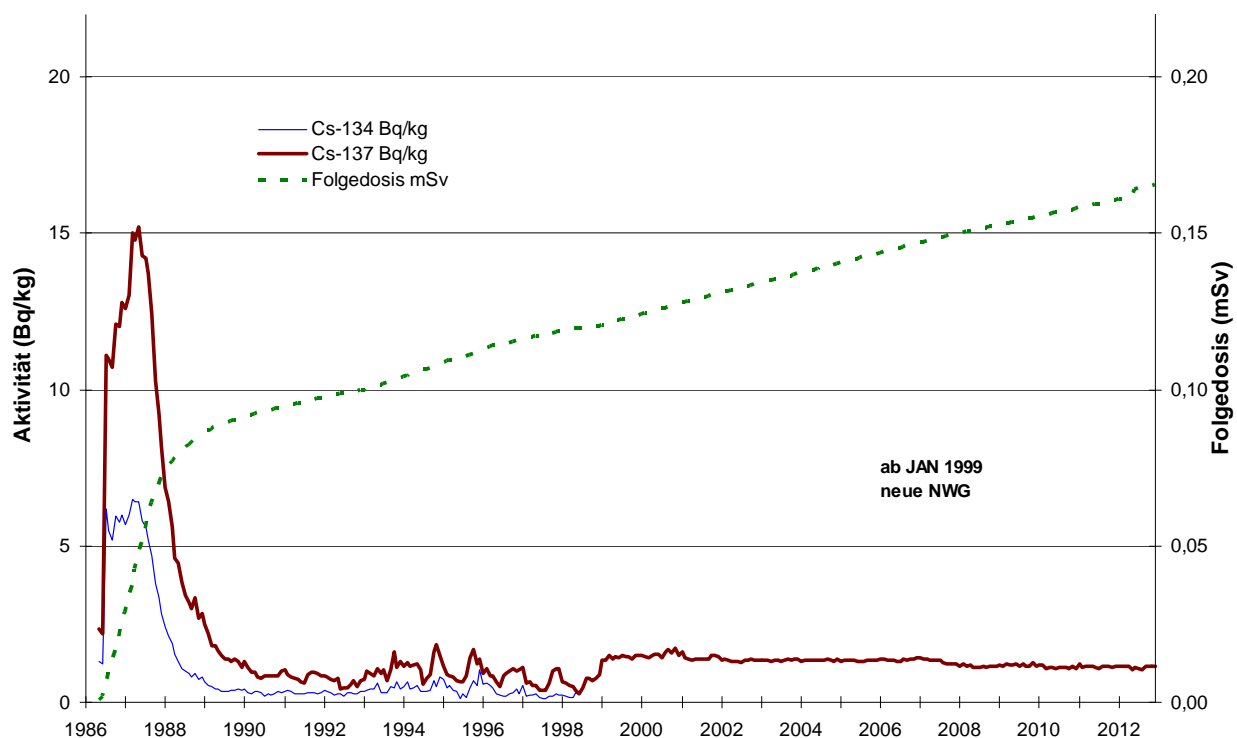


Abbildung 2.8-1 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: BfS-München, Frauen
(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure)

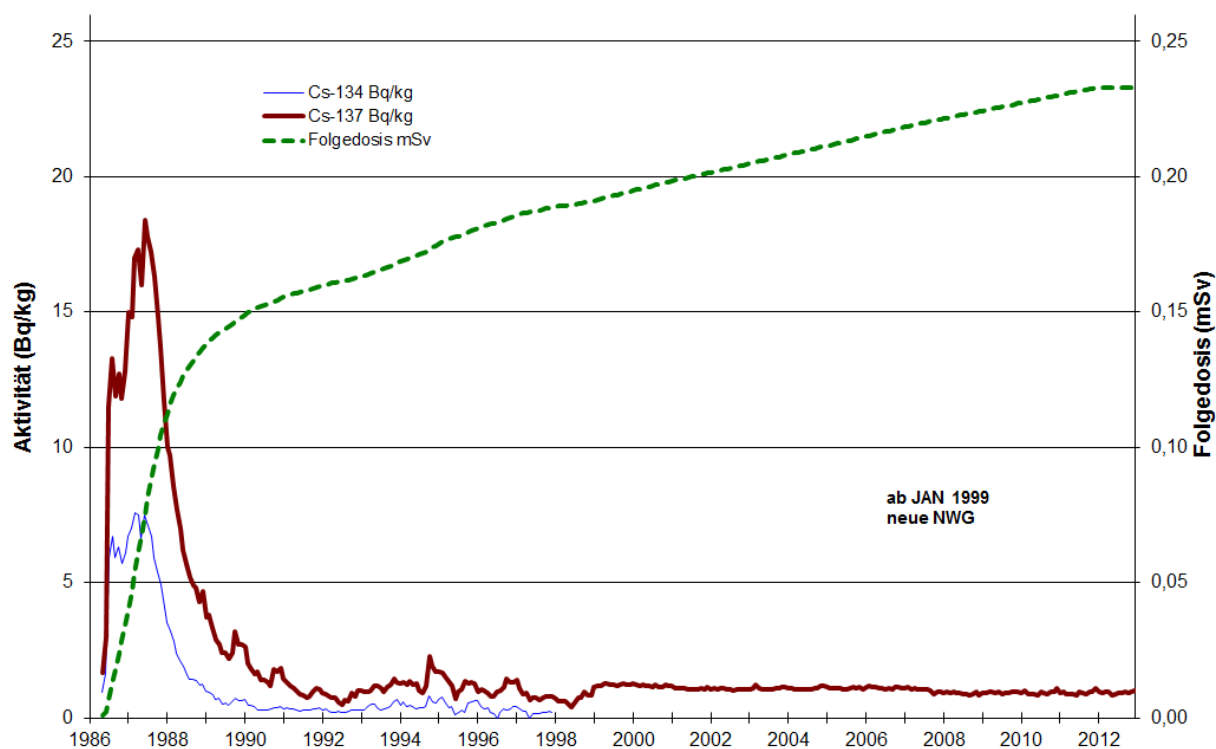


Abbildung 2.8-2 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: BfS-München, Männer
(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: BfS Munich, men)

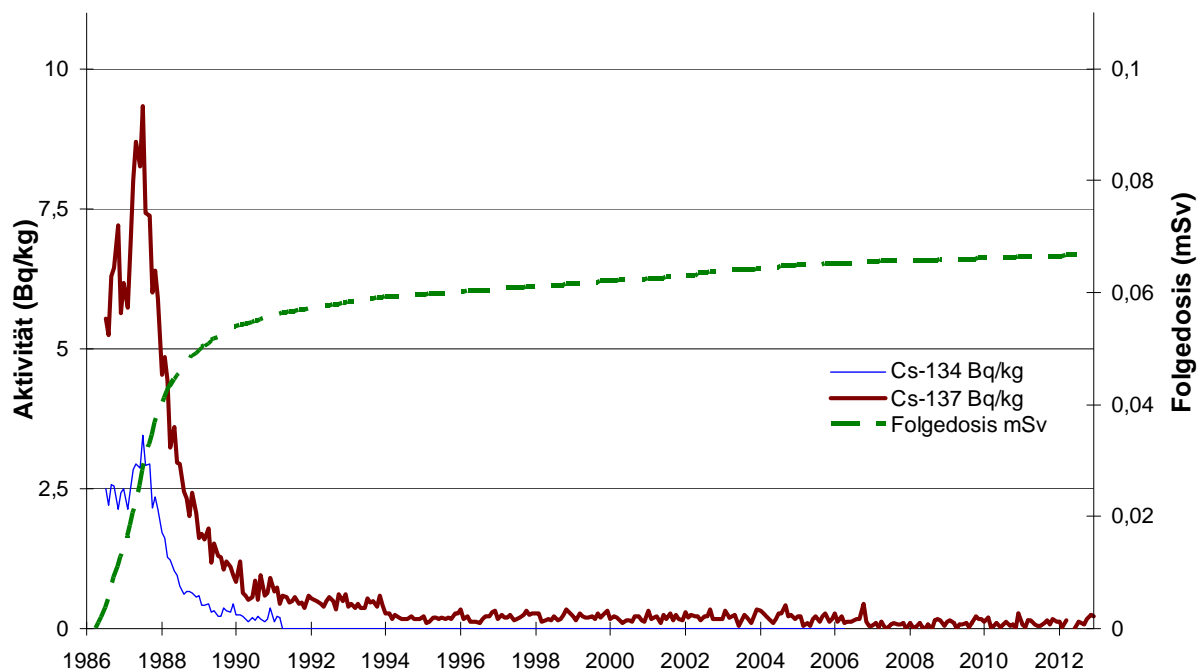


Abbildung 2.8-3 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: Karlsruhe, women)*

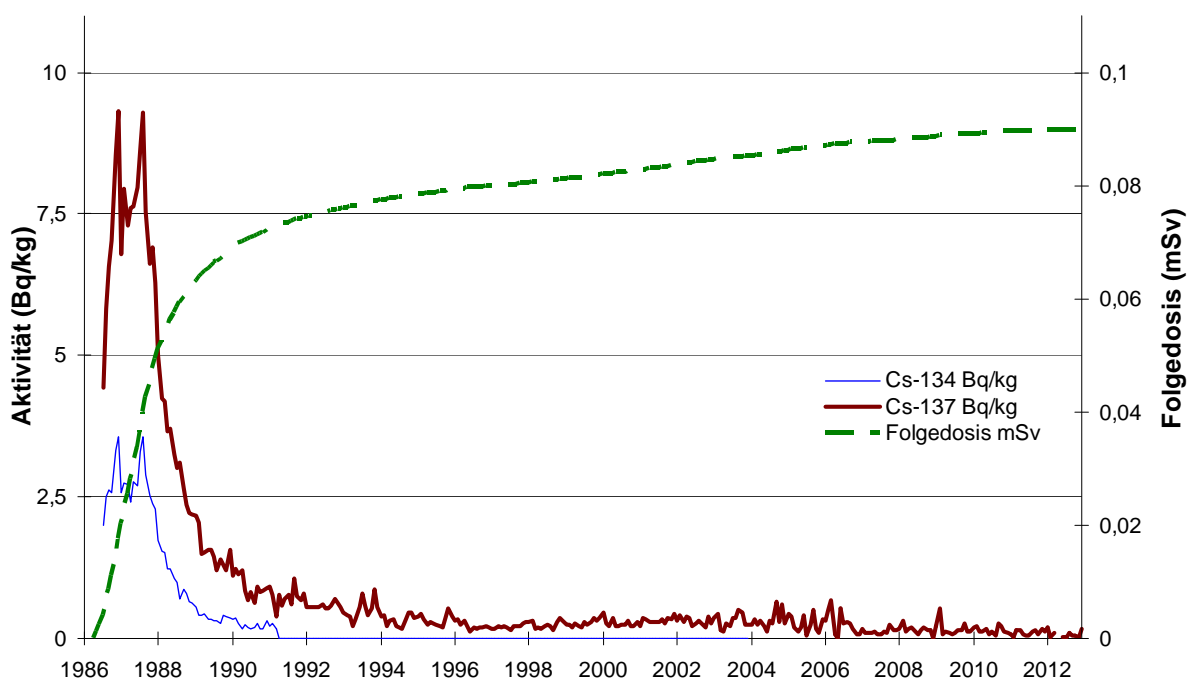


Abbildung 2.8-4 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: Karlsruhe, men)*

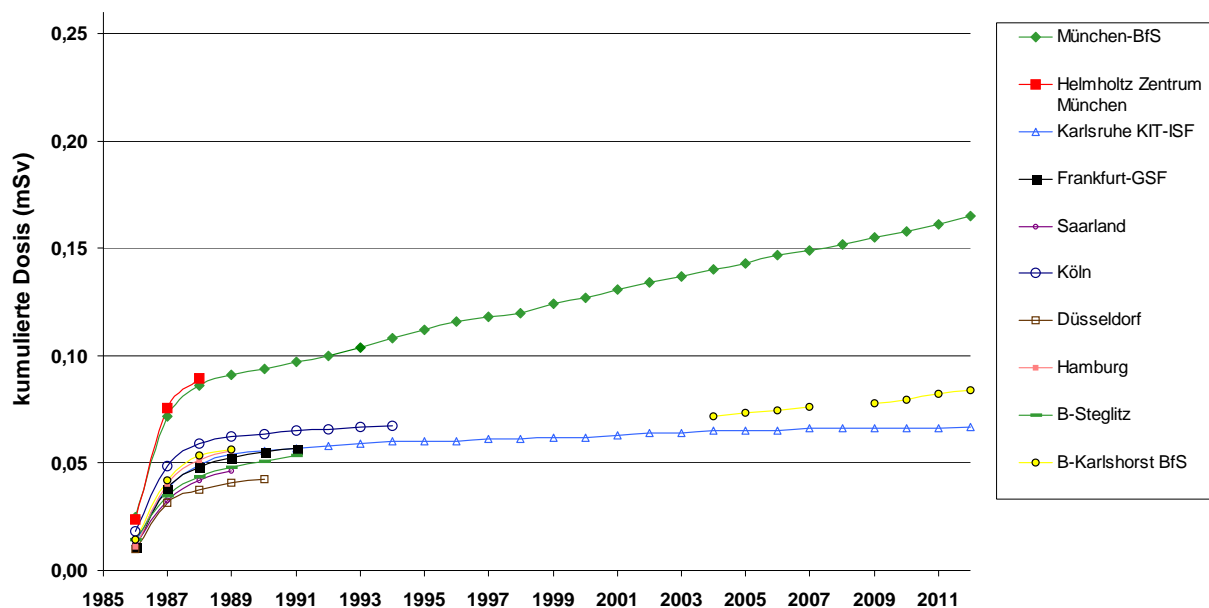


Abbildung 2.8-5 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Frauen
(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
Comparison of reference groups: women)

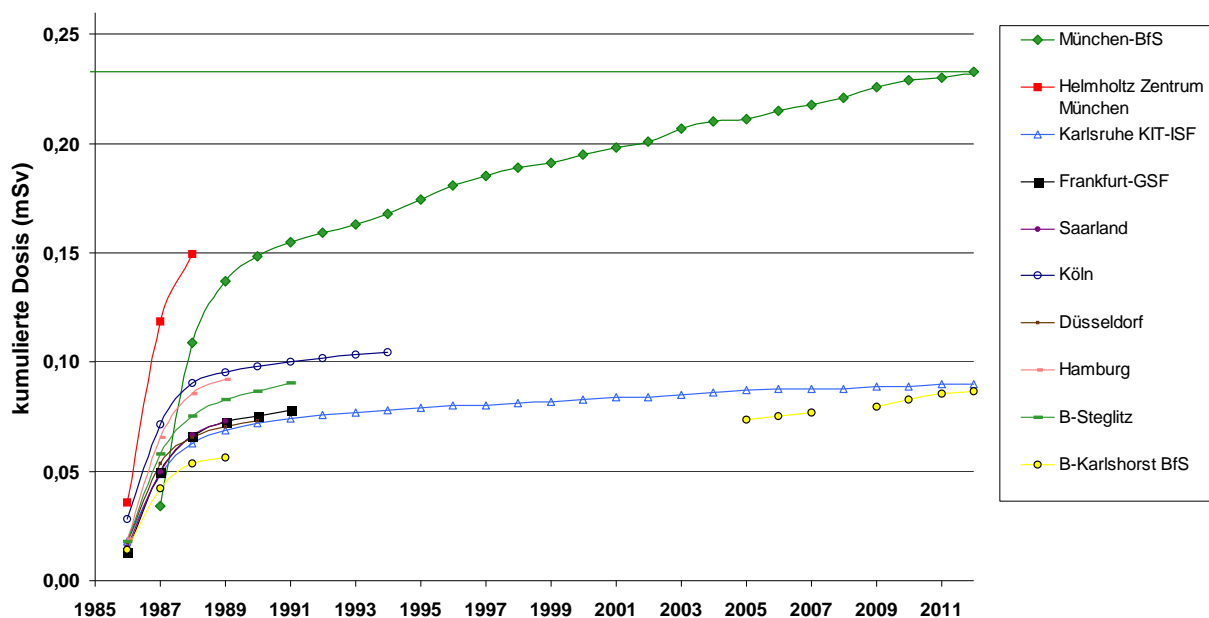


Abbildung 2.8-6 Strahlenexposition aus inkorporiertem radioaktivem Cäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Männer
(Radiation exposure from incorporated radioactive cesium
Comparison of reference groups: men)

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 Dosismessung 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 79 % 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 2012 von zwei Personen überschritten. Bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten sind dies 0,0006 % (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 15 % 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 2012 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 2012 kam es zu sieben 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 2012 betrug 0,08 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. 53 000 Personen), so ergibt sich für diese Gruppe der Exponierten eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,52 mSv (Vorjahr: 0,58 mSv).

Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister gemeldeten gültigen Personendosiswerte im Kalenderjahr. Im Jahr 2012 betrug die Jahreskollektivdosis aller überwachten Personen 28 Personen-Sv (Vorjahr 38 Personen-Sv). Der Rückgang der Kollektivdosis betrifft medizinische und nichtmedizinische Arbeitsbereiche.

Tabelle 1.1-1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2012
 (Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich)
(Monitoring with official personal dosemeters in the year 2012)
 (Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

Bundesland	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Baden-Württemberg	46 692	34 471	2709	2127
Bayern	66 054	50 120	4026	3316
Berlin	17 041	12 741	948	736
Brandenburg	7023	5922	468	360
Bremen	4216	3117	214	159
Hamburg	11 216	8036	527	416
Hessen	27 142	20 354	1528	1217
Mecklenburg-Vorpommern	5956	4477	343	268
Niedersachsen	32 717	26161	2253	1837
Nordrhein-Westfalen	76 026	62 095	4920	4101
Rheinland-Pfalz	16 539	14 087	989	829
Saarland	4918	4613	375	326
Sachsen	14 276	11 841	881	646
Sachsen-Anhalt	8260	6992	503	365
Schleswig-Holstein	12 337	9595	770	648
Thüringen	7084	6621	381	328
Bundeswehr	1469	1275	49	38
Gesamtzahl 2012*	351 568	278 119	21 777	17 643
Anteil Medizin		79 %		81 %
Gesamtzahl 2011**	349 381	272 841	22 035	17 741
Anteil Medizin		78 %		81 %
Änderung gegenüber 2011	0,6 %	1,9 %	-1,2 %	-0,6 %

* 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 2012
(Number of persons with annual personal doses above 20 mSv in the year 2012)

Bundesland	Anzahl der Jahrespersonendosen >20 mSv/Jahr Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nichtmedizin
Baden-Württemberg	1		1
Bayern			
Berlin			
Brandenburg			
Bremen			
Hamburg			
Hessen			
Mecklenburg-Vorpommern			
Niedersachsen			
Nordrhein-Westfalen			
Rheinland-Pfalz	1	1	
Saarland			
Sachsen			
Sachsen-Anhalt			
Schleswig-Holstein			
Thüringen			
Gesamtzahl 2012*	2	1	1
Bezogen auf Überwachtetenzahl 2012	0,0006 %	0,0004 %	0,001 %
Gesamtzahl 2011**	6	0	6
Bezogen auf Überwachtetenzahl 2011	0,002 %		0,008 %

* 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 2012
(Distribution of the annual personal doses in the year 2012)

Dosis H in mSv	Gesamt*		Medizin		Nichtmedizin	
	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %
H=0	298 818	85 %	239 652	86 %	59 564	81 %
0<H≤0,2	31 117	94 %	25 159	95 %	6 031	89 %
0,2<H≤0,4	7796	96 %	5668	97 %	2143	92 %
0,4<H≤0,6	3634	97 %	2469	98 %	1173	93 %
0,6<H≤0,8	2228	98 %	1452	99 %	782	94 %
0,8<H≤1,0	1638	98 %	1028	99 %	612	95 %
1<H≤2	3694	99 %	1987	<100 %	1716	97 %
2<H≤4	1744	<100 %	550	<100 %	1202	99 %
4<H≤6	513	<100 %	108	<100 %	407	<100 %
6<H≤8	227	<100 %	25	<100 %	203	<100 %
8<H≤10	100	<100 %	12	<100 %	88	<100 %
10<H≤15	46	<100 %	7	<100 %	39	<100 %
15<H≤20	11	<100 %	1	<100 %	10	<100 %
H>20	2	100 %	1	100 %	1	100 %
Gesamt *	351 568		278 119		73 971	

* 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 dosemeters)

Jahr	Gesamt		Medizin		Nichtmedizin	
	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis 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	0,26	20
2012	0,08	28	0,05	14	0,19	14

Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen seit 1986 ist in Abbildung 1.1-1 dargestellt. In dieser Abbildung ist 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 - 2012. 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.

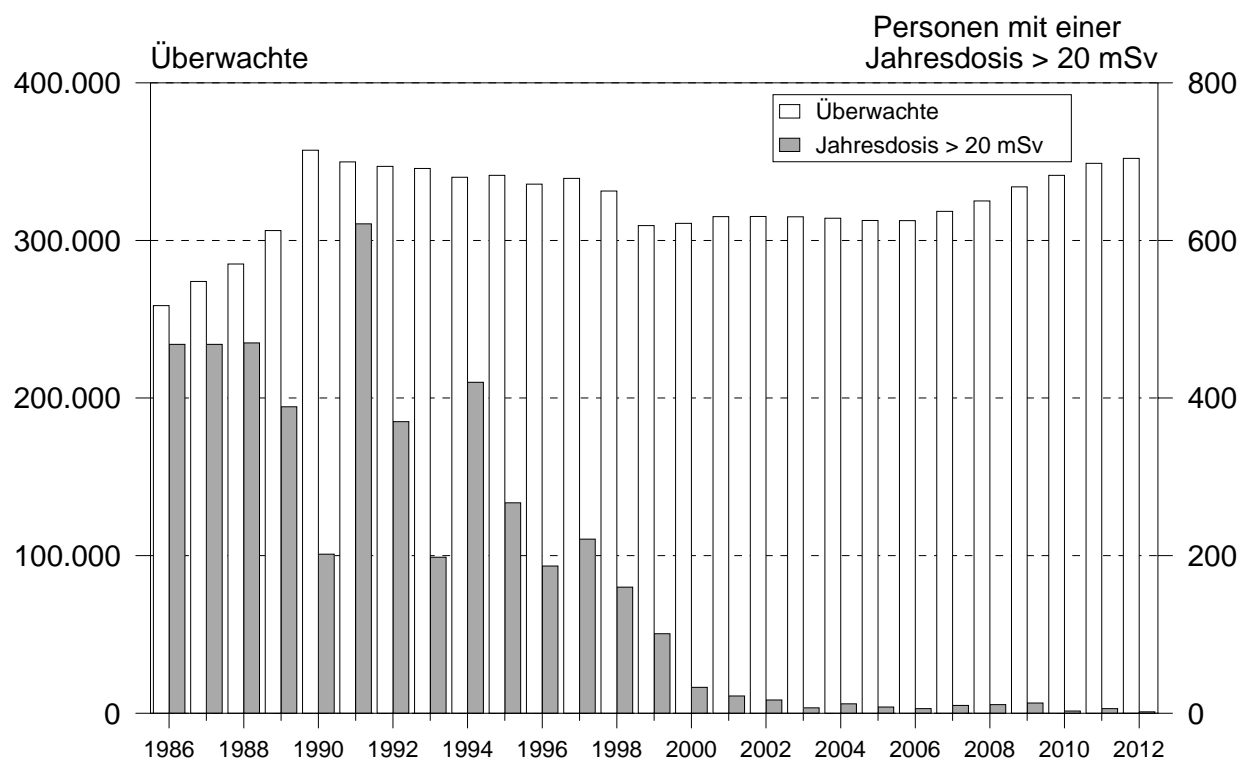


Abbildung 1.1-1: Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen und der Personen mit Jahresdosen von mehr als 20 mSv (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)
(Number of persons monitored with dosimeters and persons with annual personal doses above 20 mSv - as from 1990 including the new federal states)

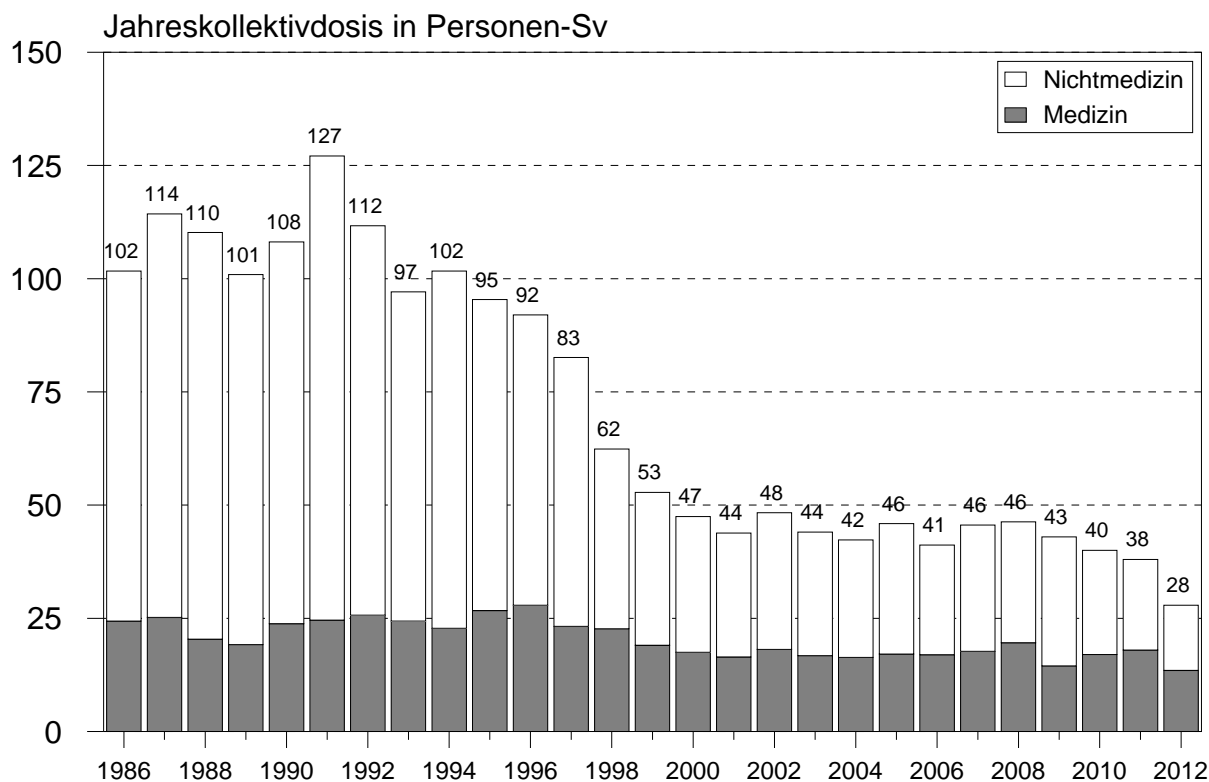


Abbildung 1.1-2: Jahreskollektivdosis in medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereichen (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)
(Annual collective dose in medical and non-medical work sectors - as from 1990 including the new federal states)

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 BMUB 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 2012 bei Beschäftigten in Kernkraftwerken und sonstigen kerntechnischen Anlagen nicht auf. Die Werte verringerten sich im Jahr 2012 gegenüber dem Vorjahr. Ursache des Rückgangs ist das Abschalten der 8 Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel.

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. Die Daten für das Jahr 2011/12 sind teilweise geschätzt, da eine Zuordnung des Personals zu den in Betrieb befindlichen Reaktoren erst nach Vorlage der o. g. GRS-Erhebung für das Jahr 2012 möglich ist.

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
2012	9	99	18 000	15 000	6	5

* 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 Fremd-personal	Gesamt	davon Fremd-personal
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
2012	10	2400	1400	0,3	0,1

Daten: Stand Juni 2013

* 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 2012 insgesamt 40 273 Personen (Vorjahr: 39 201) überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis betrug 1,9 mSv (Vorjahr 2,1 mSv). Der höchste Jahrespersonendosiswert liegt bei 6,4 mSv. Die Verteilung ist in Tabelle 2-1 wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2012 beträgt ca. 78 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 (Tabelle 2-1) und ihre zeitliche Schwankung (Tabelle 2-2) ist nicht mit anderen Berufsgruppen vergleichbar. Wichtige Einflußgröße auf die Jahresdosis ist die zyklische Schwankung der Sonnenaktivität. Das letzte solare Minimum mit geringer Sonnenaktivität war 2009. Seitdem nimmt die Sonnenaktivität wieder zu. Damit steigt die Schutzwirkung gegen die kosmische Strahlung und die Höhenstrahlung in Flughöhen geht wieder zurück.

Tabelle 2-1 Verteilung der effektiven Jahresdosis des fliegenden Personals im Jahr 2012
(Distribution of the annual effective dose of aircraft crews in the year 2012)

Dosis E in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
E=0	288	1 %
0 < E ≤ 0,5	2720	7 %
0,5 < E ≤ 1,0	4379	18 %
1,0 < E ≤ 2,0	14 499	54 %
2,0 < E ≤ 3,0	12 508	85 %
3,0 < E ≤ 4,0	5451	99 %
4,0 < E ≤ 5,0	411	<100 %
5,0 < E ≤ 6,0	11	<100 %
6,0 < E ≤ 10,0	6	100 %
E > 10,0	0	100 %
Gesamt	40 273	

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
2005	31 229	2,0	62
2006	32 554	2,0	71
2007	35 033	2,3	80
2008	37 122	2,3	86
2009	36 657	2,3	86
2010	37 283	2,3	86
2011	39 664	2,1	84
2012	40 273	1,9	78

Daten: Stand Juni 2013

* 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 festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2). Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausführen, ist die Körperdosis zu ermitteln. Für die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues ausführen, werden die Daten der Körperdosis auf der Grundlage der Regelungen des § 118 Abs. 2 Satz 1 ermittelt.

Für Beschäftigte der Wismut GmbH werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranerfallsreihe 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 2012 dem Strahlenschutzregister im Bundesamt für Strahlenschutz für 380 Personen (Vorjahr: 260 Personen) Dosiswerte übermittelt. Von diesen Personen führten 170 Personen Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH aus. Die Kollektivdosis der 380 Beschäftigten betrug 1,1 Personen-Sv, die mittlere Jahrespersonendosis 2,9 mSv (Vorjahr: 1,9 mSv). 350 Beschäftigte wiesen eine messbare Jahrespersonendosis auf. Im Jahr 2012 gab es in einer Schauhöhle eine Überschreitung (2011: zwei Überschreitungen) des Grenzwertes von 20 mSv. Der höchste Wert der effektiven Jahresdosis betrug 24 mSv (Vorjahr: 45 mSv). Bei 57 Beschäftigten wurde eine effektive Jahresdosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Bei den Beschäftigten der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der effektiven Jahresdosis 1,2 mSv, der höchste Jahrespersonendosiswert lag bei 3,6 mSv (Vorjahr: Mittel 1,1 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 2012 1251 Personen überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,01 Personen-Sv. Die höchste Jahrespersonendosis infolge von Inkorporation betrug 2,0 mSv. In Tabelle 4-1 sind die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung zusammengefasst.

Tabelle 4-1 **Verteilung der effektiven Jahresdosis durch Inkorporation im Jahr 2012**
(Distribution of the annual effective doses due to incorporation in the year 2012)

Dosis E durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
E=0	1182	95 %
0 <E≤0,2	55	99 %
0,2 <E≤1,0	11	<100 %
1,0 <E≤6,0	3	100 %
6,0 <E≤20,0	0	100 %
E>20,0	0	100 %
Gesamt	1251	

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 BMUB geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002, Erhebungen zur Dosismessung 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 Modellanpassungen 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 Dosiswerten, die von den ÄS für die Jahre 2007 bis 2009 an das BfS übermittelt wurden, jedoch auch auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen, auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMUB gefördert wurden, und auf Literaturangaben. Es handelt sich dabei um Dosisangaben, die aus Messwerten von an Patientinnen und Patienten durchgeführten Untersuchungen ermittelt wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten „Normalpatienten“.

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 (Gliedermaßen)	< 0,01 - 0,1
Schädelaufnahme (anterior-posterior)	0,03 - 0,06
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 - 0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 - 0,04
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2 - 0,4
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,2 - 0,5
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,6 - 1,1
Beckenübersicht	0,3 - 0,7
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,3 - 0,7
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	4 - 8
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	5 - 12
Koronarangiographie	4 - 7
PTCA (Perkutane transluminale koronare Angiographie zur Herzkranzgefäßerweiterung)	6 - 16
Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein)	0,3 - 0,7
Becken-Bein-Arteriographie	5 - 9
CT-Untersuchungen *	
Hirnschädel	1,7 - 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 2011 – 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.

Das statistische Bundesamt hat für 2011 zwei Bevölkerungszahlen veröffentlicht, eine auf Basis des neuen Zensus 2011 (80,3 Mio.) und eine – so wie in den Jahren davor – auf der Grundlage der Volkszählung 1987 (81,8 Mio.). Aus Gründen der Vergleichbarkeit (Zeitreihen) wird im Folgenden und in den Abbildungen die fortgeschriebene Bevölkerungszahl auf der Grundlage der Volkszählung von 1987 verwendet.

Für das Jahr 2011 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 136 Millionen Röntgenuntersuchungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 84 Mio. Röntgenuntersuchungen). Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland nahm während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2011 insgesamt ab. Für die Jahre 2007 bis 2011 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 2011 liegt bei etwa 1,7 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr (siehe Abbildung 1.1-1)¹. Ohne Mammographien aus dem MSP – einseitig gezählt – läge der Wert für 2011 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 2011 hat der Beitrag der zahnmedizinischen Röntgendiagnostik zur Gesamthäufigkeit zugenommen, von 32 % in 1996 auf 38 % im Jahr 2011. 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 2011 mehr als verdoppelt (Zunahme um etwa 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 2011, 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 (um ca. 50 %), des Thorax (um ca. 40 %), der Wirbelsäule (um ca. 30 %) und des Bauchraumes einschließlich des Verdauungs- und des Urogenitaltrakts (um ca. 60 %) im Zeitraum 1996 bis 2011 abgenommen.

Auswertung der Jahre 1996 bis 2011 – Kollektive effektive Dosis

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2011 auf ca. 1,7 mSv². Über den Beobachtungszeitraum 1996 bis 2011 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 und der damit einhergehenden Zunahme der effektiven Dosis pro Kopf bedingt. Demgegenüber nimmt die effektive Dosis pro Einwohner bei den restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 1996 bis 2011 deutlich – um mehr als 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 2011 jedoch mehr als 80 % (siehe Abbildung 1.1-4).

¹ Die Schätzung für die Gesamthäufigkeit auf Basis der fortgeschriebenen Bevölkerungszahl beträgt 1,66 und auf Basis des neuen Zensus 1,69 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr.

² Die Schätzung beträgt 1,74 mSv auf Basis der fortgeschriebenen Bevölkerungszahl (gerundet 1,7 mSv) bzw. 1,77 mSv auf Basis des neuen Zensus (gerundet 1,8 mSv) pro Einwohner und Jahr.

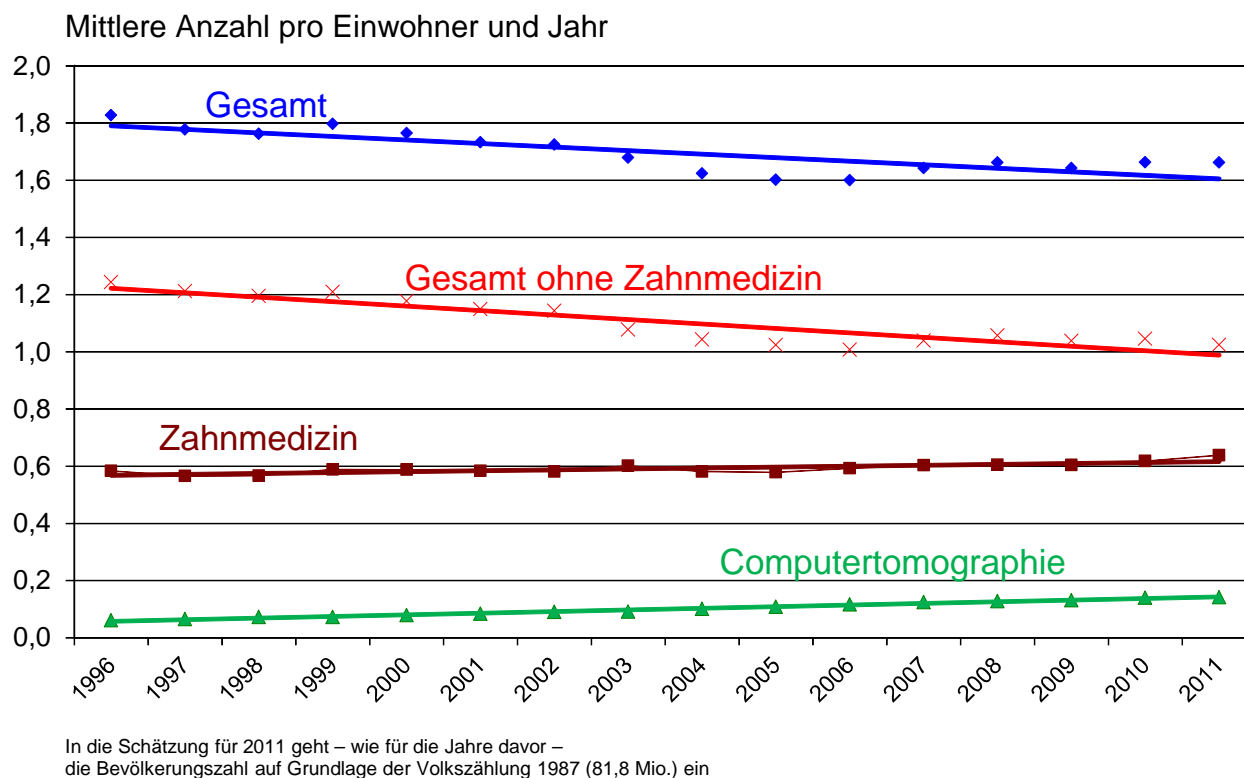


Abbildung 1.1-1 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland
(Frequency of x-ray examinations in Germany)

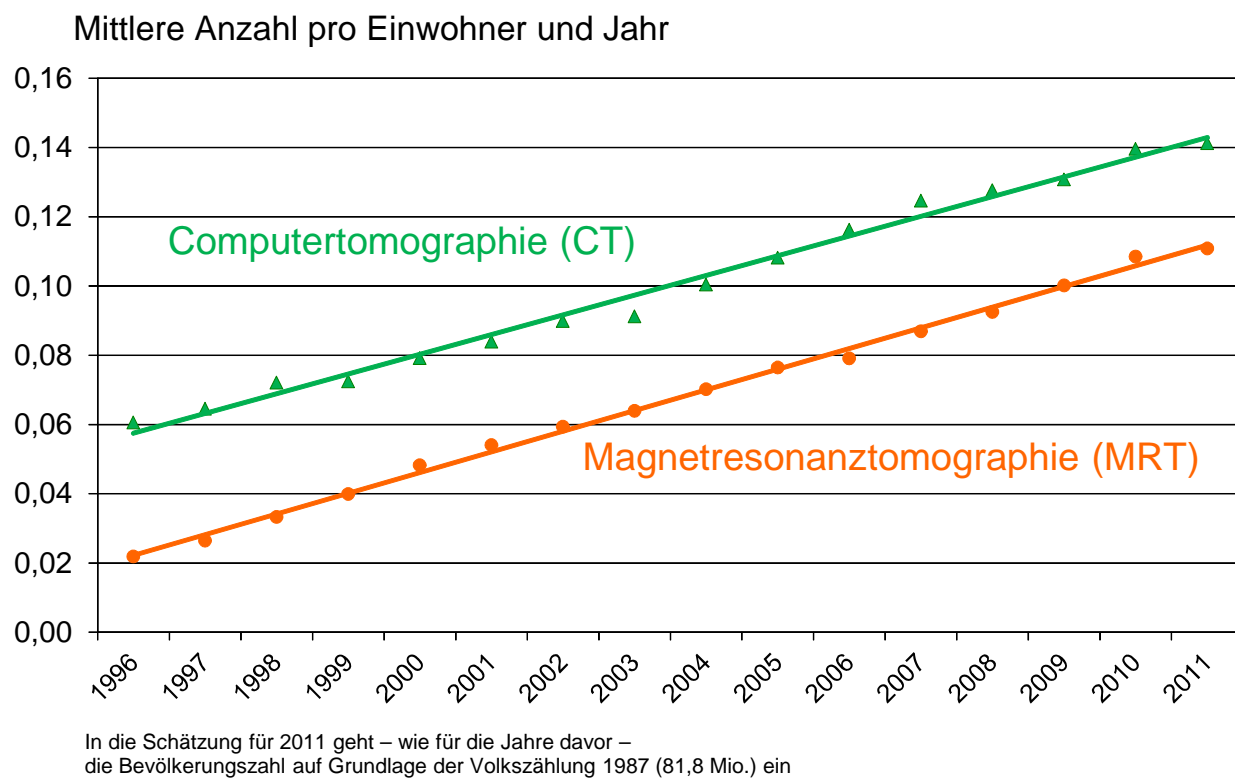
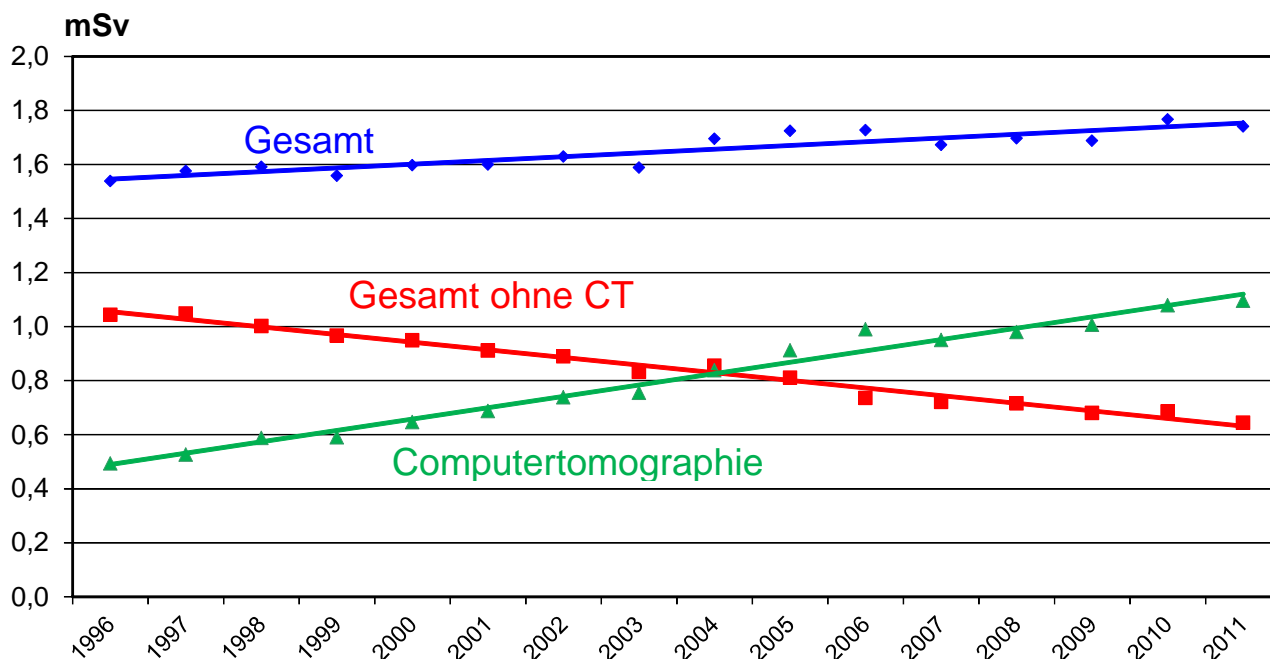


Abbildung 1.1-2 Vergleich der Häufigkeit von CT- und MRT-Untersuchungen in Deutschland
(Comparison of frequencies of CT/MRT examinations in Germany)



In die Schätzung für 2011 geht – wie für die Jahre davor – die Bevölkerungszahl auf Grundlage der Volkszählung 1987 (81,8 Mio.) ein

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)

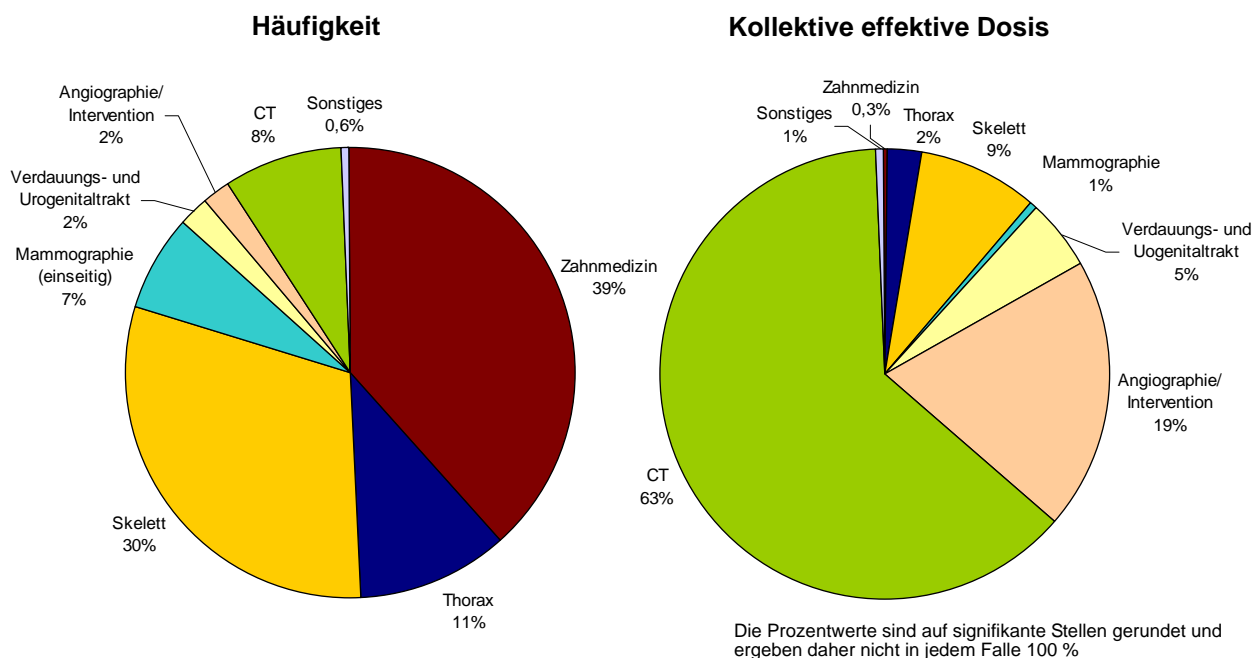


Abbildung 1.1-4 Prozentualer Anteil der verschiedenen Röntgenmaßnahmen an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis 2011
(Contribution of various x-ray diagnostic procedures to total frequency and to collective effective dose in 2011)

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 2010 verstarben insgesamt etwa 17 500 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Damit war Brustkrebs die vierthäufigste Todesursache bei Frauen und für 3,9 % aller Todesfälle verantwortlich. Wird Brustkrebs frühzeitig erkannt, kann dies den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenschancen der Betroffenen erhöhen. Die effektivste Methode zur Früherkennung von Brustkrebs bei Frauen zwischen 50 und 69 Jahren ist gegenwärtig die Röntgenuntersuchung der Brust (Mammographie).

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 BMUB 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. Diese 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. 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 rasante technische Fortschritt machte jedoch die Einbeziehung digitaler Verfahren erforderlich, 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 Teilnahmerate 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 weniger als 1,5 % der kollektiven effektiven Dosis, die sich aus allen Röntgenuntersuchungen, die in Deutschland jährlich durchgeführt werden, ergibt. Wie bereits erwähnt spielen Screening-Mammographien in der Abbildung 1.1-4 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 2011 um ca. 34 % nach Daten der KBV bzw. um ca. 23 % bei Berücksichtigung der PKV-Daten).

Da die Screening-Mammographie-Untersuchung für die Frauen mit einer Strahlenbelastung verbunden ist, haben sich BMUB 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 BMUB 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 BMUB, das BMG sowie die Träger des Mammographie-Screening-Programms. Die Geldgeber sowie das BfS, das Robert-Koch-Institut, ein Vertreter der obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) und die Patientenvertretung bilden ein so genanntes Steuerungsgremium. Die Aufgaben des Steuerungsgremiums sind u. a. die Schaffung der organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abwicklung der Vorhaben zur Mortalitätsevaluation sowie die Festlegung der Konzeption und des Inhalts der Evaluation des deutschen Mammographie-Screening-Programms. Das Steuerungsgremium wird hinsichtlich der Konzeption und Gestaltung der Inhalte des Forschungsvorhabens sowie der Projektbegleitung von einem Wissenschaftlichen Beirat unterstützt. Die 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 2007 bis 2011. In die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis und deren Bewertung fließen die Resultate eines 2011 abgeschlossenen UFOPLAN-Vorhabens ein („Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren“) sowie aktuelle Literatur [1, 2]. Pro Jahr wurden 2007 - 2011 in Deutschland im Mittel ca. 2,9 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 35,7¹ Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. 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 2007 bis 2011 gemittelte kollektive effektive Dosis von ca. 7100 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 2,4 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

¹ Auf Basis der Bevölkerungszahl gemäß Zensus von 2011 und entsprechend extrapolierte Bevölkerungszahlen für 2007 bis 2010 beträgt die Schätzung 36,4 Untersuchungen pro 1000 Einwohner und Jahr.

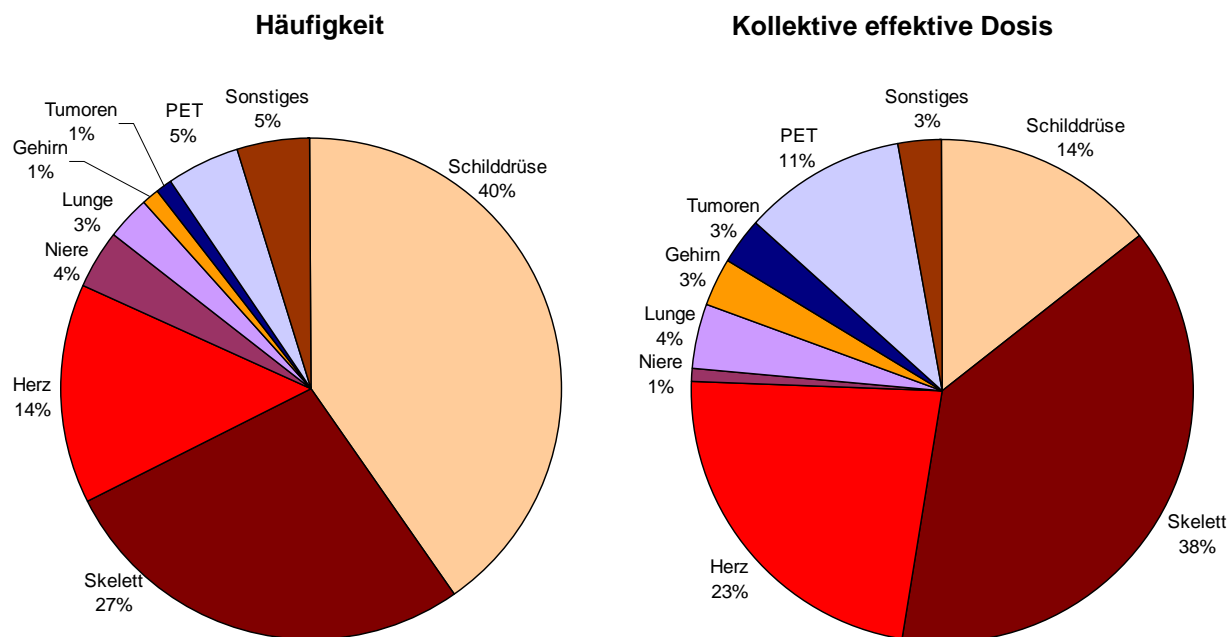


Abbildung 1.2-1 Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 2011
(Contribution from the different nuclear medicine examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations in Germany 2011)

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 2011 etwa $1,8^1$ 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,

¹ Die Schätzung beträgt 1,83 mSv auf Basis der fortgeschriebenen Bevölkerungszahl (gerundet 1,8 mSv) bzw. 1,86 mSv auf Basis des neuen Zensus (gerundet 1,9 mSv) pro Einwohner und Jahr.

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 BMUB 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.

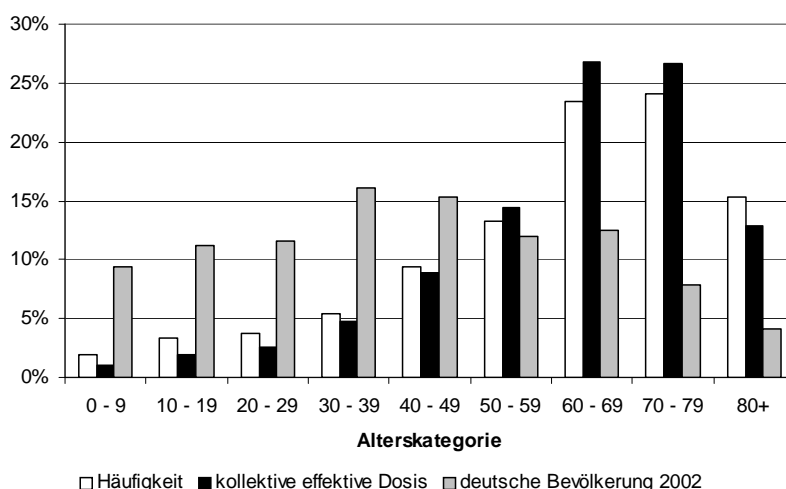


Abbildung 1.3-1 Verteilung von Häufigkeit und kollektiver effektiver Dosis von Röntgenaufnahmen in Abhängigkeit vom Patientenalter im stationären Bereich im Jahre 2002. Zum Vergleich: Altersverteilung der deutschen Bevölkerung 2002
(Distribution of frequency and collective effective dose of x-ray examinations conducted in inpatients of specified age in 2002. For comparison: age distribution of the German population in 2002)

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 hatte, die Datenbasis um weitere europäische Länder zu erweitern sowie den alten Datenbestand zu aktualisieren. Die vorläufigen Ergebnisse wurden im Januar 2013 auf der Dose Datamed 2-Internetseite (www.ddmed.eu) veröffentlicht und ermöglichen einen umfassenden Vergleich auf europäischer Ebene. Das Dose Datamed 2-Projekt liefert Schätzungen für die Strahlenexposition der Bevölkerung in Europa infolge strahlendiagnostischer Maßnahmen auf Basis einer umfangreichen Datensammlung von 36 europäischen Ländern. Werden alle 27 EU-Ländern sowie die drei EFTA-Länder Norwegen, Island und die Schweiz als Gruppe betrachtet, so lauten die Schätzungen für die mittlere effektive Dosis infolge von Röntgenmaßnahmen beziehungsweise nuklearmedizinischer Maßnahmen 1,07 mSv beziehungsweise 0,07 mSv pro Einwohner.

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. 1,7¹ mSv pro Person im Jahr 2011) 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 2011 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. 9 Mio. in 2011. Dies entspricht einer Vervielfachung der Untersuchungs-Anzahl (CT: Vervielfachung um etwa den Faktor 2,3 zwischen 1996 und 2011). Im Jahr 2011 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 30 % 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.

¹ Die Schätzung beträgt 1,74 mSv auf Basis der fortgeschriebenen Bevölkerungszahl (gerundet 1,7 mSv) bzw. 1,77 mSv auf Basis des neuen Zensus (gerundet 1,8 mSv) pro Einwohner und Jahr.

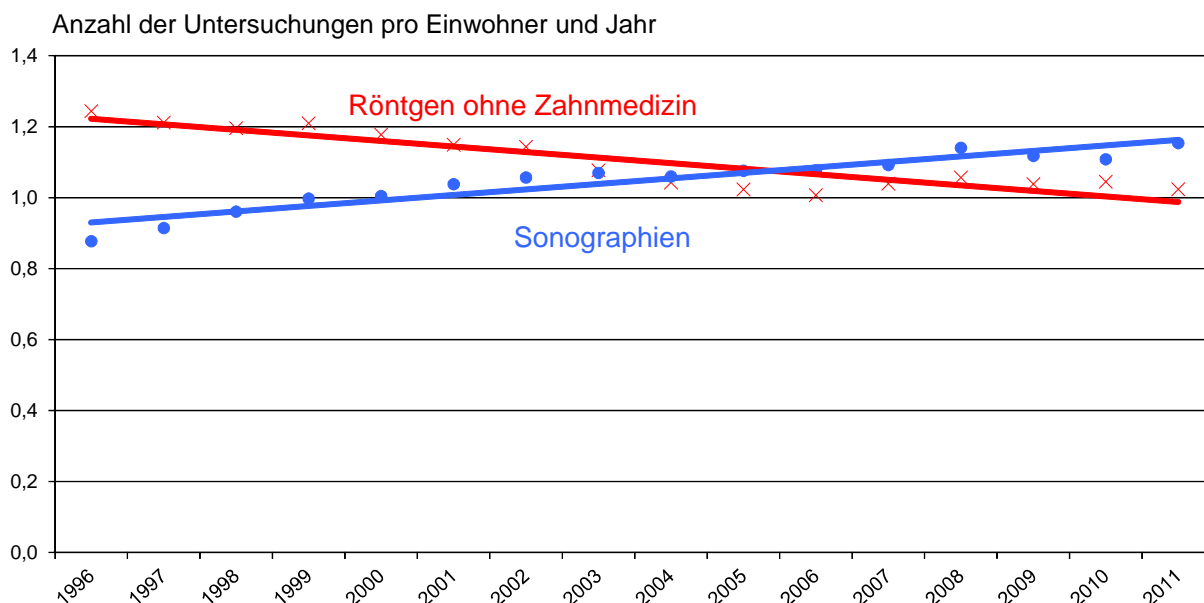


Abbildung 1.4-1 Häufigkeit von Sonographieuntersuchungen. Zum Vergleich: Häufigkeit aller Röntgenuntersuchungen (einschließlich CT, ohne Zahnmedizin)
(Frequency of ultrasound examinations. For comparison: Frequency of X-ray examinations including CT, excluding dental examinations)

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 2012 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 102 000 Krebserkrankungen im Jahr 2012) 67 555 Patientinnen und Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Etwa 12 % dieser Patientinnen und Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung therapiert. Somit wurde in etwa 58 % der Krebsfälle eine Strahlentherapie durchgeführt. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhielten im Jahr 2012 etwa 322 000 Patientinnen und Patienten eine Strahlentherapie, davon ca. 283 000 wegen einer bösartigen Erkrankung. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ nimmt die Anzahl der Patienten, die eine Strahlentherapie erhielten, stetig zu, in den zehn Jahren zwischen 2003 und 2012 ist die Anzahl der Patienten um 39 % 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 12/13 - Radioonkologie in den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, 19. Auflage, 21. März 2013, www.strahlentherapie-nord.de

3. Medizinische Forschung *(Medical research)*

Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über die vom BfS erteilten Genehmigungen in den Jahren 2011 und 2012.

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 2011 und 2012
(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 2011 and 2012)

Anzahl der erteilten Genehmigungen	
2012	2011
315	270

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.

Gemäß der aktuellen Datenlage und unter Berücksichtigung von PTB-Angaben und Informationen der Entsorgungsfirmen wurden in Deutschland von 1971 bis 1976 insgesamt 284 Implantationen angezeigt, von denen die Explantation für 282 Fälle dokumentiert ist. Das Register verzeichnete im Jahr 2012 noch zwei lebende Personen, die ihre 1972 implantierten Herzschrittmacher noch in sich tragen.

Tabelle 4.1 enthält die Anzahl der Implantationen und Explantationen Pu-238-haltiger Herzschrittmacher.

Tabelle 4.1 Anzahl der Implantationen und Explantationen Pu-238-haltiger Herzschrittmacher
(Number of implantations and explantations of Pu-238 pacemakers)

Jahr	HSM-Register *	
	Implantationen	Explantationen
1971	3	0
1972	71	3
1973	122	7
1974	48	11
1975	31	24
1976	9	10
1977	0	22
1978	0	14
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	14
1983	0	11
1984	0	19
1985	0	18
1986	0	7
1987	0	12
1988	0	4
1989	0	9
1990	0	9
1991	0	3
1992	0	6

Jahr	HSM-Register *	
	Implantationen	Explantationen
1993	0	2
1994	0	3
1995	0	2
1996	0	5
1997	0	1
1998	0	4
1999	0	0
2000	0	1
2001	0	4
2002	0	1
2003	0	4
2004	0	1
2005	0	1
2006	0	0
2007	0	1
2008	0	0
2009	0	0
2010	0	0
2011	0	0
2012	0	0
Summe	284	282

* aktualisierte Auswertung im Jahr 2012

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

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

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

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

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

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

Die Gesamteinfuhr an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) hat sich wieder beinahe verdoppelt, was in der etwa gleichwertigen Zunahme 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 7,4 GBq).

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden 2012 mit einer Gesamtaktivität von 2,6 MBq eingeführt. Bei der Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist ein weiterer leichter Rückgang um 15 % auf das Niveau von 2009 zu verzeichnen, der sich im Wesentlichen in der Spalte für Natururan findet. Bestrahltes Material wird seit dem Inkrafttreten der neugefassten Atomrechtlichen Abfallverordnung (AtAV, vom 30.04.2009, s. Anhang) am 07.05.2009 für diese Statistik nicht mehr erfasst (vgl. oben).

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq ist im Jahr 2012 wieder um fast 53 % angestiegen und zwar ausschließlich wegen des ebenso deutlichen Anstiegs 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 15 GBq. Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden in 2012 wie auch im Vorjahr nicht ausgeführt.

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 umschlos- sene Quellen ab 1850 GBq ¹ (GBq)	Bestrahlungs- proben (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)
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
2012	289 541	0	48 678 600	48 968 143	4 701 992

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)
1994	1 447 018	98	2 137 812	3 584 928	2 078 477
1995	1 088 060	22 201	5 702 702	6 812 963	1 657 725
1996	960 351	1335	3 009 100	3 970 786	2 146 830
1997	392 404	22	2 146 212	2 538 638	3 550 137
1998	550 637	25 044	2 333 673	2 909 354	3 133 196
1999	711 403	81	1 705 422	2 424 966	3 257 216
2000	828 677	94	3 001 795	3 838 040	2 719 502
2001	548 627	23	1 122 457	1 671 185	3 228 135
2002	484 827	0	2 057 005	2 541 842	3 387 520
2003	603 203	14	4 223 996	4 833 831	3 691 535
2004	553 012	7	1 323 180	1 876 208	1 971 109
2005	293 648	0	919 800	1 213 957	1 244 377
2006	238 211	0	5 112 175	5 351 392	3 111 272
2007	197 017	0	2 698 485	2 895 503	3 836 072
2008	2 470 380	0	1 512 330	3 982 713	4 297 148
2009	133 245	0	4 812 237	4 945 482	4 243 784
2010	102 567	0	5 671 642	5 774 155	4 032 449
2011	115 285	1	2 053 722	2 168 993	3 338 873
2012	121 877	0	3 187 561	3 309 422	4 372 018

¹ seit 2009 ab A1/100

² seit 1998 inklusive radioaktive Gemische: z. B. kontaminierte Werkzeuge

³ ab 2009 unbestrahlt

Bei den unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist ein deutlicher Anstieg um 31 % auf etwa die Niveaus der Jahre 2008 - 2010 festzustellen; bestrahltes Material wird auch hier seit dem Inkrafttreten der neugefassten AtAV nicht mehr erfasst (vgl. oben).

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 ein weiterer Rückgang von 448 512 GBq im Vorjahr auf jetzt 289 541 GBq. Diese Abnahme rührt in der Hauptsache vom weiteren Rückgang bei H-3 her.

In Form von H-3-Gaslichtquellen sind im Berichtszeitraum ähnlich wie im Vorjahr 9184 GBq im Wesentlichen aus der Schweiz, aber auch aus Norwegen, eingeführt worden (in dem Wert für die Gesamteinfuhr von H-3 aus der Schweiz und Norwegen 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 2012 auf fast das Doppelte der Vorjahressumme gestiegen; weitgehend nur wegen eines entsprechend deutlichen Anstiegs bei Co-60 bei ebenfalls angestiegener Stückzahl.

Der größte Posten findet sich wieder erwartungsgemäß bei Co-60 mit 94,9 % der eingeführten Gesamtaktivität.

Co-60-Quellen kamen in der Hauptsache aus Kanada. Ein erneuter, umfangreicherer Tausch von ausgedienten, in Deutschland genutzten Quellen gegen neue aus Kanada 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 2012 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab A1(100))
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2012 - without sources at levels of above A1(100))

Versender- land	Aktivität in GBq*																								
	H-3	C-14	F-18	P-32	S-35	Fe-55	Co-57	Ni-63	Ge-68	Kr-85	Sr-90	Y-90	I-125	I-131	Cs-137	Ba-133	Pm-147	Gd-153	Lu-177	W-188	Am-241	Bk-249	Sonst.	Summe	
Schweiz	20 167	8	294	0	0	5	0	14	0	15	67	0	1	0	20	0	11 585	3	0	0	0	7	0	0	32 186
Norwegen	839	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	6	54	0	0	0	0	0	0	0	4	907
USA	18 865	15 906	0	0	2	164	109	2 017	149	1 364	46	100	1 693	0	629	0	1 505	169	0	0	0	1 030	752	23	44 523
Kanada	0	0	0	0	0	0	0	136	1	0	0	0	7 859	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7 996
Türkei	4	0	0	0	0	0	0	1	0	21	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	1	45
Australien	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	13	2 792	0	0	230	0	0	0	0	0	0	444	0	0	3 482
Japan	0	0	0	0	0	0	0	24	0	13	0	0	0	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	2	90
Südkorea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	0	0	0	74
Singapur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	139	0	3 912	0	0	12	0	0	0	0	0	0	4	0	10	4 078
Malaysia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
Philippinen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	25
Russland	30	3 224	0	0	0	0	45	20	30	41 225	0	0	0	0	0	0	0	0	709	844	0	0	0	89	46 216
Belarus	0	0	0	0	0	740	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	795
Usbekistan	0	0	0	1 628	185	0	0	0	0	0	0	0	19 610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21 423
Südafrika	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	120 014	0	0	0	0	7 200	0	0	0	0	0	127 216
Ägypten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	8	18
Kuwait	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
V.A.Emirate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0	0	0	125
Venezuela	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	49
Kolumbien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	8	23
Indien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	11	0	0	2	45
China	0	0	0	0	0	0	0	127	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136
Sonstige	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	14	29
Summe	39 905	19 138	294	1 628	187	909	154	2 343	184	42 921	127	6 804	29 163	120 014	935	109	13 313	172	7 909	844	1 572	752	164	289 541	

* Alle Werte in der Tabelle sind gerundet. Insofern kann es für einzelne Werte bei Summationen zu Abweichungen kommen

Tabelle 1.2-2 Aktivität der 2012 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab A1/100
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2012 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	
Norwegen	0	0	0	118 320	0	0	0	118 320
Schweiz	173 200	8 292	24	48	1140	0	0	182 704
USA	3885	0	0	11 618	444	0	1	15 948
Kanada	40 700 400	0	0	227 200	0	0	0	40 927 600
Japan	71	0	0	0	224	0	0	295
Südkorea	0	0	0	0	51	0	0	51
Australien	0	0	0	3397	0	407	0	3804
Albanien	0	0	0	0	219	0	0	219
Kroatien	0	220	0	0	0	0	0	220
Montenegro	0	0	0	0	192	0	0	192
Russland	0	1 923 954	16 590	77 700	0	0	0	2 018 244
Belarus	781 620	0	0	0	0	0	0	781 620
Tunesien	0	326	0	0	0	0	0	326
Ägypten	0	0	0	0	279	0	0	279
Indien	5	0	0	0	0	0	0	5
Nepal	54 260	0	0	0	0	0	0	54 260
Israel	0	0	0	0	584	0	0	584
Kolumbien	0	0	0	0	38	0	0	38
Brasilien	0	93	0	0	0	0	0	93
Senegal	92 360	0	0	0	0	0	0	92 360
Südafrika	68	75 170	0	0	9825	0	0	85 063
Thailand	4 346 310	0	0	0	0	0	0	4 346 310
Vietnam	49 800	0	0	0	0	0	0	49 800
Kasachstan	0	265	0	0	0	0	0	265
Summe	46 201 979	2 008 320	16 614	438 283	12 996	407	1	48 678 600
Stückzahl	208	542	12	54	28	1	1	846

Einfuhr unbestrahlter sowie bestrahlter Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe

Tabelle 1.2-3 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2012 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Es ist ein leichter Rückgang um 15 % auf das Niveau von 2009 zu verzeichnen, der sich im Wesentlichen in der Spalte für Natururan findet.

Die Schwerpunkte liegen erwartungsgemäß wie auch sonst bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10 % U-235.

Das in der Zeile für Belgien aufgeführte Plutonium ist wieder in MOX-Brennelementen aus Lieferungen von dort enthalten gewesen. Das gleiche gilt für das in der Zeile für Großbritannien aufgeführte Plutonium mit dem Unterschied, dass hier nicht abgereichertes, sondern Natururan zur Fertigung der MOX-Brennelemente verwendet wurde (8099 kg aus der bei Großbritannien genannten Menge).

Das unter „Sonstige“ (Länder) aufgeführte abgereicherte Uran stellt Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen dar und findet sich naturgemäß auch bei der Ausfuhr. Bestrahtes Material wird seit dem Inkrafttreten der neugefassten AtAV für diese Statistik nicht mehr erfasst.

Tabelle 1.2-3 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2012
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2012)

Versenderland	Einfuhr in kg						
	abger. Uran	Natururan	bis 3 % U-235	>3-10 % U-235	Plutonium	Thorium	Summe
Frankreich	91 507	2 426 052	0	67 426	0	0	2 584 985
Belgien	11 915	1080	14 286	563	920	0	28 764
Niederlande	0	0	0	97 907	0	0	97 907
Großbritannien	0	971 544	0	61 699	377	0	1 033 620
Schweden	0	0	0	113 589	0	0	113 589
Italien	0	0	0	237	0	0	237
USA	329	200 747	9665	8289	0	100	219 130
Kanada	0	536 653	0	0	0	0	536 653
Russland	2225	0	0	78 221	0	0	80 446
Indien	0	0	0	0	0	204	204
Sonstige	6457	0	0	0	0	0	6457*
Summe	112 433	4 136 076	23 951	427 931	1297	304	4 701 992

* Abschirm- bzw. Transport-/Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen; vgl. Ausfuhr

1.3 Ausfuhrstatistik *(Export statistics)*

Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100

Die Gesamtausfuhr gemäß Tabelle 1.3-1 nahm von 115 285 GBq in 2011 weiter leicht zu auf 121 877 GBq in 2012. Das Nuklidspektrum ist gegenüber dem Vorjahr unverändert geblieben, wobei Ge-68 (als Ga-68-Generatoren) und Tb-161 zusätzlich in die Tabelle aufgenommen wurden.

2075 GBq und damit gut 10 % des ausgeführten H-3 war im Berichtszeitraum in Gaslichtquellen enthalten. Letztere wurden im Wesentlichen in die Schweiz, die USA, Japan, Norwegen und nach Russland ausgeführt.

Ausfuhren von H-3-Leuchtfarbe wurden hingegen auch 2012 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 Anstiegs der Co-60-Ausfuhren bei hier analog höheren Stückzahlen von 2 053 722 GBq auf jetzt 3 187 561 GBq erhöht bei gleichzeitiger weiterer Zunahme der Ausfuhren von Se-75.

Weitere Nuklide sind Cs-137 und Ir-192 sowie Sr-90 und Am-241.

Gut 40 % des Co-60 bezog sich auf Rücklieferungen nach Kanada (Quellentausch). Der größte Posten findet sich immer mit 77,5 % der Gesamtausfuhr in der Summe für Co-60.

Tabelle 1.3-1

Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2012

(Export of sealed and unsealed radionuclides without sources at levels of above A1/100 in the year 2012)

Verbraucher- land	Aktivität in GBq																					
	H-3	C-14	F-18	S-35	Fe-55	Co-60	Ni-63	Ge-68	Kr-85	Sr-90	Y-90	I-125	I-131	Cs-137	Ba-133	Pm-147	Tb-161	Lu-177	Ir-192	Am-241	Sonst.	Summe
Schweiz	6116	306	10 052	13	14	6	24	0	30	5	0	106	99	10	0	37	104	1019	0	1	39	17 981
Norwegen	128	0	0	11	0	5	1	0	4	0	0	26	312	223	80	4	0	84	0	45	5	928
USA	565	971	0	111	183	83	3	2	2729	18	2472	275	0	29	0	2796	0	0	0	9	18	10 264
Kanada	12 043	0	0	0	4	0	685	4	84	5	4	658	9	338	0	7	0	9	0	8	1	13 859
Australien	10	0	0	0	0	0	1	16	139	0	10 441	116	0	125	0	0	0	163	0	0	0	11 011
Japan	162	0	0	0	0	0	529	0	1467	10	8	1	0	5	0	643	0	0	1	0	0	2826
Südkorea	0	0	0	0	4	5	35	6	1005	2	0	4	33 943	115	0	113	0	7	0	625	0	35 864
Türkei	0	0	0	0	0	20	11	2	193	0	0	20	0	2	0	0	0	18	0	89	2	357
Kroatien	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	234	0	0	0	0	0	0	0	2	237
Russland	164	0	0	0	7	3	7	0	374	1	0	2263	0	15	0	0	0	0	0	0	1	2835
Aserbaidschan	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	145	0	0	0	0	0	0	0	167
Marokko	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	190	0	1	194
Katar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	89
Tunesien	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	232	0	0	234
Südafrika	0	0	0	0	0	0	6	2	23	1	1	1	0	33	0	0	0	52	0	20	4	143
Nigeria	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	74	0	19	0	0	0	8	0	102
Israel	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5	85	0	37	0	0	0	0	0	0	5	134
Indien	0	0	0	0	7	50	23	7	302	11	0	0	0	534	0	25	0	0	0	350	21	1330
Thailand	4	0	0	0	0	5	3	0	57	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	26	0	117
Malaysia	0	0	0	0	0	0	1	0	129	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	137
Singapur	0	0	0	0	0	0	8	4	185	0	14 491	0	0	0	0	0	0	283	0	4	0	14 975
Indonesien	0	0	0	0	0	4	0	0	222	0	0	0	0	19	0	69	0	0	0	2	0	316
China	740	0	0	0	13	67	38	5	1504	4	0	0	0	805	0	690	0	0	0	0	16	3882
Taiwan	0	0	0	0	0	25	0	1	11	0	0	0	0	68	0	0	0	0	0	13	1	119
Mongolei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	0	0	0	0	0	0	0	93
Chile	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	5	0	108
Brasilien	0	1	0	0	0	2	0	2	201	4	0	0	0	125	0	25	0	50	0	33	4	447
Panama	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179	0	0	0	0	0	0	0	0	179
Venezuela	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	1171	0	0	0	0	0	0	0	0	1223
Kolumbien	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	641	0	0	0	0	147	0	2	0	791
Sonstige	22	0	0	0	4	62	18	4	219	1	0	2	39	349	0	122	0	8	3	65	17	935
Summe	19 954	1278	10 052	135	236	361	1402	57	8931	62	27 422	3557	36 627	3361	80	4550	104	1840	426	1305	137	121 877

Tabelle 1.3-2

Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab A1/100 im Jahr 2012

(Export of sealed radiation sources with levels of above A1/100 in the year 2012)

Verbraucher- land	Aktivität in GBq						
	Co-60	Se-75	Sr-90	Cs-137	Ir-192	Am-241	Summe
Norwegen	0	0	0	74	0	0	74
Schweiz	250 600	14 273	0	80 660	956	0	346 489
Türkei	0	0	7	46 620	0	0	46 627
USA	149	0	119	0	0	0	268
Kanada	996 621	0	0	448	0	0	997 069
Australien	0	0	0	111	0	0	111
Japan	511	0	0	74	1876	0	2461
Südkorea	100	0	12	96 960	0	0	97 072
Kroatien	37	2851	0	0	17 205	0	20 093
Serbien	7	2511	0	0	0	0	2518
Mazedonien	0	0	0	0	9825	0	9825
Russland	164 036	77 045	0	74 740	0	0	315 821
Ukraine	232 878	0	0	0	0	0	232 878
Tunesien	0	6190	0	0	0	0	6190
Katar	13	0	0	48 100	0	0	48 113
Oman	0	0	0	296	0	0	296
Ägypten	0	0	0	0	14 800	0	14 800
Kuwait	0	0	0	0	1850	0	1850
Irak	71	0	0	0	0	0	71
Iran	0	0	0	72 150	0	0	72 150
China	286	0	24	64 584	0	333	65 227
Taiwan	226	0	0	366	0	0	592
Indien	313	0	0	1074	0	666	2053
Sri Lanka	61	0	0	0	0	0	61
Nepal	204 200	0	0	0	0	0	204 200
Dom.Republik	279 449	0	0	0	0	0	279 449
Mexico	0	0	0	49 950	0	0	49 950
Chile	74	0	0	0	0	0	74
Brasilien	0	19 469	0	816	0	0	20 285
Peru	77	0	0	74	0	0	151
Kuba	73	0	0	0	0	0	73
Philippinen	71	0	0	0	0	0	71
Vietnam	0	0	0	0	434	0	434
Indonesien	169 006	0	4	0	0	0	169 010
Angola	63	0	0	0	0	0	63
Südafrika	56	5566	0	370	0	0	5992
Sudan	74	0	0	0	0	0	74
Senegal	172 400	2277	0	74	0	0	174 751
Gabun	71	0	0	0	0	0	71
Sonstige	88	0	12	104	0	0	204
Summe GBq	2 471 611	130 182	178	537 645	46 946	999	3 187 561
Stückzahl	179	154	31	100	24	9	497

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.3-3 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm.

Die Ausfuhrmenge ist in 2012 mit 4 372 018 kg gegenüber 3 338 873 kg (2011) wieder um 31 % angestiegen.

Erneut liegt bei abgereichertem Uran mit 3 365 710 kg der mengenmäßig größte Anteil, es sind 77 % der Gesamtausfuhr. Beinahe die Gesamtmenge hiervon ist auch 2012 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 2012
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2012)

Verbraucherland	Ausfuhr in kg				
	abger. Uran	Natururan	bis 3 % U-235	>3-10 %U-235	Summe
Frankreich	3 357 398	4302	6062	445 288	3 813 050
Belgien	0	0	0	17.516	17 516
Niederlande	0	0	0	10.291	10 291
Großbritannien	0	355	0	153 083	153 438
Schweden	0	0	0	71 142	71 142
Finnland	0	0	0	19 189	19 189
Spanien	0	0	0	18 993	18 993
Südkorea	157	0	0	17 061	17 218
USA	353	11	1095	193 341	194 800
Brasilien	38	0	0	48 579	48 617
Sonstige	7764	0	0	0	7764*
Summe	3 365 710	4668	7157	994 483	4 372 018

* Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen; vgl. Einfuhr

1.4 Genehmigungen und Anzeigen (Licenses and notifications)

Tabelle 1.4-1 zeigt die Anzeigen und Genehmigungen im Jahr 2012. Diese Tabelle enthält seit dem Berichtsjahr 2006 die Rubrik „Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“. Hier sind die Genehmigungen zur Einfuhr für jene hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ) aufgeführt, deren grenzüberschreitende Verbringung auf Grund des HRQ-Gesetzes vom 12. August 2005 i. V. m. § 20 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) nicht im Anzeigeverfahren zulässig und daher genehmigungspflichtig ist.

Die Genehmigungen zur Ausfuhr solcher HRQ sind sinngemäß in der Rubrik „Ausfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“ enthalten, wo sich zuvor lediglich Genehmigungen für diejenigen sonstigen radioaktiven Stoffe fanden, deren Aktivität das 10⁸-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 33 Einfuhr- und 85 Ausfuhrgenehmigungen gemäß § 3 Abs. 1 AtG sowie 44 Einfuhr- und 42 Ausfuhrgenehmigungen 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 2012 gingen 3747 (2011: 3557) Einfuhranzeigen nach § 20 Abs. 1 und 3 StrlSchV sowie 5512 (2011: 5541) 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 (Werte in Klammern) lassen sich nicht mehr mit Statistiken für die Jahre vor 2011 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 2012 hier 52 368 Einfuhrpositionen 65 511 aus 2011 sowie 167 045 Ausfuhrpositionen 163 189 aus 2011 gegenüber.

Tabelle 1.4-1 Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2012
(Overview of the number of licenses and notifications in the year 2012)

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	33	25	3747 (52 368)**	5512 (167 045)**	9*	9*
Ausfuhr § 3 AtG	85	50				
Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV	44	41				
Ausfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV	42	37				

* In 2012 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 dem 10^8 -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.

Das umfangreiche Verfahren für die erstmalige verkehrsrechtliche Zulassung des Behälters TN 24 E (Transport- und Lagerbehälter für bestrahlte Druckwasserbrennelemente, die in den deutschen Zwischenlagern als weiterer Behältertyp neben den CASTOR®-Behältern eingesetzt werden sollen), wurde als Schwerpunkt in 2012 fortgesetzt. Ein wesentliches Ergebnis war der positive Abschluss der Validierung einer vom Antragsteller eingereichten Berechnungsmethode für die Bestimmung der Radionuklidzusammensetzung der bestrahlten Brennelemente. Damit steht erstmals in Deutschland ein

validiertes Rechenverfahren zur Verfügung, das zum Nachweis der Kritikalitätssicherheit von Transportbehältern neben Aktiniden auch ausgewählte Spaltprodukt nuklide im bestrahlten Kernbrennstoff berücksichtigt.

Besonderes öffentliches Interesse erlangten 2012 die Transporte von MOX-Brennelementen aus Großbritannien über den Hafen Nordenham in das Kernkraftwerk (KKW) Grohnde. Das BfS hatte für diese Transporte nach Vorliegen aller Genehmigungsvoraussetzungen gemäß § 4 AtG im Juli 2012 die Genehmigung erteilt. Diese Transporte sind nur ein Beispiel für die zahlreichen Seetransporte von Kernbrennstoffen, die heute gängige und weltweite Praxis darstellen. So wurden z. B. im Jahr 2012 insgesamt 98 Kernbrennstofftransporte über deutsche Häfen durchgeführt. Hiervon sind ca. 52 % dem Transitverkehr, ca. 16 % dem Importverkehr und ca. 32 % dem Exportverkehr zuzuordnen.

Für die Nutzung der bremischen Häfen gilt seit Februar 2012 eine neue Rechtslage: Der Bremer Senat hat mit der Änderung des Bremischen Hafenbetriebsgesetzes den Umschlag von Kernbrennstoffen bis auf Ausnahmefälle untersagt.

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 Europäischen Union (EU) fortgesetzt.

Die neuen IAEO-Empfehlungen zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe (Specific Safety Requirements No. SSR-6) sowie das erläuternde Material dazu (TS-G-1.1) wurden 2012 fertig gestellt und herausgegeben. Die Arbeitsgruppe „Klasse 7“ des Gefahrgutverkehrsbeirats des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) unter Leitung des BfS erarbeitete hierzu alle erforderlichen Stellungnahmen Deutschlands. Wesentliche Neuerungen in der SSR-6 betreffen die Anforderungen an den Transport von spaltbaren Stoffen, die neu strukturiert und klassifiziert wurden, wobei u. a. für „spaltbar freigestellte Stoffe“ eine neue Option mit behördlicher Genehmigung besteht sowie die Einführung eines neuen Konzepts zur Freistellung von "Instrumenten und Fabrikaten" von den gefahrgutrechtlichen Vorschriften mit Genehmigung durch die zuständige Behörde. Die neuen IAEO-Transportempfehlungen SSR-6 werden ab 1. Januar 2015 in den gefahrgutrechtlichen Vorschriften für alle Verkehrsträger rechtsverbindlich umgesetzt.

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

Im Jahr 2012 wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) insgesamt 108 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.

2012 wurden insgesamt 478 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle 2.1-1) realisiert, davon entfallen 49 Transporte auf das Binnenland, 210 auf den Export, 92 auf den Import und 127 Transporte entfallen auf den Transitverkehr. Mit Großquellen wurden 16 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		
	2012	2011
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	1
Straße / unbestrahltes Material	49	58
Straße / bestrahltes Material	0	0
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
Insgesamt	49	59
Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte		
Luft / unbestrahltes Material	0	0
Luft / bestrahltes Material	0	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0	0
See / unbestrahltes Material	95	102
See / bestrahltes Material	2	0
See / Reststoffe und Abfall	1	1
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	1
Straße / unbestrahltes Material	297	112
Straße / bestrahltes Material	34	35
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
Insgesamt	429	251

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2012 vom BfS insgesamt 20 Zulassungen für Transportbehälter und 8 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 2012 beförderten Wagenladungen im Vergleich zu den Vorjahren ist in Tabelle 2.2-1 aufgeführt.

Jahr	Anzahl Wagenladungen
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
2012	451

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	
		2012	2011	2012	2011
AtG § 4	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	2	-	16
AtG § 23 Abs. 2	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
StrlSchV § 16	Eisenbahn-Bundesamt (EBA)	135	126	451	418
StrlSchV § 17	genehmigungsfrei	-	-	-	-

Tabelle 2.2-3 listet die Anzahl der Wagenladungen des Jahres 2012, spezifiziert nach der Art der beförderten radioaktiven Stoffe bzw. nach den gefahrgutrechtlichen UN-Nummern, im Vergleich zum Vorjahr auf. Beförderungen nach § 4 AtG (Kernbrennstoffe) fanden nicht statt.

Tabelle 2.2-4 zeigt die Gesamtaktivität für den Wagenladungsverkehr im Jahr 2012. Die Gesamtaktivität im Wagenladungsverkehr ist auf Grund der ausschließlichen Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen in TBq angegeben.

**Tabelle 2.2-3 Wagenladungssendungen
(Truck-loads)**

Art der beförderten Stoffe	UN-Nummer*	Anzahl der Wagen	
		2012	2011
Kernbrennstoffe			
Unbestrahlte Brennelemente	3324	-	-
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), La Hague	3328	-	11
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), Karlsruhe	3328	-	5
Unbestrahltes, angereichertes Uran (max. 1 % U-235) als U ₃ O ₈	3321	-	-

Art der beförderten Stoffe	UN- Nummer*	Anzahl der Wagen	
		2012	2011
Sonstige radioaktive Stoffe			
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	2978	201	191
Natururan in Form von Uranoxid (U ₃ O ₈)	2912	138	105
Rückstände/Abfälle in aus kerntechnischen Anlagen			
- LSA-I	2912	-	6
- Typ B(U)-Versandstücken	2916	13	5
- Industrierversandstücken	3321	96	107
- in Typ B(U)-Versandstücken	3321	3	4
Freigestellte Versandstücke			
- als leere Verpackung	2908	-	-
- als begrenzte Stoffmenge	2910	-	-
Summe		451	434

* Nummer zur Stoffkennzeichnung nach Gefahrgutrecht

**Tabelle 2.2-4 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported)**

Art der beförderten Stoffe	Beförderte Gesamtaktivität (Werte zum Teil geschätzt)	
	2012 (TBq)	2011 (PBq)
Kernbrennstoffe		
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), F	-	3756,34
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW), D	-	964,00
KNK-/OH-Brennstoffe		
Unbestrahltes, angereichertes Uran (max. 1 % U-235) als U ₃ O ₈	-	-
Sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	130	0,13
Natururan in Form von Uranoxid (U ₃ O ₈)	140	0,13
Rückstände/Abfälle in aus kerntechnischen Anlagen	260	0,11
Freigestellte Versandstücke		
- als leere Verpackung	-	-
- als begrenzte Stoffmenge		
Summe	530	4720,71

Tabelle 2.2-5 listet den Anteil der überprüften Wagenladungen sowie die bei den Überprüfungen festgestellte Mängelquote auf.

**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			
	2012	2011	2012	2011	2012	2011
Sonstige radioaktive Stoffe	451	418	43,9 %	41,4 %	1,10 %	1,15 %
Unbestrahlte Brennelemente	-	16	-	100 %	-	-

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 2.2-6 Festgestellte Verstöße gegen Gefahrgutvorschriften
(Detected contempts against dangerous goods regulations)

Verstöße	Anzahl	
	2012	2011
Gefahrenkategorie I (schwerwiegender Verstoß)	-	-
Gefahrenkategorie II (weniger schwerwiegender Verstoß)	1	-
Gefahrenkategorie III (kein schwerwiegender Verstoß)	4	2

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 2012 gültigen Genehmigungen nach §§ 7, 11, 15, 16, 106 StrlSchV und § 9 AtG in einer Übersicht, aufgeschlüsselt auf die Bundesländer, wiedergegeben.

Die Genehmigungen verteilen sich 2012 im Wesentlichen zu 74,6 % auf Umgang nach § 7 StrlSchV, zu 5,6 % auf Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung § 11 StrlSchV, zu 2,2 % auf Beförderung und zu 17,3 % 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 2012 12 514 Genehmigungen in Deutschland gültig. Die Zahl der Inhaber dieser Genehmigungen betrug insgesamt 8815 und ist in Tabelle 3.1-2 aufgelistet, davon waren

- 24 % im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 11 % im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 57 % im Bereich Industrie, gewerbliche Wirtschaft und
- 8 % 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 2012 dargestellt. Wie erwartet liegt die Zahl der Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe im Bereich Industrie/gewerbliche Wirtschaft auch 2012 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 2012 ist in Tabelle 3.1-4 zusammengestellt.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2012 kann einer Übersicht in Tabelle 3.1-5 entnommen werden. Von den insgesamt 11 445 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 124 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. eine Ra-226-Quelle, vier Ni-63-Quellen, eine Pm-147-Quelle, zwei Am-241-Quellen, eine Sr-90-Quelle, drei Pb-210-Quellen, eine C-14-Quelle, 78 Co-60-Quellen und 32 Cs-137-Quellen. 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 2012 unterteilt auf die Bereiche „Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin“ sowie „Technik / Nichtmedizin“ für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1358 und ist für die Bundesländer in Tabelle 3.1-7 gesondert aufgeführt. 28 % der nach § 3 Abs.1 RöV genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2012 wurden im technischen Bereich 8989 Röntgeneinrichtungen gemäß § 4 Abs.1 angezeigt.

**Tabelle 3.1-1 Übersicht über gültige Genehmigungen
(Survey of current licences)**

Land	Am 31.12.2012 gültige Genehmigungen* nach:					
	§ 7 StrlSchV (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 11 StrlSchV (Errich- tung und Betrieb von Anlagen zur Erzeu- gung von Strahlen)†	§ 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	2079	7 (Abs. 1), 127 (Abs. 2)	434	36	1	14
Bayern	1350	2 (Abs. 1), 88 (Abs. 2)	389	37	8	0
Berlin	747	81	219	50	3	2
Brandenburg	403	9	76	11	0	0
Bremen	146	5	42	8	0	0
Hamburg	253	30	88	3	0	0
Hessen	837	3 (Abs. 1), 65 (Abs. 2)	203	18	0	5
Meckl.-Vorpommern	180	11	91	1	0	0
Niedersachsen	1526	82 (Abs. 2)	295	58	1	2
Nordrhein-Westfalen	2661	11 (Abs. 1), 217 (Abs. 2)	502	66	1	12
Rheinland-Pfalz	453	34	164	31	0	2
Saarland	138	11 (Abs. 2)	23	12	0	0
Sachsen	492	40	181	22	2	4
Sachsen-Anhalt	346	20 (Abs. 2)	58	12	0	0
Schleswig-Holstein	520	63	121	5	2	0
Thüringen	383	21	26	3	1	0
Summe	12514	927	2912	373	19	41

* Genehmigung ohne Nachträge, Änderungen und Verlängerungen („Stammgenehmigung“)

† getrennt nach § 11 Abs. 1 (Errichtungs-) und Abs. 2 (Betriebsgenehmigung) StrlSchV

**Tabelle 3.1-2 Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen* nach § 7 StrlSchV zum Umgang
mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2012)
(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of
radioactive substances - as at December 31, 2012)**

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	436	186	1040	97
Bayern	214	38	598	113
Berlin	328	189	179	13
Brandenburg	24	27	171	59
Bremen	26	9	76	15
Hamburg	35	32	84	12
Hessen	158	85	317	31
Mecklenburg-Vorpommern	74	30	85	11
Niedersachsen	129	82	463	41
Nordrhein-Westfalen	420	187	1035	100
Rheinland-Pfalz	67	24	210	51
Saarland	22	3	57	3
Sachsen	52	22	223	16
Sachsen-Anhalt	38	26	200	26
Schleswig-Holstein	45	13	123	13
Thüringen	34	9	142	147
Summe	2102	962	5003	748

* 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* nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2012)
(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2012)

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	130	67	613	67	35
Bayern	44	23	565	9	103
Berlin	103	18	109	12	2
Brandenburg	21	18	143	9	51
Bremen	13	8	50	1	11
Hamburg	4	0	65	3	3
Hessen	25	11	219	2	15
Mecklenburg-Vorp.	56	27	47	4	3
Niedersachsen	26	26	396	25	21
Nordrhein-Westf.	68	93	789	83	76
Rheinland-Pfalz	40	16	175	10	24
Saarland	2	1	40	1	3
Sachsen	16	17	220	10	15
Sachsen-Anhalt	8	13	196	12	22
Schleswig-Holstein	27	9	72	4	14
Thüringen	11	4	122	10	142
Summe	594	351	3821	262	540

* 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* zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach § 11 StrlSchV (Stand: 31.12.2012)
(Survey of the number of licencees according to § 11 StrlSchV relating to the construction and operation of devices for the production of ionising radiation - as at December 31, 2012)

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	11	7	0
Bayern	41	10	12	0
Berlin	15	13	1	1
Brandenburg	6	1	0	0
Bremen	3	0	0	1
Hamburg	8	1	1	1
Hessen	23	6	3	0
Mecklenburg-Vorpommern	10	1	0	0
Niedersachsen	34	4	11	0
Nordrhein-Westfalen	95	11	14	1
Rheinland-Pfalz	25	1	1	0
Saarland	4	0	1	0
Sachsen	15	7	3	0
Sachsen-Anhalt	11	0	3	0
Schleswig-Holstein	21	0	2	0
Thüringen	12	1	1	0
Summe	362	67	60	4

* einschließlich in Verbindung mit nach § 7 StrlSchV erteilten Genehmigungen

Tabelle 3.1-5 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 66 StrlSchV im Jahr 2012
(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2012)

Land	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	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	
Baden-Württemberg	1661	109	416	334	12	6	134	194	70	386	1 x Ra-226
Bayern	2091	156	389	518	56	1	42	258	119	552	5 (4 x Ni-63, 1 x Pm-147)
Berlin	207	46	30	63	2	0	0	17	6	43	5 (1 x Am-241, 1 x Sr-90, 3 x Pb-210)
Brandenburg	634	78	35	338	0	0	7	113	3	60	1 x C-14
Bremen	56	16	2	18	1	0	0	12	3	4	0
Hamburg	230	18	62	60	0	1	3	26	10	50	0
Hessen	364	36	63	105	7	0	5	42	15	91	0
Mecklenburg-Vorp.	295	50	31	119	0	0	0	39	4	52	0
Niedersachsen	1617	209	240	544	0	0	81	154	137	252	1
Nordrhein-Westfalen	2351	260	294	805	44	0	62	488	29	369	1 x Co-60
Rheinland-Pfalz	204	16	9	38	19	0	0	56	1	65	0
Saarland	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Sachsen	734	224	41	365	5	0	3	32	29	35	110 (77 x Co-60, 32 x Cs-137, 1 x Am-241/Be)
Sachsen-Anhalt	268	21	40	95	0	0	1	42	11	58	0
Schleswig-Holstein	472	54	47	238	10	0	4	41	22	56	0
Thüringen	261	19	8	188	2	0	0	16	0	28	0
Summe	11 445	1312	1707	3828	158	8	342	1530	459	2101	124

a Daten lagen nicht vor

Tabelle 3.1-6 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin im Jahr 2012
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine, dentistry and veterinary medicine in 2012)

Land	Humanmedizin			Zahnmedizin		Tiermedizin	
	Behandlung	Untersuchung		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)	Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1 RöV)
		Gesamtzahl der genehmigten RöE (nach § 3 Abs. 1 RöV) und davon gesondert RöE zur Teleradiologie (nach § 3 Abs 1 und 4 i.V.m. 4 Abs. 4 Nr. 3 RöV)	Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1)				
Baden-Württemberg	401	748 (28)	4827	2163	13 109	360	651
Bayern	30	400 (105)	5552	333	15 011	351	945
Berlin	11	126 (9)	1837	56	4062	70	357
Brandenburg	2	54 (27)	886	12	2240	92	219
Bremen	2	35	408	20	701	6	43
Hamburg	10	77 (7)	872	20	2594	33	74
Hessen	20	144 (62)	2283	99	6583	136	477
Mecklenburg-Vorp.	4	32 (20)	705	6	1913	33	108
Niedersachsen	23	287 (49)	3221	179	8114	178	782
Nordrhein-Westfalen	98	1283 (70)	7400	2243	15 937	419	1073
Rheinland-Pfalz	15	115 (37)	1806	36	3892	78	334
Saarland	1	74 (17)	580	15	937	17	93
Sachsen	12	125 (66)	1657	49	5090	63	262
Sachsen-Anhalt	7	48 (20)	1098	8	2619	30	153
Schleswig-Holstein	5	78 (14)	1134	96	3086	123	246
Thüringen	13	20 (12)	955	2	2682	22	147
Summe:	654	3646 (578)	35221	5337	88570	2011	5964

Tabelle 3.1.7 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik / Nichtmedizin im Jahr 2012
(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological / non-medical areas in 2012)

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	87	1216	1002	590	300
Bayern	391	828	771	624	297
Berlin	108	366	253	204	102
Brandenburg	89	115	140	85	15
Bremen	36	60	26	45	12
Hamburg	35	159	194	84	40
Hessen	120	764	548	287	124
Mecklenburg-Vorp.	38	59	35	22	20
Niedersachsen	97	472	401	459	35
Nordrhein-Westfalen	777	1122	1041	829	133
Rheinland-Pfalz	99	193	114	187	46
Saarland	51	32	54	27	54
Sachsen	169	282	237	128	93
Sachsen-Anhalt	116	107	53	65	52
Schleswig-Holstein	60	118	119	137	20
Thüringen	57	43	174	54	15
Summe:	2330	5936	5162	3827	1358

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

Nachfolgend ist der Bestand an radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen zum 31. Dezember 2012 aufgeführt. Die angegebenen Werte sind gerundet, so dass sich dadurch marginale Abweichungen ergeben könnten.

Auf Grund der in der EURATOM-Richtlinie 2011/70 geforderten Erstellung eines Berichtes zum Nationalen Entsorgungsprogramm wurde die Datenerhebung zum Bestand der radioaktiven Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung den Erfordernissen angepasst. Die Datenerhebung beinhaltet nunmehr auch Angaben zu Massen, d. h. die in Tabelle 3.2-1 genannten Massen und Volumina sind summarisch zu lesen. Weiterhin wird bei den vernachlässigbar Wärme entwickelnden Abfällen das Entsorgungsziel unterschieden, das einmal das „Endlager Konrad“ oder ein davon abweichender Entsorgungsweg, z. B. ein anderes Endlager, sein kann. Weiterhin wird für zukünftige Abfragen eine neue Kategorisierung verwendet: RA (Rohabfall), VA (vorbehandelter Abfall), P1 (Abfallprodukte in Innenbehältern), P2 (produktkontrollierte Abfallprodukte), G1 (Konrad-Gebinde bzw. in Konradbehältern verpackte Abfallprodukte) und G2 (abrufbereite Abfallgebäude für das Endlager Konrad). Während der Übergangszeit wird die Bestandsabfrage noch mittels der bisher bekannten Abfallarten Rohabfälle/Reststoffe, Zwischenprodukte und konditionierte Abfälle dargelegt.

Tabelle 3.2-1 Übersicht über die Mengen (Massen und Volumina) vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2012
(Survey of quantities (masses and volumes) of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2012)

Abfallart Bestand Jahresende	Endlagerziel Konrad		Anderes Entsorgungsziel	
	Masse [t]	Volumen [m ³]	Masse [t]	Volumen [m ³]
unbehandelte Reststoffe (verwertbare Reststoffe und Rohabfälle)	6668	4255	2491	390
Zwischenprodukte	7188	6689	1804	110
konditionierte Abfälle	48	106 232	0	125

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern am 31. Dezember 2012 mit dem Endlagerziel Konrad oder einem anderen 4645 m³ und 9159 t unbehandelte Abfälle (Vorjahr: 19 128 m³), wobei sich unter diesen auch verwertbare Reststoffe befanden, die weiter- bzw. wiederverwendet oder nach entsprechenden Maßnahmen freigegeben werden können. Der Bestand an Zwischenprodukten belief sich auf 6799 m³ und 8992 t (Vorjahr: 10 372 m³). Diese lagern zum überwiegenden Teil bei den Abfallverursachern, zum Teil aber auch in zentralen Zwischenlagern. Der Bestand an konditionierten radioaktiven Abfällen betrug insgesamt 106 357 m³ und 48 t (Vorjahr: 101 415 m³). Auch dieser Bestand lagert sowohl bei den Abfallverursachern als auch in Zwischenlagern. Detaillierte Angaben zum Bestand der vernachlässigbar Wärme entwickelnden radioaktiven Abfälle mit dem Endlagerziel Konrad zum 31. Dezember 2012 für die einzelnen Abfallverursachergruppen sind in Tabelle 3.2-2 aufgeführt.

Tabelle 3.2-2 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen, Zwischenprodukten und konditionierten Abfällen nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2012
(Survey on the stock of unprocessed raw wastes, intermediate products and conditioned wastes according to groups of waste producers on 31 December 2012)

Gruppe*	unbehandelte Rohabfälle		Zwischenprodukte		konditionierte Abfälle	
	Masse [t]	Volumen [m ³]	Masse [t]	Volumen [m ³]	Masse [t]	Volumen [m ³]
Forschungseinrichtungen	2813	1	5620	962	0	40 598
kerntechnische Industrie	91	226	195	480	0	10 063
Kernkraftwerke	139	1482	16	504	0	7343
stillgelegte Kernkraftwerke	2606	1954	825	3043	48	31 600
Landessammelstellen	446	593	203	1700	0	1881
Wiederaufarbeitung Karlsruhe (WAK)	573	0	330	0	0	14 748
Summe	6668	4255	7188	6689	48	106 232

* Die Verursacher der Gruppe „Sonstige“ wurden auf Grund der geringen Mengen den anderen Gruppen zugeordnet

Zu den Wärme entwickelnden Abfällen zählen die bestrahlten Brennelemente, sofern diese als Abfälle deklariert werden und die Abfälle aus deren Wiederaufbereitung.

Die derzeit als Abfall deklarierten Mengen an Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen sind der Tabelle 3.2-3 zu entnehmen. Dies sind zum Beispiel

- die entladenen Kugelbrennelemente des THTR (Hamm-Uentrop) mit 1251 m³,
- die HAW (high active waste)-Kokillen aus der Wiederaufbereitung in Frankreich (544 m³), die im Zwischenlager in Gorleben, und 25 m³ aus der Wiederaufarbeitung in Karlsruhe (WAK), die im Zwischenlager Nord, gelagert werden.
- sowie 2 t unbehandelte Rohabfälle aus der Verursachergruppe „Forschungseinrichtungen“ (Vorjahr: 3 m³).

Bei den weiteren Wärme entwickelnden Abfällen handelt es sich um 54 m³ 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,

Tabelle 3.2-3 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen und konditionierten Wärme entwickelnden Abfällen nach Verursachergруппen am 31. Dezember 2012
(Survey on the stock of unprocessed raw wastes and conditioned heat generating wastes according to groups of waste producers on 31 December 2012)

Verursachergруппe	Volumen in m ³					
	unbehandelte Rohabfälle		Zwischenprodukte		konditionierte Abfälle	
	2012	2011	2012	2011	2012	2011
Forschungseinrichtungen		3			82	85
kerntechnische Industrie						
Kernkraftwerke					0	1
stillgelegte Kernkraftwerke			1251	1251		
Landessammelstellen					20	20
Wiederaufbereitung europäisches Ausland (HAW) und WAK/VEK					623	623
Summe		3	1251	1251	725	727

Bis zum 31.12.2012 sind in Deutschland 14 683 t Schwermetall in Form von bestrahlten Brennelementen aus Leistungsreaktoren angefallen (Vorjahr: 14 465¹ t Schwermetall), davon rund 218 t Schwermetall im Jahr 2012. Hierin enthalten sind bestrahlte Brennelemente aus den in Betrieb befindlichen und den stillgelegten Kernkraftwerken, sowie aus den Kernkraftwerken, die keine Genehmigung zum Leistungsbetrieb mehr besitzen. Von dieser Gesamtmenge wurden 6662 t 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 2012 wurden insgesamt 646 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten in das Register für hochradioaktive Strahlenquellen aufgenommen. 60 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt.

Bis Ende 2012 wurden 97 200 Meldungen zu 27 200 registrierten Strahlenquellen in der Datenbank der hochradioaktiven Strahlenquellen gespeichert. Von diesen 27 200 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.

Tabelle 3.3-1 zeigt die Entwicklung des Datenbestandes im HRQ-Register seit 2006.

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
Ende 2012	646	60	27 200	97 200

¹ Darin enthalten sind die 13 913 Tonnen Schwermetall gemäß Vorjahresmeldung plus die bestrahlten Brennelemente der abgeschalteten Reaktoren die zum Stichtag 31.12.2011 noch nicht entladen waren (ca. 500 Tonnen Schwermetall).

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

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Derartige Vorkommnisse werden jährlich in diesem Bericht zusammengefasst (Tabelle 4-1).

Etwa 80 % der für das Jahr 2012 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 Fehler (z. B. falscher Betriebsmodus oder Verwechslung patientenspezifischer Einstellungen) kam es im Jahr 2012 zu fünf Fällen von Fehlbestrahlungen, die bekannt geworden sind. Bei zwei Fällen davon traten unge-rechtfertigte Expositionen, die von der zuständigen Behörde und den Ärztlichen Stellen untersucht werden. In der Folge wurden Maßnahmen zur Qualitätskontrolle (z. B. Vier-Augen-Prinzip) intensiviert.

Zur Überschreitung des Jahresgrenzwertes für die Hand von 500 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen kam es in zwei Fällen - beim Umgang mit einem Pm-147 Strahler und bei der Vorbereitung einer medizinischen Behandlung. Vor-Ort Strahlenschutzmaßnahmen wurden umgehend eingeleitet.

**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
Juni 2010 (Nachtrag)	Irrtümliche Entsorgung von sechs Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 18,5 kBq) in einem Müllheizkraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Information der Betreiber
19.01.11 (Nachtrag)	Fund einer radioaktiv kontaminierten Metallscheibe (Ra-226, ca. 800 kBq) in einem Recyclingbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
09.02.11 (Nachtrag)	Fehlbestrahlung eines Patienten	Durchführung der Behandlung ohne die vorgesehene Kollimation	Leichte Akutreaktion der Schleimhaut des Patienten	Überarbeitung der Dienstanweisung
01.03.11 (Nachtrag)	Fund eines Ionisationsrauchmelders		Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
06.04.11 (Nachtrag)	Fund eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 18,5 kBq)		Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
06.05.11 (Nachtrag)	Unzulässige Exposition einer MTRA bei einem medizinischen Linearbeschleuniger	Aufenthalt im Bestrahlungsraum bei Beginn der Bestrahlung	Keine	Nachrüstung eines Personenüberwachungssystems
09.06.11 (Nachtrag)	Fund von drei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 555 kBq)		Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
08.07.11 (Nachtrag)	Fehlerhafte Bestrahlung eines Patienten bei einem medizinischen Linearbeschleuniger	Fehler im Aufzeichnungs- und Verifikationssystem bei der Darstellung von Komma-Zahlen	Keine; Ausgleich der fehlerhaften Bestrahlung in nachfolgenden Behandlungssitzungen	Information der betroffenen Betreiber zur Fehlervermeidung durch die Herstellerfirma
22.09.11 (Nachtrag)	Fund von zwei Flächenmassenmessköpfen mit Strahlern (Sr-90, je 555 MBq) in einem Abbruchgebäude bei einer Privatfirma	Unterlassene Entsorgung	Keine	Vorübergehende Sicherstellung, Rückgabe an den Hersteller der Messeinrichtung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
13.10.11 (Nachtrag)	Fund eines Anzeigeinstrumentes mit Leuchtfarbe (Ra-226) im Aus- hub auf einem ehemaligen Militär- gelände	Unterlassene Entsor- gung	Keine	Sicherstellung, ordnungs- gemäße Entsorgung
09.11.11 (Nach- trag)	Verlust von 30 Ionisations- rauchmeldern (Ra-226, je 2,96 kBq)	Diebstahl	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
14.11.11 (Nach- trag)	Fund einer Scheibe mit radioakti- ver Leuchtfarbe im Schrott (Ra-226, 300 kBq) bei einer Recy- cling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ord- nungsgemäße Entsor- gung
15.11.11 (Nach- trag)	Fehlerhafte Bestrahlung einer Patientin bei einem medizinischen Linearbeschleuniger	Fehler bei der Daten- übertragung zwischen Planungssystem und Beschleuniger	Keine; Ausgleich der fehlerhaften Bestrahlung in nachfolgenden Behandlungssit- zungen	Information der betroffe- nen Betreiber zur Fehler- vermeidung durch die Herstellerfirma
19.11.11 (Nach- trag)	Fund von mit natürlichen radioakti- ven Stoffen kontaminierten Arm- bändern und Uhren (Thorium; Radium) beim Flughafen-Zoll	Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv verunreinigten Gütern	Keine	Verwahrung beim Flugha- fen-Zollamt, Rücksendung in das Ursprungsland
25.11.11 (Nach- trag)	Fund von sechs Anzeigeeinrich- tungen mit radioaktiver Leucht- farbe (Ra-226, 500 kBq) bei einer Recycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ord- nungsgemäße Entsor- gung
Dezemb- er 11 (Nach- trag)	Verlust von 65 Ionisations- rauchmeldern (22 x Ra-226; 43 x Am-241; Aktivität von 2 bis 370 kBq) bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung nach Firmeninsolvenz	Unbekannt	Polizeiliche Ermittlungen
09.12.11 (Nach- trag)	Kontamination einer Person und des Raumes durch irrtümliche Öff- nung eines Isotopengenerators (Pa-234m; U-238) bei einem Ver- such in einer Schule	Verstoß gegen Bedien- vorschriften durch unsachgemäße Handha- bung des Versuchsge- genstands	Geringfügige Kontaminationen	Personenmessung, Dekontaminationsmaß- nahmen, Freimessung der betroffenen Räumlichkei- ten, ordnungsgemäße Entsorgung des Isotopen- generators
15.12.11 (Nach- trag)	Fund eines Kunststofftanks (Volu- men ca. 500 l) mit radioaktiv kon- taminiertem Schlamm in einem Schrottcontainer (Ra-226, 727 Bq/g, im Schlamm, Ra-228, 548 Bq/g, in der Trockenmasse)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ord- nungsgemäße Entsor- gung; Polizeiliche Ermitt- lung
20.12.11 (Nach- trag)	Fund von zwei radioaktiv kontami- nierten Gegenständen (Ra-226, 160 kBq und 380 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungs- gemäße Entsorgung
30.12.11 (Nach- trag)	Versehentliche Bestrahlung einer MTRA bei der Lagerungskontrolle eines Patienten in einem Klinikum	Irrtümliches Starten der Anlage durch eine zweite Person auf Grund fehlerhafter Kommunika- tion	Dosis der MTRA nach Abschät- zung unerheblich	Erneute Unterweisung des Personals
03.01.12	Fund eines radioaktiv kontaminier- ten Stahlrohrs (Ra-226, 4,6 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Recy- clingfirma	Unzulässige Entsorgung	gering	Ordnungsgemäße Entsor- gung
04.01.12	Fund von Thorium-Nitrat (Th-232, 4,7 µSv/h an der Oberfläche) bei einem Recyclingbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsor- gung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
19.01.12	Fund einer Scheibe mit radioaktiver Leuchtmarkierung (Ra-226, 1,8 MBq) bei der Eingangskontrolle einer Schrotthandelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
24.01.12	Fund von Aluminiumgussteilen mit radioaktiven Stoffen (Sr-90, 30 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
24.01.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrstücks (Co-60, 160 kBq) bei der Eingangskontrolle in einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.01.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallstücks (Co-60, 300 kBq) bei der Eingangskontrolle in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
31.01.12	Fund von Gipskartonplatten mit erhöhter Radioaktivität (Ra-226, 500 Bq/kg) bei einem Abbruch-Unternehmen	Radioaktivität im Baumaterial	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
07.02.12	Fund von radioaktiv kontaminiertem medizinischem Müll (I-131, 15 µSv/h an der Oberfläche) bei der Eingangskontrolle in einer Abfallverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
10.02.12	Fund von elf radioaktiv kontaminierten Edelstahlschalen (Co-60, bis 4 kBq/g) auf einer Messe	Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv verunreinigten Gütern	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliche Ermittlungen
15.02.12	Fund eines Glasfläschchens mit Uran-Lösung (UPd3, 0,12 µSv/h an der Flasche) bei einer Universität	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.02.12	Durchleuchtung eines Patienten mit einem falschen Betriebsmodus bei einer Herzkatheteruntersuchung in einem Klinikum	Verwechslung der Betriebsmodi durch dicht nebeneinander liegende Bedienpedale	Effektive Dosis für den Patienten: 700 mSv	Ermittlungen der zuständigen Behörde, Information an das BfArM, ärztliche Untersuchung des Patienten
16.02.12	Irrtümliche Entsorgung von zwei Schulpräparaten (Ra-226, 3,7 kBq bzw. 48,1 kBq) in einer Hochtemperaturverbrennungs-Anlage für gefährlichen Abfall	Unzulässige Entsorgung auf Grund von Unwissenheit	Keine	Konventionelle Entsorgung auf Grund einer irrtümlichen Annahme, Strahler waren bei Information der Aufsichtsbehörde bereits entsorgt, weitere Maßnahmen nicht mehr möglich
22.02.12	Fund einer radioaktiv kontaminierten Absperrklappe (Ra-226, 20 kBq, und weitere natürliche radioaktive Stoffe) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
23.02.12	Fund einer Füllstandsmesseinrichtung mit einer Strahlenquelle (Cs-137, 185 MBq) in einem Fahrzeug in einem Industriepark	Unzulässiger Betrieb ohne Genehmigung	Keine, da die Messeinrichtung nur in einem begrenzten Gebiet betrieben worden war	Vorübergehende Stilllegung des Fahrzeugs, Demontage und Verwertung der Quelle durch den Hersteller der Messeinrichtung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
01.03.12	Fund einer Strahlenquelle (Cs-137, 100 MBq) bei Aufräumarbeiten in einer Firma	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
02.03.12	Fund von ca. 60 radioaktiv kontaminierten Schleifscheiben (U-238, ca. 1 Bq/g; U-235, ca. 0,05 Bq/g; Th-232, ca. 0,13 Bq/g) in einem Eisenbahnwaggon mit Metallschrott	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
02.03.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallstücks (Ra-226, 90 µSv/h an der Oberfläche) in einem Haufwerk bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
02.03.12	Fund von mit radioaktiver Leuchtfarbe kontaminiertem Messingschrott aus der Uhrenproduktion (Ra-226, 60 kBq) bei der Eingangskontrolle in einem Metallhandelsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und vorübergehende Verwahrung, ordnungsgemäße Entsorgung
07.03.12	Fund einer Versuchsvorrichtung mit Thorium-Pulver im Schrott (Th-232, 2 µSv/h am Rohr) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	gering	Dekontamination und ordnungsgemäße Entsorgung
07.03.12	Fund radioaktiver Stoffe (I-131, 920 Bq/g) bei der Eingangskontrolle in einem Metall-Recycling-Betrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
08.03.12	Fund einer Neutronenquelle im Schrott (Am-241/Be, max. 4 GBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung
08.03.12	Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 60 µSv/h an der Oberfläche) im Messingschrott bei einem Metallrecyclingbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
19.03.12	Fund von 15 Rohren mit radioaktiven Inkrustationen (Ra-226, ca. 7,9 Bq/g sowie Anteile von Th-232) im Schrott bei einer Recycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
22.03.12	Fund von radioaktiv kontaminiertem Schrott (Ra-226, 200 kBq und weitere natürliche radioaktive Stoffe) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.03.12	Fund einer radioaktiven Kontamination (Ra-226, ca. 6 kBq/cm ²) in einem Schrank bei einer Universität	Bei Freimessungen entdeckte, bislang unerkannte Kontamination in einem ehemals im Labor genutzten Schrank	Keine	Sperrung des Raumes, Sicherstellung der kontaminierten Gegenstände, strahlenmedizinische Untersuchungen an zwei betroffenen Personen
29.03.12	Fund eines Strahlers im Schrott (Ra-226, 400 kBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
04.04.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Fundstücks (Ra-226, 67 µSv/h an der Oberfläche) in einem Schrottcontainer bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
06.04.12	Verlust von zwei Schulstrahlenquellen (Ra-226, gesamt 67 kBq) in einer Schule	Diebstahl radioaktiver Stoffe	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
06.04.12	Fund von zwei Schulstrahlenquellen (Ra-226) auf einem Freige-lände	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungs-gemäße Entsorgung, poli-zeiliche Ermittlungen
16.04.12	Fund von thoriumhaltiger Farbe (Th-232, 25 Bq; Th-230, 50 Bq) an einem Kleidungsstück bei einem Mitarbeiter einer kerntechnischen Einrichtung	Erwerb des mit Thorium-haltiger Farbe behandelten Kleidungs-stücks im Ausland	Keine	Sicherstellung und ord-nungsgemäße Entsor-gung, Veranlassung einer Inkorporationsmessung, Information der ausländi-schen Behörde
17.04.12	Fund einer Röhrenlibelle mit radio-aktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 150 kBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ord-nungsgemäße Entsor-gung
24.04.12	Fund einer Metallhülse mit einem Strahler (Mn-54, 636 kBq) bei einem Industriekraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungs-gemäße Entsorgung
26.04.12	Fund eines Anzeigeinstrumentes mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 240 kBq) bei der Ein-gangskontrolle einer thermischen Verwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungs-gemäße Entsorgung
27.04.12	Fund eines radioaktiv kontaminier-ten Gussteils (Th-232, 9 µSv/h an der Oberfläche) in importiertem Schrott bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung im Ausland	Keine	Ordnungsgemäße Entsor-gung
03.05.12	Fund von radioaktiv kontaminier-ten Edelstahl-Teedosen (Co-60, 45 µSv/h an der Oberfläche) beim Zollamt	Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv kontaminierten Gütern	gering	Behördliche Prüfung noch nicht abgeschlossen
10.05.12	Fund eines radioaktiv kontaminier-ten Rohrstücks (Ra-226, 43 Bq/g) bei der Eingangskontrolle in einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsge-mäße Entsorgung
14.05.12	Fund von mit natürlichen radioakti-ven Stoffen kontaminierten Stahl-rohren (Ra-226, 0,4 µSv/h im Rohr) bei einem Metallhändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Entsorgung
15.05.12	Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 120 µSv/h an der Ober-fläche) in Metallschrott aus Privat-haushalten bei einem Metallrecy-clingbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungs-gemäße Entsorgung
23.05.12	Fund von 6 Metallzylindern (Co-60, 6 x 1 GBq) in einer Metall-schrottanlieferung	Unzulässige Entsorgung	Vernachlässig-bar gering	Übernahme durch Lan-dessammelstelle
23.05.12	Fund, Abgabe eines Weckers und zweier Höhenmesser mit radioakti-ver Leuchtfarbe (Ra-226, 355 kBq) bei einer Sammelstelle	Unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsor-gung
24.05.12	Feststellung von radioaktiver Kon-tamination an Al/Be-Metallböcken (U-235, ca. 5 µSv/h an der Ober-fläche) in einer Portalmessanlage	Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv kontaminierten Gütern	Keine	Rücksendung an den aus-ländischen Absender

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
06.06.12	Fund von von 24 Radiumnadeln (Ra-226, 24 x 100 MBq) in einer Metallschrottanlieferung	Unzulässige Entsorgung	Vernachlässigbar gering	Übernahme durch Landessammelstelle
06.06.12	Fund eines Kompasses mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 20 kBq) in einem Päckchen beim Zollamt	Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Vorübergehende Sicherstellung, weitere Beförderung als Gefahrgut an den ursprünglichen Empfänger
18.06.12	Fund eines Metallkegels mit einem Strahler (Ba-133, 100 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.06.12	Fehlbestrahlung eines Patienten in der Teletherapie	Verwechslung der Seiten	Applikation von nahezu der gesamten Dosis auf die falsche Seite	Information der Ärztlichen Stelle, Sicherstellung des Vier-Augen-Prinzips, Verbesserung der Qualitätskontrolle
25.06.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Presslings (Ra-226, 400 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
25.06.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrs (Ra-226, 200 kBq; Th-232, 20 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.06.12	Fund eines Anzeigegeräts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 60 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
27.06.12	Verlust von zwei Ionisationsrauchmeldern bei Wartungsarbeiten	Einsatz von nicht autorisiertem Personal, unzulässige Entsorgung	Keine	Hinweis auf die Notwendigkeit des Einsatzes von autorisierten Personen bei Wartungsarbeiten
28.06.12	Fund einer Messsonde mit einem Strahler (Cs-137, 47 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Max. Exposition: einige µSv	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
29.06.12	Fund eines Ziffernblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 11 kBq) bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
Juli 2012	Erhöhte Exposition der Hände eines Mitarbeiters beim Umgang mit Strahlenquellen (Pm-147, 13 GBq) in einer Firma	Unbekannt	892 mSv in einem Monat (Überschreitung des Jahresgrenzwertes von 500 mSv)	Tragen von Strahlenschutz-Handschuhen, Ärztliche Untersuchung des Mitarbeiters, behördliche Ermittlungen noch nicht abgeschlossen
07.07.12	Fund eines Ziffernblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 45 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
12.07.12	Fund eines Ziffernblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 65 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.07.12	Fund, Abgabe eines Radium-Emulators (Ra-226, ca. 2,3 MBq) bei einer Feuerwache	Unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
19.07.12	Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 400 µSv/h an der Oberfläche) bei der Eingangskontrolle in einer Schrotthandelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
22.07.12	Fund eines Fläschchens mit Uranoxid an einer Schule	Unterlassene Kontrollen	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.12	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, ca. 600 kBq) in einem Privathaushalt	Unbekannt	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.12	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, ca. 370 kBq) in einem Privathaushalt	Unbekannt	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
24.07.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten kabelartigen Gegenstands (Ra-226, 3 MBq) im Mischschrott bei einem Metallrecyclingbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
24.07.12	Fund radioaktiv kontaminierter Abfälle (Tc-99m, 0,2 µSv/h in 1 m Abstand) bei einem Abfallverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
26.07.12	Verlust von zwei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 14,8 kBq) bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung als Bauschutt bei Umbaumaßnahmen	Keine	Behördliche Ermittlungen
27.07.12	Fund einer Quelle sowie von Resten eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 320 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
30.07.12	Fund eines Keramikzylinders aus einem Radiumtrinkbecher (Ra-226, 204 µSv/h am Zylinder) im Hausmüll bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.07.12	Fund einer Strahlenquelle (Cs-137, 5 MBq) im Schredderschrott bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
31.07.12	Verlust von 319 Ionisationsrauchmeldern (IRM) (Am-241, je nach Typ zwischen 14,8 kBq und 555 kBq die überwiegende Anzahl der IRM hat eine Aktivität von 29,6 kBq) im Zuge einer Brandschutzsanierung in einem Krankenhaus	Brandschutzsanierung zog sich über einen Zeitraum von 2004 bis 2010, nähere Angaben zum Verbleib der IRM konnten trotz umfangreicher Recherchen nicht ermittelt werden	nicht bekannt	Gegen die beauftragte Firma wurde ein Ordnungswidrigkeitsverfahren eingeleitet und ein Bußgeldbescheid erlassen
09.08.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Edelstahlzylinders (Ra-226, 25 µSv/h an der Oberfläche) im Mischschrott bei einem Metallrecyclingbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
11.08.12	Fund einer Messvorrichtung mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 15 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Stahlfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
13.08.12	Fehlbestrahlung eines Patienten in einer strahlentherapeutischen Einrichtung	Verwechslung von patientenspezifischen Einstellungen durch Änderung der Behandlungsreihenfolge	Keine radiologischen Folgen für den Patienten auf Grund der Ähnlichkeit der Behandlungspläne	Verbesserung der innerbetrieblichen Kommunikation
13.08.12	Fund eines Peilaufsatzes mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 35 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
14.08.12	Fund von acht Kalibrierquellen (Cs-137, je 370 kBq) für Dosimeter bei Aufräumarbeiten in einem Gebäude	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.08.12	Anlieferung eines Prostataresektats mit implantierten I-125-Seeds zur Präparation und Untersuchung an einem Pathologischen Institut ohne expliziten Hinweis auf die Radioaktivität der Probe in den Begleitpapieren	Verstoß gegen Transportvorschriften	gering	Information aller Genehmigungsinhaber für Seeds über die Problematik bei der Entnahme von Prostatagewebe bei Patienten mit implantierten I-125-Seeds und dessen Weitergabe zur pathologischen Untersuchung
27.08.12	Fund einer Strahlenquelle (Ra-226, 100 MBq) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
28.08.12	Fehlbestrahlung eines Patienten in der Teletherapie über mehrere Fraktionen	Falsche Festlegung des Zielvolumens	Bewertung noch nicht abgeschlossen	Information der Ärztlichen Stelle, Verfahren noch nicht abgeschlossen
31.08.12	Fund von fünf radioaktiv kontaminierten Relais (Ra-226, 5 x 55 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
03.09.12	Fund einer Stahlröhre mit thorierten Linsen (Th-232, 200 kBq) bei einem Metallverwertungsunternehmen	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung
07.09.12	Fund einer Vereisungsmeldeeinrichtung mit einer Strahlenquelle (Sr-90, 925 MBq) bei der Eingangskontrolle in einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
10.09.12	Fund eines Radium-Emanations-Apparats (Ra-226, 54 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.09.12	Verlust von 82 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 5 kBq) vom Gelände einer Elektrofirma	Diebstahl radioaktiver Stoffe	Unbekannt	Polizeiliche Ermittlungen
12.09.12	Fund von zwei radioaktiv kontaminierten Edelstahlherzen (Co-60, 63 µSv/h an der Oberfläche) in einem Container beim Zollamt	Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv kontaminierten Gütern	Keine	Separierung und Rückführung in das Ursprungsland
12.09.12	Fund von zwei Teilen eines Vergrößerungsapparates mit radioaktiven Leuchtfarben (Ra-226, ca. 10 µSv/h an der Oberfläche) auf einem Schrottplatz	Unzulässige Entsorgung	Keine	Lagerung in der Landesammelstelle, ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
19.09.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Teils eines Pfluges (Co-60, 2 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.09.12*	Fund von sechs radioaktiv kontaminierten Gartenfackeln (Co-60, bis 5 kBq/g) bei Händlern und Endverbrauchern	Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv verunreinigten Verbrauchsgütern	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.09.12*	Fund von radioaktiv kontaminierten Gartenfackeln (Co-60, je ca. 350 Bq bis 875 kBq) nach Einfuhr und Weiterverkauf durch eine Firma mit Sitz in NRW	Unbekannt	Keine	Sicherstellung und Rücktransport der überwiegenden Anzahl der nach Bayern gelieferten Fackeln
27.09.12*	Fund von zwei Gegenständen aus radioaktiv kontaminiertem Edelstahl (Co-60, ca. 100 µSv/h an der Oberfläche) bei einem Einzelhändler	Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv verunreinigten Verbrauchsgütern	Keine	Rückgabe und Entsorgung über den Importeur
28.09.12	Fund von radioaktiv kontaminierten Gegenständen (natürliches Thorium; natürliches Uran) bei einem Schrotthandelsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Verfahren noch nicht abgeschlossen
28.09.12	Fund eines Prüfstrahlers (Ra-226, 2,22 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.10.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Objektivs (Th-232, 8,5 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.10.12	Fund eines Ziffernblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 60 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
08.10.12	Fund von radioaktiv kontaminierten Teilen eines Metallfasses (Ra-226, 0,2 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Entsorgungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
11.10.12	Fund eines Teils eines radioaktiven Blitzableiters (Ra-226, 19 MBq) in importiertem Schrott bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung im Ausland	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, Verbesserung der künftigen Verfahrensweise
15.10.12	Fund von zwei Messgeräten mit integrierten Prüfstrahlern (Cs-137, 10 µSv/h an der Oberfläche) in einer Bundesbehörde	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
16.10.12	Beschädigung einer Troxlersonde (Cs-137, 300 MBq) durch eine Walze bei Straßenbauarbeiten	Unfall mit tödlichen Verletzungen eines Messingenieurs	Troxlersonde nur äußerlich beschädigt, Kontaminationsfreiheit durch Messung bestätigt	Unbekannt
18.10.12	Kontamination der linken Hand einer MTRA bei der Vorbereitung einer SIRT-Behandlung	Unbekannt	Handdosis 528 mSv (Überschreitung des zulässigen Jahresgrenzwerts von 500 mSv)	Dekontamination der Räume und Personen, Einführung des Tragens von Überschuhen und Doppelhandschuhen, Installation eines zusätzlichen Handmonitors

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
23.10.12	Fund eines radioaktiven Gamma-radiographie-Arbeitsbehälters (abgereichertes Uran, ca. 2 µSv/h an der Oberfläche) ohne radioaktive Quelle auf einem Schrottplatz	Unzulässige Entsorgung	Keine	Lagerung in der Landes-sammelstelle
25.10.12	Unzulässige Exposition des Personals bei einer medizinischen Beschleunigeranlage	Aufenthalt des Personals im Bestrahlungsraum beim Einschalten der Anlage	Keine	Nachrüstung eines Patientenschutzsystems
29.10.12	Fund einer Messanzeige mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 200 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
01.11.12	Fehlbestrahlung eines Patienten in der Teletherapie über mehrere Fraktionen	Falsche Festlegung des Zielvolumens	Bewertung noch nicht abgeschlossen	Information der Ärztlichen Stelle, Änderung der Bestrahlungsplanung, Bewertung noch nicht abgeschlossen
01.11.12	Fund eines Erzbrockens mit radioaktiven Stoffen (Ra-226, 8 µSv/h am Fundstück) bei einem Kraftwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
05.11.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Blechstreifens (Ra-226, 4 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
13.11.12	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (I-131, 1 MBq) bei einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Zwischenlagerung und ordnungsgemäße Entsorgung, erneute Strahlenschutzunterweisung aller Beschäftigten beim Verursacher
14.11.12	Fehlbestrahlung eines Patienten in der Teletherapie bei einer Fraktion	Verwechslung durch Planänderung ohne erneute Verifikation des Patienten	Sehr gering, da nahezu gleiche Zieldosis bei beiden Patienten	Information der Ärztlichen Stelle, Verbesserung der Patientenidentifizierung, Verfahren noch nicht abgeschlossen
23.11.12	Fund einer Radium- Trink- und Badekurapparatur (Ra-226, 500 kBq) in einem Recyclingbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
24.11.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrstücks (Ra-226, 224 kBq) bei der Eingangskontrolle in einer Schrotthandelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.11.12	Feststellung einer radioaktiven Kontamination eines Containers (0,1 µSv/h an der Oberfläche) bei der Eingangskontrolle einer Schrotthandelsfirma	Unbekannt, mögliche Ursache: Konstruktion des Containers unter Verwendung von Rohren mit radioaktiven Verunreinigungen	Keine bei bisheriger Handhabung des Containers	Rückgabe des Containers und Information an den Besitzer

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
28.11.12	Feststellung einer unzulässig erhöhten Dosisleistung von 33 mSv/h an einem Gefahrgutversandstück mit Strahlern (5 Stck. Cs-137, gesamt 53,65 GBq) aus Australien an einem Flughafen	Herausfallen eines Strahlers aus dem Abschirmbehälter im Inneren des Versandstücks durch unsachgemäße Transportverpackung	20 und 23 µSv Personendosis für 2 Mitarbeiter der Empfängerfirma	Rückführung des Strahlers in den Abschirmbehälter und zusätzliche Verpackung in ein Metallfass durch Empfängerfirma, Verbringung zum Empfänger; polizeiliche Ermittlungen
29.11.12	Fund eines radioaktiv kontaminierten Teils (Ra-226, 100 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
08.12.12	Fund einer radioaktiv kontaminierten Halterung (Ra-226, 100 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
10.12.12	Fehlbestrahlung infolge Verwechslung des rechten und linken Oberschenkels, Fehler ist direkt nach der ersten von insgesamt 16 Bestrahlungen aufgefallen	Allgemeines menschliches Versagen	Patient erhielt eine um 1/16 höhere Dosis als geplant	Es wurden Vorkehrungen getroffen, um eine Wiederholung ausschließen zu können
12.12.12	Fund eines Blitzableiters mit neun Strahlern (Ra-226, 15 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.12.12	Fund einer Strahlenquelle (Ra-226, 1,4 MBq) bei der Eingangskontrolle einer Schrotthandelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

* Die markierten Vorkommnisse gehören zusammen und betrafen mehrere Bundesländer und Staaten.

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 (nm) bis 1 Millimeter (mm) 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. In dem hierzu durchgeführten Forschungsvorhaben („Systematische Erfassung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können“, [nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201101134413](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-201101134413)) 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.

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*)

Magnetfelder üben Kräfte auf elektrisch geladene Teilchen im menschlichen Körper aus, wenn diese in Bewegung sind. Das betrifft insbesondere den Blutstrom, oder Bewegungen des Körpers im Magnetfeld. Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen haben für magnetische Flussdichten unterhalb von vier Tesla keine direkten negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper gefunden.

Personen, die als medizinisches Personal direkt in der Nähe von Magnetresonanztomographen (MRT) arbeiten, sowie Patienten sind starken statischen Magnetfeldern mit magnetischen Flussdichten von 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. Dies ist für den Schutz des medizinischen Personals von steigender Bedeutung, 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 Ergebnisse dieser Forschungsvorhaben deckten keine gesundheitlichen Risiken für schwangere Patientinnen und das medizinische Personal auf. Eine Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit von Medizinern, 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*)

Im Bereich „Niederfrequente elektromagnetische Felder“ initiierte und koordinierte das BfS im Jahr 2012 folgende Studien:

Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell (siehe Programmreport 2012, S. 214, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124 und Literaturstudie http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201004201532)
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 (siehe Programmreport 2012, S. 194, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124)
Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das zentrale Nervensystem (ZNS) in vivo (siehe Leukämie im Kindesalter) (siehe Programmreport 2012, S. 99, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124)

Epidemiologische Studien deuten bei beruflicher Exposition mit starken niederfrequenten Magnetfeldern darauf hin, dass verstärkt neurodegenerative Erkrankungen auftreten. Es scheint 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 ursächlich mit niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern zusammenhängen und welche Wirkmechanismen zu Grunde liegen, wurde eine umfangreiche tierexperimentelle Studie initiiert. Ergebnisse werden für Ende 2013 erwartet.

Im Jahr 2010 hat die Internationale Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung (ICNIRP, www.icnirp.de) aktualisierte Richtlinien zur Begrenzung der Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern publiziert. Mit Hilfe eines 2011 begonnenen Forschungsvorhabens soll untersucht werden, ob die in diesen 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 besondere Beachtung finden, da frühere Untersuchungen gezeigt haben, dass diese Komponenten abhängig von der lokalen Gewebeverteilung im Körper großen Einfluss haben können. Ergebnisse werden für 2013 erwartet.

Leukämie im Kindesalter

Auf Grund konsistenter Ergebnisse epidemiologischer Studien wird ein erhöhtes Risiko für Leukämie im Kindesalter bei Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern diskutiert. Die Studien zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang bei einer erhöhten häuslichen Magnetfeldexposition von mehr als 0,3 - 0,4 Mikrottesla (μ T). Deshalb haben die WHO und die IARC bereits 2002 niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise krebserregend“ (Klasse 2B) eingestuft. Die epidemiologischen Ergebnisse konnten jedoch durch tierexperimentelle Arbeiten und Untersuchungen an Zelllinien bisher nicht bestätigt werden. Sollte der beobachtete statistische Zusammenhang tatsächlich kausal sein, wäre etwa 1 % der Leukämiefälle auf eine relativ erhöhte Magnetfeldexposition zurückführbar.

Bei der Entstehung von Leukämien im Kindesalter wird von einem multifaktoriellen Geschehen ausgegangen, d. h. mehrere Faktoren und äußere Einflüsse wirken beim Entstehen der Krankheit zusammen. Das BfS bemüht sich daher um internationale Expertendiskurse, um zu klären, ob und wenn ja welchen Anteil ionisierende und nichtionisierende Strahlung an der Anzahl der Erkrankungen (Inzidenzraten) an Leukämie im Kindesalter hat. Die in den Jahren 2008 und 2009 durchgeführten Expertengespräche zeigten deutlich, dass die Komplexität dieser Fragestellung eine mittel- bis langfristig angelegte, interdisziplinäre Forschungsplanung erfordert. Eine entsprechend umfassende Forschungsagenda wurde von eingeladenen Experten im Juli 2010 erarbeitet und veröffentlicht [1]. Im Jahr 2012 wurde diese Forschungsagenda in einem weiteren Expertengespräch, das zusammen mit der französischen Strahlenschutzbehörde IRSN (www.irsn.fr) organisiert wurde, erweitert und vertieft [2].

Bereits vor der breit angelegten Forschungsagenda wurde u. a. das Vorhaben „Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das zentrale Nervensystem (ZNS) in vivo“ vergeben (siehe oben), dessen Ergebnisse in 2013 bewertet und in kommenden Vorhaben entsprechend berücksichtigt werden.

Auf Basis der Forschungsagenda wurden vom BfS fünf Pilot- und Machbarkeitsstudien im Rahmen des UFOPLANs initiiert. Die Pilot- und Machbarkeitsstudien bilden unabdingbare Voraussetzungen für die weitere Forschung zur Ent-

stehung der Leukämie im Kindesalter mit dem Ziel, im weiteren Verlauf den möglichen Einfluss von ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich und von schwachen niederfrequenten Magnetfeldern abzuklären.

Pilotstudie zum Vergleich der Inzidenz von Leukämien im Kindesalter in verschiedenen Ländern
Übersicht über vorhandene Tiermodelle, die für die Leukämieforschung angewandt werden können
Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien (prospektive Forschungsansätze)
Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden
Pilotstudie: Sequenzierung und bioinformatische Auswertung von kindlichen Leukämie-Fällen (Akute lymphoblastoide Leukämie ALL)

Ergebnisse für die hier gelisteten Forschungsvorhaben werden Ende 2013 erwartet.

Literatur

- [1] Ziegelberger G et al.: Research recommendations toward a better understanding of the causes of childhood leukemia. *Blood Cancer Journal* 1: e1, 2011
- [2] Laurier D et al.: Childhood leukaemia risks: Recommendations for future research activities towards a better understanding of unexplained results, 2013 submitted

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

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Mobilfunk oder Fernsehen verwendet werden. Der wesentliche Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Geweberwärmung, 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 2012 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 jedoch hinsichtlich der Frage zu möglichen Langzeitrissen für Handynutzung von mehr als 10 Jahren und der Frage, ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder darauf empfindlicher reagieren als Erwachsene. Diese Unsicherheiten führten dazu, dass 2011 die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hochfrequente elektromagnetische Felder in Gruppe 2b („möglicherweise krebserregend“) 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 elektromagnetischer Felder, z. B. Anwendungen wie die im Millimeterwellen- oder Terahertzbereich arbeitenden Körperscanner, erfordert weitere Forschung zur Verbesserung der wissenschaftlichen Datenlage.

Die hierfür auf Initiative des BfS durchgeführten und im Jahr 2011 bzw. 2012 abgeschlossenen Forschungsvorhaben sind:

Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro (siehe Programmreport 2011, S. 132 ff., http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013012210275)
Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken (siehe Programmreport 2012, S. 108 ff. http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124)

Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio-Frequency-Identification (RFID) -Technologien entstehen [RFID 1] (siehe Programmreport 2011, S. 165 ff, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013012210275>)

Im Vorhaben „Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro“ wurden verschiedene Zellkulturen mit Terahertz-Strahlung verschiedener Frequenzen zwischen 106 GHz und 2,52 THz exponiert. Die Expositionen erfolgten für 2, 8 und 24 Stunden bei Leistungsdichten unterhalb, in der Größenordnung und oberhalb des Grenzwertes. Die aus der Exposition resultierende Erwärmung war vernachlässigbar. Gentoxische Effekte wurden nicht beobachtet.

Die Ergebnisse des Vorhabens „Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken“ zeigen, dass mit den Basisstationen der neuen Mobilfunktechniken LTE und TETRA-BOS eine Immissionszunahme der Bevölkerung verbunden ist. Die Gesamtmission durch ortsfeste Mobilfunksendeanlagen bewegt sich in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen aber auch im näheren Umfeld von Basisstationsstandorten nach wie vor auf niedrigem Niveau und hat an keinem der untersuchten Messpunkte die Grenzwerte der 26. BImSchV erreicht. Bei Einhaltung der Grenzwerte ist nach aktuellem wissenschaftlichem Kenntnisstand nicht mit nachteiligen Gesundheitswirkungen zu rechnen. Auch weiterhin wird die Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern hauptsächlich durch körpfernah betriebene Sender (Handy, Smartphone) bestimmt.

Auf Basis von detaillierten und umfangreichen Messungen sowie numerischen Berechnungen wurden im Vorhaben „Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID)-Technologien entstehen“ [RFID 1] strahlenschutztechnische Analysen im Hinblick auf die Exposition von Personen durch die von Geräten der gegenwärtig verbreiteten RFID- und EAS-Technologien (Frequenzbereich 1,6 kHz bis 2,45 GHz) erzeugten elektromagnetischen Felder durchgeführt und die Ergebnisse auf Basis der von ICNIRP 1998 veröffentlichten Empfehlungen bewertet. Zusätzlich erfolgten Untersuchungen im Hinblick auf mögliche Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern durch RFID- und EAS-Geräte. Sowohl hinsichtlich der Exposition von Personen als auch im Hinblick auf mögliche Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern erwiesen sich dabei niederfrequente RFID- und EAS-Geräte (Arbeitsfrequenzen bis ca. 120 kHz) als strahlenschutztechnisch deutlich relevanter als Anwendungen bzw. Geräte mit größeren Arbeitsfrequenzen. Bei unmittelbarer Annäherung an Antennen von LF-RFID-Lesegeräten (120 kHz) mit großen Reichweiten (vicinity coupling) oder niederfrequenten EAS-Systemen (Arbeitsfrequenzen bis 58 kHz) können, unter ungünstigen Bedingungen, Überschreitungen der ICNIRP 1998 Basiswerte für die allgemeine Bevölkerung und Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern nicht ausgeschlossen werden.

Weitere auf Initiative des BfS im Jahr 2012 initiierte bzw. betreute Forschungsvorhaben im Bereich hochfrequenter Felder sind:

Einfluss hochfrequenter Felder auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität) (siehe Programmreport 2012; S. 94; http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124)
Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern (siehe Programmreport 2012; S. 114; http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124)
Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen (siehe Programmreport 2012; S. 220; http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124)
Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro (siehe Programmreport 2012; S. 226; http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124)
Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich (siehe Programmreport 2012; S. 104; http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124)
Ergänzende Analysen von Daten zur Exposition durch RFID Technologien aus FV 3609S80002 [RFID 1] und Untersuchungen an Warensicherungsanlagen (siehe Programmreport 2012; S. 222; http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013110811124)

Selbstverpflichtung Mobilfunkbetreiber - Weiterführende Forschung

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

Unabhängig erstellte Gutachten dienen der Bundesregierung als Grundlage für die jährlich mit den Mobilfunkbetreibern geführten Überprüfungsgespräche. Es zeigt sich, dass bei der Lösung von Standortkonflikten, in einzelnen Bereichen der Forschung, bei der Information der Bürgerinnen und Bürger sowie bei der Verbraucherinformation trotz erreichter Verbesserungen nach wie vor weiterer Handlungsbedarf besteht. 2012 sagten die Mobilfunkbetreiber zu, die Selbstverpflichtung fortzuführen und stellten finanzielle Mittel bereit.

Die im Rahmen der Selbstverpflichtung durch die Mobilfunkbetreiber anteilig mitfinanzierten Forschungsarbeiten des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (Design, Vergabe und Interpretation der Forschungsergebnisse lagen ausschließlich in der Hand des BfS und wurden transparent durch das BfS kommuniziert) bezogen sich auf die Erforschung der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder sowie auf die Ermittlung der Grundlagen für eine verbesserte Risikokommunikation. Der Schwerpunkt der fortführenden Forschung liegt nun auf „Wissensmanagement“ und „Risikokommunikation“. In Anlehnung an das Verfahren, das sich bei der Umsetzung der 54 Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms bewährt hat, werden nun Forschungsvorhaben zu Wissensmanagement und Risikokommunikation speziell für den Bereich Mobilfunk gefördert. Die Vergabe entsprechender Forschungsvorhaben erfolgt 2013.

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

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 abdecken 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 Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) eine Vereinbarung geschlossen. Darin ist festgelegt, dass die BDBOS zur Klärung offener wissenschaftlicher Fragen die Durchführung von Forschungsvorhaben zur Risikobewertung von Feldern des TETRA-Standards finanziert.

Folgende Forschungsvorhaben wurden auf Initiative des BfS im Jahr 2012 betreut:

Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/dm_forschung/studien_tetra/Probandenstudie_kognitive_Funktionen.html
--

Modellierung der Verteilung von SAR-Werten im gesamten Körper und detailliert im Bereich des Kopfes unter besonderer Berücksichtigung des Auges bei Expositionen durch in Deutschland verwendete TETRA-Endgeräte http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013062410893

Die Probandenstudie wird vom BfS fachlich und administrativ begleitet in Anlehnung an das Verfahren, das sich bei der Umsetzung der Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber bewährt hat. Ergebnisse der Probandenstudie werden 2013 erwartet.

Das 2012 abgeschlossenen Vorhaben „Modellierung der Verteilung von SAR-Werten im gesamten Körper und detailliert im Bereich des Kopfes unter besonderer Berücksichtigung des Auges bei Expositionen durch in Deutschland verwendete TETRA-Endgeräte“ wurde im BfS selbst bearbeitet. Es ergab, dass beim typischen Einsatz von TETRA Funkgeräten im BOS-Netz keine Überschreitung der für beruflich Exponierte geltenden Grenzwerte erfolgt.

Risikokommunikation

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

Ein wesentlicher Bestandteil der Risikokommunikation ist die Bereitstellung umfassender und möglichst neutraler Informationen. Im EMF-Portal (<http://www.emf-portal.de>) wird die wissenschaftliche Literatur zu allen Themenbereichen im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern zusammengestellt, nach bestimmten Kriterien aufbereitet und mit ergänzenden Informationen zur Verfügung gestellt. Mit dem Ziel einer weiteren Verbesserung des Portals wurde 2012 folgendes Forschungsvorhaben vom BfS initiiert und betreut:

Weiterentwicklung der Internet Informations Plattform „EMF Portal“ und Ausbau zum WHO Kollaborationszentrum

Darüber hinaus wurde im Jahr 2012 das folgende vom BfS initiierte Forschungsvorhaben beendet:

Vermittlung von Informationen zum Strahlenschutz und deren Wahrnehmung in der Öffentlichkeit http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013030810341

Ziel dieses Vorhabens war es zu klären, welche Akteure in Deutschland im Bereich Strahlenschutz die Öffentlichkeit informieren und wie Angebote von z. B. Unternehmen, Wirtschaftsverbänden, NGOs, Behörden, Ministerien und wissenschaftlichen Instituten in der Öffentlichkeit von Bürgerinnen und Bürgern wahrgenommen werden. Das FV erfasste somit neben Informationen über den Bereich der nichtionisierenden Strahlung auch Aspekte der ionisierenden Strahlung.

lung. Kenntnis und Nutzung von Informationsangeboten sollten damit zueinander ins Verhältnis gesetzt werden. Die im Rahmen des Vorhabens durchgeführte quantitative Studie ergab ein großes Interesse am Thema Strahlenschutz in der Stichprobe. Insbesondere die Themen "AKW" und "UV-Strahlung" fanden besondere Beachtung. Die Risikowahrnehmung in Bezug auf die Strahlung von AKWs war am stärksten ausgeprägt. Die UV-Strahlung wurde als "eher gefährlich" eingeschätzt. Alle anderen Strahlenquellen wurden hingegen im Mittel als "eher ungefährlich" beurteilt. Die hauptsächlichen Informationsquellen zu Themen des Strahlenschutzes waren für die Öffentlichkeit Fernsehen und Printmedien. Informationsmaterialien aus der Wissenschaft, von Behörden, NGOs und der Industrie waren nur einer Minderheit bekannt.

Runder Tisch Elektromagnetische Felder

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

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 (ortsfixe 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 BMUB 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 auf dem deutschen Markt verfügbarer Mobiltelefone in einer Liste zusammen und veröffentlicht sie unter http://www.bfs.de/de/elektro/strahlenschutz_mobilfunk/schutz/vorsorge/oekolabel.html in einer barrierearmen, downloadbaren pdf-Datei. 2013 ist eine weitere Aktualisierung der Liste geplant. Die zuletzt durchgeführte Erhebung umfasst 1784 Geräte von 50 Herstellern und vier Netzbetreibern. In Tabelle 1.4-1 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 http://www.bfs.de/de/elektro/strahlenschutz_mobilfunk/schutz/vorsorge/oekolabel_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 multimediatfähigen 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.

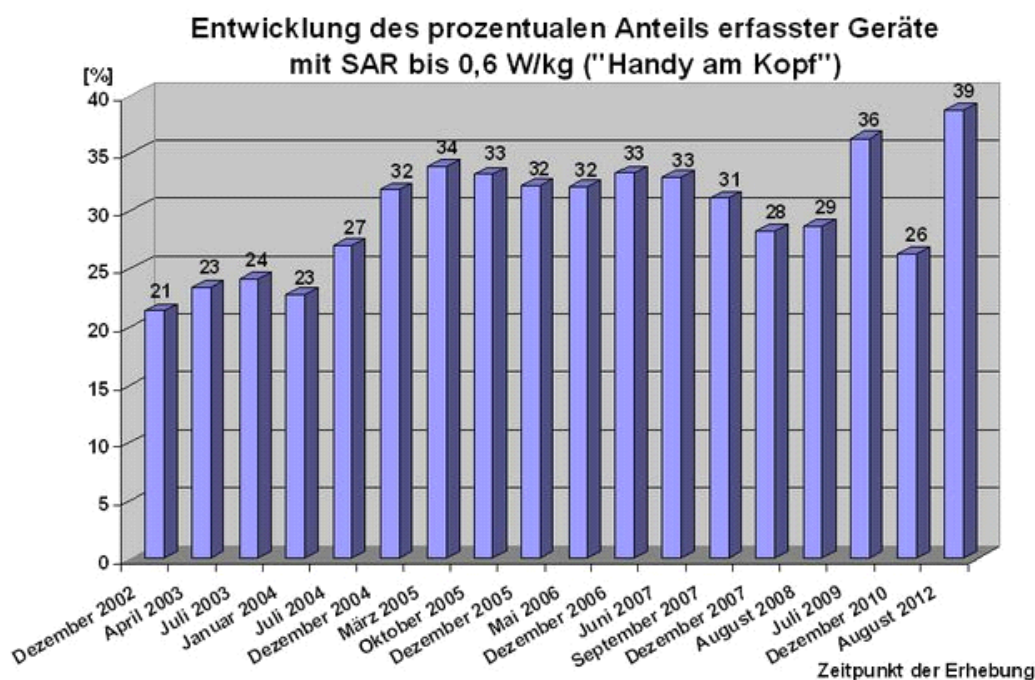


Abbildung 1.4-1 Entwicklung des Anteils „strahlungsarmer“ Mobiltelefone (gemäß Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens „Blauer Engel“)

Abbildung 1.4-1 zeigt, dass die aktuelle Erhebung an das Ergebnis vom Juli 2009 anknüpft. Mit einer Steigerung von 13 Prozentpunkten liegt das Ergebnis der aktuellen Erhebung deutlich über dem der letzten vom Dezember 2010.

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 Vergabegrundlagen 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 empfohlene Teilkörper-Basisgrenzwert von 2 W/kg. Im Unterschied zum Anwendungsfall Handy am Kopf ist in der Vergabegrundlage 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.

In Übereinstimmung mit der aktuellen Produktnorm darf der SAR-Wert für diesen Anwendungsfall gemessen werden bei Abständen bis 2,5 cm zwischen dem Mobilfunkgerät und dem Messphantom, das den Körper nachbildet. Der Hersteller kann in den Benutzerhinweisen die bestimmungsgemäße Verwendung seines Produkts mit einem entsprechenden Mindestabstand oder mit einer speziellen Tragevorrichtung (z. B. „Gürteltasche“) festlegen. Wenn der Benutzer die Herstellerfestlegung in der Praxis nicht beachtet, kann der SAR-Wert über den gemessenen Wert ansteigen. In ungünstigen Fällen kann der empfohlene Grenzwert überschritten werden. Weil die vorhersehbare Verwendung bei Gebrauch-

sabständen von weniger als 2,5 cm nicht als verbindliche Prüfbedingung festgelegt ist, muss die Norm aus der Sicht des Strahlenschutzes überarbeitet werden.

Aus dem beschriebenen Grund sind die Messabstände bei der Ermittlung der body-worn-Werte derzeit nicht einheitlich. Um dies zu dokumentieren und eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen, werden die herstellerseitig genannten Messabstände in der SAR-Werteliste in einer separaten Spalte angegeben (88 Angaben wurden gemacht).

Das Bundesamt für Strahlenschutz hält eine für den Verbraucher einfach zu erkennende Kennzeichnung strahlungsarmer Mobiltelefone nach wie vor für wünschenswert. Der „Blaue Engel“ stellt eine solche Kennzeichnung dar. Die Hersteller sind weiterhin aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Handys voranzutreiben und sich auch weiter an einer verstärkten Verbraucherinformation zu beteiligen.

Ende 2006 wurde für die Produktgruppe „Säuglingsüberwachungsgeräte“ (Babyphone) ebenfalls eine Vergabegrundlage 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 ausgeschlossen. Daneben werden die Energieeffizienz und die Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt. Derzeit ist ein Produkt mit dem Umweltzeichen ausgezeichnet.

Seit Anfang 2009 gibt es ein Umweltzeichen (RAL-UZ 131, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=209) für digitale Schnurlostelefone, die die in den Vergabegrundlagen definierten Kriterien „Anpassung der Sendeleistung“, „Reichweitenbegrenzung“ sowie „Abschalten der Sendesignale im Standby-Betrieb“ erfüllen. Aktuell sind mehrere digitale Schnurlostelefone mit dem „Blauen Engel“ ausgezeichnet.

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

- 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),
- Router (RAL-UZ 160, seit 2011, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=227),
- Programmierbare Heizkörperthermostate, seit 2012, (RAL-UZ 168, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=236).

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. Hiervon wird der so genannte UV-Index (UVI) abgeleitet. Der UV-Index (abgekürzt UVI) beschreibt den am Boden auftretenden Tagesspitzenwert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und bezieht sich stets auf eine horizontale Fläche. Je höher der UVI an einem Tag ist, desto schneller kann bei ungeschützter Haut ein Sonnenbrand auftreten. Die Skala reicht von 1 bis 12+. Ein UV-Index von 12 bezeichnet dabei eine UV-Bestrahlungsstärke, wie sie am Äquator mittags bei wolkenlosem Himmel auftritt. Sowohl die täglichen als auch die 3-Tages-Prognosen der UVI-Werte werden vom BfS in den Sommermonaten im Internet unter www.bfs.de/de/uv/uv_messnetz/uvi veröffentlicht. Zusätzlich richtete das BfS 2012 den Newsletter „UV-Prognose fürs Wochenende“ für Tageszeitungen, Wetterredaktionen und Interessierte ein. Mit einer E-Mail an uv-prognose-subscribe@mailman.bfs.de kann man sich für den Newsletter „UV-Prognose“ anmelden und erhält dann von Mai bis September freitags um 11 Uhr die aktuelle UV-Prognose fürs Wochenende.

In Abbildung 2.1-1 sind für das Jahr 2012 die maximalen, mittleren und minimalen UV-Index-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden, die Mitte und den Süden der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt ist. Bereits im April wurde im Norden, in der Mitte und im Süden Deutschlands ein UV-Index-Wert von 7 erreicht. Im Norden wurde im Mai, Juni und Juli ein UVI von 8 erreicht. In der Mitte Deutschlands wurde in den Monaten Juni, Juli und August und im Süden Deutschlands im Juni und Juli sogar ein UVI von 9 erreicht. Eine durch den Abbau der atmosphärischen Ozonschicht bedingte Zunahme der UV-Strahlungsintensität kann auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

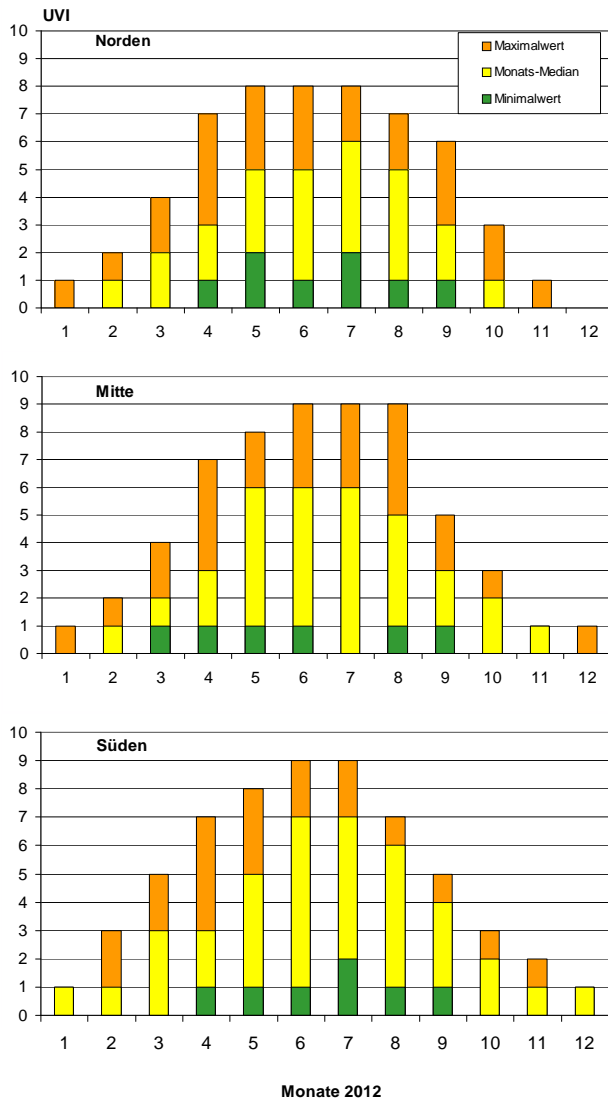


Abbildung 2.1-1 Maximale, mittlere und minimale UV-Werte der Monate im Jahr 2012
(Maximum, median and minimum UVI values per month in the year 2012)

2.2 Forschung (Research)

UV-Exposition zur Vitamin-D-Bildung

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.

Die 2011 abgeschlossenen Forschungsvorhaben ergaben zum einen, 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. Zum anderen zeigte sich, dass bereits niedrige UV-Dosen (bis 10 % der minimalen sonnenbrandwirksamen Dosis, MED) ausreichen, um die Vitamin-D-Bildung einzuleiten. Dabei herrscht eine deutliche Abhängigkeit der Vitamin-D-Bildungseffektivität der Haut von der Körperregion, auf die UV-Strahlung auftrifft, und der Körperverteilung der UV-Bestrahlung. Die Untersuchungen ergaben auch Hinweise, dass bei gleicher UV-Dosis mit UV-Bestrahlung in Solarien nur eine stark verminderte (um ca. 30 %) Vitamin-D-Bildungseffektivität gegenüber ei-

ner UV-Bestrahlung in der Sonne erreicht wird. Um der Frage nachzugehen, wie sich die Vitamin-D-Bildungsrate bei UV-Bestrahlungen in üblich genutzten Solarien verhält und inwieweit die Nutzung von Hautcremes mit einem Lichtschutzfaktor (LSF) von 15 Einfluss auf die körpereigene Vitamin-D-Bildung nimmt, wurde 2012 die Ausschreibung des folgenden Forschungsvorhabens vorbereitet:

Optimierung der Empfehlungen zu UV-Strahlung und Vitamin D Status durch wissenschaftlich Erfassung alltagsrelevanter Einflüsse auf die Realisierung eines optimalen Vitamin-D-Status bei minimierter solarer UV-Exposition

Beratung in Solarienbetrieben

Neben dem seit August 2009 geltenden Nutzungsverbot für Minderjährige ist unter anderem seit November 2012 das Angebot einer Beratung und Information für Nutzerinnen und Nutzer von Solarien durch gemäß UV-Schutz-Verordnung (siehe Rechtliche Regelung von Solarienbetrieben) geschultes Fachpersonal rechtlich vorgeschrieben. Der Nutzen dieses Beratungsgebotes ist zu evaluieren. Hierzu wurde 2012 folgendes Forschungsvorhaben vom BfS initiiert und betreut:

Evaluierung des messbaren Nutzens für die Solarienbesucher durch die UV-Schutzverordnung, insbesondere die Unterweisung durch qualifiziertes Personal in Solarien

2.3 Rechtliche Regelung von Solarienbetrieben (*Legal restrictions of solaria*)

Das BMUB und das BfS haben sich auch 2012 für die Umsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung der UV-Belastung für Nutzer von Solarien eingesetzt.

Auf Initiative des BMUB wurden in Zusammenarbeit mit dem BfS rechtliche Regelungen erarbeitet. Bereits 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.

Basierend auf den praktischen Erfahrungen des BfS bei der Kontrolle der Solarienbetriebe, die im Rahmen des nun nicht mehr existenten freiwilligen Zertifizierungsverfahrens für Solarien nach den Kriterien des BfS zertifiziert wurden, bot das BfS 2012 mit Unterstützung des BMUB zwei Informationsveranstaltungen für Vertreter von Landesbehörden an, die mit der Kontrolle von Solarien betreibenden Gewerben gemäß NiSG und UVSV betraut sind oder sein werden. Hierbei wurden zum einen die Anforderungen an Kontrollen, wie sie sich aus NiSG und UVSV ergeben, ausführlich erläutert. Darüber hinaus wurde zum besseren Verständnis der Regelungen die gesundheitlichen Wirkungen von UV-Strahlung und die sich daraus abgeleiteten Ausschlusskriterien und Schutzmaßnahmen erklärt. Ein weiteres Thema war die Vermessung von Solarien. Hier wurde darauf hingewiesen, dass verlässliche Aussagen über die sonnenbrandwirksame Bestrahlungsstärke in Solarien, die einen Wert von $0,3 \text{ W/m}^2$ nicht überschreiten darf, ausschließlich mittels genormter strahlenspektroskopischer Vermessungen erhalten werden können. Zum Schluss wurde den Behördenvertretern eine mögliche Checkliste unterbreitet. Bei Verwendung in allen Bundesländern wäre die Durchführung vergleichbarer Kontrollen gegeben. Dies wäre für eine konsequente Durchsetzung der Vorgaben gemäß NiSG und UVSV in Deutschland von Vorteil. Den Behördenvertretern wurde die fachliche Unterstützung des BMUB und des BfS bei Fragen zu Kontrollmaßnahmen angeboten. Dies wurde sehr begrüßt. Auf Grund steigender Nachfrage werden weitere Informationsveranstaltungen folgen.

Gemäß UV-Schutz-Verordnung ist seit November 2012 die Beratung von Nutzerinnen und Nutzern in Solarien durch qualifiziertes Fachpersonal gefordert.

Schulungen und Fortbildungen von Fachpersonal in Solarien dürfen ausschließlich Schulungsstätten durchführen, die hierfür eigens durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (www.dakks.de) akkreditiert werden. 2012 wurden zwei Schulungsstätten akkreditiert (http://www.bfs.de/de/uv/uv2/solarien/freiw_zertifizierung/Fortbildung_Solarien_Fachpersonal.html). Für die fachlichen Belange der Akkreditierungsverfahren nahm das BfS 2012 beratende Funktion ein.

2.4 Hautkrebspräventionsmaßnahmen (*Skin cancer prevention measurements*)

Primäre Hautkrebsprävention - UV-Aktion des BfS

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. Die Unterrichtsmaterialien können ebenso wie sämtliche Informationsmaterialien zum Thema „UV-Strahlung“ kostenlos in gewünschter Stückzahl über das BfS bezogen werden.

2012 wurde das Angebot kostenloser Unterrichtsmaterialien und die Unterstützung vor Ort mittels Einsatz des UV-Infomobils durch Lehrerfortbildungen des BfS im Rahmen der Lehrerfortbildungen der Länder erweitert. Die erste BfS-Lehrerfortbildung erfolgte 2012 in Sachsen-Anhalt und war Anstoß für weitere Maßnahmen zur Hautkrebsprävention an Schulen Sachsen-Anhalt im Jahr 2013. Es ist vorgesehen, Lehrerfortbildungen auch in anderen Bundesländern zu etablieren.

Primäre Hautkrebsprävention - Das UV-Bündnis

2011 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.

2012 führten die Bündnispartner ein Fachgespräch zum Thema „UV-Exposition und Vitamin D“ durch. Es zeigte sich, dass vertiefte Diskussionen unter Einbezug weiterer ernährungswissenschaftlicher, medizinischer und photobiologischer Fachdisziplinen erforderlich sind. Ein entsprechendes Fachgespräch wird 2013 stattfinden.

Sekundäre Hautkrebsprävention - Das Hautkrebsscreening

Eine sekundäre Hautkrebspräventionsmaßnahme stellt das 2009 in den Krebsfrüherkennungs-Richtlinien des Gemeinsamen Bundesausschusses festgelegte Hautkrebs-Screening (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) dar. Es handelt sich dabei um das weltweit größte, organisierte und standardisierte Hautkrebsscreening (HKS), das als gesetzliche Maßnahme 2008 eingeführt wurde. Auswertungen der Krebsregisterdaten lassen erkennen, dass seit Einführung des Hautkrebsscreenings ein deutlicher Anstieg der Hautkrebserkrankungsraten in Deutschland und gleichzeitig ein Rückgang der Hautkrebs induzierten Todesfälle verzeichnet werden kann. Somit stellt das Hautkrebsscreening eine wichtige Maßnahme dar, Hautkrebserkrankungen frühzeitig zu erkennen und damit die Heilungschancen zu erhöhen. Bei allen Krebsfrüherkennungs-Untersuchungen muss gewährleistet sein, dass die Entscheidung zur Teilnahme auf einer ausgewogenen Information des Anspruchsberechtigten über Risiken und Vorteile der Untersuchung beruht. Hierzu müssen moderne Kommunikations-Strategien konzipiert, verwendet und überprüft werden. Um dies international zu fördern, führte EUROSkin, einer der UV-Bündnispartner, Ende 2012 die Konferenz „Skin Cancer Screening - Implementation, burdens & benefits - (lessons from other cancer screenings)“ durch, die durch das BMUB finanziell unterstützt wurde. Die Ergebnisse der Konferenz, die zur Verbesserung von Screeningmethoden allgemein, aber auch zur Verbesserung der Kommunikationsmethoden zur Bekanntmachung und Motivation beitragen, sind auf den Internetseiten von EUROSkin unter (http://www.euroskin.eu/en/news/2013/04/2013_04_29_recommendations.php) veröffentlicht.

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 ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$). 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 zusammengekommen den Wert eins.

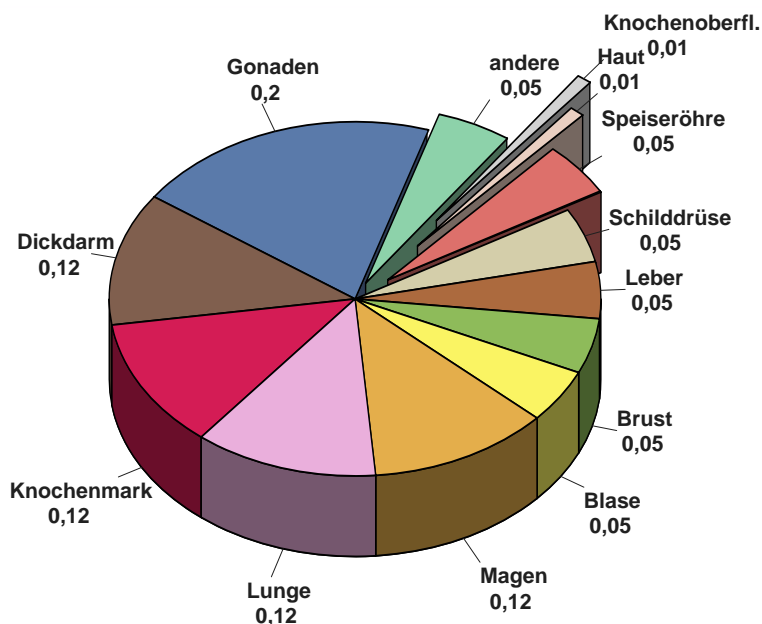


Abbildung 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anl. VI, Teil C)
(Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

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:

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

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 $H_p(10)$ in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$ in einer Messtiefe von 0,07 mm. Die Tiefen-Personendosis wird z. B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis ist z. B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

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

Bei der Dosisbestimmung ohne Vorhandensein einer Person wird die so genannte Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es zwei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ und die Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07,W)$. 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 Betastrahlung nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphastrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

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

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (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 vereinzelter 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.

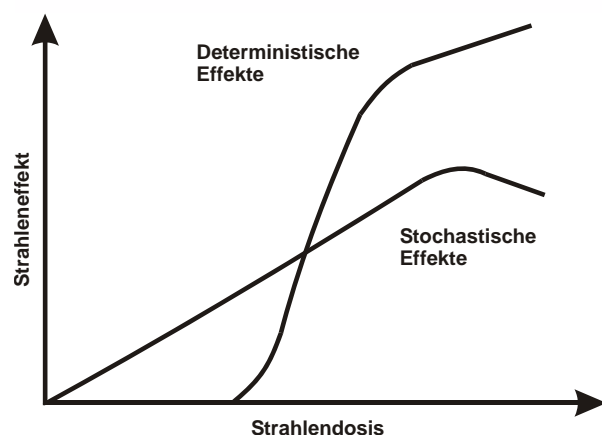


Abbildung 1.4-1
Schematische Darstellung der Dosis- Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte
(Chart of the dose-response-relationships in stochastic and deterministic effects)

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 Risikokoeffizienten 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 unzelluläre 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.

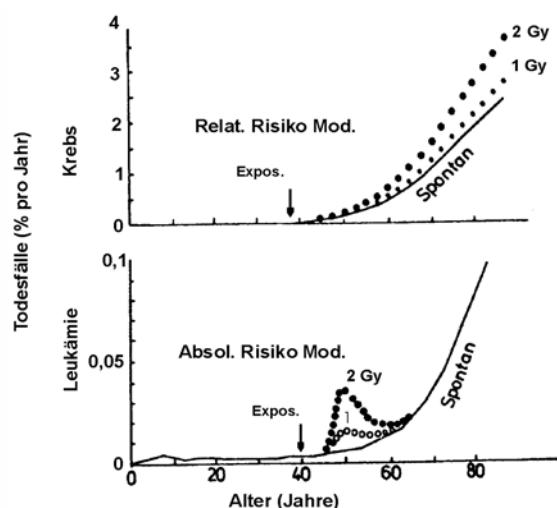


Abbildung 1.6-1
Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs und Leukämie
(Chart of the mortality due to cancer and leukaemia)

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/m^2 (Voltsekunde pro Quadratmeter); T (Tesla) $1 \text{ Vs/m}^2 = 1 \text{ T}$ gebräuchlich: $1 \mu\text{T}$ Veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ ¹⁾ für Luft und organische Materialien gilt: $B (\mu\text{T}) = 1,256 \cdot H (\text{A/m})$ $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T} = 100 \mu\text{T}$
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 $376,7 \Omega (\text{Ohm}) = 376,7 \text{ V/A}$
Magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
Leistungsflussdichte	S	W/m^2 (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. $1 \mu\text{Sv}$ = 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. $1 \text{ Becquerel (Bq)} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Curie}$
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)
Elektrostatisches Feld	Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
Elektrische Spannung	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V)
Elektrischer Strom	Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A)
Elektrosensibilität	Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden
Elektrosensitivität	Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z. B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung
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
Gammaexposition	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 horizontalen 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 $H_p(10)$ in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$ 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 BMUB zur Gewinnung von Entscheidungshilfen und sachgerechter Erfüllung von Fachaufgaben
UVI, UV-Index	Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung Der UV-Index beschreibt den am Boden erwarteten bzw. gemessenen Wert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und dient der Information der Bevölkerung über die Gefahren der solaren UV-Strahlung
UV-Strahlung	Optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm - 400 nm
Vorfluter	Natürliches oder künstliches Gewässer (Wasserlauf), der Wasser und Abwasser aufnimmt und weiterleitet
Wirbelstrom	Durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom

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>)
BGBI	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 Education and Research</i>)
BMG	Bundesministerium für Gesundheit (<i>Federal Ministry of Health</i>)
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (<i>Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety</i>)
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (<i>Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure</i>)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (<i>Federal Ministry for Economic Affairs and Energy</i>)
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (<i>Security authorities and organisations</i>)
BNetzA	Bundesnetzagentur (<i>Federal Network Agency</i>)
Bq	Becquerel (<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>)
/d xp	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>)
EAS	elektronische Artikel-Sicherung (<i>electronic article surveillance</i>)
EMF	Elektromagnetische Felder (<i>Electromagnetic fields</i>)
EU	Europäische Union (<i>European Union</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 Nutrion 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>)
NGO	Nichtregierungsorganisation Non-governmental organisation
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>)
RFID	Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen Radio Frequency Identification
S	Leistungsflussdichte (<i>Power flux density</i>)
SAR	Spezifische Absorptionsrate (<i>Specific absorption rate</i>)
SNR	Schneller natriumgekühlter Reaktor (<i>Sodium-cooled reactor</i>)
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie (<i>Single Photon Emission Computed Tomography</i>)
SSK	Strahlenschutzkommission (<i>German Commission on Radiological Protection</i>)
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung (<i>Radiation Protection Ordinance</i>)
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz (<i>Precautionary Radiation Protection Act</i>)
SWR	Siedewasserreaktor (<i>Boiling Water Reactor</i>)

Sv	Sievert (<i>Sievert</i>)
T	Tesla (<i>Tesla</i>)
TETRA-BOS	Terrestrial Trunked Radio - Digitaler BOS-Funk
TBL	Transportbehälterlager (<i>Transport Container Repository</i>)
TM	Trockenmasse (<i>Dry weight</i>)
UBA	Umweltbundesamt (<i>Federal Environment Agency</i>)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (<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 Artikel 5 des Gesetzes vom 28. August 2013 (BGBl. I S. 3313)
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 Landesgesetzen bzw. Staatsvertrag.
9. Gesetz zur Neugestaltung des Umweltinformationsgesetzes und zur Änderung der Rechtsgrundlagen zum Emissionshandel (**UIG**) vom 22. Dezember 2004 (BGBl. I 2004, Nr. 73, S. 3704)
10. Gefahrgutbeförderungsgesetz (**GGBefG**) vom 7. Juli 2009 (BGBl. I S. 1774, 3975)
11. Fortgeltendes Recht der Deutschen Demokratischen Republik auf Grund von Artikel 9 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage II Kapitel XII Abschnitt III Nr. 2 und 3 des Einigungsvertrages (**EinigVtr**) vom 31. August 1990 (BGBl. II S. 885) in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag (**EinigVtrG**) vom 23. September 1990 (BGBl. II, S. 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind:
 - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (**VOAS**) vom 11. Oktober 1984 und Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBI DDR I 1984 Nr. 30, berichtigt GBI DDR I 1987 Nr. 18)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien (**HaldAO**) vom 17. November 1980 (GBI DDR 1980 Nr. 34, S. 347)
12. Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (**NiSG**) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2433), 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 - **LMBestV**) 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)
28. Durchführungsverordnung (EU) Nr. 284/2012 der Kommission vom 29. März 2012 mit Sondervorschriften für die Einfuhr von Lebens- und Futtermitteln, deren Ursprung oder Herkunft Japan ist, nach dem Unfall im Kernkraftwerk Fukushima und zur Aufhebung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 961/2011

Allgemeine Verwaltungsvorschriften

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

Richtlinien

33. Richtlinien für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis nach StrlSchV - Teil 1: äußere Strahlenexposition (GMBI. 2004, Nr. 22, S. 410); Teil 2: Innere Strahlenexposition (Entwurf vom 12. Januar 2007)
34. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor. Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge vom 10. Juli 1978 (GMBI. 1978, S. 418)
35. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen: Teil 2: Die Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung - IWRS II vom 17. Januar 2005 (GMBI. 2005, Nr. 13, S. 258)
36. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom 15. Februar 1992 (GMBI. 1992, S. 150)
37. Richtlinie zur Dichtheitsprüfungen von umschlossenen Strahlenquellen vom 04. April 2004 (GMBI. 2004, S. 410)
38. Richtlinie nach StrlSchV: „Strahlenschutz in der Medizin“ vom 24. Juni 2002 (GMBI. 2003, S. 227)

39. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 07. Dezember 2005 (GMBI. 2006, S. 254), zuletzt geändert am 23. März 2006 (GMBI 14-17, S. 253)
40. 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)
41. 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)
42. 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)
43. 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)
44. 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)
45. 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)
46. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Strahlenschutz in der Tierheilkunde“ vom 2. Februar 2005 (GMBI. 2005, S. 666)
47. 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)
48. Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV); Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 66 Abs. 2 StrlSchV vom 11. Juni 2002 (GMBI. 2002, Nr. 30, S. 620)
49. 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)
50. 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)
51. 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
52. 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.
53. Richtlinie zur Begrenzung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen bei Arbeiten vom 15. Dezember 2003 (GMBI. 2004, Nr. 22, S. 418)
54. Richtlinie „Ärztliche und zahnärztliche Stellen (Qualitätsmaßnahmen bei medizinischen Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung am Menschen)“ vom 1. März 2004
55. Richtlinie zur Durchführung der StrlSchV und der RöV über „Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung“ vom 10. Dezember 2001; (GMBI. 2002, S. 136)
56. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) vom 11. August 1997

Empfehlungen, Erläuterungen

57. 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)
58. 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)
59. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken vom 10. Mai 1978 (GMBI. 1978, S. 313) und vom 5. Februar 1996 (GMBI. 1996, S. 247)
60. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBI. 1980, S. 577)
61. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 163)
62. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition vom 10. August 1981 (GMBI. 1981, S. 322)

63. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
64. Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung: Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (GMBI. 1982, S. 61)
65. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 21. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
66. Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes vom 21. März 1983 (GMBI. 1983, S. 176)
67. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 71)
68. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzen von Radionukliden vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 94)
69. 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)

70. 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)
71. KTA-Regel 1504 (Fassung 6/1994): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (BANz Nr. 238a v. 20. Dezember 1994, berichtigt im BANz 216a v. 19. November 1996)
72. KTA-Regel 1507 (Fassung 6/98): Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren (BANz Nr. 172a vom 15. September 1998)
73. 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

74. Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. 1993, L 148 S. 1)
75. Verordnung (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)
76. Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte, zuletzt geändert durch die Richtlinie 93/68/EWG vom 22. Juli 1993 (L 220 vom 30. August 1993)
77. Richtlinie 2003/4/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2003 über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen und zur Aufhebung der Richtlinie 90/313/EWG des Rates . (ABl. 2003 L 41 S. 26)
78. Richtlinie 2003/122/EURATOM zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener Strahlenquellen und herrenloser Strahlenquellen vom 22. Dezember 2003 (ABl.2003, L 346 S 57)
79. 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)
80. 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)
81. 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^-

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
9	Fluor	F-18	1,83 h	β^+
11	Natrium	Na-22	2,6 a	β^+, γ
14	Silizium	Si-32	172 a	β^-
15	Phosphor	P-32	14,3 d	β^-
16	Schwefel	S-35	87,5 d	β^-
18	Argon	Ar-41	1,83 h	β^-, γ
19	Kalium	K-40	$1,28 \times 10^9$ a	$\beta^-, \epsilon, \beta^+, \gamma$
20	Calcium	Ca-45	163 d	β^-, γ
24	Chrom	Cr-51	27,7 d	ϵ, γ
25	Mangan	Mn-54	312,2 d	ϵ, γ
26	Eisen	Fe-59	44,5 d	β^-, γ
27	Kobalt	Co-57	272 d	ϵ, γ
		Co-58	70,9 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
		Co-60	5,27 a	β^-, γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	244 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
34	Selen	Se-75	120 d	ϵ, γ
36	Krypton	Kr-85	10,8 a	β^-, γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^-, γ
		Kr-87	76,3 m	β^-, γ
		Kr-88	2,84 h	β^-, γ
		Kr-89	3,18 m	β^-, γ
37	Rubidium	Rb-87	$4,8 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^-, γ
		Sr-90	28,6 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64,1 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	β^-, γ
41	Niob	Nb-95	35 d	β^-, γ
42	Molybdän	Mo-99	66,0 h	β^-, γ
43	Technetium	Tc-99	$2,1 \times 10^5$ a	β^-
		Tc-99m	6,0 h	$I\gamma$
44	Ruthenium	Ru-103	39,4 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-
46	Palladium	Pd-103	16,96 d	ϵ
47	Silber	Ag-108m	418 a	ϵ, γ
		Ag-110m	250 d	$\beta^-, \gamma, I\gamma$
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ϵ
49	Indium	In-111	2,81 d	ϵ, γ
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ
		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

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
54	Xenon	Xe-131m	11,9 d	I γ
		Xe-133	5,25 d	β^- , γ
		Xe-133m	2,19 d	I γ
54	Xenon	Xe-135	9,1 h	β^- , γ
		Xe-135m	15,3 m	I γ , 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
86	Radon	Rn-219	3,96 s	α , γ
		Rn-220	55,6 s	α
		Rn-222	3,83 d	α
88	Radium	Ra-224	3,66 d	α , γ
		Ra-226	1600 a	α , γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
90	Thorium**	Th-228	1,91 a	α , γ
		Th-230	7,54 x 10 ⁴ a	α
		Th-232	1,41 x 10 ¹⁰ a	α
		Th-234	24,1 d	β^- , γ
91	Protactinium	Pa-234	6,7 h	β^- , γ
92	Uran***	U-233	1,59 x 10 ⁵ a	α
		U-234	2,46 x 10 ⁵ a	α
		U-235	7,04 x 10 ⁸ a	α , γ
		U-238	4,47 x 10 ⁹ a	α
93	Neptunium	Np-239	2,36 d	β^- , γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α
		Pu-239 *)	2,41 x 10 ⁴ a	α
		Pu-240 *)	6563 a	α
		Pu-241	14,4 a	β^- , α

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
95	Americium	Am-241	432 a	α, γ
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
- ** Bei natürlichem Thorium (Thnat) handelt es sich fast nur um das Isotop Th-232, das die längste Halbwertszeit besitzt. Th-228, 227Th, Th-230, Th-231 und Th-234 kommen nur in Spuren vor
- *** In natürlichem Uran (Natururan, Unat) finden sich die Isotope -238 zu 99,27 %, U-235 zu 0,72 %, U-234 zu 0,0055 % und U-236 in Spuren

μ s = 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