

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2004

Impressum

- Herausgeber:** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Postfach 12 06 29
53048 Bonn
- Redaktion:** Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit
Stabsstelle
85762 Oberschleißheim
- Inhaltliche Bearbeitung:** Claudia Bernhard, BfS
Irene Bergler, BfS
Angela Trugenberger-Schnabel, BfS
Dr. Josef Peter, BfS
- Bildrechte Titelseite:** © Getty Images (M. Dunning), Enercon / Block Design, Visum (K. Sawabe), Zefa, Getty Images (C. Coleman)
- Stand:** Dezember 2005

Vorwort

Der vorliegende Bericht enthält neben den Ergebnissen der Umweltradioaktivitätsüberwachung die wichtigsten aktuellen Daten für das Jahr 2004 über die Entwicklung der Umweltradioaktivität sowie der natürlichen und zivilisatorischen Strahlenexposition in Deutschland. Neben Informationen über die nichtionisierende Strahlung (NIR) enthält der Bericht auch erstmals die Expositionsdaten des Flugpersonals.

Der Bericht zeigt, dass die berechnete Gesamtexposition der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung im Jahr 2004 mit ca. 4,0 mSv gegenüber dem Vorjahr unverändert ist.

Der Bericht weist folgende Schwerpunkte auf:

Natürliche Strahlenexposition

Etwa die Hälfte der gesamten Strahlenbelastung der Bundesbürger stammt aus natürlichen Quellen, wie der kosmischen Strahlung (0,3 mSv), der natürlichen Strahlung aus Boden und Gestein (0,4 mSv) und der Aufnahme natürlich vorkommender radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (0,3 mSv). Die Strahlenbelastung durch Inhalation von Radon mit 1,1 mSv übertrifft dabei alle anderen Beiträge, in einigen eng begrenzten Gebieten Deutschlands mit einigen 10 mSv sogar sehr deutlich. Nach Schätzungen der Strahlenschutzkommission könnten 4 - 12% der Lungenkrebsfälle in der Bundesrepublik auf die Inhalation von Radonzerfallsprodukten zurückgeführt werden. Im Rahmen einer groß angelegten Messkampagne werden deshalb die Radongebiete in der Bundesrepublik von den Ländern mit Unterstützung durch BMU/BfS ermittelt.

Zivilisatorische Strahlenexposition

Die durchschnittliche zivilisatorische Strahlenexposition lag 2004 geringfügig über 1,9 mSv. Sie stammt von der Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Medizin, Technik und Wissenschaft. Den größten Beitrag liefert die medizinische Strahlenexposition, die im Mittel bei etwa 1,9 mSv pro Jahr liegt. Dies ist ein Wert, der im Vergleich zu den anderen europäischen Staaten sehr hoch ist. Auffällig ist die stetige Zunahme der CT-Untersuchungen.

Die Zahl der **beruflich strahlenexponierten Personen** betrug im Jahr 2004 ca. 313 000, davon 84% ohne messbare Dosis. Die mittlere Jahresdosis mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten beläuft sich auf 0,8 mSv (2003: 0,9 mSv). Seit 1998 ist im Übrigen ein kontinuierlicher Rückgang der Zahl der Personen mit Expositionen über 20 mSv pro Jahr zu verzeichnen.

Die Expositionsdaten für das Flugpersonal wurden 2004 erstmals erfasst; es wurde dabei keine Überschreitung des Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr festgestellt. Die ermittelte Jahresdosis für diesen Personenkreis betrug im Jahr 2004 rd. 1,9 mSv und lag damit unter der Schätzung von 3 mSv.

Strahlenexposition durch den Unfall in Tschernobyl und Kernwaffenversuche

Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,01 mSv im Jahr 2004 zurück. Nur bei Lebensmitteln aus Waldgebieten wie Pilzen und Wildfleisch sind noch erhöhte Werte der Radioaktivität in einzelnen Regionen festzustellen.

Der Beitrag der Strahlenexposition durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten **Kernwaffenversuche** zur effektiven Dosis geht weiter zurück. Im Jahr 2004 wurden keine Kernwaffenversuche durchgeführt.

Strahlenexposition durch Atomkraftwerke

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2004 deutlich unter ein Prozent der zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Jahresemissionen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten deutlich unterhalb der genehmigten Werte.

Nichtionisierende Strahlung

Um der öffentlichen Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien wie z. B. UMTS gerecht zu werden, enthält der Bericht auch Informationen über die nichtionisierenden Strahlung (NIR). Zu diesem Bereich zählen **niederfrequente elektrische und magnetische bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder** sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette (**UV**-)Strahlung gehört.

Basierend auf wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Konsequenzen werden im internationalen Konsens **Grenzwertempfehlungen** ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für **feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen** sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder; 26. BImSchV) festgeschrieben. Die Einhaltung der Grenzwerte für feststehende Hochfrequenzanlagen wird durch die Bundes-Netz-Agentur (BNetzA) überprüft. **Laut Aussage der BNetzA wurden diese Grenzwerte nicht überschritten.** Im Rahmen des „Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF)“ wird darüber hinaus die Wirkung des Mobilfunks auf den Menschen umfassend untersucht. Das Programm läuft von 2002 bis voraussichtlich 2006 und wird jeweils mit 8,5 Mio. _ vom BMU und den Betreibern finanziert. Bisher wurden 49 Forschungsprojekte auf den Gebieten Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation gefördert.

Die **UV-Belastung** der Bevölkerung ist aufgrund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und des zunehmend in Mode kommenden „Wellness“-Bereiches mit Solariennutzung gestiegen. Dies hat zu einer besorgniserregenden Zunahme von Hautkrebs geführt. Ein in Deutschland praktiziertes UV-Monitoring des BfS und des UBA erfasst kontinuierlich die tägliche UV-Strahlung im Freien. Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte des UV-Index von 7 - 9 in den Monaten Juni und Juli auf. Eine statistische Auswertung der vorliegenden Messdaten lässt auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung schließen; ein durch Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen nicht sicher nachgewiesen werden.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	13
Summary	18
Résumé	23

ABSCHNITT A

IONISIERENDE STRAHLUNG

(IONISING RADIATION)

TEIL I	UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
	<i>(Environmental radioactivity)</i>	
	Historische und gesetzliche Grundlagen der Überwachung	30
	<i>(Historical and legal basis of surveillance)</i>	
1.	Natürliche Umweltradioaktivität	32
	<i>(Natural environmental radioactivity)</i>	
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität	35
	<i>(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)</i>	
2.1	Radon in Gebäuden	35
	<i>(Radon in buildings)</i>	
2.2	Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten	37
	<i>(Radioactive substances in building materials and industrial products)</i>	
3.	Künstliche Umweltradioaktivität	39
	<i>(Artificial radioactivity in the environment)</i>	
3.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung	39
	<i>(Air and precipitation, ambient gamma dose rate)</i>	
3.1.1	Radionuklide in der bodennahen Luft	39
	<i>(Radionuclides in ground-level air)</i>	
3.1.2	Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition)	50
	<i>(Total wet deposition of radionuclides)</i>	
3.1.3	Gamma-Ortsdosisleistung	52
	<i>(Ambient gamma dose rate)</i>	
3.2	Boden, Pflanzen und Futtermittel	53
	<i>(Soil, plants, and animal feedstuffs)</i>	
3.3	Gewässer	60
	<i>(Bodies of water)</i>	
3.3.1	Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer	60
	<i>(Surface water, suspended matter, and sediment in inland waters)</i>	
3.3.2	Meerwasser, Schwebstoff, Sediment	74
	<i>(Seawater, suspended matter, and sediment)</i>	
3.4	Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser)	90
	<i>(Foodstuffs and drinking water - including groundwater)</i>	
3.4.1	Grundwasser und Trinkwasser	90
	<i>(Groundwater and drinking water)</i>	
3.4.2	Milch und Milchprodukte	92
	<i>(Milk and milk products)</i>	
3.4.3	Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer	95
	<i>(Fish and seafood, fish from inland waters)</i>	
3.4.4	Einzel Lebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung	103
	<i>(Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods)</i>	

3.4.5	Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe 116 <i>(Tobacco products, consumer goods, medical preparations and their constituent materials)</i>	116
3.5	Abwasser und Klärschlamm 118 <i>(Waste water and sludge)</i>	118
3.6	Reststoffe und Abfälle 126 <i>(Residues and wastes)</i>	126
3.7	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 128 <i>(Monitoring of incorporation among the population)</i>	128
3.8	Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl 133 <i>(Radiation exposure from the Chernobyl accident)</i>	133
3.9	Kernwaffenversuche 134 <i>(Nuclear weapons tests)</i>	134
TEIL II RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERntechnischen ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN <i>(Radioactive substances from nuclear and uranium mining facilities)</i>		
1.	Radioaktive Stoffe aus kerntechnischen Anlagen 138 <i>(Radioactive substances from nuclear facilities)</i>	138
1.1	Allgemeine Angaben über kerntechnische Anlagen 138 <i>(General data on nuclear facilities)</i>	138
1.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft kerntechnischer Anlagen 143 <i>(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear facilities)</i>	143
1.3	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen 150 <i>(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear facilities)</i>	150
1.4	Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen 152 <i>(Radiation exposures from nuclear facilities)</i>	152
1.5	Überwachung der Umweltmedien in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 157 <i>(Monitoring of environmental media from the surroundings of nuclear facilities)</i>	157
1.5.1	Luft und Niederschlag 157 <i>(Air and precipitation)</i>	157
1.5.2	Boden, Bewuchs und Milch 161 <i>(Soil, vegetation and milk)</i>	161
1.5.3	Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer 172 <i>(Surface water and sediment from inland waters)</i>	172
1.5.4	Fische und Wasserpflanzen 179 <i>(Fish and aquatic plants)</i>	179
1.5.5	Grundwasser und Trinkwasser 181 <i>(Groundwater and drinking water)</i>	181
1.5.6	Pflanzliche Nahrungsmittel 183 <i>(Foodstuffs of vegetable origin)</i>	183
2.	Radioaktive Stoffe aus Uranbergbauanlagen 193 <i>(Radioactive substances from uranium mining facilities)</i>	193
2.1	Allgemeine Angaben über die Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH und die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe 193 <i>(General data on the remediation facilities of the Wismut GmbH and the monitoring of discharges of radioactive substances)</i>	193
2.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern / Abluft und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen) 194 <i>(Discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water as a result of the activities of the Wismut GmbH - Emissions)</i>	194

2.3	Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe (Immissionen)	195
	<i>(Monitoring of the concentrations of radioactive substances in environmental media from areas in the vicinity of remediation facilities - Immissions)</i>	
2.3.1	Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft	195
	<i>(Radon-222 concentrations in air close to ground level)</i>	
2.3.2	Überwachung der Urankonzentrationen und Radium-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern	197
	<i>(Monitoring of uranium and radium-226 activity concentrations in surface waters)</i>	
TEIL III	BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION <i>(Occupational radiation exposures)</i>	
1.	Personendosismessungen	200
	<i>(Personal dose measurements)</i>	
1.1	Vorbemerkungen	200
	<i>(Preliminary remarks)</i>	
1.2	Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen	200
	<i>(Overview of data for all occupationally exposed persons)</i>	
1.3	Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen	204
	<i>(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)</i>	
1.4	Berufliche Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen	205
	<i>(Occupational radiation exposures from natural radiation sources)</i>	
1.5	Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung	206
	<i>(Air crew radiation exposure due to cosmic radiation)</i>	
2.	Inkorporationsüberwachung	208
	<i>(Incorporation monitoring)</i>	
3.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse	210
	<i>(Unusual events subject to reporting)</i>	
TEIL IV	STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN <i>(Radiation exposures from medical applications)</i>	
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen	218
	<i>(Diagnostic applications of radiation)</i>	
1.1	Röntgendiagnostik	218
	<i>(X-ray diagnostics)</i>	
1.2	Nuklearmedizinische Diagnostik	223
	<i>(Nuclear medicine diagnostics)</i>	
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen	224
	<i>(Evaluation in terms of radiation hygiene of radiation exposure due to medical methods)</i>	
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren	225
	<i>(Alternative examination procedures)</i>	
1.5	Qualitätssicherung	227
	<i>(Quality assurance)</i>	
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen	228
	<i>(Therapeutic applications of radiation)</i>	
2.1	Strahlentherapie	228
	<i>(Radiotherapy)</i>	
2.2	Nuklearmedizinische Therapie	229
	<i>(Therapeutic nuclear medicine applications)</i>	

3.	Herzschrittmacher 229 <i>(Pacemakers)</i>	229
4.	Medizinische Forschung 230 <i>(Medical Research)</i>	230
4.1	Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung gemäß § 23 StrlSchV an gesunden Probandinnen und Probanden in der medizinischen Forschung 231 <i>(Application of radioactive substances or ionising radiation on healthy subjects in medical research)</i>	231
4.2	Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung gemäß § 23 StrlSchV an Patientinnen und Patienten in der medizinischen Forschung 231 <i>(Application of radioactive substances or ionising radiation on patients in medical research)</i>	231
4.3	Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung 232 <i>(Application of x-rays on humans in medical research)</i>	232
TEIL 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 234 <i>(Border-crossing transport of radioactive material)</i>	234
1.1	Einleitung 234 <i>(Introduction)</i>	234
1.2	Rechtsgrundlagen und Verfahren 234 <i>(Legal basis and procedures)</i>	234
1.3	Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe 236 <i>(Overview of statistics on the import and export of radioactive materials)</i>	236
1.4	Einfuhrstatistik 238 <i>(Import statistics)</i>	238
1.5	Ausfuhr 241 <i>(Export statistics)</i>	241
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe 244 <i>(Transportation of radioactive materials)</i>	244
2.1	Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe 245 <i>(Overview of transport licences and the transportation of radioactive material)</i>	245
2.2	Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen 246 <i>(Transportation of radioactive material in the rail- and shipping traffic of the railways)</i>	246
3.	Umgang mit offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen 248 <i>(The handling of sealed and unsealed radioactive sources)</i>	248
3.1	Allgemeine Angaben 248 <i>(General data)</i>	248
3.2	Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen 256 <i>(Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)</i>	256

ABSCHNITT B

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG *(NON-IONISING RADIATION)*

	Einleitung 260 <i>(introduction)</i>	260
1.	Optische Strahlung 260 <i>(Optical radiation)</i>	260

1.1	Monitoring <i>(Monitoring)</i>	260
1.2	Forschung optische Strahlung <i>(Research optical radiation)</i>	262
1.3	Zertifizierung von Solarienbetrieben <i>(Certification of solaria)</i>	262
2.	Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder <i>(Electric, magnetic and electromagnetic fields)</i>	263
2.1	Niederfrequente elektrische und magnetische Felder <i>(Low-frequency electric and magnetic fields)</i>	263
2.2	Hochfrequente elektromagnetische Felder <i>(High-frequency electromagnetic fields)</i>	263

ANHANG (ANNEX)

1.	Erläuterung zu den verwendeten Begriffen <i>(Explanation of terms used)</i>	268
1.1	Strahlendosis und ihre Einheiten <i>(Radiation dose and related units)</i>	268
1.2	Die Messung der Strahlendosen <i>(Measurement of radiation doses)</i>	270
1.3	Äußere und innere Bestrahlung <i>(External and internal radiation exposure)</i>	270
1.4	Stochastische und deterministische Strahlenwirkung <i>(Stochastic and deterministic radiation effects)</i>	272
1.5	Induktion bösartiger Neubildungen <i>(Induction of malignant neoplasms)</i>	272
1.6	Risikoabschätzung <i>(Risk assessment)</i>	274
1.7	Strahlenschutzmaßnahmen <i>(Radiation protection measures)</i>	275
2.	Physikalische Einheiten <i>(Physical units)</i>	276
3.	Glossar <i>(Glossary)</i>	279
4.	Liste der verwendeten Abkürzungen <i>(List of abbreviations)</i>	285
5.	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Auswahl <i>(Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory texts and other regulations concerning radiation protection - selection)</i>	289
6.	Nuklidliste der im Text erwähnten Radionuklide <i>(List of radionuclides referred to in the text)</i>	293

ZUSAMMENFASSUNG

A IONISIERENDE STRAHLUNG

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. Im Folgenden werden Aussagen gemacht über die Strahlenexposition durch

- natürliche Strahlenquellen und zivilisatorisch veränderte natürliche Radioaktivität,
- medizinische Anwendung,
- kerntechnische Anlagen,
- Umgang mit radioaktiven Stoffen,
- berufliche Tätigkeit,
- Kernwaffenversuche,
- Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse,
- die Folgen des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2004 ist in der folgenden Tabelle nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Dosis ist im Vergleich zu den Vorjahren bis auf den Wert für nuklearmedizinischen Untersuchungen unverändert.

MITTLERE EFFEKTIVE DOSIS DER BEVÖLKERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND IM JAHR 2004

		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 bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag) bei Aufenthalt in Häusern (19 Std./Tag)	ca. 0,4	ca. 0,1 ca. 0,3
1.3	durch Inhalation von Radonfolgeprodukten	ca. 1,1	
1.4	durch Ingestion von natürlich radioaktiven Stoffen	ca. 0,3	
Summe der natürlichen Strahlenexposition		ca. 2,1	
2. Zivilisatorische Strahlenexposition			
2.1	durch kerntechnische Anlagen	< 0,01	
2.2	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin	ca. 1,9	ca. 0,1
2.3	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt	< 0,01	
	2.3.1 Industrieerzeugnisse		< 0,01
	2.3.2 technische Strahlenquellen		< 0,01
	2.3.3 Störstrahler		< 0,01
2.4	durch Fallout von Kernwaffenversuchen	< 0,01	
	2.4.1 von außen im Freien		< 0,01
	2.4.2 durch inkorporierte radioaktive Stoffe		< 0,01
2.5	Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl	< 0,015	
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition		ca. 1,9	

Natürliche Strahlenquellen und zivilisatorisch veränderte natürliche Radioaktivität

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus einer externen und einer internen Komponente, verursacht durch natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt, zusammen. Zur externen Strahlenexposition tragen im Wesentlichen die Höhenstrahlung und die Bodenstrahlung des natürlichen Radionuklids Kalium-40 sowie die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen des Uran-238 und des Thorium-232 bei. Die interne Komponente der

Strahlenexposition wird zum Großteil durch die Inhalation des natürlichen Edelgases Radon und dessen Zerfallsprodukte verursacht, zum Teil auch durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit dem Trinkwasser und der Nahrung. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 1 bis 6 Millisievert. Unter Verwendung der in den EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren ergibt sich ein nomineller Wert von 2,1 Millisievert pro Jahr, wofür insbesondere die Inhalation von Radon in Gebäuden maßgebend ist. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

In den letzten Jahren durchgeführte Messungen haben die beträchtlichen regionalen Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition aufgezeigt, die durch erhebliche Unterschiede in der Konzentration natürlich 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 aus diesen Radionukliden entstehenden radioaktiven Zerfallsprodukte. In den letzten Jahren wurden nationale und internationale epidemiologische Studien durchgeführt, um das gesundheitliche Risiko der Bevölkerung durch erhöhte Radon-Zerfallsprodukt-Expositionen weiter eingrenzen und abschätzen zu können. Bereits bei Konzentrationen über 100 Bq/m³ zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10% pro 100 Bq/m³.

Eine bergbaubedingte 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, dass in Bergbaugebieten des Uran- und Kupferschieferbergbaus überdurchschnittlich hohe Radonkonzentrationen auftreten, die aber auch in geologisch vergleichbaren Gebieten beobachtet werden und hier deshalb offensichtlich z. T. natürlichen Ursprungs sind. Die Ableitung von Uran, Radium und deren Zerfallsprodukten aus bergbaulichen Anlagen in die Vorfluter der Bergbaugebiete ergibt keine oder nur geringfügige Veränderungen des natürlichen Niveaus dieser Radionuklide.

Zivilisatorische Strahlenquellen

Medizinische Anwendung

Der größte Beitrag zur mittleren effektiven Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung wird durch die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung verursacht. Der Beitrag durch die medizinische Strahlenexposition lag im Jahr 2002 bei etwa 1,9 Millisievert pro Einwohner. Die nuklearmedizinische Diagnostik trug etwa 0,1 Millisievert zu dieser Strahlenexposition bei. Der Beitrag der Röntgendiagnostik zur effektiven Dosis durch zivilisatorische Strahlenquellen ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen.

Erhebungen durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) über die Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik, die den weitaus größten Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition liefert, ergaben eine erhebliche Streubreite der Dosiswerte für einzelne Untersuchungen um mehr als zwei Größenordnungen, die durch individuelle Gegebenheiten bei jedem einzelnen Patienten und durch unterschiedliche technische Standards der Röntgengeräte bedingt sind. Trotz breiter Anwendung alternativer Untersuchungsverfahren (Ultraschall, Endoskopie, Magnetresonanztomographie), weist die aktuelle Erhebung auf einen weitgehend konstanten Verlauf der Untersuchungsfrequenzen über die Jahre 1996 bis 2002 hin. Entsprechende Erhebungen zur Aktualisierung der Daten zur Häufigkeit und Dosis werden beim Bundesamt für Strahlenschutz mit Unterstützung der Kostenträger im Gesundheitswesen seit 1991 kontinuierlich durchgeführt.

In der Nuklearmedizin stellen Schilddrüsen- und Skelettszintigrafie die häufigsten Untersuchungen dar. Zunehmende Bedeutung gewinnt der Einsatz radioaktiv markierter monoklonaler Antikörper im Rahmen der Diagnostik von Entzündungsprozessen und Tumoren sowie in der Therapie von Tumoren. Auch die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) als nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren gewinnt immer mehr an Bedeutung. Nach Einschätzung der PET-Betreiber wird die Anzahl der PET-Untersuchungen in den nächsten Jahren deutlich zunehmen. Dies muss aber nicht zwangsläufig zu einem Anstieg der kollektiven Dosis führen, da die mittlere Dosis pro Untersuchung durch vermehrten Einsatz der 3-D-Akquisitionstechnik reduziert werden kann.

In der Strahlentherapie lässt sich durch den Einsatz neuartiger Bestrahlungstechniken sowie durch verbesserte Möglichkeiten der Bestrahlungsplanung erreichen, dass die Verabreichung der erforderlichen therapeutischen Dosis an den zu behandelnden Körperbereichen (Herddosis) bei gleichzeitiger Begrenzung der Strahlenexposition der übrigen Körperbereiche optimiert wird. Vermehrte Anstrengungen sind in der Tumornachsorge notwendig.

Mit Inkrafttreten der novellierten Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) im Jahr 2001 und der Novelle zur Röntgenverordnung (RöV) im Jahr 2002 wurde der Strahlenschutz von Patienten in wesentlichen Punkten weiter verbessert. Analog zur Strahlenschutzverordnung ist die Entscheidung darüber, ob und ggf. wie Röntgenstrahlung

am Menschen angewendet wird, jetzt mit der Verpflichtung der rechtfertigenden Indikation in der RÖV deutlicher als zuvor festgelegt. Weiterhin wurden die Anforderungen an Fachkunde und Kenntnisse der Personen, die Röntgenstrahlung oder radioaktive Stoffe anwenden bzw. damit Untersuchungen durchführen, erhöht. Als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen Diagnostik sind jetzt auch in der Röntgendiagnostik diagnostische Referenzwerte zu beachten. Die Überwachung der diagnostischen Referenzwerte erfolgt durch die Ärztlichen Stellen, die Erstellung und Aktualisierung durch das BfS. Als weitere neue Aufgabe des BfS ist die Erteilung von Genehmigungen zur Anwendung von Röntgenstrahlung in der medizinischen Forschung zu nennen.

Kerntechnik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Atomkraftwerken, sonstigen kerntechnischen Anlagen und aus dem ehemaligen Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die aus diesen Ableitungen nach der "Allgemeinen Verwaltungsorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung" ermittelten oberen Werte der Strahlenexposition von Einzelpersonen haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte deutlich unterschritten. Gegenüber 2003 zeigen die berechneten Werte der Strahlenexposition allgemein keine wesentlichen Unterschiede. Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen im Inland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland (Tabelle S. 13 - 2.1) lag auch 2004 unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung, Technik und Haushalt

Bei der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe zu technischen Zwecken und in der Forschung ist gegenüber dem Vorjahr keine Änderung eingetreten. Auch Geräte, die relativ schwache Strahlenquellen darstellen, wie Fernsehgeräte, Monitore, Rauchmelder und antistatische Vorrichtungen, sind in Gebrauch. Die Strahlenexposition von Einzelpersonen und Gesamtbevölkerung durch technische Geräte wird durch die Bestimmungen der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung begrenzt und so niedrig wie möglich gehalten. Der mittlere Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung, Technik und Haushalt ist kleiner als 0,01 Millisievert pro Jahr.

Berufliche Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis durch äußere Strahleneinwirkung für alle mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 313.400) lag 2004 bei 0,13 Millisievert. Bei ca. 84% der überwachten Personen wurde während des ganzen Jahres eine effektive Dosis von 0 Millisievert ermittelt. Bei den übrigen Überwachten mit einer Jahresdosis von oder mehr als 0,1 Millisievert (ca. 51.500) ergibt sich eine mittlere Personendosis von 0,82 Millisievert.

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 mSv im Kalenderjahr erhalten kann, überwachungspflichtig. Davon waren im Jahr 2004 ca. 30.000 Personen betroffen, für die sich eine mittlere Jahresdosis von 1,94 Millisievert ergibt. Die Verteilung der Jahresdosen entspricht einer Normalverteilung.

Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur gesamten mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung beträgt daher 2004 weniger als 0,01 Millisievert.

Kernwaffenversuche

Im Jahr 2004 wurden keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Die in der Atmosphäre und in Lebensmitteln nachweisbaren langlebigen radioaktiven Stoffe stammen hauptsächlich aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre. Der Beitrag der damals freigesetzten Radionuklide zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland ist für 2004 mit weniger als 0,01 Millisievert pro Person anzusetzen.

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. Im Berichtsjahr wurde eine Patientin auf Grund einer Verwechslung fehlbestrahlt. Die zusätzliche Dosis für die Patientin betrug ca. 2,5 Gy.

Die Übersicht über die besonderen Vorkommnisse ist in Teil III 3 einzusehen.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Die Strahlenexposition infolge des Reaktorunfalls von Tschernobyl nahm 2004 weiter ab; die mittlere effektive Dosis, bedingt durch Cäsium-137, betrug weniger als 0,015 Millisievert. Sie lag damit deutlich unter einem Prozent der natürlichen Strahlenexposition und wird zu rund 90% durch die Bodenstrahlung von Cäsium-137 verursacht. Die mittlere effektive Dosis durch mit der Nahrung aufgenommenes Radiocäsium für das Jahr 2004 lässt sich mit 0,001 Millisievert abschätzen. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition eine Größenordnung höher sein.

B NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder, hochfrequente elektromagnetische Felder, die optische Strahlung, zu der die infrarote und die ultraviolette Strahlung (UV) gehören und der Ultraschall. Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung in immer größerem Umfang nichtionisierender Strahlung, vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationsnetze ausgesetzt. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie, ist Grund für eine rege öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien. Das heutige Freizeitverhalten in der Sonne und der zunehmend in Mode kommende "Wellness"-Bereich mit ansteigender Solariennutzung haben darüber hinaus einen Anstieg der UV-Belastung zur Folge. Durch die Verringerung der Ozonschicht wird eine weitere Zunahme der UV-Belastung der Bevölkerung befürchtet. Statische Felder und der Ultraschall spielen vor allem an manchen Arbeitsplätzen und in der Medizin eine Rolle.

Grenzwerte und Grenzwertempfehlungen

Zum Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen werden von internationalen Strahlenschutzgremien Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition ausgesprochen. Diese werden vom Rat der Europäischen Union übernommen. Die derzeit in Deutschland gültigen Grenzwerte für ortsfeste Nieder- und Hochfrequenzanlagen basieren auf diesen Empfehlungen und sind in der 26. BImSchV (26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder; gültig seit 1. Januar 1997) festgeschrieben.

Die Einhaltung der Grenzwerte von ortsfesten Hochfrequenzanlagen z. B. des Mobilfunks wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (Reg TP), heute Bundesnetzagentur (B Netz A), nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Laut Aussage der Reg TP wurden im Jahr 2004 diese Grenzwerte nicht überschritten, sie wurden oftmals erheblich unterschritten.

Die Exposition der Bevölkerung mit niederfrequenten Magnetfeldern, wie sie von ortsfesten Niederfrequenzanlagen sowie von Haushaltsgeräten emittiert werden, liegt laut einer bayerischen Studie im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten.

Auch im Jahr 2004 wurden aufbauend auf einem nationalen und internationalen Wissensaustausch die Grenzwertempfehlungen ständig geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass die bestehenden Grenzwerte die Bevölkerung ausreichend schützen.

Optische Strahlung

Die solare UV-Strahlung ist in Bodennähe ausreichend hoch, um einen großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme auszuüben. Um das gesundheitliche Risiko zu bestimmen, werden die UV-Werte durch das in Deutschland bestehende UV-Messnetz kontinuierlich erfasst und strahlenhygienisch sowie ökologisch bewertet. Vor allem die beobachtete Zunahme der Hautkrebserkrankungen steht im Zusammenhang mit einer erhöhten UV-Exposition, die auf ein verändertes Freizeit- und Sozialverhalten großer Teile der Bevölkerung zurückzuführen ist. Ein vernünftiger Umgang mit der Sonne ist geboten, um akute Wirkungen wie Sonnenbrand und Hornhautentzündung, als auch chronische Wirkungen wie Linsentrübung, frühzeitige Hautalterung und Hautkrebs vorzubeugen.

Aktuelle Themen im Jahr 2004

Die Intensivierung und Koordinierung der Forschung stellt eine der Vorsorgemaßnahmen im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Felder dar, insbesondere in der modernen drahtlosen Kommunikationstechnologie. Auf der Basis der Ergebnisse eines Fachgesprächs im Juni 2001 wurde das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm ausgearbeitet, das durch das BfS umgesetzt und koordiniert wird. Bis voraussichtlich 2006 werden im Rahmen dieses Programms Forschungsvorhaben aus den Bereichen "Biologie", "Dosimetrie", "Epidemiologie"

miologie" und "Risikokommunikation" durchgeführt. Bei den Untersuchungen zu den Vorhaben ist der Frequenzbereich bewusst breit gefasst und geht z. T. über die derzeit genutzten Mobilfunkfrequenzen hinaus. Ziel ist es, grundsätzliche biologische Wirkungen und Mechanismen von schwachen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern wissenschaftlich belastbar nachzuweisen und deren gesundheitliche Relevanz unter Einbeziehung internationaler Forschungsergebnisse abzuschätzen. Es wird angestrebt, dass die Ergebnisse für den gesamten Bereich der drahtlosen Kommunikationstechniken anwendbar sind und möglichst auch für zukünftige Entwicklungen Aussagen zulassen (ausführliche Darstellung Bundestagsdrucksache 15/4604).

Im Januar 2002 wurde vom BfS ein Runder Tisch Solarien (RTS) mit Teilnehmern wissenschaftlicher und staatlicher Institutionen sowie Vertretern von Solarienbetrieben und Solarienherstellern gegründet. Der RTS hat einheitliche Kriterien für einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden von Solarienbetrieben festgelegt, die Grundlage sind für eine freiwillige Zertifizierung durch das BfS für die Betriebe. Im Mai 2003 konnte Einigkeit über einen Kriterienkatalog und das Verfahren für die Zertifizierung der Solarien erzielt werden. Das BfS ist Akkreditierungsstelle für die Institutionen, die Solarienbetriebe nach den Kriterien des RTS zertifizieren wollen. Auf den Internetseiten des BfS (<http://www.bfs.de/nir/solarien>) können akkreditierte und zertifizierte Stellen eingesehen werden. Bis Ende 2004 haben etwa 30 Solarienbetriebe eine Zertifizierung beantragt.

Mitte Juni 2002 hat die Jury Umweltzeichen für Grundlagen für die Vergabe des Umweltzeichens "Blauer Engel" an strahlungsarme Mobiltelefone beschlossen. Hersteller von Mobiltelefonen können den "Blauen Engel" beantragen, sofern die Handys die von der Jury festgelegten Kriterien einhalten. Dazu gehört u. a. neben übersichtlichen Verbraucherinformationen und Anforderungen an das Recycling vor allem eine vergleichsweise geringe maximale Strahlungsintensität der Geräte, ausgedrückt als SAR-Wert. Die Jury hat hier den Wert von höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm festgelegt. Obwohl viele der marktüblichen Geräte die Anforderungen an die Strahlungsintensität bereits erfüllen, hat auch im Jahr 2004 kein Hersteller das Umweltzeichen beantragt.

SUMMARY

A IONISING RADIATION

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 from natural and man-made radiation sources. Data are shown below on exposures due to

- -natural radiation sources
- -technologically enhanced natural radioactivity
- -medical applications
- -nuclear installations
- -the handling of radioactive substances
- -occupational exposure
- -nuclear weapons tests
- -radiation accidents or other emergencies
- -effects from the Chernobyl reactor accident.

The mean radiation exposure to the population in the Federal Republic of Germany during the year 2004 is shown in the following table and classified by various radiation sources. Compared to prior years, the mean effective dose remained unchanged with the exception of the value for diagnostic nuclear medicine.

**MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE
FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 2004**

		Mean effective dose mSv/year	
1. Exposure from natural radiation sources			
1.1	cosmic radiation (at sea level)	approx. 0.3	
1.2	external terrestrial radiation outdoors (5 h/d) indoors (19 h/d)	approx. 0.4	approx. 0.1 approx. 0.3
1.3	inhalation of radon and its progeny	approx. 1.1	
1.4	ingestion of natural radioactive substances	approx. 0.3	
Total natural radiation exposure		approx. 2.1	
2. Exposure from man-made radiation sources			
2.1	nuclear installations	< 0.01	
2.2	use of radioactive substances and ionising radiation in medicine 2.2.1 diagnostic nuclear medicine	approx. 1.9	approx. 0.1
2.3	use of radioactive substances and ionising radiation in research, technology and the home environment	< 0.01	
	2.3.1 industrial products		< 0.01
	2.3.2 industrial radiation sources		< 0.01
	2.3.3 stray radiation		< 0.01
2.4	fallout from nuclear weapons tests	< 0.01	
	2.4.1 external outdoor exposure		< 0.01
	2.4.2 incorporated radioactive substances		< 0.01
2.5	exposure due to the accident in the Chernobyl nuclear power plant	0.015	
Total exposure from man-made sources		approx. 1.9	

Natural radiation sources and technologically enhanced natural radioactivity

Exposure from natural radiation sources consists of both an external and an internal component due to natural radioactive substances in the environment. A major source of external radiation exposure consists of both cosmic and terrestrial radiation from the natural radionuclide potassium-40 together with the radionuclides of the natural decay series of uranium-238 and thorium-232. The internal component of radiation exposure is largely caused by the inhalation of the natural noble gas radon and its daughter nuclides, 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 per year. The nominal mean value is 2.1 millisievert, resulting in particular from exposure to radon in buildings. All individual contributions to the annual mean effective dose are listed in the above table.

Measurements performed during recent years have shown considerable regional variation in natural radiation exposure, due mainly to the significantly different concentrations of natural radioactive substances in soil and air. 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 from the radioactive decay products of these radionuclides. National and international epidemiological studies are currently underway to further limit the risk to the health of the population from increased exposures to radon daughters. In the last years national and international epidemiological studies were performed in order to be able to narrow the health risk to the population due to enhanced exposure to radon decay products down further. Already at concentrations above 100 Bq/m³ a significant increase in the lung cancer risk by about 10% per 100 Bq/m³ shows.

A mining-related increased 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 show the occurrence of above-average radon concentrations in mining regions of uranium and copper slate mining but, since such concentrations occur also in geologically comparable regions, these are assumed to be partly of natural origin. 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.

Man-made sources of radiation

Medical applications

The major part of the mean effective population dose due to man-made radiation exposure to the population is caused by the medical application of radioactive substances and ionising radiation. In 2002, the dose attributable to medical radiation exposure was around 1.9 millisievert (about 0.1 millisievert in nuclear medicine) per inhabitant. Due to a new procedure for the assessment of radiation exposure due to X-ray diagnostics, the value has changed compared with the previous years. The contribution of X-ray diagnostic to the effective dose due to man-made radiation sources has continuously increased in the last years.

Surveys performed by the Federal Office for Radiation Protection (BfS) on exposures in diagnostic radiology, with these representing by far the largest contribution to man-made radiation exposure, yielded a considerable range of dose value scattering for individual examinations over more than two orders of magnitude, which is caused by the different conditions for each individual patient and the different technical standards applied. In spite of the broad use of alternative examination procedures (ultrasound, endoscopy, magnetic resonance tomography) the current survey indicates a largely constant progression of the examination frequencies over the years 1996 to 2002. Corresponding surveys for the updating of the data for frequency and dose have been performed continuously at the Federal Office for Radiation Protection since 1991, supported by the health service organisations.

In nuclear medicine, scintigrams of the thyroid and the skeleton are the most frequently applied methods of examination. Of increasing importance is the use of radioactively labelled monoclonal antibodies, within the framework of the diagnosis of inflammatory processes and tumours and in tumour therapy. An ever increasingly important role is also played by Positron Emission Tomography (PET) applied as a nuclear medicine diagnostic method. The operators of the PET technique assume that the number of PET examinations will considerably increase in the next few years. However, this must not necessarily lead to increased collective dose, because the mean dose per examination is clearly reduced due to the more frequent use of the 3-D-acquisition technique.

In radiotherapy, the use of newly developed exposure techniques and improved exposure planning enables the optimisation of the required therapeutic dose to be administered to the treated body region (tumour dose), while simultaneously limiting the level of radiation exposure to the remaining parts of the body. Increased efforts are needed in the area of follow-up for tumour treatment.

With the amended Radiation Protection Ordinance (StrlSchV) having come into force in 2001 and the amended X-ray Ordinance (RöV) on 21 June 2002, main aspects of radiation protection of the patient have been further improved. Analogously to the Radiation Protection Ordinance, the decision if and in which way X-rays are used in humans is now defined more clearly with the obligation of a justifiable indication laid down in the X-ray Ordinance. Furthermore, the requirements on expertise and knowledge of those persons applying X-radiation or radioactive substances or carry out examinations with these, have been increased. For the optimisation of radiation protection in radiological diagnostics, the diagnostic reference values have to be observed also in X-ray

diagnostics. The surveillance of the diagnostic reference values is carried out by the medical services, and the development and up-dating is done by BfS. An additional new task of BfS is the licensing procedure for the use of X-rays in medical research.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power facilities and the former Morsleben repository for low and intermediate-level radioactive waste (ERAM) contributes only insignificantly to radiation exposure to the population. The upper values for exposures to individuals, calculated in accordance with the "General Administrative Guideline relating to § 45 of the Radiation Protection Ordinance" of 21.2.1990 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 2002. 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, also in the year 2004.

The handling of radioactive substances in research, technology and the home environment

The use of ionising radiation and radioactive substances for technological and research purposes has not changed in comparison to the preceding year. Devices representing relatively weak radiation sources are in use, such as television sets, monitors, smoke alarm systems and anti-static equipment. The radiation exposure to individuals and the population as a whole from mechanical devices is limited by the stipulations of the X-Ray Ordinance and the Radiation Protection Ordinance and this is kept as low as reasonably achievable. The mean contribution to population exposure from the handling of radioactive substances in research, technology and the home environment is less than 0.01 millisievert per year.

Occupational radiation exposure

The mean effective dose from external radiation for all persons (approx. 313,400) controlled using personal dosimeters was about 0.13 millisievert in the year 2004. The effective dose of 0 millisievert was assessed, over the entire year, in about 84% of all controlled persons. In all other cases with an annual dose of 0.1 millisievert or more (approx. 51,500) a mean individual dose of 0,82 millisievert resulted. Since August 1, 2003, aircrews who are in an employment according to German Labour Law and who can receive an effective dose of at least 1 mSv in the calendar year because of the cosmic radiation during the flight, must be monitored. In 2004, about 30,000 persons were concerned who received a mean annual dose of 1.94 millisievert. The distribution of the annual doses corresponds to a normal distribution. The contribution to the total mean effective population dose from occupational exposure is therefore less than 0.01 millisievert in 2004.

Nuclear weapons testing

In the year 2004, no nuclear weapons tests were carried out. The long-lived radioactive substances detectable in the atmosphere and in foodstuffs mainly originate from the above-ground nuclear weapons tests performed during the 1960s. The radionuclides emitted during this period contributed in the year 2004 to a level of less than 0.01 millisievert to the mean effective dose to the population in Germany.

Radiation accidents and unusual events

Due to the strict regulations laid down in the legislation of radiation protection, radiological emergencies with persons handling sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. In the reported year a patient was wrongly irradiated because of a mix-up. The additional dose was about 2.5 Gy.

An overview on radiological emergencies is shown in Part III 3.

Chernobyl reactor accident

Radiation exposure resulting from the Chernobyl reactor accident decreased further in the year 2004; the mean effective dose mainly from caesium-137 was less than 0.015 millisievert. Thus it was less than one percent of the dose from natural sources of exposure and was caused about 90% by external exposure due to caesium-137 deposited on the ground. The mean effective dose from the intake of radiocaesium with foodstuff is estimated to have been less than 0,001 millisievert in the year 2004. In Southern Germany the levels of radiation exposure may be higher by one order of magnitude.

B NON-IONISING RADIATION

The domain of non-ionising radiation (NIR) consists of static and low frequency electric and magnetic fields, high frequency electromagnetic fields as well as optical radiation involving infrared and ultraviolet (UV) radiation,

and ultrasound. In view of the growing technical development the general public is increasingly exposed to non-ionising radiation, above all to low frequency fields of energy supply and to high frequency fields of wireless communication networks. The expansion of communication networks in Germany, particularly the introduction of UMTS technology, is the reason for a lively public discussion about possible risks to health from new communication technologies. Today's behaviour in leisure times with long sunbathing and today's "wellness areas" with increasing use of sunbeds cause additional UV exposure. Due to the decrease of ozone layer a further increase of UV exposure to the population is feared. Static fields and ultrasound play particularly a role at some workplaces and in the medical field.

Limit values and recommendations for limit values

In order to protect the population from health effects, the international radiation protection committees give recommendations to limit exposure values. These have been adopted by the Council of the European Community. The currently applied limit values for low and high frequency installations in Germany are based on these recommendations and are stipulated in the 26. BImSchV, (26th Ordinance on the Implementation of the Federal Immission Control Act; Ordinance on electromagnetic fields, in force since 1 January 1997).

The adherence to the limit values for fixed high frequency installations, used, e.g., in mobile communications, is controlled in a notification procedure on the granting of a site certificate from the regulation office for telecommunication and postal affairs (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, Reg TP), now Bundesnetzagentur (BNetzA), in accordance with the legal provisions of telecommunication. Reg TP declares that these limit values were not exceeded in the year 2004, the values observed fell in many cases far below the limit.

Exposure of the general public to low frequency magnetic fields emitted from fixed low frequency installations and from domestic devices lies – according to a Bavarian study – in average far below the legally stipulated limit values.

In 2004, the recommendations on limit values were again continuously checked on the basis of a national and international exchange of scientific knowledge. This evaluation has shown that the existing limit values provide sufficient protection for the population.

Optical radiation

Solar UV radiation near the soil surface is sufficiently high to have a great health effect on humans and on terrestrial and aquatic ecosystems. For the determination of risks to health, UV values are continuously registered by the UV monitoring network existing in Germany, and evaluated in view of radiation hygiene and ecology. Particularly the observed increase of skin cancer diseases is related to increased UV exposure, which can be attributed to a different social behaviour and leisure activities in great parts of the population. A reasonable behaviour with regard to sun is required to avoid acute effects such as sunburn and keratitis as well as chronic effects such as cataract, early ageing and cancer of the skin.

Current topics in the year 2004

Intensive and coordinated research is one of the precautionary measures in the area of high-frequency electromagnetic fields, particularly of modern wireless communication technology. Based on the results of a technical discussion in June 2001, the German Mobile Telecommunication Research Project was elaborated, which is implemented and co-ordinated by BfS. Until probably 2006, research projects in the fields of "biology", "dosimetry", "epidemiology", and "risk communication" will be carried out within the scope of this programme. The investigations associated with the projects are deliberately designed to deal with a broad frequency range, which goes partially beyond currently used mobile telecommunication frequencies. The objective is to prove on a scientifically reliable basis basic biological effects and mechanisms of low high-frequency electromagnetic fields and to assess their relevance to health, taking into account international research results. The aim is to achieve results which are applicable to the whole area of wireless communication technologies and, if possible, make statements on future developments (for a detailed report see Bundestagsdrucksache 15/4604).

In January 2002, BfS has founded the Round Table Solaria (RTS) with participants of scientific and public institutions as well as representatives of solaria and manufacturers of sunbathing appliances. RTS aims at stipulating uniform criteria to achieve a minimum standard for the protection of the clients in solaria and offering to the operators a voluntary certification by BfS. In May 2003 agreement could be achieved concerning a catalogue of criteria and the procedure for solaria certification. BfS is the accrediting institution for those institutions who want to have solaria accredited according to the RTS criteria.

Accredited and certified institutions can be found on the BfS websites (<http://www.bfs.de/nir/solarien>). By the end of 2004, around 30 solaria have applied for a certification.

In mid-June 2002, the Jury on Site Certificates has decided on granting the site certificate "Blue Angel" for low-radioactive cellular phones. Manufacturers of cellular phones can apply for the "Blue Angel", if their mobile phones adhere to the criteria fixed by the Jury. Besides clear consumer information and recycling requirements, this includes, among others, a comparatively low maximum radiation intensity of the appliances, expressed in the SAR unit. The Jury has stipulated in this case a maximum limit value of 0.6 Watt per kilogramme. Although some of the appliances fulfil already the requirements on radiation intensity, also in 2004 no manufacturer has applied for the site certificate.

RÉSUMÉ

A RAYONNEMENTS IONISANTS

Les chiffres de radioactivité dans l'environnement humain trouvés par les stations officielles de mesure ont été publiés, sous forme de rapports trimestriels à partir de l'automne 1958, et de rapports annuels à partir de 1968. Ces rapports contiennent, en plus des résultats concernant le contrôle de la radioactivité de l'environnement, des données sur l'exposition du public aux rayonnements due aux sources naturelles et artificielles. Ceci inclut des informations sur l'exposition aux rayonnements due

- -aux sources naturelles, et aux sources naturelles changées par la civilisation
- -aux applications médicales
- -aux installations nucléaires
- -à la manipulation de substances radioactives
- -à l'activité professionnelle
- -aux essais d'explosions nucléaires
- -aux accidents radiologiques et événements exceptionnel
- -aux conséquences après l'accident du réacteur de Tchernobyl.

Le tableau suivant indique l'exposition aux rayonnements moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne en 2004. Comparé aux années précédentes, la dose effective moyenne n'a pas changé avec exception de la valeur des examens en médecine nucléaire.

DOSE EFFECTIVE MOYENNE REÇUE PAR LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 2004

		Dose effective moyenne mSv/an	
1. Exposition naturelle aux rayonnements			
1.1	due aux rayonnements cosmiques (au niveau de la mer)	env. 0,3	
1.2	due aux rayonnements terrestres externes par séjour à l'extérieur (5 h/jour) par séjour à l'intérieur des maisons (19 h/jour)	env. 0,4	env. 0,1 env. 0,3
1.3	due à l'inhalation de produits de filiation radon	env. 1,1	
1.4	due aux substances radioactives naturelles ingérées	env. 0,3	
Chiffre total de l'exposition naturelle		env. 2,1	
2. Exposition artificielle aux rayonnements			
2.1	due aux installations nucléaires	< 0,01	
2.2	due aux applications médicales de rayonnements ionisants et de substances radioactives	env. 1,9	
2.2.1	due aux examens en médecine nucléaire		env. 0,1
2.3	due à l'utilisation de substances radioactives et de rayonnements ionisants dans la recherche, la technique et chez les particuliers	< 0,01	
2.3.1	produits industriels		< 0,01
2.3.2	sources techniques de rayonnement		< 0,01
2.3.3	émetteurs perturbateurs de rayonnement		< 0,01
2.4	due aux retombées des essais d'explosions nucléaires	<0,01	
2.4.1	de l'extérieur, en plein air		<0,01
2.4.2	due aux substances radioactives incorporées		<0,01
2.5	Exposition aux rayonnements due à l'accident dans la centrale nucléaire de Tchernobyl	< 0,015	
Chiffre total de l'exposition artificielle aux rayonnements		env. 1,9	

Sources naturelles de radiation et sources naturelles, changées par la civilisation

L'exposition naturelle aux rayonnements se compose d'une contribution externe et interne, causée par des substances radioactives naturelles dans l'environnement. La contribution externe est surtout l'exposition dans l'air et dans le sol du radioisotope naturel potassium-40, ainsi que les radionuclides des chaînes de désintégration de l'uranium-238 et de thorium-232. La contribution interne de l'exposition aux rayonnements est causée particulièrement par l'inhalation du gaz rare naturel de radon et de ses produits de filiation, et partiellement par l'ab-

sorption de substances radioactives naturelles avec l'eau potable et la nourriture. La contribution totale à la dose effective annuelle des sources naturelles de radiation est entre 1 et 6 millisievert. La valeur moyenne nominale est 2,1 millisievert, particulièrement en raison du radon à l'intérieur de maisons. Les contributions individuelles à la dose effective moyenne par an sortent du tableau mentionné ci-dessus.

Les mesurages effectués aux cours des dernières années ont mis en évidence les considérables différences régionales de l'exposition naturelle aux rayonnements, du fait des différentes concentrations de substances radioactives naturelles dans le sol et l'air. La construction de bâtiments sur du terrain avec une teneur élevée d'uranium et de radium et, d'une façon insignifiante, l'utilisation de matériaux de construction, avec une teneur élevée en substances radioactives naturelles, ont provoqué une augmentation de l'exposition aux rayonnements de la population, due aux produits radioactifs de décomposition qui en résultent. Des études épidémiologiques nationales et internationales ont été effectuées dans les dernières années afin d'estimer et limiter le risque de la population résultant des expositions élevées aux produits de filiation de radon. Dès les concentrations dépassant 100 Bq/m³ une augmentation significative du risque du cancer du poumon est observée, qui s'élève à environ 10% pour les 100 Bq/m³.

Une concentration élevée du radon dans l'air respirable auprès du sol, provenant des mines, n'a été observée que dans l'environnement proche des installations minières, mais elle diminue rapidement à une plus grande distance. En tout, il en résulte des mesurages, que des concentrations de radon élevées se présentent dans les régions minières de l'exploitation de l'uranium et du schiste cuivreux, qui sont pourtant observées également dans des régions avec une géologie comparable, donc partiellement d'origine naturel. La dérivation de l'uranium et du radium et ses produits de désintégration provenant des mines dans les canaux émissaires des régions minières présente aucune différence, ou seulement une différence insignifiante du niveau naturel de ces radionuclides.

Exposition artificielle aux rayonnements

Application médicale

La plus grande contribution à la dose effective moyenne due à l'exposition artificielle aux rayonnements est engendrée par l'utilisation de substances radioactives et de rayonnements ionisants en application médicale. En 2002, la contribution en médecine de l'exposition aux rayonnements est environ 1,9 millisievert par habitant (avec environ 0,1 millisievert en médecine nucléaire). La contribution en diagnostique aux rayons X à la dose effective due à l'exposition artificielle aux rayonnements a augmenté continuellement dans les dernières années.

Les enquêtes de l'Office fédéral de radioprotection (BfS) sur l'exposition aux rayonnements dans la diagnostique aux rayons X, fournissant la plus grande contribution à l'exposition artificielle aux rayonnements, résultait dans une grande distribution des valeurs de dose pour les examens individuels de plus de deux ordres de grandeur, dus aux situations individuelles de chaque patient et aux différents standards techniques. Malgré l'application fréquente de méthodes de diagnostique alternatives (ultrason, endoscopie, NMR), l'enquête actuelle n'indique que de légères variances des fréquences d'examens au cours des années 1996 à 2002. Dans les années suivantes la valeur de la dose effective moyenne devrait augmenter tout au plus légèrement en raison de la réalisation des mesures assurance qualité et contrôle qualité en diagnostique aux rayons X et en médecine nucléaire. A partir de 1991, des enquêtes correspondantes pour actualiser les données sur le débit de doses sont faites continuellement à l'Office fédéral de radioprotection avec la subvention sur le domaine de l'hygiène sanitaire par les caisses d'assurance-maladie.

En médecine nucléaire, les scintigraphies de la glande thyroïde et du squelette sont les examens les plus fréquents. L'utilisation des anticorps monoclonaux marqués par radionucléides devient plus important dans le cadre de la diagnostique de réactions inflammatoires et des tumeurs, ainsi que dans la thérapie des tumeurs. La tomographie à émission de positrons (PET) acquiert une plus grande importance dans les procédures d'examens en médecine nucléaire. Les opérateurs de la tomographie à émission de positrons estiment que ces examens seront plus fréquents dans les années à venir. Pourtant cela ne mènera pas forcément à une augmentation de dose collective, parce que la dose moyenne par examen peut être réduite par l'application de la technique acquisition tridimensionnelle.

En radiothérapie, c'est grâce à l'application de nouvelles méthodes d'exposition, ainsi qu'aux meilleurs possibilités de projeter l'exposition, qu'on peut parvenir à optimiser l'administration de la dose thérapeutique nécessaire sur la partie du corps à traiter (dose de tumeur), tout en limitant l'exposition aux rayonnements des autres parties du corps. Des efforts supplémentaires seront nécessaires dans le soin postérieur de tumeurs.

Avec la nouvelle du Décret sur la protection contre les rayonnements (StrlSchV) en 2001, et la nouvelle du Décret sur les rayons X (RöV) en 2002, la protection du patient a été améliorée essentiellement. Analogue au Décret sur la protection contre les rayonnements, la décision si et comment le rayonnement X sera appliqué à l'homme est fixée plus strictement qu'auparavant dans l'obligation d'une indication justifiée imposée par le Décret sur les

rayons X. En plus, les demandes en ce qui concerne l'expertise et les connaissances des personnes autorisées à l'application des rayons X, ou qui font les examens avec rayons X, sont plus strictes. Un moyen pour optimiser la radioprotection en diagnostique radiologique est d'observer des valeurs de références diagnostiques, également en diagnostique aux rayons X. La surveillance des valeurs de références diagnostiques est effectuée par les services médicaux, le développement et l'actualisation sont faits par le BfS. En plus une nouvelle tâche du BfS est la procédure de l'autorisation pour appliquer les rayons X sur le domaine de la recherche en médecine.

Technique nucléaire

L'émission de matières radioactives, provenant des installations nucléaires et de l'ancien dépôt final de déchets radioactifs à faible et moyenne activité de Morsleben (ERAM), n'a augmenté l'exposition aux rayonnements de la population que d'une façon insignifiante. Les valeurs maximales des émissions de l'exposition aux rayonnements pour des individus, déterminés selon le Règlement administratif général au paragraphe 45 du Décret sur la Protection contre les rayonnements (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung), sont nettement restées inférieures aux limites de dose fixées par le Décret sur la protection contre les rayonnements. En général, les valeurs calculées pour l'exposition aux rayonnements n'ont pas changé considérablement par rapport à 2003. Aussi en 2004, la contribution des installations nucléaires internes, ainsi que dans les pays voisins à la dose effective moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne, était inférieure à 0,01 millisievert par an.

Manipulation de substances radioactives dans la recherche, la technique et chez les particuliers

L'application de rayonnements ionisants et de substances radioactives à des fins techniques et dans la recherche n'a presque pas changé dès l'année précédente. On utilise aussi des instruments qui présentent des sources radiologiques relativement faibles, comme récepteurs de télévision, moniteurs, détecteurs de fumée et dispositifs antistatiques. L'exposition aux rayonnements des individus et de la population générale, due à l'emploi d'appareils techniques, est limitée et maintenue le plus bas possible par les stipulations du Décret sur les Rayons X et du Décret sur la protection contre les rayonnements. La contribution moyenne à l'exposition radiologique de la population fournie par l'application de substances radioactives dans la recherche, la technique et chez les particuliers est inférieure à 0,01 millisievert par an.

Exposition professionnelle aux rayonnements

La dose effective moyenne due aux rayonnements externes pour toutes personnes surveillées avec des dosimètres individuels (environ 313.400) a été environ 0,13 millisievert en 2004. Pendant toute l'année, une dose effective de 0 millisievert avait été mesurée chez environ 84% des personnes surveillées. Chez le reste des personnes surveillées avec une dose annuelle à 0,1 millisievert ou plus (environ 51.500), il en résulte une dose moyenne individuelle de 0,82 millisievert.

Depuis le 1er août 2003, le personnel navigant employé selon la législation du travail allemande, qui est susceptible de recevoir une dose effective d'au moins 1 millisievert par année civile due aux rayonnements cosmiques, est sujet à surveillance. En 2004, environ 30.000 personnes, dont la dose annuelle moyenne s'élevait à 1,94 millisievert, étaient affectées par cette réglementation. La distribution des doses annuelles suit une distribution normale.

Dans l'ensemble, la contribution de l'exposition professionnelle aux rayonnements à la dose effective moyenne au total de la population était, également en 2004, inférieure à 0,01 millisievert.

Essais d'explosions nucléaires

En 2004, aucun essai d'explosions nucléaires n'a été effectué. Les substances radioactives de longue vie, décelables dans l'atmosphère et dans la nourriture, proviennent principalement des essais d'explosions nucléaires sur sol des années soixante. En 2004, on peut estimer la contribution à la dose effective moyenne de la population de la R.F.A. des radionucléides émis à cette époque à moins de 0,01 millisievert par personne.

Accidents et incidents radiologiques

Grâce aux strictes dispositions juridiques en matière de radioprotection, des incidents radiologiques avec personnes, survenant au cours de la manipulation de rayonnements ionisants et de substances radioactives, sont rares. Dans l'année du rapport une patiente a été exposée erronément à cause d'une confusion. La dose du patient supplémentaire s'élevait à environ 2,5 Gy.

Pour la vue d'ensemble des incidents radiologiques voir partie III 3.

Accident du réacteur de Tchernobyl

En 2004, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer et, due aux césium-134 et césium-137, la dose effective moyenne était en dessous de 0,015 millisievert. Elle était ainsi largement en dessous d'un pourcent de l'exposition aux rayonnements naturelles, et résulte d'environ 90% de l'exposition terrestre du césium-137. Pour l'année 2004, l'estimation de la dose effective moyenne, due au radiocésium incorporé avec la nourriture, était en dessous de 0,001 millisievert. En Allemagne du Sud, cette exposition aux rayonnements peut être élevée d'une ordre de grandeur.

B RAYONNEMENTS NON IONISANTS

Par rayonnements non ionisants (NIR) nous entendons les champs à basse fréquence électriques et magnétiques et les champs statiques, les champs à haute fréquence électromagnétiques, les rayons optiques, dont les rayonnements infrarouges et ultraviolets (UV) ainsi que l'ultrason. L'exposition du public aux rayonnements non ionisants, principalement aux champs de basse fréquence provenant du réseau électrique et aux champs de haute fréquence issus des réseaux de transmission sans fil est en forte augmentation par suite des continuelles avancées technologiques dans ce domaine. En Allemagne, le déploiement des réseaux de téléphonie mobile et, en particulier, l'introduction de la technologie UMTS sont l'objet d'une discussion publique vivante sur les éventuels risques pour la santé liés à l'utilisation des nouvelles technologies de transmission. De même, l'exposition du public aux UV ne cesse d'augmenter face aux habitudes de loisirs au soleil et à la mode du "wellness" - celle-ci se manifestant par un usage accru des solariums. La diminution de la couche d'ozone laisse également craindre une intensification de l'exposition aux UV. En plus, les champs statiques et l'ultrason jouent un rôle important surtout à certains postes de travail et dans l'application médicale.

Valeurs limites et recommandations sur les valeurs limites

Afin de protéger la population des conséquences pour la santé, des recommandations pour limiter l'exposition sont données par les comités internationaux de radioprotection. Celles-ci sont adoptées par le Conseil de la Communauté Européenne. En Allemagne, les valeurs limites valables aujourd'hui pour les installations fixes de haute et basse fréquence basent sur ces recommandations et sont stipulées dans le 26e Décret d'application de la loi fédérale de protection contre les émissions; Décret relatif aux champs électromagnétiques (BlmSchV 26, 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder) en vigueur depuis le 1er janvier 1997.

L'application des valeurs limites pour les installations à haute fréquence, comme par exemple celle du service de radiotéléphonie mobile, est soumise au contrôle de l'Agence de réglementation de la télécommunication et poste (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, Reg TP), maintenant Bundesnetzagentur (BNetzA), dans le cadre de la procédure de délivrance des licences d'installation et selon la réglementation relative aux télécommunications en vigueur. Le Reg TP confirme que, pour l'année 2004, les valeurs limites ont été respectées, les valeurs observées sont même restées considérablement inférieures aux limites dans un grand nombre de cas.

L'exposition publique aux champs magnétiques de basse fréquence, comme ceux émis par les installations fixes à basse fréquence et par les appareils ménagers est, selon une étude de Bavière, en moyenne largement en dessous des valeurs limites stipulées par la loi.

Au cours de l'année 2004 aussi, la validité des recommandations relatives aux limites d'exposition a été vérifiée sur la base de fréquents échanges d'informations au niveau national et international. Cette évaluation a révélé que les limites d'exposition existantes offrent une protection suffisante de la population.

La radiation optique

La radiation UV solaire au niveau du sol est suffisamment élevée pour exercer une grande influence sur la santé humaine et sur les systèmes écologiques terrestres et aquatiques. Pour déterminer le risque pour la santé, les valeurs UV sont continuellement enregistrées par le réseau de mesure UV existant en Allemagne où ils sont évalués du point de vue de l'hygiène radiologique et écologique. Surtout la progression des maladies carcinogènes de la peau est en rapport avec une exposition UV augmentée. Celle-ci est à attribuer à une différente conduite sociale et les habitudes sur le domaine de loisirs. Des bains de soleil avec précaution sont demandés pour éviter des effets brûlants comme les coups de soleils et la kératite, ainsi que des effets chroniques comme cataracte, vieillissement prématurée et cancer de la peau.

Thèmes d'actualité dans l'année 2004

Intensification et coordination de la recherche est une des mesures de précaution dans le domaine des champs électromagnétiques de haute fréquence, particulièrement dans le domaine des technologies de communication

sans fil modernes. Sur la base d'une discussion d'experts au BfS en juin 2001, le programme de recherche allemand de radiotéléphonie mobile (Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm) a été développé, qui sera mis en action et coordonné par le BfS. Jusqu'en 2006 environ, des projets de recherche seront effectués dans le cadre de ce programme dans le domaine de la «biologie», «dosimétrie», «épidémiologie» et «communication de risques». Les sujets des enquêtes comprennent délibérément une large gamme de fréquences et dépassent partiellement les fréquences de radiotéléphonie utilisées à présent. Ils ont pour but d'identifier, du point de vue scientifique, les effets et mécanismes biologiques fondamentales de faibles champs électromagnétiques à haute fréquence et d'estimer leur influence sur la santé, tout en impliquant les résultats de recherches internationaux. Il est aspiré à réussir que les résultats soient significatif pour tout le domaine des technologies de communication sans fil et, si possible, aussi pour les développements à venir (vous trouverez des informations détaillées dans Bundestagsdrucksache 15/4604).

En janvier 2002, le BfS a fondé la Table Ronde Solariums (RTS) avec participants d'institutions scientifiques et publiques, ainsi que des représentants d'entreprises de solariums et des fabricants de solariums. Le RTS a pour but de stipuler des critères homogènes à atteindre un standard minimum pour la protection des clients dans les solariums et d'offrir aux entreprises une certification volontaire au moyen du BfS. En mai 2003, on s'est mis d'accord sur un catalogue de critères et la procédure de certification des solariums. Le BfS est l'autorité accréditive pour les institutions qui désirent certifier les solariums selon les critères de la RTS.

ABSCHNITT A
IONISIERENDE STRAHLUNG

(IONISING RADIATION)

TEIL I

UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

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 unterschiedlicher Kontrollsysteme zur Umwelt- und Umgebungsüberwachung notwendig. In der Bundesrepublik Deutschland sind die Zuständigkeiten, Überwachungssysteme und Messprogramme für die Kontrolle der Radioaktivität in der Umwelt bzw. in der Umgebung kerntechnischer Anlagen durch das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) und die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) geregelt.

Überwachung der Umwelt

Der Anstieg der Umweltradioaktivität durch die oberirdischen Atomwaffenversuche 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.
- 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. Die Verpflichtungen aus Artikel 35 und 36 des Euratom-Vertrages werden mittels der amtlichen Radioaktivitätsmessstellen des Bundes und der Länder erfüllt.

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 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 Strahlenschutzvorsorgegesetz grenzen die Aufgabenzuständigkeit zwischen Bund und Ländern ab. Dem Bund ist gemäß § 2 die großräumige Überwachung der Medien Luft und Wasser sowie die Ermittlung der γ -Ortsdosisleistung zugewiesen. Die Überwachung der anderen Umweltmedien wird in Bundesauftragsverwaltung nach § 3 StrVG von den Messstellen der Länder wahrgenommen.

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

1988 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ein 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 bundeseinheitliches Vorgehen sicher.

Ebenso wurde 1995 im Auftrag des BMU zwischen den Bundes- und Landesbehörden ein Intensivmessprogramm abgestimmt, das im Falle erhöhter Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt an die Stelle des Routinemessprogramms tritt. Auf der Grundlage der §§ 2 und 3 StrVG werden hierin umfangreichere Radioaktivitätsmessungen 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.

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Nach Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1957 und 1958 und nach dem späteren großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung ist als zusätzliche Aufgabe zur Überwachung der Umweltradioaktivität die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Emission und Immission) erwachsen. Die rechtlichen Verpflichtungen 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 durchgeführt. Die Messaufgaben sind in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von 1993 festgesetzt.

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) nur unwesentlich.

Übersicht über die Verwaltungsbehörden des Bundes zur Überwachung der Umwelt- bzw. Umgebungsradioaktivität gemäß StrVG bzw. REI
(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
Bundesforschungsanstalt für Fischerei , Labor für Fischereiökologie, Hamburg	Fische, Fischprodukte, Krusten- und Schalentiere, Wasserpflanzen, Plankton
Bundesanstalt für Ernährung und Lebensmittel , Institut für Chemie und Technologie der Milch, Kiel	Milch, Milchprodukte, Futtermittel, Boden, Pflanzen und Düngemittel, Einzellebensmittel, Gesamt- und Babynahrung
Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin	Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffe und Abfälle Umweltradioaktivität, die aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlich radioaktiver Stoffe (besonders Radon und seine Folgeprodukte) stammt Abwasserüberwachung kerntechnischer Anlagen
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim	Umweltradioaktivität, Strahlenexposition der Bevölkerung
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Oberschleißheim	Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Freiburg	Fortluftüberwachung kerntechnischer Anlagen γ -Ortsdosisleistung, Spurenanalyse, Zusammenfassung der vom Bund ermittelten Daten über Luft und Niederschlag

1. Natürliche Umweltradioaktivität (*Natural environmental radioactivity*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin

Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt

Natürlich radioaktive Stoffe - natürliche Radionuklide - sind seit jeher Bestandteil unserer Umwelt. Ihrem Ursprung nach unterscheidet man drei Gruppen natürlicher 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 Ausgangsradiation der zweiten Gruppe (primordiale Radionuklide) Halbwertszeiten (HWZ) in der Größenordnung von Milliarden Jahren. Das wichtigste Radionuklid in dieser Gruppe ist Kalium-40, es kommt zu 0,0118% als Bestandteil des Elementes Kalium in der Natur vor. Darüber hinaus sind mehr als 10 weitere Radionuklide ohne Zerfallsreihe bekannt, z. B. Rubidium-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 Uran-238 mit einer HWZ von 4,5 Milliarden Jahren,
- Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von Uran-235 mit einer HWZ von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von Thorium-232 mit einer HWZ von 14 Milliarden Jahren.

Zur dritten Gruppe gehören Radionuklide, die ständig durch die primäre kosmische Strahlung in der Atmosphäre erzeugt werden, z. B. Tritium (HWZ 12,3 Jahre), Beryllium-7 (HWZ 53,3 Tage), Kohlenstoff-14 (HWZ 5.730 Jahre) und Natrium-22 (HWZ 2,6 Jahre).

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

Natürlich radioaktive Stoffe im Boden

Die Radioaktivität in Böden wird häufig durch den Gehalt an natürlichen Radionukliden im Ursprungsgestein bestimmt. Da in kieselsäurereichen Magmagessteinen die spezifische Aktivität primordialer Radionuklide gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagessteine auch höhere Werte dieser Nuklide. Das radioaktive Gleichgewicht in den Böden kann durch verschiedene Prozesse, z. B. durch unterschiedliche Löslichkeit der Radionuklide, gestört werden.

Im Bericht für das Jahr 2002 (Tabelle 1.2-2 auf Seite 34) 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.

Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser

Oberflächenwässer (einschließlich Meereswässer), Grund-, Quell- und Stollenwässer und insbesondere Trinkwässer wurden im Rahmen verschiedener Umweltüberwachungsprogramme und Forschungsvorhaben auf natürliche Radionuklide untersucht. Untersuchungen an für die Trinkwassergewinnung genutzten Wässern zeigten, dass sich die Radionuklide der U-238- und Th-232-Zerfallsreihen im Allgemeinen nicht im radioaktiven Gleichgewicht befinden, d. h. im gleichen Wasser liegen unterschiedliche Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide einer Zerfallsreihe vor. Dies ist auf den unterschiedlichen chemischen Charakter der einzelnen Zerfallsprodukte zurückzuführen, die in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Gegebenheiten der Wasservorkommen unterschiedliche Mobilitäten im aquatischen System aufweisen (siehe Tabelle 1.3-1 auf S. 34 im Jahresbericht 2002).

Aus den Messungen der Radon-222-Konzentrationen in Trinkwässern Deutschlands ergab sich ein Median von 5,9 Bq/l bei einem 95. Perzentil von 160 Bq/l. Etwa 10% der Werte liegen oberhalb von 50 Bq/l; der höchste Wert

betrug 1500 Bq/l. Die Messungen der Radon-222-Konzentrationen erfolgten zum größten Teil bei Endverbrauchern, z. B. in Privathaushalten, zum kleineren Teil in Wasserversorgungsanlagen.

Das ozeanische Meerwasser besitzt einen Salzgehalt von etwa 35 PSU¹. Im Salz des Meeres sind alle chemischen Elemente in unterschiedlichster Konzentration, darunter auch natürliche Radionuklide enthalten. Die Konzentration hängt zum Teil vom Salzgehalt ab, so dass sie in den Küstengewässern abnimmt. Geochemische Prozesse führen dazu, dass einige Nuklide aus der Wassersäule abgereichert, in Schwebstoffen angereichert und auf dem Sediment deponiert werden, so dass deren Konzentration im Wasser extrem gering ist, das Sediment aber wesentlich höhere spezifische Aktivitäten enthält.

Unter den natürlichen Radionukliden sind vor allen Dingen die primordialen Nuklide Kalium-40, Rubidium-87 sowie Uran-238, Uran-235, Thorium-232 und deren Zerfallsreihen zu nennen. Meerwasser enthält eine relativ hohe natürliche Uran-Konzentration von etwa 3,3 µg/l. Die kosmogenen Nuklide Tritium und Beryllium-7 werden über die Atmosphäre in das Meer eingetragen. Für eine Strahlenexposition des Menschen durch Verzehr von Meerestieren spielt der Alpha-Strahler Polonium-210 die größte Rolle, der in manchen Meeresorganismen stark angereichert wird und dadurch den Hauptbeitrag für die Dosis liefert.

Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre

In der bodennahen Luft befinden sich die für die Strahlenexposition wichtigen radioaktiven Nuklide des Edelgases Radon und deren Zerfallsprodukte. Die übrigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen sind bei den natürlicherweise auftretenden Staubkonzentrationen für die Strahlenexposition von untergeordneter Bedeutung. Von untergeordneter Bedeutung für die Strahlenexposition sind auch die kosmogenen Radionuklide (z. B. H-3, Be-7, C-14, Na-22).

Die Konzentrationen der beim Zerfall der Nuklide 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. Als obere Grenze des natürlich vorkommenden Konzentrationsbereiches gelten 80 Bq/m³ Luft. Bedingt durch Freisetzungen aus speziellen bergbaulichen Hinterlassenschaften sind auch höhere Konzentrationen möglich (siehe Teil II, 2.2).

Die Konzentrationen des entsprechenden Radonnuclids 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 Teil I, Kapitel 2.1 näher eingegangen.

Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung

Die Aufnahme der natürlichen Radionuklide hängt von deren Gehalt in der Nahrung und ihrem metabolischen Verhalten ab. Das mit der Nahrung aufgenommene Kalium führt zu einer mittleren spezifischen Aktivität von 60 Bq K-40 pro Kilogramm 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.

Natürliche Strahlenexposition

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

Äußere Strahlenexposition

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

Im Freien ist die Strahlenexposition von der spezifischen Aktivität in der obersten Bodenschicht bis zu 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden für die terrestrische Komponente der γ -Ortsdosisleistung im Freien 57 Nanosievert pro Stunde bestimmt (Photonenäquivalentdosis, entspricht einer mittleren effektiven Dosis von

1 PSU = Practical Salinity Units, entspricht in etwa Promille

0,1 mSv pro Jahr in Deutschland). Höhere γ -Ortsdosisleistungen, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere über an der Oberfläche anstehenden Granitmassiven und über natürlichen Böden dieser Regionen, z. B. in den Südreionen 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. Bei einem Wertebereich von 20 - 700 nSv/h beträgt die Gammadosisleistung im Mittel 80 nSv/h.

Die durch die terrestrische Strahlung verursachte effektive Dosis der Bevölkerung beträgt im Bundesgebiet im Mittel etwa 0,4 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.

Zur externen Strahlenexposition trägt weiterhin die kosmische Strahlung bei. 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 schneller mit zunehmender Höhe an. 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.

Die Zerfallsprodukte der radioaktiven Edelgasisotope Rn-222 und Rn-220 liefern über die Inhalation unter durchschnittlichen Bedingungen mit 1,1 mSv pro Jahr den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition. Davon resultieren etwa 0,9 mSv pro Jahr aus dem Aufenthalt in Gebäuden und 0,2 mSv aus dem Aufenthalt im Freien. Der Hauptanteil entfällt auf die Inhalation der kurzlebigen Zerfallsprodukte des radioaktiven Edelgases Rn-222. Allerdings muss auf die große Variationsbreite, vor allem der Konzentrationen in Gebäuden hingewiesen 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.

Die innere Strahlenexposition durch Kalium-40 wird durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt. Der durchschnittliche K-40-Gehalt im Körper beträgt 4000 Bq. Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv.

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 eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten) ergibt sich im Mittel ein Wert von etwa 1,4 mSv pro Jahr. Hinzu kommt die externe Strahlenexposition mit 0,7 mSv. Davon sind 0,3 mSv die kosmische und 0,4 mSv die terrestrische Komponente. Insgesamt ergibt sich daraus in Deutschland eine rein rechnerische, jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. In Anbetracht der Variationsbereiche der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch Radon sollte sich für die durchschnittlichen Verhältnisse eine effektive Dosis im Bereich zwischen 2 und 3 mSv ergeben. Im UNSCEAR Report 2000 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ein Zahlenwert von 2,4 mSv angegeben [1].

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. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität (Technologically enhanced natural environmental radioactivity)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin

2.1 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 (dabei handelt es sich um die radioaktiven Schwermetalle Polonium-218, Wismut-214, Blei-214 und Polonium-214) im Atemtrakt abgelagert. 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 innerhalb von 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 Bq/m³ festgestellt.
- Die Expositions-Wirkungs-Beziehung ist linear ohne Schwellenwert. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro 100 Bq/m³ Radonkonzentration in der Innenraumluft.

Die Radonkonzentration in Gebäuden variiert in Deutschland über einen weiten Bereich. Der bundesweite Jahresmittelwert in Wohnräumen beträgt ungefähr 50 Bq/m³ Raumluft. Während die Mehrzahl der Messwerte unter diesem Wert liegt, kommen auch Häuser mit einigen Tausend Bq/m³ vor.

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 den tektonischen Störungen abhängig ist. Ein Maß für das Radonangebot ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Die letztendlich im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt von der Bauweise, vor allem von der Dichtigkeit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Strukturierung des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsregime ab.

Durch Bergbau kann über vermehrte Wegsamkeiten in Form bergmännischer Auffahrungen und Rissbildungen im Deckgebirge das Radonangebot aus dem Untergrund erhöht werden. Wenn am Baukörper Undichtigkeiten infolge von Senkungen des Baugrundes entstehen, muss zusätzlich noch mit einem höheren Radoneintritt in die betroffenen Gebäude gerechnet werden.

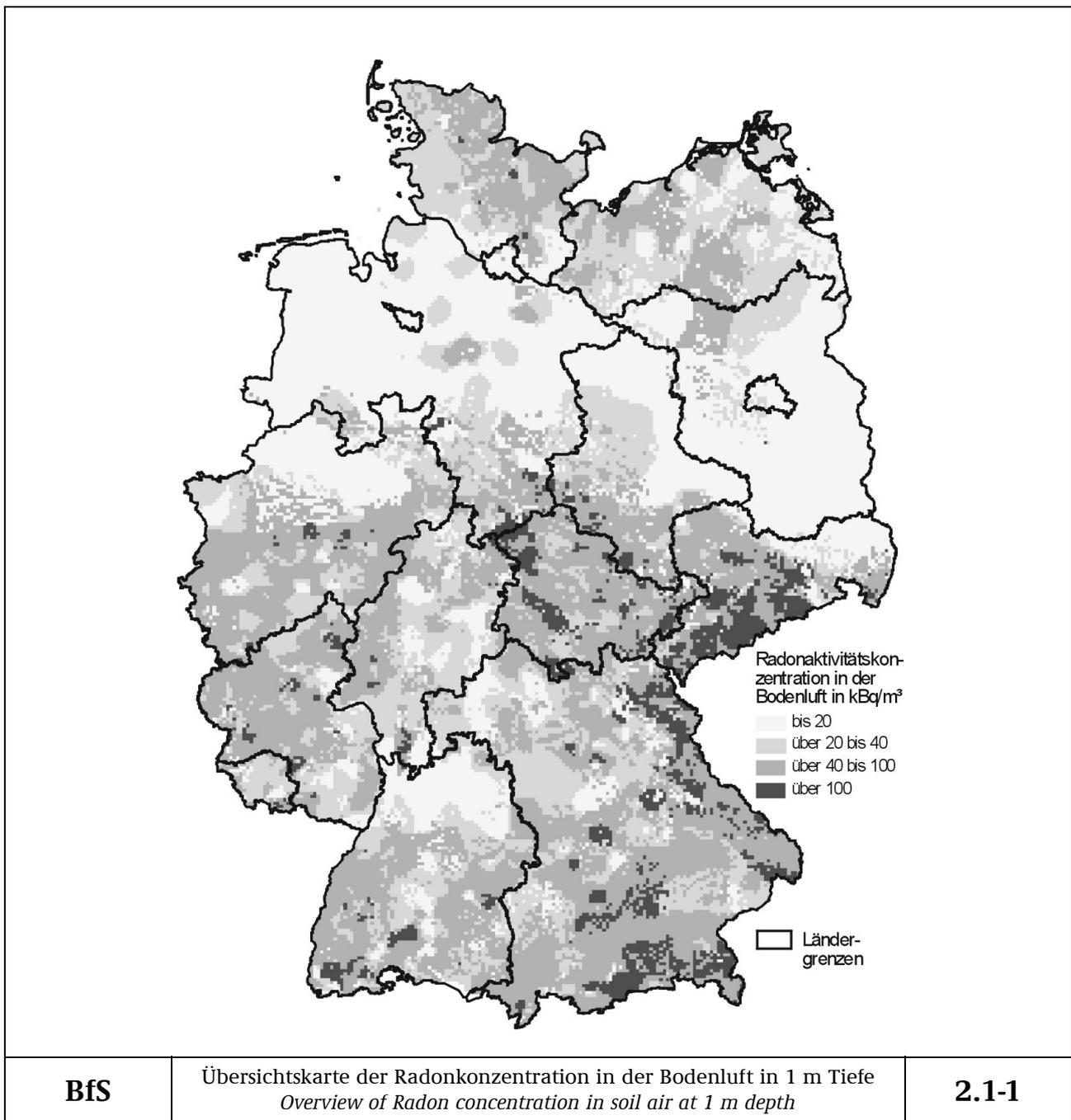
Unter Berücksichtigung der Stellungnahme der Strahlenschutzkommission sollten die Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen grundsätzlich möglichst niedrig sein. Diesem Bestreben sind jedoch im allgemeinen praktische Grenzen dadurch gesetzt, dass der Beitrag des in der Außenluft vorkommenden Radons zur Innenraumkonzentration und die Radonfreisetzungen aus den Baumaterialien der bestehenden Häuser kaum beeinflussbar sind. Die Summe beider Komponenten liefert für Aufenthaltsräume einen Anteil, der üblicherweise maximal 100 Bq/m³ erreicht. Höhere Radonkonzentrationen in Gebäuden werden in Deutschland vor allem durch das in der Bodenluft des Baugrundes vorhandene und in das Gebäude eindringende Radon bestimmt. Mehr als 100 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen können mit vertretbarem Aufwand beim Neubau vermieden und in bestehenden Häusern reduziert werden. In der Regel können damit Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen unter 100 Bq/m³ erreicht werden.

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.

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben wurden in den vergangenen Jahren Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft und in Häusern durchgeführt.

Auf der Grundlage von Messungen an insgesamt 2346 Orten wurde eine bundesweite Übersichtskarte der regionalen Verteilung der Radonkonzentration in der Bodenluft erstellt (siehe Abbildung 2.1-1).



Die Untersuchungen des Einflusses von Bergbau und bergbaulichen Hinterlassenschaften auf die Radonkonzentration in Häusern wurden in zwei Gebieten des Westerzgebirges fortgesetzt. Mit Untersuchungen in 200 Häusern eines Steinkohlereviere in NRW wurde begonnen.

Zusammenfassend ist festzustellen:

Rein geologisch bedingt können in einzelnen Gebäuden Jahresmittelwerte von einigen Tausend Bq/m³ Luft auftreten. Es ist jedoch wenig wahrscheinlich, dass in bergbaulich nicht beeinflussten Gebieten Langzeitmittelwerte der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen von mehr als 10.000 Bq/m³ vorkommen. Die höchsten auf geologische Ursachen zurückführbare Radonkonzentrationen hat man in Häusern gemessen, die über Graniten oder in ihrer Zusammensetzung ähnlichen Gesteinen errichtet wurden.

In ca. 30% der Fläche Deutschlands sind auf Grund der geologischen Bedingungen bei einem fachgerechten Schutz der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern wenig wahrscheinlich. Dies betrifft vor allem große Teile des norddeutschen Tieflandes.

In Gebieten mit Radonkonzentrationen in der Bodenluft über 20 kBq/m³ sind insbesondere in Abhängigkeit von der Bauweise und dem Bauzustand erhöhte Radonkonzentration in einem Teil des Gebäudebestandes zu erwarten. Häuser älteren Baujahres, in Gebäuden ohne Fundamentplatte oder in Gebäuden mit offensichtlichen Undichtigkeiten der Gebäudehülle im erdberührten Bereich weisen überdurchschnittlich häufig erhöhte Radonkonzentrationen auf. In diesen Gebieten sind deshalb Radonmessungen zu empfehlen. Standorte von Neubauten sollten dort im Hinblick auf die Notwendigkeit von Vermeidungsmaßnahmen bewertet werden. Tabelle 2.1-1 zeigt die auf der Radonkonzentration in der Bodenluft basierende Abschätzung des Anteils und der Anzahl von Ein- und Zweifamilienhäusern mit über 100 Bq/m³ liegenden Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen.

Tabelle 2.1-1 Geschätzte Anzahl von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Radonkonzentrationen über verschiedenen Schwellenwerten in Aufenthaltsräumen
Estimated number of one-and two-family houses with radon concentrations above various threshold values in living rooms

Radonkonzentration in Bq/m ³	Relative Häufigkeit in %	Tausend Häuser
> 100	10,2 – 11,8	1400 – 1600
> 200	3,6 – 4,4	500 – 600
> 400	1,3 – 1,6	170 – 210
> 1000	0,27 – 0,32	37 – 44

In Bergbaugebieten können über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen zu Stollen oder Schächten Grubenwetter in die Gebäude gelangen. In diesen Fällen wird die eindringende Radonmenge und die daraus resultierende Radonkonzentration meist von der Bewetterung der untertägigen Hohlräume beeinflusst. In Häusern in Bergbaugebieten wurden in Einzelfällen kurzzeitig deutlich über 100.000 Bq/m³ und Jahresmittelwerte über 10.000 Bq/m³ festgestellt.

Generell von untergeordneter Bedeutung für die Radonkonzentrationen in Wohngebäuden ist in Deutschland das Radon, welches in Wasser gelöst und bei dessen Anwendung in die Raumluft freigesetzt wird. Vereinzelt auftretende signifikante Beeinflussungen der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen sind auf eng begrenzte Gebiete und Situationen (z. B. Nutzung individueller Brunnen in Granitgebieten) beschränkt. Wesentliche Erhöhungen der Radon-Raumluftkonzentration wurden in Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung festgestellt, weshalb diese in die gesetzlichen Regelungen des Teiles 3 der Strahlenschutzverordnung [1] aufgenommen wurden.

Literatur

- [1] Strahlenschutzkommission: "Lungenkrebsrisiko durch Radonexposition in Wohnungen", verabschiedet auf der 199. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22. April 2005

2.2 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 20 Jahren in Deutschland Untersuchungen über den Gehalt natürlicher Radionuklide in Baumaterialien und industriellen Rückständen durchgeführt. Es wurden die spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 in mehr als 1500 Proben von Natursteinen, Baustoffen und Industrieprodukten bestimmt.

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 wird zunehmend die Verwendbarkeit von Rückständen in der Baustoffindustrie untersucht. Bestimmte Rückstände aus industriellen Verarbeitungsprozessen weisen häufig erhöhte Gehalte natürlicher Radionuklide auf. 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 gesichert, dass der für

Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv pro Jahr nicht überschritten wird.

Mit den Festlegungen der StrlSchV wird ein wichtiges Instrumentarium zum Vollzug des Strahlenschutzes im Rahmen der Baugesetzgebung zur Verfügung gestellt. Gemäß der Bauproduktenrichtlinie (89/106/EWG) darf in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt. Diese Richtlinie wird mit dem Bauproduktengesetz [2] umgesetzt. Auf der Grundlage der Landesbauordnungen ist Verwendbarkeit der Bauprodukte geregelt.

Untersuchungen und Ergebnisse

Die in Natursteinen, Bindemitteln, Finalbaustoffen und sonstigen Industrieprodukten sowie in industriellen Rohstoffen gemessenen spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 sind in Tabelle 2.2-1 im Jahresbericht 2003 zusammengestellt.

Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide variiert auch innerhalb der einzelnen Materialarten beträchtlich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmagesteine vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Der Mittelwert der von den Baustoffen ausgehenden Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in Wohngebäuden Deutschlands beträgt rund 80 nSv/h. Werte über 200 nSv/h sind selten.

Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wurden allerdings Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel nicht die Ursache für erhöhte Radonkonzentration in Wohnungen sind. Der Beitrag von Baumaterialien zur Radonkonzentration in Wohnräumen beträgt im Median ca. 30 Bq/m³ und ist meist kleiner als 70 Bq/m³.

Die radiologische Relevanz der einzelnen Materialien für die Strahlenexposition der Bevölkerung hängt neben der Radionuklidkonzentration auch von anderen Faktoren, z. B. der Radonfreisetzung und der Art der Verwendung ab. Somit ist für Materialien, die in der Baustoffproduktion Verwendung finden, letztendlich die vom fertigen Bauprodukt ausgehende Strahlenexposition der Bevölkerung entscheidend.

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, 2002 I S. 1459)
- [2] Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106 EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Bauproduktengesetz - BauPG) vom 10. August 1992 (BGBl. I S. 149)

3. Künstliche Umweltradioaktivität *(Artificial radioactivity in the environment)*

3.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung *(Air and precipitation, ambient gamma dose rate)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Freiburg, vom Deutschen Wetterdienst, Offenbach am Main und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig

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 sowie dessen radiochemisches Zentrallabor in Offenbach sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS). Das IMIS wird vom BfS im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit fachlich und technisch betreut. In der Routine werden dort täglich die auf Plausibilität geprüften Ergebnisse der Messnetze des BfS und des DWD bereitgestellt.

Detaillierte Angaben zu den in Deutschland betriebenen Messnetzen finden sich in den Berichten der vorangegangenen Jahre sowie im Internet unter www.bfs.de bzw. www.dwd.de.

Die Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen und die Beobachtung von Langzeittrends in der Umweltradioaktivität sind die Ziele der Spurenanalyse. Derartige Messungen werden vom BfS, Freiburg, dem DWD, der PTB und der GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in München-Neuherberg - durchgeführt. Die erhobenen Daten werden nicht nur für IMIS verwendet, sondern auch im Rahmen der europaweiten Überwachung der Umweltradioaktivität für die EU-Berichterstattung bereitgestellt.

Die Abbildungen und Tabellen dieses Berichts sind repräsentative Beispiele für die Messergebnisse, die Einzelwerte sind in den Leitstellen verfügbar.

Ergebnisse der Routinemessungen

Sowohl die Messwerte der γ -Ortsdosisleistung als auch die ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind auch im Jahr 2004 verglichen mit denen des Vorjahres weitgehend unverändert geblieben. Die Werte lagen in der Regel nur noch wenig über dem Pegel, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

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

Die Ergebnisse der kontinuierlich arbeitenden Luftmonitore wiesen im Berichtsjahr keine Werte oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenze auf. Für die Tagesmessungen liegt diese typischerweise bei ca. 10 mBq/m³ Luft, bezogen auf Cäsium-137.

Als über 17 Messstationen des DWD errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen Gesamt- β -Aktivität der Luft resultiert für das Jahr 2004 ein Wert von 0,5 mBq/m³ (Vorjahreswert: < 0,7 mBq/m³).

Edelgase

Die am BfS durchgeführten Messungen des radioaktiven Xenons ergaben in der Regel keine auffälligen Ergebnisse. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von Xenon-133 an den 6 deutschen Probenentnahmestationen lagen – mit Ausnahme einiger Werte in der 49. Kalenderwoche 2004 - wie schon in den vergangenen Jahren zwischen 1 und 100 mBq/m³ Luft. Als Beispiel ist in Abbildung 3.1-1 die Zeitreihe der Aktivitätskonzentration der radioaktiven Xenonisotope in Freiburg dargestellt.

Im Probenentnahmezeitraum vom 29.11.04 – 06.12.2004 (KW 49/2004) wurden erhöhte Messwerte der Xe-133-Aktivitätskonzentration in der Rheinebene beobachtet. Der Maximalwert mit einer Aktivitätskonzentration von 170 mBq/m³ für Xe-133 wurde in Offenbach erreicht. Die Quelle der Erhöhung konnte nicht eindeutig ermittelt werden, da mehrere entlang des Rheins gelegene Kernkraftwerke als Emittenten in Betracht kommen.

Insgesamt ist der Grundpegel von Krypton-85 im Jahr 2004 weiter leicht angestiegen (siehe Abbildung 3.1-2). Der Medianwert für den Probenentnahmeort Freiburg – repräsentativ für die 10 mitteleuropäischen Stationen – be-

trug im Berichtsjahr $1,6 \text{ Bq/m}^3$ Luft. Der jährliche Anstieg beträgt ca. 30 mBq/m^3 Luft, dies entspricht dem globalen Trend, da die Freisetzungsrates von Kr-85 größer ist als seine Zerfallsrate. Die kurzzeitigen Schwankungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen können, sind auf Emissionen aus den europäischen Wiederaufbereitungsanlagen (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen. Derartige kurzzeitige Erhöhungen können mit Hilfe der parallel zur wöchentlichen Probennahme durchgeführten täglichen Probennahme genauer analysiert werden. In einigen Fällen - abhängig von den meteorologischen Verhältnissen - ist es möglich, unter Zuhilfenahme von Trajektorienrechnungen den Emittenten zu bestimmen. Die Summe der Beiträge von Kr-85 und Xe-133 zur Ortsdosisleistung liegt unter 30 nSv/a und ist gegenüber den durchschnittlichen Werten der Ortsdosisleistung in Deutschland vernachlässigbar.

Gammaskpektrometrie

Für spurenanalytische Messungen werden wöchentlich beaufschlagte Staubfilter verwendet, die zunächst γ -spektrometrisch ausgewertet werden. Diese Messungen werden vom DWD an 20 Standorten durchgeführt; in Tabelle 3.1.1-1 werden exemplarisch die Ergebnisse für Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig dargestellt. Weiterhin sind die Ergebnisse der GSF (München-Neuherberg), des BfS (Schauinsland) und der PTB (Braunschweig) enthalten. Bei den aufgeführten Ergebnissen handelt es sich um Monatsmittelwerte.

Für künstliche Radionuklide wurden fast an allen Stationen keine Aktivitätskonzentrationen oberhalb der Nachweisgrenzen von ca. $3 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ Luft bezogen auf Cs-137 festgestellt. In der letzten Kalenderwoche wurden geringe Spuren von I-131 in Stuttgart mit $75 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ und in Stötten mit $34 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ gemessen. Die Quelle ließ sich nicht konkret benennen. Mögliche Ursache könnte die Freisetzung aus einer Müllverbrennungsanlage oder aus einem Krankenhaus sein. Die Messergebnisse von Be-7 und Cs-137 an den Messstellen Offenbach und Berlin werden in Abbildung 3.1-4 grafisch dargestellt. Das Radionuklid Cs-137 ließ sich hier mit Werten zwischen $0,2$ bis $1,1 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ messen. Das kosmogene Be-7 lag mit Werten zwischen $1,6$ und $4,1 \text{ mBq/m}^3$ Luft im üblichen Schwankungsbereich. An allen Messstationen ist eine Erhöhung der Aktivitätskonzentration von Be-7 im 2. und 3. Quartal festzustellen, die auf einen erhöhten Austausch von Luftmassen zwischen Stratosphäre und Troposphäre im Frühjahr (Tropopausenbruch) zurückzuführen ist.

Aus den Messungen der GSF am Probenentnahmeort München-Neuherberg wurden etwas geringere Aktivitätskonzentrationen als im vorangegangenen Jahr beobachtet, so dass als Jahresmittel eine Aktivitätskonzentration für Cs-137 von $0,96 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ Luft resultiert (s. Tabelle 3.1.1-1b). Bedingt durch die regional unterschiedlich starke Deposition von Aktivität beim Reaktorunfall von Tschernobyl werden im Mittel in Bayern etwas höhere Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 als an den anderen Probenentnahmeorten in Deutschland beobachtet.

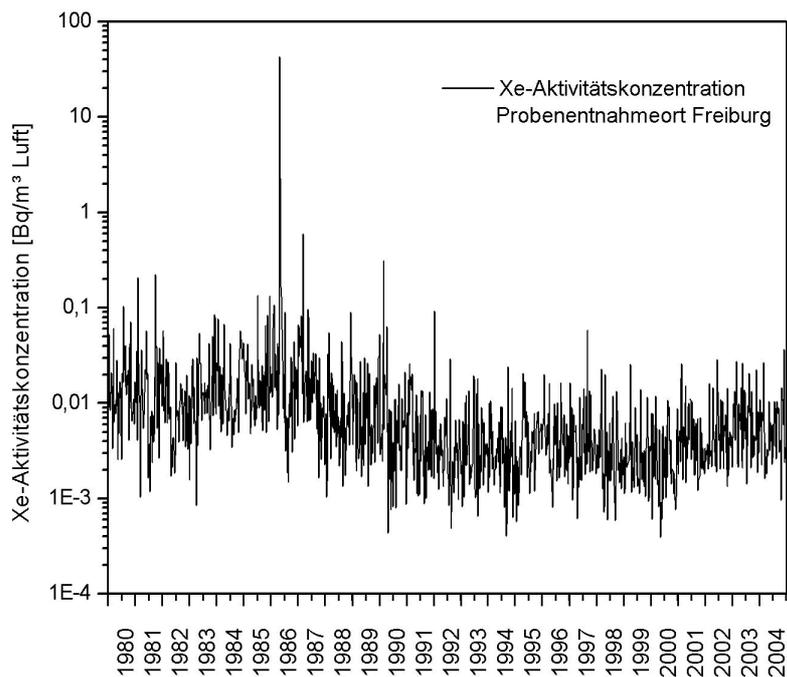
An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei $0,44 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ Luft (vgl. Abbildung 3.1-3, Tabelle 3.1.1-1d), was im Rahmen der üblichen Schwankungen in etwa den Vorjahreswerten entspricht. Kurzfristige Erhöhungen der Aktivitätskonzentration 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 $0,2 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ Luft. Außer Cs-137 wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Der Schwankungsbereich für die Aktivitätskonzentration von Be-7 lag mit Werten von $1,3$ bis $6,8 \text{ mBq/m}^3$ Luft in dem für diese Station üblichen Rahmen.

Auch in Braunschweig liegen die Messergebnisse im Bereich der Werte, die auch in den vorangegangenen Jahren beobachtet wurden (vgl. auch Abbildung 3.1-5).

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Luftfilter von mindestens 4 Messstationen bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat zur Bestimmung von Strontium-90 radiochemisch analysiert. Zur Bestimmung einzelner Uran-, Plutonium- und Americium-Isotope wurden die Proben quartalsweise zusammengefasst. Die erreichten Nachweisgrenzen für Uran- und Plutoniumisotope betragen zwischen $0,005$ und $1,5 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ Luft, für Sr-90 zwischen $0,006$ und $1,6 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ Luft. Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten wurden Optimierungen bei der Bestimmung der Alpha-Strahler mittels Extraktionschromatographie bzw. Ionenaustausch erreicht.

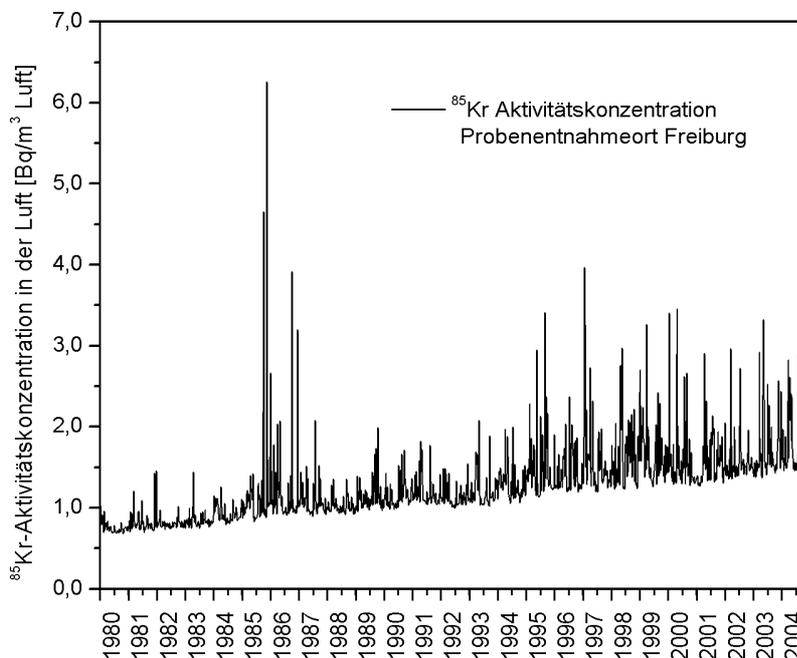
Die 2004 fortgeschriebene Messreihe der PTB (vgl. Abbildung 3.1-6) zeigt bei den Aktivitätskonzentrationen der Plutonium-Isotope Pu-(239/240) und Pu-238 keine auffälligen Abweichungen vom bisherigen zeitlichen Verlauf der Messwerte seit 1990. Die Aktivitätsverhältnisse Pu-238/Pu-(239/240) liegen in den Proben meistens mit Werten zwischen 5% und 15% im üblichen Schwankungsbereich. Die Aktivitätskonzentration der Plutonium-Isotope Pu-(239/240) und Pu-238 zeigen 2004 keine auffälligen Abweichungen vom zeitlichen Verlauf seit 1990. Im 4. Quartal fällt der vergleichsweise geringe Gehalt an Plutonium-Isotopen in der Luft auf. Dieser Effekt wurde bereits in den Vorjahren beobachtet und ist durch Auswaschung der Schwebstoffe aus der Luft durch Niederschläge erklärbar. Die Aktivitätsverhältnisse Pu-238/Pu-(239/240) liegen im Bereich der üblichen Schwankungsbreite.



BfS

Xenon-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg (BfS, Freiburg)
(Xenon activity concentration in air close to ground level at the sampling site in Freiburg - BfS Freiburg)

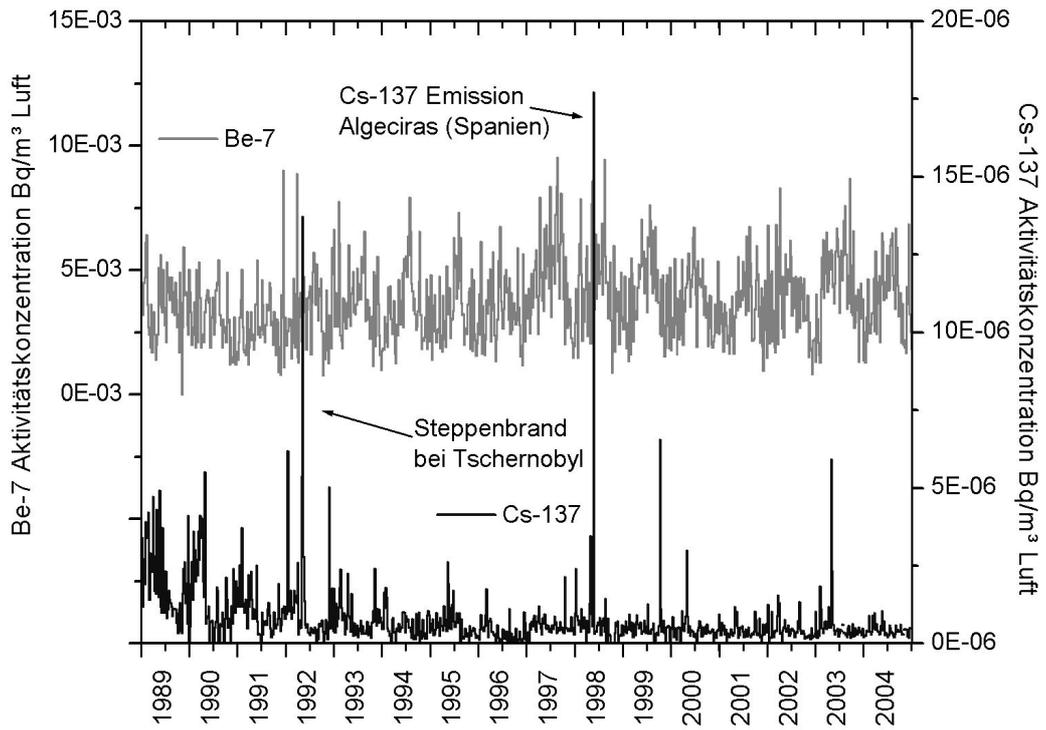
3.1-1



BfS

Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg (BfS, Freiburg)
(Activity concentrations of Kr-85 in air close to ground level at the sampling site Freiburg - BfS Freiburg)

3.1-2

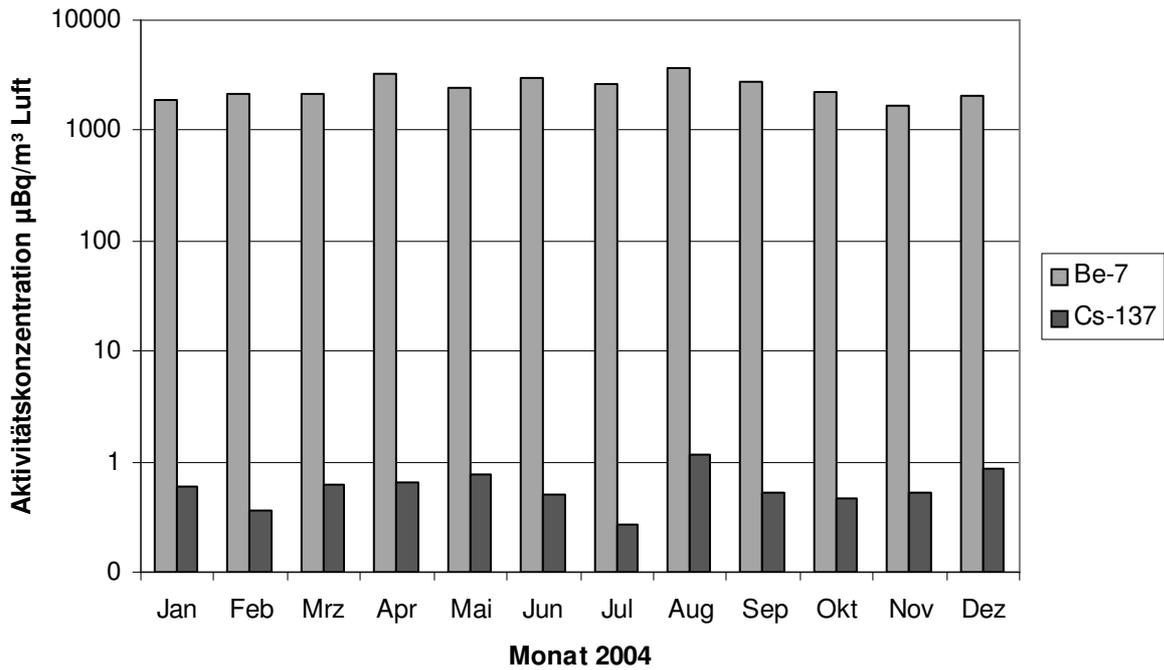


BfS

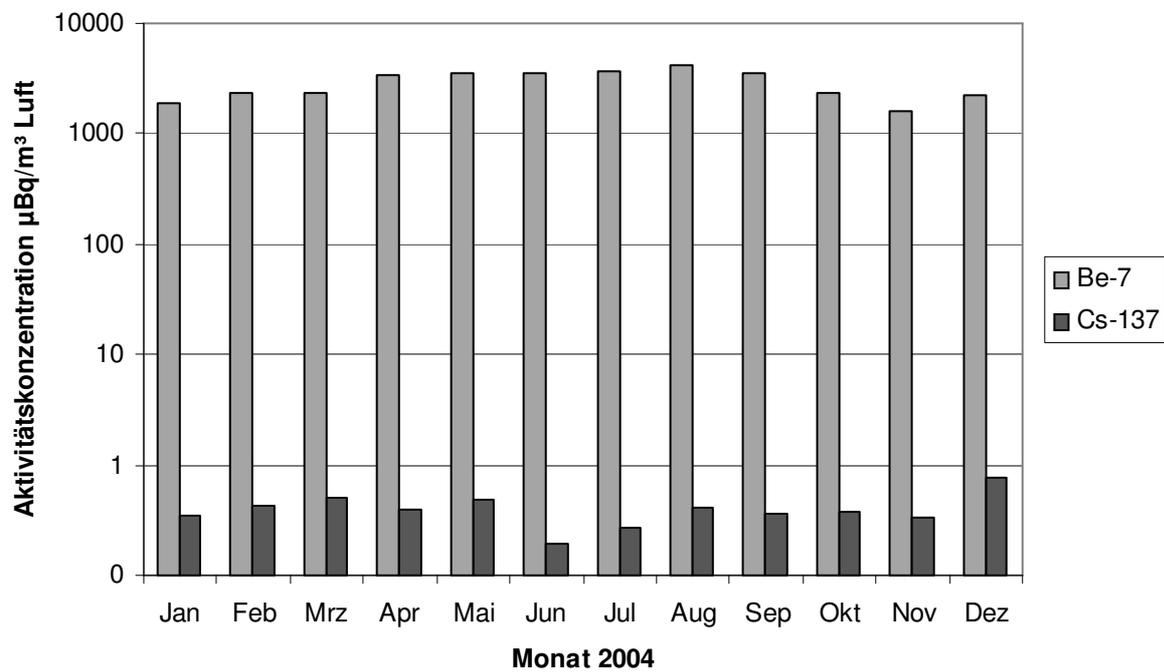
Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft in den Jahren 1989 – 2004 an der Messstation Schauinsland
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level at Schauinsland measuring station, 1989 - 2004)

3.1-3

Aerosolfilter Berlin 2004



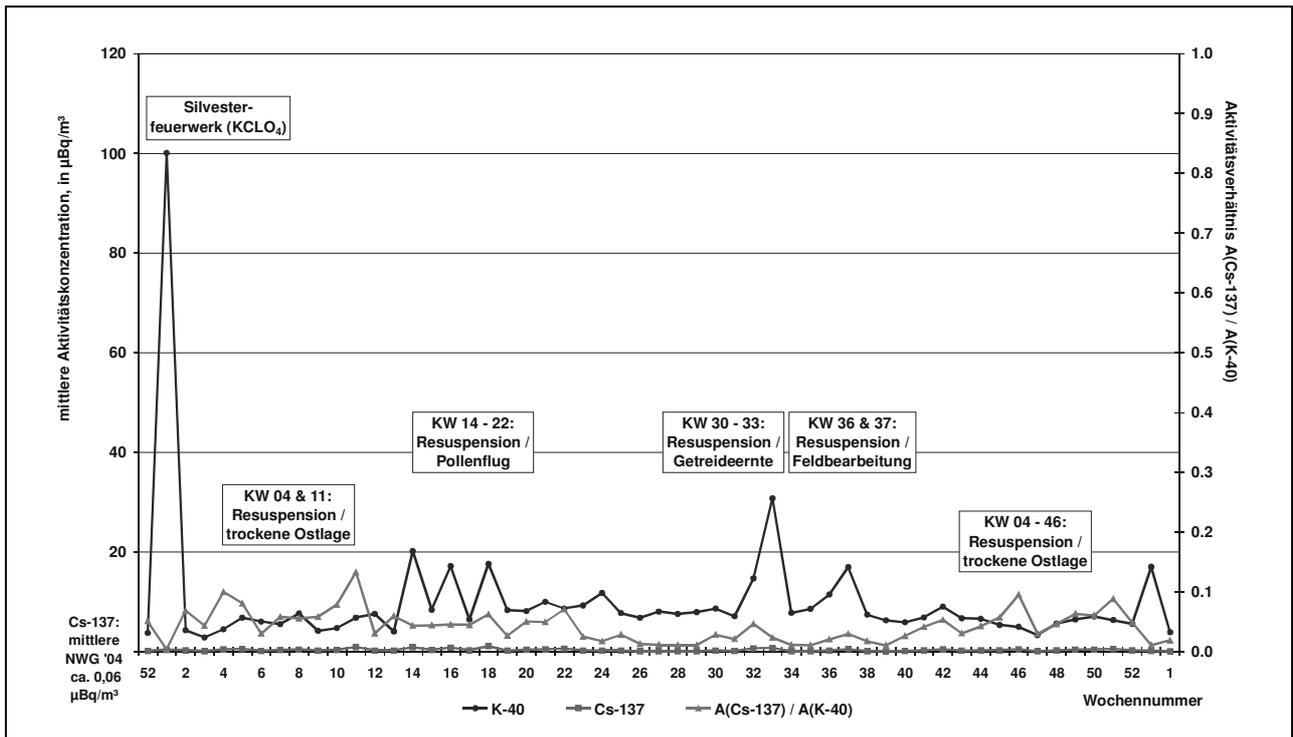
Aerosolfilter Offenbach 2004



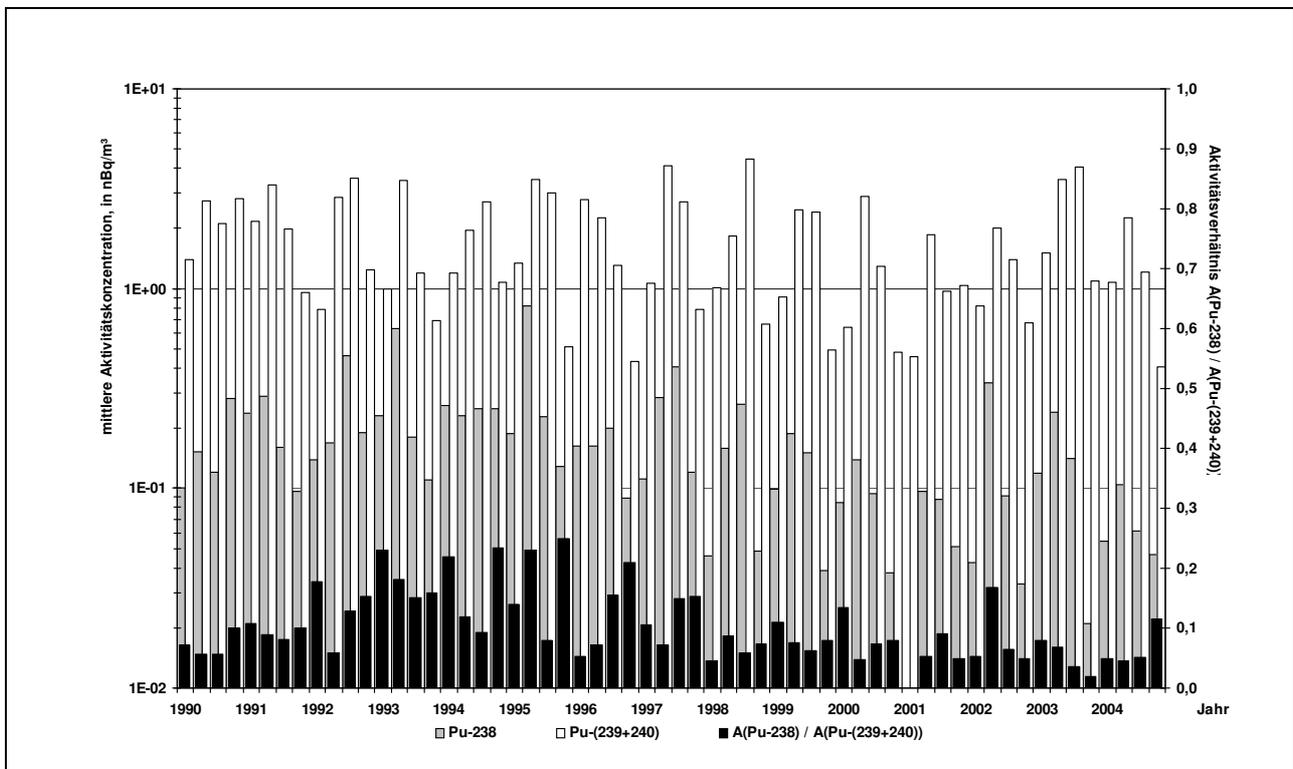
DWD

Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2004 - DWD-Stationen Berlin und Offenbach
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2004 at the DWD stations in Berlin and Offenbach)

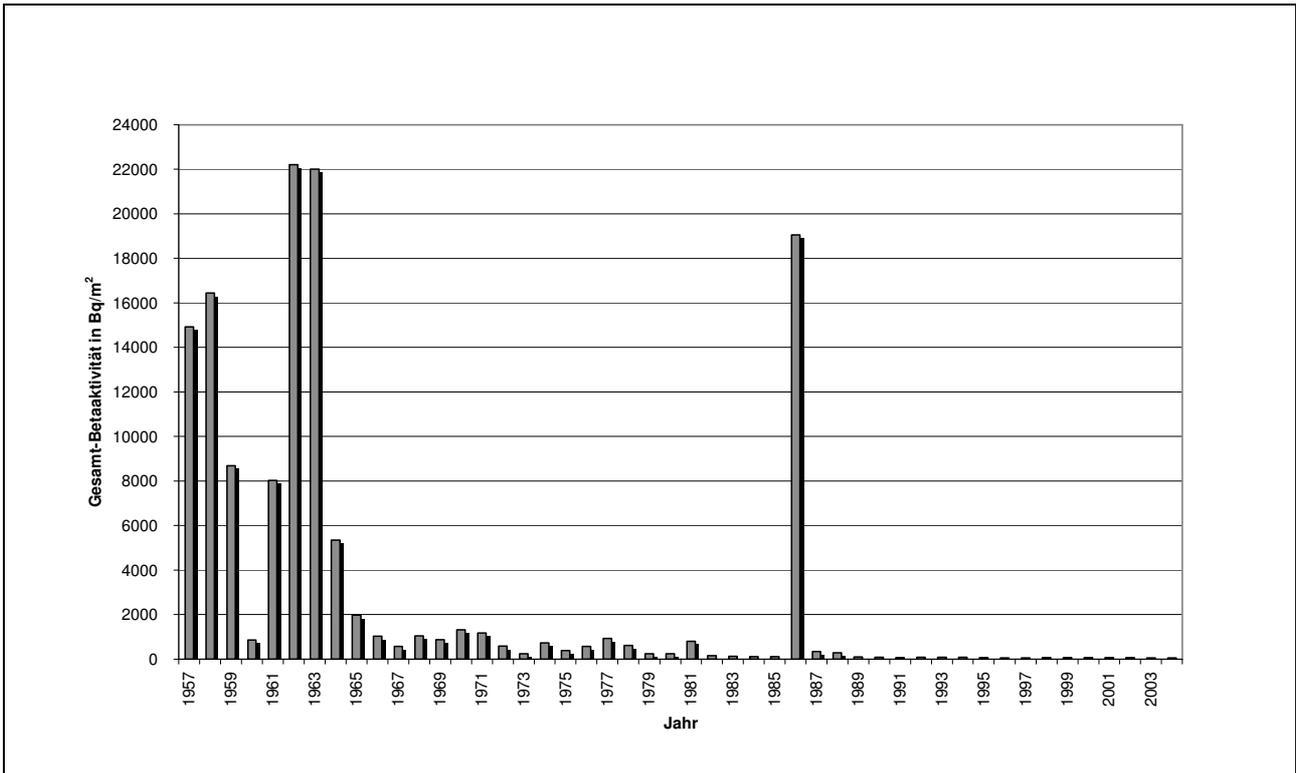
3.1-4



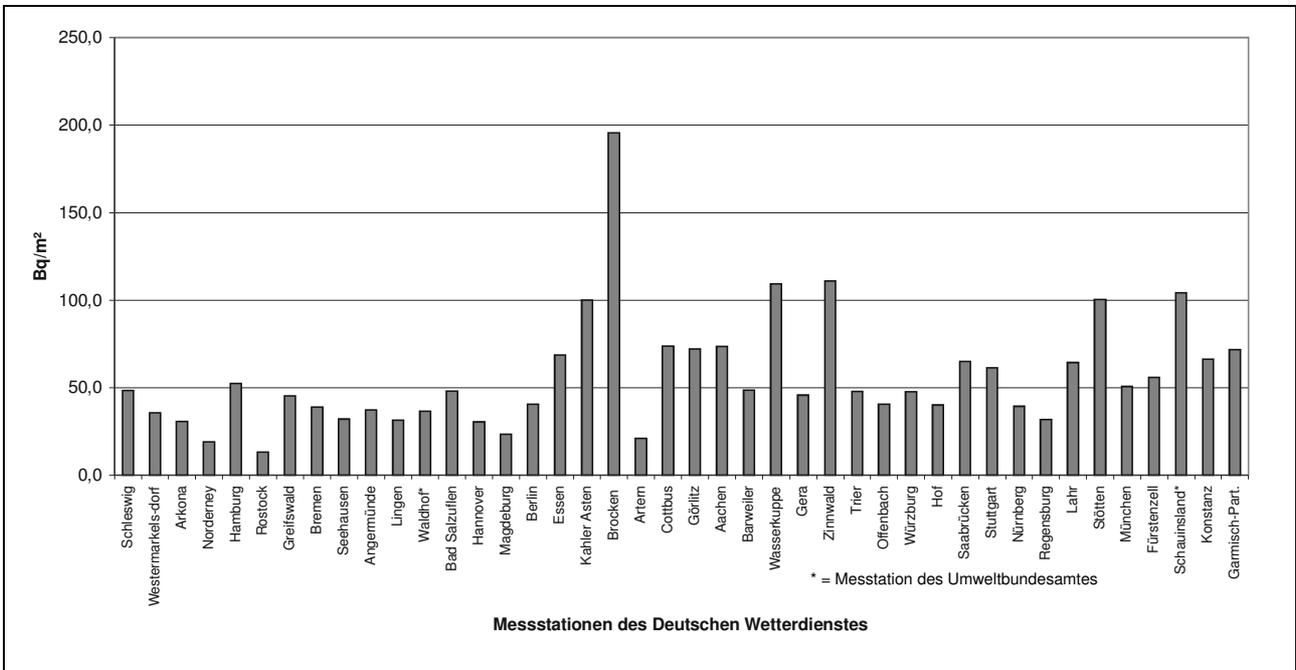
PTB	Aktivitätskonzentrationen von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft 2004 am Probenentnahmeort Braunschweig <i>(Activity concentrations of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig 2004)</i>	3.1-5
------------	---	--------------



PTB	Aktivitätskonzentrationen von Plutoniumisotopen in der bodennahen Luft 1990 - 2004 am Probenentnahmeort Braunschweig <i>(Activity concentrations of plutonium isotopes in ground-level air at the sampling site Braunschweig 1990 - 2004)</i>	3.1-6
------------	--	--------------

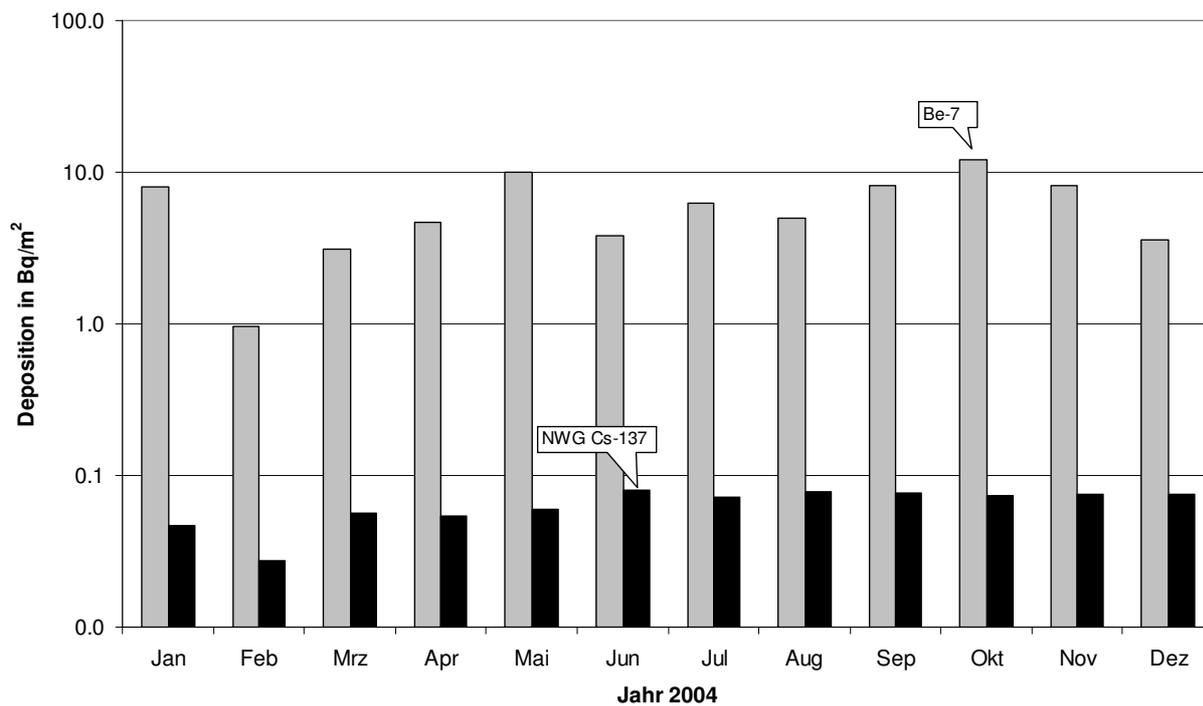


DWD	<p>Langlebige Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag – Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messtationen von 1957 bis 2004 <i>(Long-lived total β activity in precipitation – Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2004)</i></p>	3.1-7
------------	---	--------------

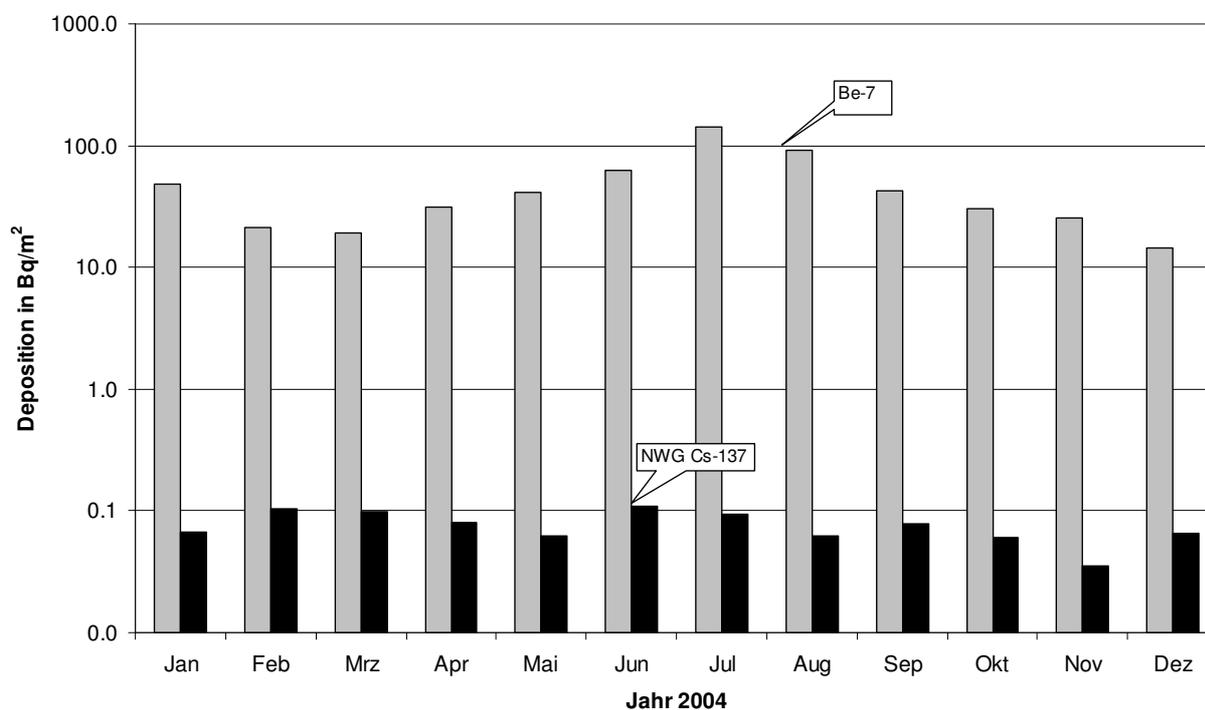


DWD	<p>Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2004 zugeführte langlebige Gesamt-β-Aktivität – stationspezifische Jahressummen <i>(Deposition of additional long-lived total β activity due to precipitation - station specific annual total values in 2004)</i></p>	3.1-8
------------	--	--------------

Deposition Berlin 2004



Deposition Offenbach 2004



DWD

Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2004
 DWD-Stationen Berlin und Offenbach
 (Deposition of radionuclides with precipitation in 2004 -
 DWD stations in Berlin and Offenbach)

3.1-9

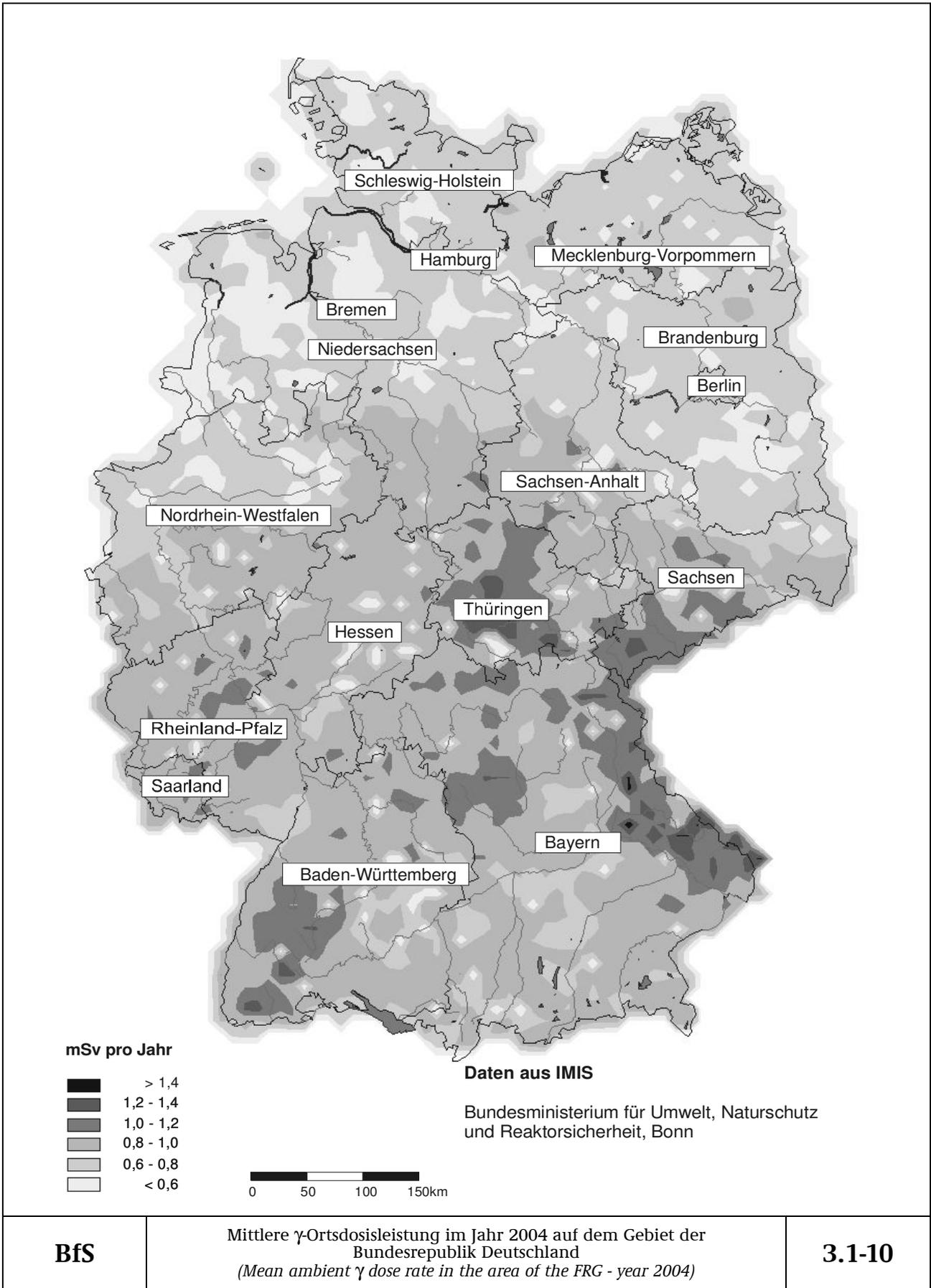


Tabelle 3.1.1-1 Einzelnuklid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft
(Activity concentrations of individual nuclides in air close to ground level)

a Messungen der Physikalisch Technischen Bundesanstalt, Braunschweig
 Probenentnahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
1995	3446	0,34	9,9	0,82	309
1996	3161	0,31	9,9	0,95	400
1997	3669	0,37	11,0	0,73	372
1998	3235	0,35	8,4	0,63	298
1999	3361	0,42	8,8	0,50	319
2000	2855	0,35	9,7	0,50	283
2001	2609	0,32	8,3	0,41	273
2002	2530	0,3	9	0,7	310
2003#	2730	0,4	10	0,62	344
2004#	2650	0,3	10	0,35	252
Januar	2060	0,2	24	0,36	246
Februar	2450	0,3	5,9	0,29	210
März	2400	0,3	5,8	0,44	266
April	3410	0,5	14	0,69	302
Mai	2740	0,5	8,8	0,44	202
Juni	3190	0,4	8,9	0,19	157
Juli	2680	0,3	7,9	0,13	178
August	4170	0,4	15	0,40	366
September	2710	0,3	10	0,22	238
Oktober	2090	0,1	7,3	0,31	307
November	1500	0,1	4,8	0,29	198
Dezember	2410	0,1	8,5	0,37	348

Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

b Messungen des Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit (GSF), München-Neuherberg,
 Probenentnahmestelle: München-Neuherberg

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
1995	3500	0,4	< 0,12	2,3	425
1996	3300	0,4	0,1	2,4	480
1997	3400	0,4	< 0,1	2,2	480
1998	3660	0,5	< 0,11	2,1	400
1999	3320	0,4	< 0,06	1,5	380
2000	3030	0,4	< 0,06	1,7	420
2001	2820	0,34	< 0,059	1,53	417
2002	3040	< 0,31	k. A.	1,44	475
2003	3250	< 0,30	< 0,07	1,61	476
2004#	2590	< 0,28	< 0,07	0,96	352
Januar	1800	< 0,21	< 0,08	1,56	283
Februar	2630	< 0,30	< 0,09	1,31	342
März	2860	< 0,29	< 0,10	1,61	514
April	2940	0,36	< 0,08	1,07	371
Mai	3230	0,39	< 0,07	0,61	305
Juni	3560	0,44	< 0,07	0,62	285
Juli	3650	0,41	< 0,07	0,56	354
August	3790	0,31	< 0,05	0,61	430
September	3150	< 0,23	< 0,09	0,74	430
Oktober	1780	< 0,19	< 0,08	0,87	411
November	1010	< 0,13	< 0,06	0,68	229
Dezember	681	< 0,07	< 0,04	1,22	275

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

c Messungen des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach/Main
 Probenentnahmestellen: Schleswig, Offenbach/Main, Berlin und Aachen

Zeit-Raum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
1995	3028	< 3,9	3667	< 3,6	3772	< 3,6	3942	< 2,3
1996	3080	< 4,4	2850	< 3,6	3360	< 2,1	3480	< 2,4
1997	3368	< 3,1	3709	< 3,4	3751	< 2,2	3878	< 2,1
1998	2646	< 3,4	3443	< 3,1	3066	< 3,2	3140	< 2,0
1999	2750	< 3,6	3460	< 3,0	3590	< 3,3	3360	< 1,8
2000	2168	< 3,3	2892	< 2,9	2898	< 3,8	2735	< 1,6
2001	1930	< 3,4	2760	< 3,1	2870	< 3,7	2550	< 2,2
2002	2284	< 3,6	2769	1,3	2821	1,6	2803	< 2,6
2003	2233	< 3,7	1451	0,5	1387	0,8	1606	< 2,8
2004#	2240	< 4,2	2870	0,4	2510	0,6	2870	< 2,8
Januar	1800	< 3,0	1870	0,3	1880	0,6	2100	< 2,7
Februar	2180	< 2,8	2360	0,4	2170	0,4	2340	< 3,3
März	2050	< 3,7	2320	0,5	2110	0,6	2530	< 2,8
April	3260	< 5,0	3360	0,4	3310	0,7	2440	< 2,5
Mai	2450	< 4,6	3480	0,5	2430	0,8	3470	< 2,5
Juni	2120	< 4,1	3580	0,2	2940	0,5	3070	< 2,5
Juli	2440	< 4,1	3610	0,3	2680	0,3	3270	< 2,9
August	3000	< 5,2	4100	0,4	3690	1,1	4160	< 3,4
Sept.	2690	< 4,7	3580	0,4	2780	0,5	3590	< 3,1
Oktober	1890	< 5,0	2360	0,4	2290	0,5	2760	< 3,3
November	1380	< 4,6	1610	0,3	1690	0,5	2210	< 2,1
Dezember	1630	< 3,6	2200	0,8	2100	0,9	2460	< 2,2

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

d Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, Freiburg,
 Probenentnahmestelle: Freiburg, Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	
	Be-7	Cs-137
1995	3348	0,63
1996	3454	0,4
1997	4916	0,6
1998	4488	1,0
1999	4106	0,63
2000	3754	0,47
2001	3494	0,43
2002	3767	0,45
2003#	4540	0,6
2004#	3870	0,44
Januar	2080	0,32
Februar	3190	0,51
März	3420	0,51
April	4230	0,57
Mai	4790	0,55
Juni	4440	0,44
Juli	5260	0,37
August	4740	0,30
September	4730	0,42
Oktober	2960	0,42
November	2530	< 0,52
Dezember	4050	0,34

Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

e Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz
 Probenentnahmestellen: Freiburg, Schauinsland,

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m ³			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
1995	1526	5,0	1544	5,5
1996	1438	5,1	1466	5,9
1997	1580	5,8	1590	6,8
1998	1623	5,1	1619	4,3
1999	1699	3,6	1736	5,0
2000	1641	3,4	1692	5,6
2001	1573	5,4	1593	8,0
2002	1604	5,0	1695	5,7
2003#	1700	7,5	1680	6,5
2004	1780	6,0	1790	5,9
Januar	2020	7,0	2000	4,4
Februar	1810	5,9	1770	5,4
März	1630	7,0	1630	8,0
April	1600	2,6	1650	3,7
Mai	2210	5,2	2220	6,1
Juni	2250	4,6	2250	5,6
Juli	1600	5,6	1610	6,5
August	1510	5,7	1510	4,7
September	070	6,6	1990	7,2
Oktober	1510	2,8	1780	3,8
November	1650	15,8	1630	13,0
Dezember	1490	3,0	1460	2,2

Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

3.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition) (Total wet deposition of radionuclides)

Der stationsspezifische Jahreswert der Deposition der Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag (Gesamtdeposition) errechnet sich aus der Summe der Tagesproben. Für das Jahr 2004 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 56 Bq/m² (Vorjahreswert: 48 Bq/m²). Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl, und damit im Bereich der natürlichen Schwankungen. Abbildung 3.1-7 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Deposition zugeführten Gesamt-β-Aktivität von 1957 bis 2004. Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte zeigt Abbildung 3.1-8.

Monatssammelproben von 40 Messstationen wurden γ-spektrometrisch analysiert. Die Nachweisgrenzen für Cs-137 lagen zwischen 0,5 bis 2 mBq/l. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig in Tabelle 3.1.2-1a) und 1b) zusammengefasst. In den Vorjahren wurden vergleichbare Werte beobachtet, die sich durch "wash-out"-Prozesse von resuspendiertem Cs-137 im Bodenmaterial erklären lassen. Im Jahr 2003 fiel deutlich weniger Niederschlag, wodurch auch die Deposition von Radionukliden geringer ausfiel. Die Abbildung 3.1-9 zeigt für die Messstationen Offenbach und Berlin die aus den Aktivitätskonzentrationen und der Niederschlagsmenge errechneten Werte für die Deposition von Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 wurden Werte für die Nachweisgrenze mit kleiner als 0,1 Bq/m² ermittelt, während für kosmogenes Be-7 Messwerte zwischen 7 und 207 Bq/m² bestimmt wurden.

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Niederschlagsproben von mindestens 4 Messstationen bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat analysiert. Es wurden Sr-90, Tritium sowie die Isotope von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betragen je nach Probenmenge für Sr-90 ca. 0,04 bis 1,7 mBq/l, für die α-Strahler zwischen 0,004 bis 0,15 mBq/l und für Tritium 3 bis 5 Bq/l.

**Tabelle 3.1.2-1 Deposition von Einzelnukliden mit dem Niederschlag
(Wet deposition of individual nuclides)**

a Messungen des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach und Berlin

Zeitraum	Offenbach am Main			Berlin		
	l/m ²	Deposition (Bq/m ²)		l/m ²	Deposition (Bq/m ²)	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1995	607,3	1117	< 4,0	925,8	1258	< 0,83
1996	551,0	559	< 2,25	462,9	629	< 0,67
1997	436,2	580	< 0,53	526,2	628	< 1,25
1998	636,5	813	< 0,61	623,5	766	< 1,50
1999	645,3	832	< 0,60	449,2	408	< 1,30
2000	736,2	828	< 0,55	590,3	449	< 1,48
2001	826,1	725	< 0,84	596,2	501	< 1,7
2002	735,9	718	< 0,82	736,8	608	< 1,83
2003	239,9	162	< 0,56	212,9	74	< 0,77
2004	617,6	567	< 0,92	533,2	363	< 1,38
Januar	60,9	48	< 0,07	66,4	47	< 0,14
Februar	18,7	21	< 0,10	51,4	30	< 0,12
März	28,5	19	< 0,10	23,4	13	< 0,12
April	16,8	31	< 0,08	24,1	15	< 0,09
Mai	74,7	41	< 0,06	33,0	14	< 0,15
Juni	36,7	63	< 0,11	57,6	43	< 0,12
Juli	115,6	141	< 0,09	82,8	24	< 0,11
August	110,8	92	< 0,06	63,8	34	< 0,11
September	58,2	42	< 0,08	26,2	7	< 0,10
Oktober	49,3	30	< 0,06	21,6	63	< 0,10
November	29,7	25	< 0,04	56,6	51	< 0,10
Dezember	17,7	14	< 0,07	26,3	22	< 0,12

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

b Messungen des Deutschen Wetterdienstes in Aachen und Schleswig

Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m ²	Deposition (Bq/m ²)		l/m ²	Deposition (Bq/m ²)	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1997	658,1	904	< 0,88	638,4	582	< 0,79
1998	892,6	1251	< 0,96	1049,1	820	< 1,14
1999	833,1	1005	< 1,01	908,0	766	< 1,05
2000	946,3	1028	< 1,06	736,3	619	< 1,08
2001	950,8	935	< 1,24	874,9	515	< 1,22
2002	945,0	1019	< 1,08	1083,3	771	0,81 - < 2,06
2003	467,6	286	< 0,68	377,4	304	< 0,64
2004	888,8	1013	< 0,82	892,4	676	< 1,07
Januar	104,3	107	< 0,09	104,8	70	< 0,07
Februar	50,2	49	< 0,06	91,3	32	< 0,08
März	41,7	71	< 0,10	46,9	35	< 0,10
April	66,0	76	< 0,05	24,3	19	< 0,09
Mai	62,7	55	< 0,06	20,5	25	< 0,09
Juni	74,2	93	< 0,07	111,5	105	< 0,09
Juli	122,0	207	< 0,08	95,2	94	< 0,09
August	119,2	114	< 0,06	100,0	41	< 0,09
September	73,0	73	< 0,08	106,4	78	< 0,09
Oktober	43,4	23	< 0,07	68,5	84	< 0,09
November	82,5	102	< 0,04	52,1	28	< 0,10
Dezember	49,6	43	< 0,06	70,9	65	< 0,09

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

3.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung *(Ambient gamma dose rate)*

Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz des BfS gemessenen Werte der γ -Ortsdosisleistung sind im Vergleich zum Vorjahr unverändert.

Als qualitätssichernde Maßnahme wurden auch im Berichtsjahr an den Sonden wiederkehrende Prüfungen mit Hilfe eines Kalibrierstrahlers durchgeführt, wobei mehr als 99% aller geprüften Sonden kein auffälliges Verhalten zeigten.

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

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Kiel

Die Wanderung der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-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 Probenahme-probleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 war natürlich auch im Jahr 2004 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

In Tabelle 3.2-1 sind Messwerte für als Weiden oder Wiesen genutzte Böden zusammengefasst. In Tabelle 3.2-2 sind entsprechende Werte für Ackerböden und in Tabelle 3.2-3 für Waldböden wiedergegeben. Für nicht genannte Bundesländer liegen jeweils keine vergleichbaren Daten vor.

In der Vegetationsperiode 2004 wurden verschiedene Pflanzenproben γ -spektrometrisch 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 3.2-4 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 3.2-5 und 3.2-6 zusammengestellt. In Tabelle 3.2-7 sind Messergebnisse pflanzlicher Indikatoren (Blätter, Nadeln, Gras, Farne) wiedergegeben. In den Tabellen 3.2-5 bis 3.2-7 sind die Ergebnisse für das Bundesgebiet aufgeführt.

**Tabelle 3.2-1 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	2002	0 - 10	15	47,4	128,0	11	2,0	4,6
	2003	0 - 10	14	48,0	136,0	10	2,0	5,5
	2004	0 - 10	14	42,2	118,0	10	2,1	5,4
Bayern	2002	0 - 10	35	97,7	455,0	17	2,4	4,5
	2003	0 - 10	19	108,5	345,0	17	2,0	4,3
	2004	0 - 10	18	101,4	425,0	17	1,7	4,3
Berlin	2002	0 - 10	5	13,4	21,6	1	0,4	-
	2003	0 - 10	4	9,7	18,0	1	1,8	-
	2004	0 - 10	4	11,3	15,8	1	2,6	-
Brandenburg	2002	0 - 10	13	16,8	98,0	4	2,3	2,9
	2003	0 - 10	15	18,1	56,0	6	1,7	2,5
	2004	0 - 10	15	14,2	47,8	6	1,8	2,7
Bremen	2002	0 - 10	1	15,9	-	1	< 0,3	-
	2003	0 - 10	1	40,1	-	1	3,1	-
	2004	0 - 10	1	7,6	-	1	4,9	-
Hamburg	2002	0 - 10	2	13,4	14,1	1	0,9	-
	2003	0 - 10	2	4,0	4,3	1	2,5	-
	2004	0 - 10	2	5,8	7,2	1	1,0	-

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Hessen	2002	0 - 10	5	17,1	34,6	3	2,2	4,0
	2003	0 - 10	5	19,9	29,3	3	3,1	5,8
	2004	0 - 10	5	20,0	35,7	3	2,8	5,3
Mecklenburg-Vorpommern	2002	0 - 10	8	22,7	64,7	4	0,7	1,4
	2003	0 - 10	8	21,8	66,2	4	1,3	2,5
	2004	0 - 10	8	17,2	61,8	4	0,6	0,8
Niedersachsen	2002	0 - 10	7	33,2	73,2	4	2,8	3,8
	2003	0 - 10	7	35,8	90,9	4	2,8	4,1
	2004	0 - 10	9	30,7	69,1	4	2,5	3,2
Nordrhein-Westfalen	2002	0 - 10	20	14,9	26,0	5	1,2	3,8
	2003	0 - 10	20	15,1	26,0	5	1,3	2,5
	2004	0 - 10	20	16,6	68,9	5	<5,4	22,4*
Rheinland-Pfalz	2002	0 - 10	7	19,7	31,8	2	0,9	1,2
	2003	0 - 10	7	15,1	18,5	3	1,1	1,4
	2004	0 - 10	6	16,2	23,9	2	0,8	0,9
Saarland	2002	0 - 10	3	16,7	26,3	2	1,8	2,1
	2003	0 - 10	3	15,8	26,9	2	1,9	2,2
	2004	0 - 10	3	14,3	24,1	2	1,8	2,2
Sachsen	2002	0 - 10	6	22,9	73,4	5	1,4	2,9
	2003	0 - 10	6	13,1	33,7	5	1,0	1,8
	2004	0 - 10	6	16,1	44,7	5	1,3	2,6
Sachsen-Anhalt	2002	0 - 10	a)			a)		
	2003	0 - 10	2	7,9	9,9	a)		
	2004	0 - 10	4	9,3	15,0	a)		
Schleswig-Holstein	2002	0 - 10	7	15,6	21,4	5	1,8	2,0
	2003	0 - 10	7	15,0	20,7	5	1,5	1,7
	2004	0 - 10	7	14,4	21,5	5	1,6	1,6
Thüringen	2002	0 - 10	6	25,2	36,2	3	1,3	1,8
	2003	0 - 10	6	24,1	35,7	3	1,7	1,7
	2004	0 - 10	6	22,9	35,4	3	1,8	1,9

a) Daten lagen nicht vor

- Messung / Angabe nicht erforderlich

* Der Sr-90-Wert ist nicht repräsentativ. Mittelwert ohne diesen Wert <1,2 Bq/kg TM; höchster Wert 3,5 Bq/kg TM

Tabelle 3.2-2 Radioaktive Kontamination von Ackerböden
(Radioactive contamination of arable soil)

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Baden-Württemberg	2002	0 - 30	10	27,5	88,0	a)		
	2003	0 - 30	8	29,1	86,1	a)		
	2004	0 - 30	10	25,9	95,3	a)		
Bayern	2002	0 - 30	25	31,4	171,0	3	2,0	4,9
	2003	0 - 30	26	31,5	206,0	3	3,0	7,1
	2004	0 - 30	26	29,1	195,0	3	2,7	6,4
Berlin	2002	0 - 30	1	10,0	-	1	1,2	-
	2003	0 - 30	1	3,0	-	1	1,0	-
	2004	0 - 30	1	8,7	-	1	2,1	-
Brandenburg	2002	0 - 30	9	12,9	33,0	3	0,6	0,8
	2003	0 - 30	9	11,9	31,0	3	0,7	1,0
	2004	0 - 30	9	11,2	32,0	2	1,0	1,5
Bremen	2002	0 - 30	2	10,9	12,6	1	1,4	-
	2003	0 - 30	2	8,6	13,2	1	1,5	-
	2004	0 - 30	2	4,1	4,4	1	1,4	-
Hamburg	2002	0 - 30	1	8,3	-	1	0,7	-
	2003	0 - 30	1	6,1	-	1	2,3	-
	2004	0 - 30	1	7,8	-	1	1,1	-
Hessen	2002	0 - 30	7	11,1	21,5	2	0,8	1,3
	2003	0 - 30	7	10,2	17,9	2	0,9	1,5
	2004	0 - 10	7	11,1	20,9	2	1,2	1,5
Mecklenburg-Vorpommern	2002	0 - 30	7	11,2	24,0	2	1,0	1,4
	2003	0 - 30	7	11,9	24,5	2	0,9	1,3
	2004	0 - 30	7	9,1	19,7	2	0,9	1,0
Niedersachsen	2002	0 - (25/30)	24	11,2	20,3	10	2,5	3,5
	2003	0 - (25/30)	22	12,4	39,0	12	3,2	5,2
	2004	0 - (25/30)	24	< 10,8	50,0	9	2,8	4,1
Nordrhein-Westfalen	2002	0 - 30	20	9,8	21,5	5	1,8	4,8
	2003	0 - 30	19	9,9	16,5	5	1,9	6,8
	2004	0 - 30	20	< 10,8	53,9	5	1,6	4,9
Rheinland-Pfalz	2002	0 - (25/30)	7	11,8	22,1	2	0,7	1,0
	2003	0 - (25/30)	7	9,1	18,7	3	1,0	1,7
	2004	0 - (25/30)	6	8,3	17,2	2	0,9	1,1
Saarland	2002	0 - 30	a)			a)		
	2003	0 - 30	a)			a)		
	2004	0 - 30	a)			a)		
Sachsen	2002	0 - 30	6	11,8	29,4	a)		
	2003	0 - 30	6	8,9	14,2	a)		
	2004	0 - 30	6	9,3	21,4	a)		

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Sachsen-Anhalt	2002	0 - 30	13	14,3	42,1	5	0,8	1,1
	2003	0 - 30	14	16,0	61,1	5	0,8	1,3
	2004	0 - 30	13	22,1	111,0	5	1,1	2,0
Schleswig-Holstein	2002	0 - 30	5	10,5	20,3	a)		
	2003	0 - 30	5	8,1	11,8	a)		
	2004	0 - 30	5	7,2	12,0	a)		
Thüringen	2002	0 - 30	6	10,6	16,6	2	1,5	1,6
	2003	0 - 30	6	10,5	16,8	2	1,4	1,7
	2004	0 - 30	6	10,7	17,6	2	1,2	1,3

a) Daten lagen nicht vor
- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.2-3 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
Bayern	2002	0 - 10	8	759,4	1490,0	a)		
	2003	0 - 10	a)			a)		
	2004	0 - 10	a)			a)		
Hessen	2002	0 - 10	4	60,2	79,4	2	2,4	4,2
	2003	0 - 10	4	39,2	58,6	2	2,5	3,3
	2004	0 - 10	4	49,0	86,9	2	2,8	5,0
Niedersachsen	2002	0 - 10	2	104,2	151,0	1	4,5	-
	2003	0 - 10	2	116,1	212,0	a)		
	2004	0 - 10	2	180,0	343,0	a)		
Nordrhein-Westfalen	2002	0 - 10	5	98,9	240,0	a)		
	2003	0 - 10	6	65,3	129,0	a)		
	2004	0 - 10	6	64,3	206,0	a)		

a) Daten lagen nicht vor
- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.2-4 Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs
(Radioactive contamination of pasture and meadow vegetation)

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Baden-Württemberg	2002	19	< 1,1	3,6	10	1,8	5,0
	2003	20	< 1,6	6,7	10	2,5	6,3
	2004	20	< 1,8	7,2	10	1,8	3,7
Bayern	2002	80	< 9,8	337,0	30	3,2	8,4
	2003	80	< 4,7	50,0	30	2,9	6,5
	2004	79	< 3,2	29,1	30	1,9	4,9

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Berlin	2002	3	< 4,4	12,0	1	0,9	-
	2003	3	0,9	1,3	1	1,9	-
	2004	2	< 1,5	2,6	1	0,5	-
Brandenburg	2002	26	< 5,3	45,0	8	1,9	5,0
	2003	26	< 2,7	19,0	8	1,8	5,0
	2004	23	2,9	11,0	8	1,6	3,2
Bremen	2002	2	2,5	4,3	1	0,3	-
	2003	2	1,2	1,5	1	0,8	-
	2004	2	< 1,6	2,6	1	3,7	-
Hamburg	2002	2	2,1	2,8	1	1,4	-
	2003	2	1,1	1,7	1	2,5	-
	2004	2	1,0	1,0	1	2,1	-
Hessen	2002	6	< 1,3	3,7	4	5,6	9,5
	2003	5	3,7	11,4	3	2,3	3,4
	2004	5	< 1,7	4,5	3	3,6	5,9
Mecklenburg-Vorpommern	2002	24	< 4,0	39,8	12	1,7	4,3
	2003	25	< 4,2	41,7	12	1,9	3,2
	2004	25	< 3,2	32,6	12	1,3	3,4
Niedersachsen	2002	42	< 6,5	73,8	20	1,9	4,1
	2003	38	< 10,3	132,0	21	2,6	4,9
	2004	41	< 4,0	61,8	20	2,3	3,1
Nordrhein-Westfalen	2002	20	< 0,6	1,3	8	1,2	2,7
	2003	19	< 1,3	6,2	8	1,1	1,9
	2004	22	< 1,1	2,8	9	1,4	3,7
Rheinland-Pfalz	2002	8	< 1,1	5,4	a)		
	2003	8	< 1,2	2,6	4	1,5	2,1
	2004	7	< 0,4	< 0,6	3	1,3	1,8
Saarland	2002	2	1,8	2,6	1	0,5	-
	2003	2	1,0	1,3	1	2,5	-
	2004	2	< 0,2	< 0,2	1	2,4	-
Sachsen-Anhalt	2002	14	< 1,6	5,8	7	1,2	2,4
	2003	16	< 0,7	2,8	7	1,0	2,0
	2004	18	< 0,8	3,5	7	1,2	2,3
Sachsen	2002	20	< 1,3	6,3	10	1,1	1,8
	2003	20	< 1,6	10,3	10	1,2	2,9
	2004	20	< 1,5	8,8	10	1,3	2,5
Schleswig-Holstein	2002	20	< 1,3	4,7	10	2,8	4,4
	2003	20	< 0,7	2,6	10	2,3	3,9
	2004	20	< 1,0	2,9	10	2,2	3,4

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Thüringen	2002	12	< 1,0	2,1	6	1,5	2,6
	2003	12	< 0,8	1,9	6	1,5	3,1
	2004	12	< 0,6	1,7	6	1,7	2,5

a) Daten lagen nicht vor

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.2-5 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)
(Radioactive contamination of some feedstuffs - domestic production)

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Mais u. Maissilagen	2002	241	< 0,5	6,3	1	0,2	-
	2003	246	< 0,7	7,4	1	0,9	-
	2004	245	< 0,5	5,3	1	< 0,03	-
Futterrüben	2002	39	< 0,5	1,2	-	-	-
	2003	36	< 0,5	4,6	1	0,1	-
	2004	39	< 1,1	24,9	-	-	-
Futtergetreide	2002	144	< 0,2	0,6	-	-	-
	2003	136	< 0,2	0,8	-	-	-
	2004	140	< 0,3	1,6	-	-	-
Futterkartoffeln	2002	76	< 0,4	2,6	-	-	-
	2003	72	< 0,5	2,8	-	-	-
	2004	82	< 0,4	2,8	-	-	-
Erbsen	2002	1	< 0,2	-	-	-	-
	2003	6	< 0,2	< 0,4	1	3,9	-
	2004	2	< 0,2	< 0,2	1	0,7	-
Raps	2002	3	< 0,4	0,6	-	-	-
	2003	6	< 0,2	0,5	-	-	-
	2004	4	< 0,2	< 0,3	-	-	-
Ölkuchen	2003	3	< 0,2	< 0,2	-	-	-
	2004	1	< 1,3	-	-	-	-

Tabelle 3.2-6 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten
(Radioactive contamination of imported feedstuffs)

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	2002	6	< 0,21	< 0,41
	2003	3	< 0,05	< 0,07
	2004	6	< 0,23	0,13
Mais, Maisprodukte	2002	23	< 0,26	1,27
	2003	23	< 0,26	0,97
	2004	24	< 0,25	0,93

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Maniok, Tapioka	2002	1	< 0,3	-
	2003	2	< 0,3	< 0,3
	2004	5	< 0,3	< 0,4
Ölkuchen, Ölschrote	2002	71	< 0,50	2,39
	2003	87	< 0,4	1,75
	2004	82	< 0,4	1,2
Erbsen	2002	a)		
	2003	a)		
	2004	2	< 0,2	< 0,3
Leguminosen, Lupinen	2002	2	0,1	0,2
	2003	1	< 0,2	< 0,2
	2004	1	0,5	-
Fischmehl	2003	1	0,5	0,5
	2004	1	< 0,15	-
Tiernebenprodukte	2002	1	0,9	-
	2003	2	< 0,14	< 0,14
	2004	2	< 0,14	< 0,15
Molkenpulver	2002	1	0,4	-
	2003	a)		
	2004	2	< 0,3	0,3
Citrustrester	2002	10	< 0,4	0,9
	2003	4	< 0,3	< 0,3
	2004	8	< 0,08	1,1

a) Daten lagen nicht vor

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.2-7 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)
(Radioactive contamination of plants - indicators)

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Blätter	2002	110	< 15,2	379,0
	2003	115	< 11,0	335,0
	2004	109	< 9,3	72,0
Nadeln	2002	58	< 45,5	1120,0
	2003	60	< 45,5	1250,0
	2004	53	< 39,4	831,0
Gras	2002	116	< 15,7	301,0
	2003	113	< 13,1	174,0
	2004	108	< 14,2	303,0
Farne (Thüringen)	2002	2	244,7	484,0
	2003	2	143,7	285,0
	2004	2	107,8	214,0

3.3 Gewässer (Bodies of water)

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

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Im vorliegenden Beitrag 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 2004 berichtet.

Die gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern ermittelten Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen sind in Teil II Abschnitt 1.4.3 zusammengefasst und bewertet.

Zusammenfassungen der Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI können der Tabelle 3.3.1-1 entnommen werden.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG wurden im Berichtsjahr Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 139 Gewässern - davon 69 Fließgewässer und 70 Seen bzw. Talsperren - mit insgesamt 15.570 Messwerten ausgewertet. Für ausgewählte Entnahmestellen wurden Jahresmittelwerte (JMW) der Aktivitätskonzentrationen berechnet und zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt: Tabelle 3.3.1-2 für Fließgewässer und Tabelle 3.3.1-3 für Seen bzw. Talsperren. 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 Aktivitätskonzentrationen eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Tabelle "nn" angegeben.

Mit der Überwachung der dynamischen Kompartimente Oberflächenwasser und Schwebstoff können Einträge und Veränderungen radioaktiver Kontaminationen in Gewässern relativ kurzzeitig und empfindlich erfasst und verfolgt werden. Bei Fließgewässern ist zu beachten, dass Radionuklide - in gelöster Form oder partikular gebunden - mit Wasser bzw. Schwebstoffen über weite Strecken verfrachtet werden können. Schwebstoffe sedimentieren bevorzugt in Stillwasserbereichen, wie sie z. B. Häfen, Bühnenfelder, Altarme, Stauhaltungen und Uferböschungen darstellen, und können dort zu einer Kontamination des Sediments führen. Sedimente sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium (Senke) für radioaktive und andere Kontaminationen in den Gewässern zu betrachten. Zur Darstellung der langfristigen Kontamination von Gewässern sind Untersuchungen von Sedimenten daher besonders angezeigt. Durch eine Remobilisierung von Sedimenten - beispielsweise bei Hochwassersituationen - ist eine spätere Weiterverfrachtung bereits abgelagerter Radionuklide in andere Gewässerbereiche möglich, wofür die Schwebstoffe wiederum ein wichtiger Indikator sind.

Bei den in Binnengewässern derzeit im Wesentlichen nachweisbaren künstlichen Radionukliden handelt es sich um Tritium (H-3), Strontium-90 (Sr-90) und Cäsium-137 (Cs-137). H-3 stammt, neben einem natürlichen Anteil, aus dem Fallout der Kernwaffenversuche der 50er und 60er Jahre sowie aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen und Isotopen verarbeitender Betriebe. Die langlebigen Spaltprodukte Sr-90 und Cs-137 wurden hauptsächlich durch den Fallout der Kernwaffenversuche und als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl in 1986 - hier insbesondere Cs-137 - in die Gewässer eingetragen. In geringerem Ausmaß treten die Aktivierungsprodukte Kobalt-58 (Co-58) und Co-60 aus kerntechnischen Anlagen auf sowie sporadisch das kurzlebige Jod-131 (I-131) aus meist nuklearmedizinischen Anwendungen. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen der Konzentrationen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte repräsentativer Entnahmestellen in den Abbildungen 3.3.1-1 bis 3.3.1-4 beispielhaft aufgezeigt.

Bewertung

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 2004 erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasser wies H-3-Gehalte im Jahresmittel überwiegend unterhalb der geforderten Nachweisgrenze des Routinemessprogramms (RMP) von 10 Bq/l auf. Bei Flüssen, in die aus kerntechnischen Anlagen H-3 eingeleitet wurde, betrug die Jahresmittelwerte bis ca. 32 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit ebenfalls unter den Nachweisgrenzenvorgaben des RMP. Die von

kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren – von H-3 abgesehen - im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen nicht mehr nachweisbar. Lediglich Co-60 wurde in der Ems in geringfügigen Konzentrationen von unter 0,01 Bq/l gemessen. I-131 trat sporadisch auf mit Einzelkonzentrationen bis 0,06 Bq/l. Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für Uran-234 (U-234), U-235 und U-238 durchweg mittlere Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen: für U-238 schwankten die Werte beispielsweise regional zwischen 0,0003 und 0,07 Bq/l. Plutonium-238 (Pu-238) und Pu-239/240 konnten oberhalb der Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l nicht nachgewiesen werden.

In Schwebstoffen erreichte Cs-137 überwiegend mittlere Konzentrationen bis 100 (meist unter 50) Bq/kg TM. Von einzelnen Seen wurden - wie in den vergangenen Jahren – höhere Werte für Cs-137 berichtet, z. B. vom Steinhuder Meer 315 und vom Starnberger See 249 Bq/kg TM im Jahresmittel. Co-58 und Co-60 konnten in Ems, Mosel und Rhein gemessen werden. Die Jahresmittelwerte betragen unter 5 Bq/kg TM und lagen noch unter der geforderten Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM. Für I-131 wurden Einzelkonzentrationen von meist bis 50 Bq/kg TM gemessen; höhere Werte bis ca. 160 Bq/kg TM stammten von Neckar und Oldenburger Graben (Schleswig-Holstein).

In Sedimenten trat Cs-137 überwiegend in mittleren Gehalten bis 100 Bq/kg TM auf. In einzelnen Seen lagen auch hier immer noch höhere mittlere Konzentrationen an Cs-137 vor: z. B. im Schollener See (Sachsen-Anhalt) 223, in der Aabach-Talsperre (Nordrhein-Westfalen) 200 und im Lanker See (Schleswig-Holstein) 198 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 wurden in Sedimenten aus Ems, Jadebusen, Mosel und Rhein in mittleren Konzentrationen unterhalb von 2 Bq/kg TM bestimmt und unterschritten somit deutlich die Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

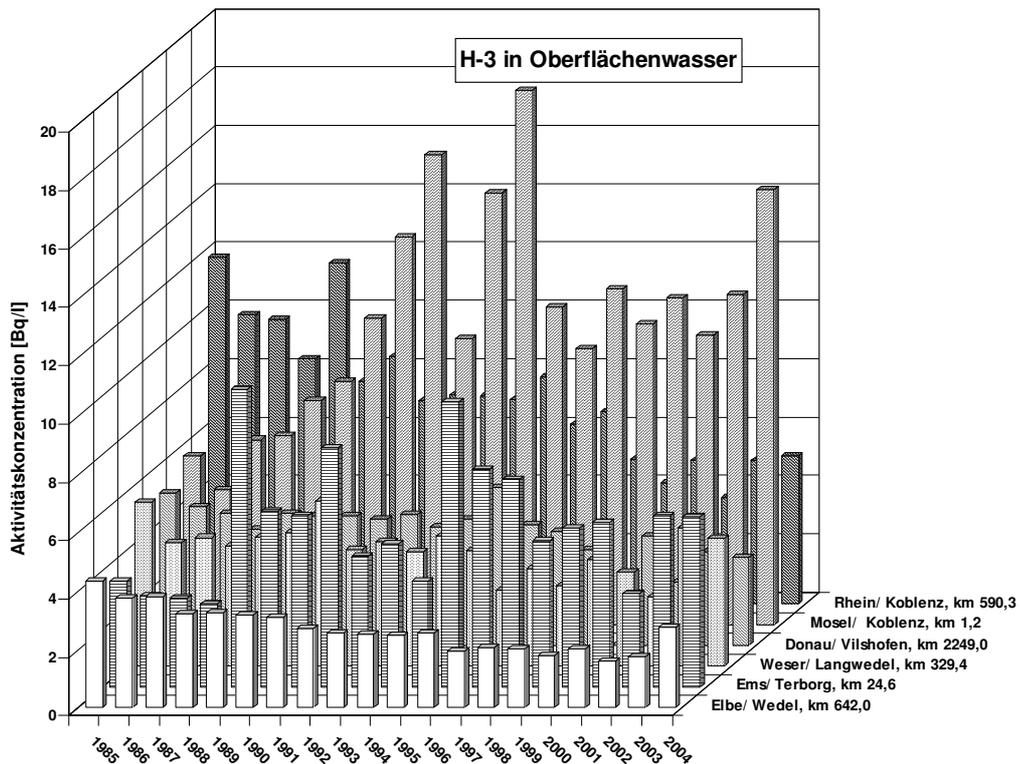
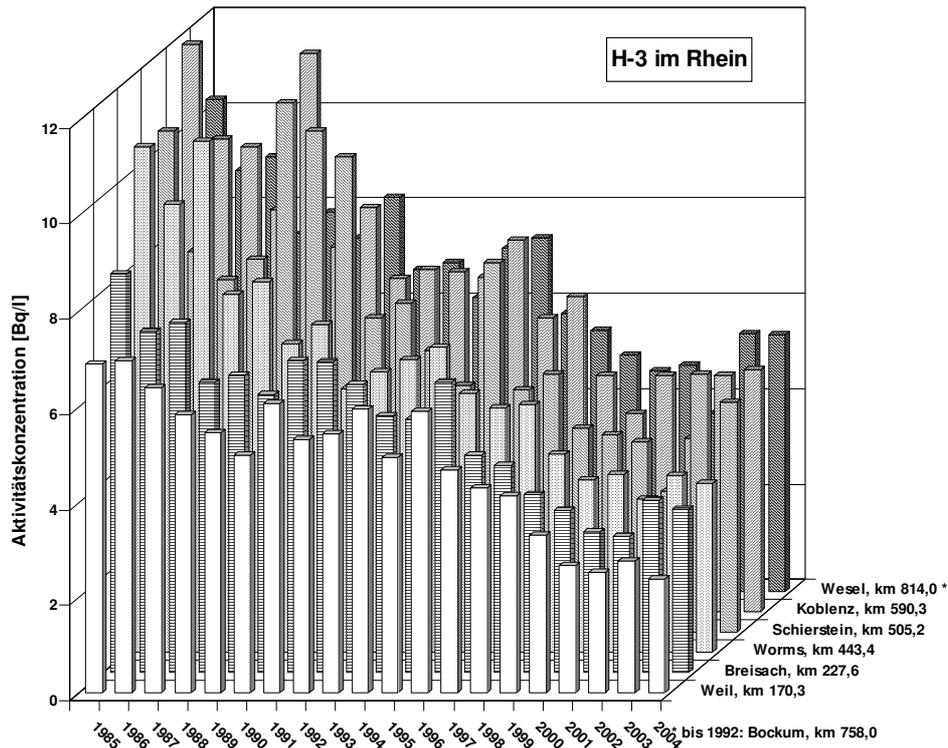
Der radiologische Gütezustand der Binnengewässer ist 2004 mit dem der letzten Vorjahre vergleichbar. Die Schwankungen der Jahresmittelwerte der langlebigen künstlichen Radionuklide können - vom radioaktiven Zerfall abgesehen - mit den in Gewässern ablaufenden dynamischen Austausch- und Transportprozessen erklärt werden, die zu sehr inhomogenen und instationären Verteilungen der Radionuklide innerhalb der Gewässer führen können. In Sedimenten variieren die Radionuklidkonzentrationen – wie bei anderen Schadstoffen auch - mit der Korngrößenverteilung. Zu beachten ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und 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 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, errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a; 350 l/a Konsum) auf dem "Trinkwasser"-Pfad zu ca. 0,21 μ Sv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (\leq 1 a; 170 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,54 μ Sv/a. Allein der von dem natürlichen Radionuklid Kalium-40 (K-40) für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 0,87 bzw. 4,2 μ Sv/a deutlich darüber.

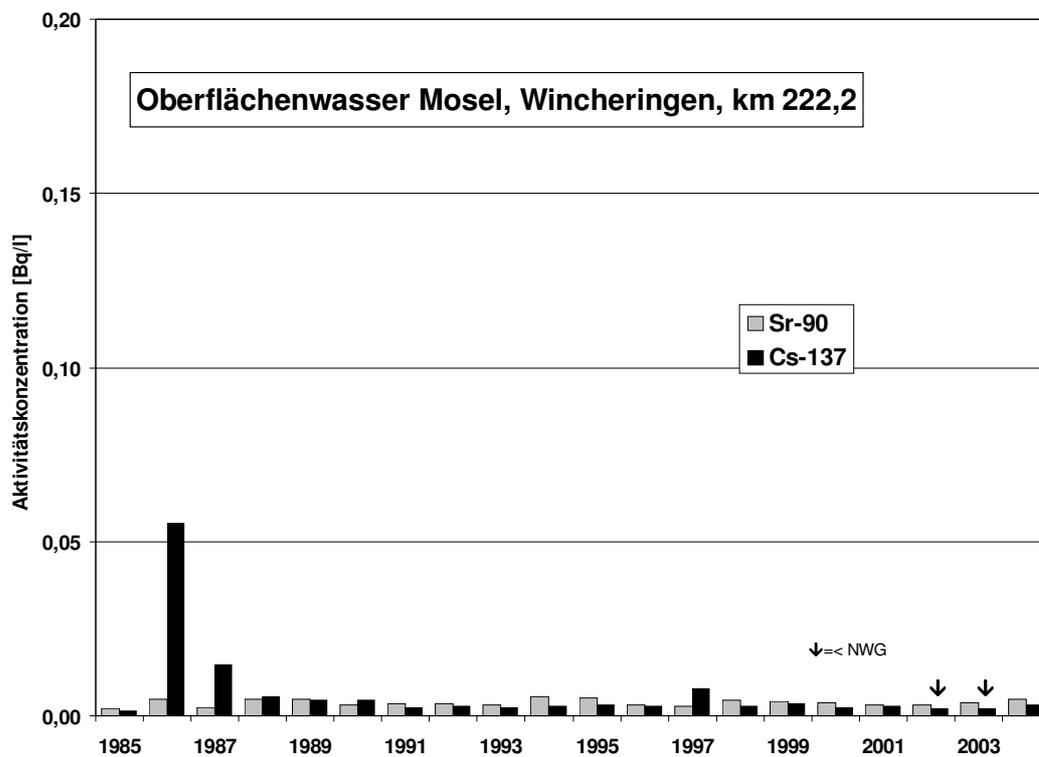
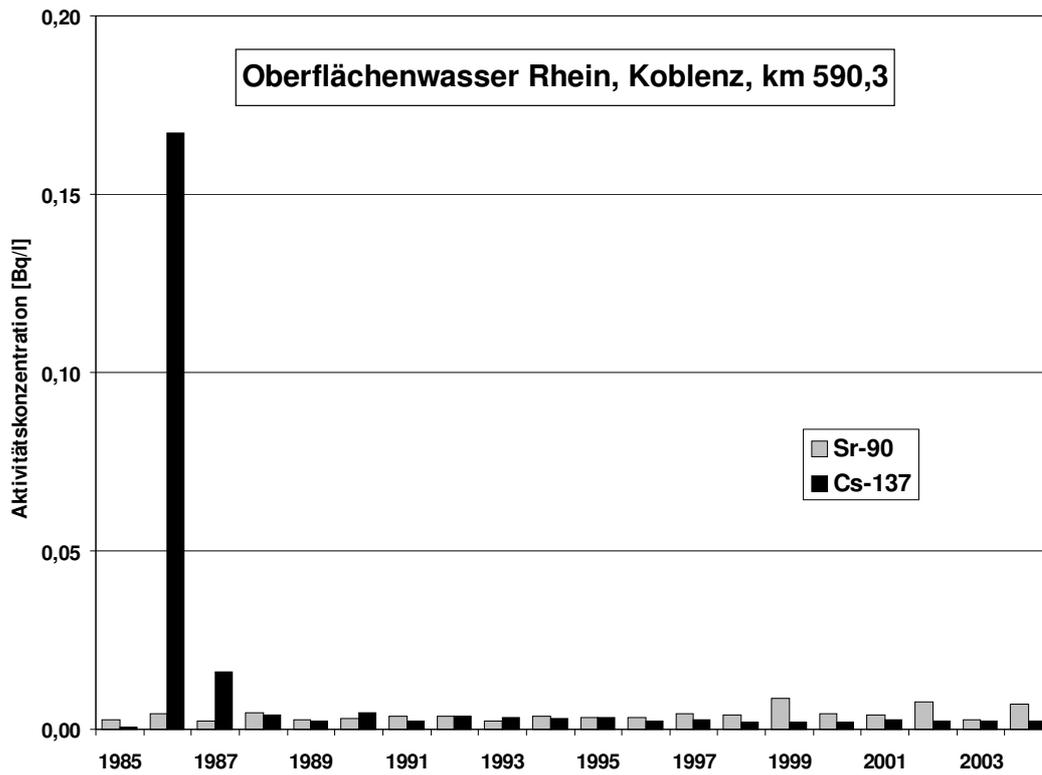
Insbesondere Cs-137 war auch 2004 noch in Sedimenten deutlich nachweisbar. So konnten in Sedimenten aus der Donau noch mittlere Cs-137-Gehalte von 108 Bq/kg TM gemessen werden. Würde dieses Sediment bei Ausbaumaßnahmen für die Schifffahrt gebaggert und an Land gelagert, so kann die auf dem Expositionspfad "Aufenthalt auf Spülfeldern" für Standardbedingungen für Erwachsene (> 17 a) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu ca. 11,5 μ Sv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag für diesen Expositionspfad der natürlichen Radionuklide K-40, Thorium-nat (Th-nat) und U-nat bei typischen Gehalten von 500, 40 und 40 Bq/kg TM mit insgesamt ca. 28 μ Sv/a wesentlich höher.



BfG

Tritiumgehalte [Bq/l] in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer
 (Jahresmittelwerte)
 (Contents of Tritium [Bq/l] in surface water from selected inland waters - annual
 mean values)

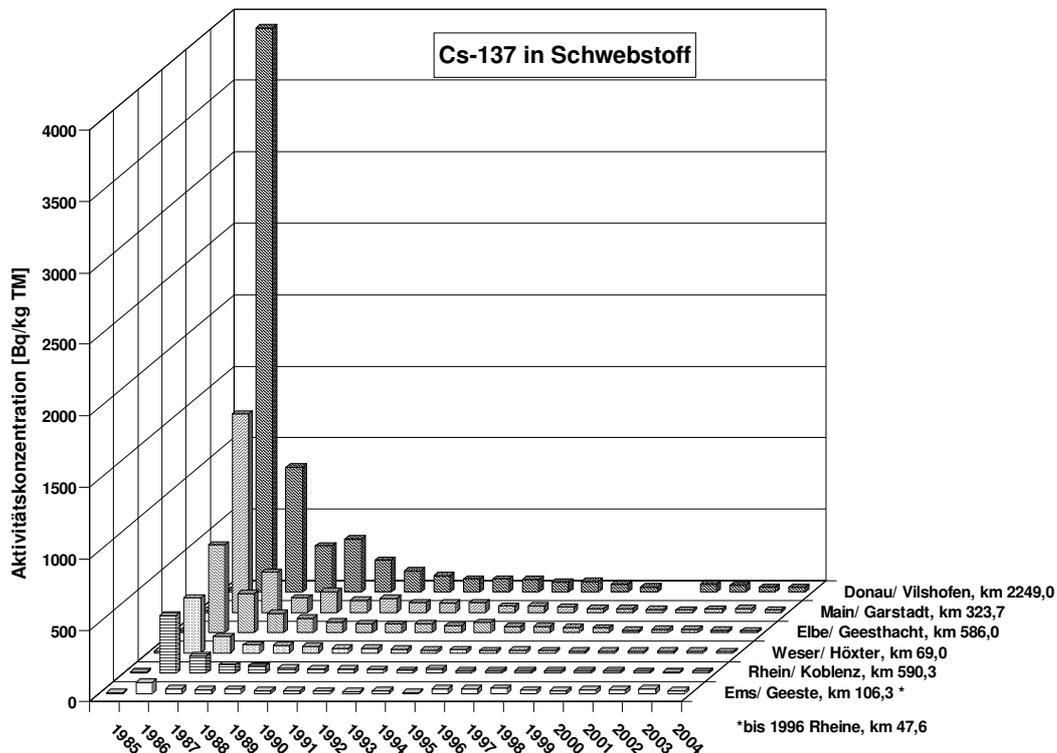
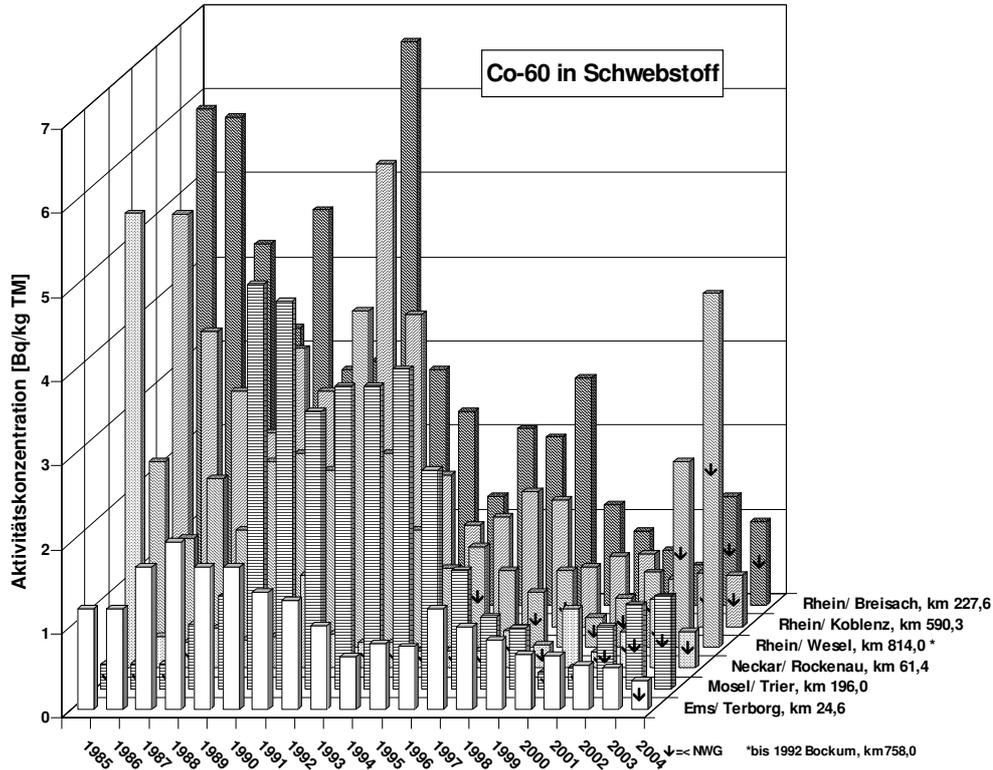
3.3.1-1



BfG

Aktivitätskonzentrationen von Strontium-90 und Cäsium-137
in Rhein und Mosel (Jahresmittelwerte)
(*Strontium-90 and cesium-137 activity concentrations in the rivers Rhine and
Mosel - annual mean values*)

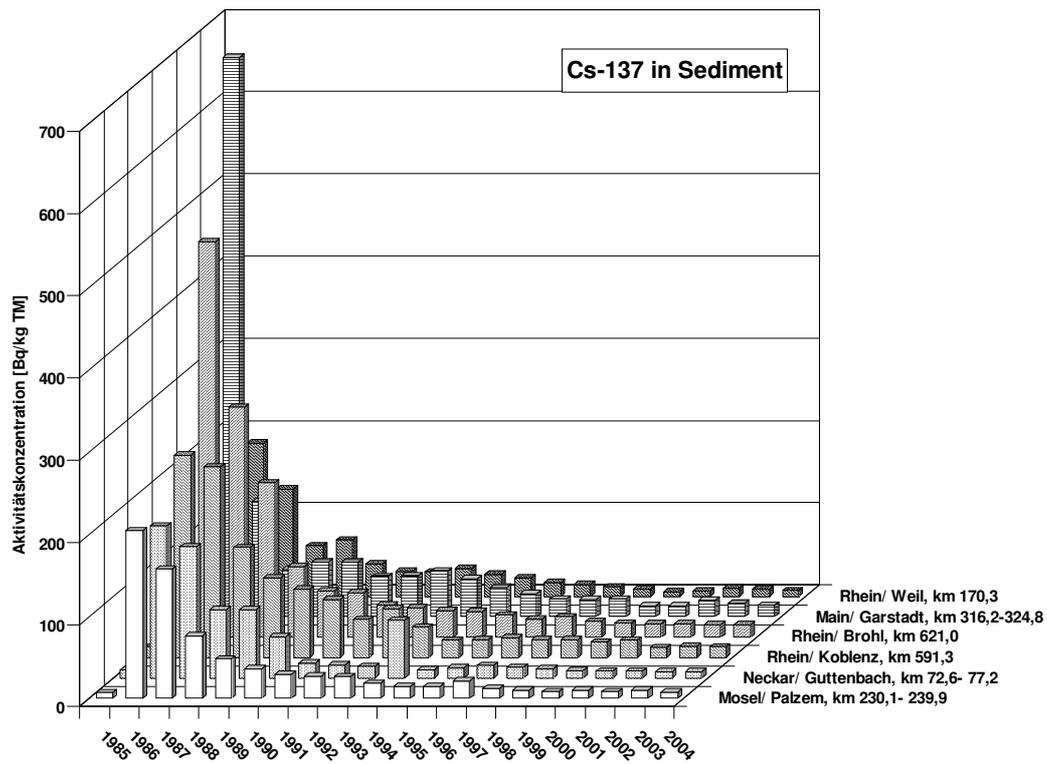
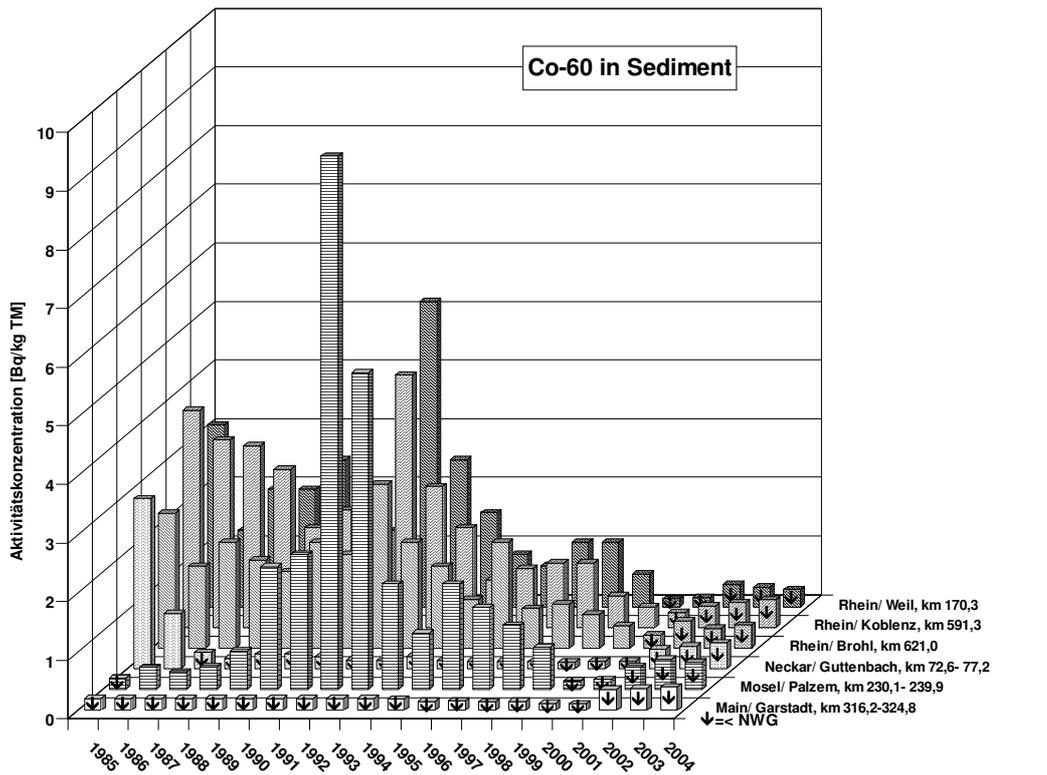
3.3.1-2



BfG

Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Kobalt-60 und Cäsium-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (Cobalt-60 and cesium-137 activity concentrations for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

3.3.1-3



BfG

Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Kobalt-60 und Cäsium-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cobalt-60 and cesium-137 activity concentrations for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

3.3.1-4

Tabelle 3.3.1-1 Übersicht über die für 2004 insgesamt ausgewerteten Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI
(Overview of all measuring results for water, suspended matter, and sediment evaluated in 2004, in accordance with the StrVG and REI)

Kompartiment	Nuklid	Anzahl der Werte	Max. Messwert	Gewässer	Ort/KT-Anlage	Datum/Zeitraum
Oberflächenwasser Bq/l	G α -Aktivität	173	0,67	Ems, km 24,64	Terborg	August
	G β -Aktivität	80	8,7	Salzbach	Endlager Morsleben	Juni
	H-3	1608	6500	Ems	KKW Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal
	Co-60	1634	0,02	Hauptentwässerungs- kanal	FZ Jülich	Juni
	Sr-90	315	0,040	Möhne-Stausee	Möhnesee	12.5.
	I-131	340	0,06	Rur	FZ Jülich	5.7.
	Cs-137	1493	0,091	Arendsee	Arendsee	10.8.
	Übrige	3710	-	-	-	-
Schwebstoff Bq/kg TM	Co-58	88	10,1	Rhein, km 172,97	Weil	Dezember
	Co-60	555	8,3	Mosel	Perl, km 241,96	März
	I-131	185	157	Oldenburger Graben und Neckar, km 208,0	Göhl	28.1.
	Cs-137	554	330	Steinhuder Meer	Wendlingen Wunstorf	I. Quartal IV. Quartal
	Übrige	2330	-	-	-	-
Sediment Bq/kg TM	G α -Aktivität	2	650	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	I. Quartal
	G β -Aktivität	2	1300	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	I. Quartal
	Co-58	107	2,9	Rhein	KKW Philippsburg, Auslaufbauwerk	Juni
	Co-60	1211	45	Hauptentwässerungs- kanal Donau, km	FZ Jülich	5.10.
	Cs-137	1210	314	2297,5	Bad Abbach	Mai
	Am-241	12	3,59	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	1.10.
	Übrige	4830	-	-	-	-

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.3.1-2 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrVG
(Monitoring of surface waters, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrVG)

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration				
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte		
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003	
RHEIN									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	12	0	1,38	5,86	2,37	2,76	
		Koblenz, km 590,3	12	0	3,11	6,98	5,07	4,94	
		Wesel, km 814,0	12	0	3,53	7,33	5,38	5,39	
	Sr-90	Weil, km 172,97	3	0	0,0023	0,0071	0,0043	0,0036	
		Koblenz, km 590,3	4	0	0,0042	0,0103	0,0069	0,0027	
		Wesel, km 814,0	4	0	0,0047	0,0067	0,0057	0,0062	
	Cs-137	Weil, km 172,97	10	6	<0,0012	0,0064	<0,0026	0,0031	
		Koblenz, km 590,3	12	2	0,0012	0,0053	0,0025	0,0025	
		Wesel, km 814,0	12	10	<0,0011	<0,0032	<0,0020	0,0037	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	8	0	1,03	10,1	4,6	11,9	
		Koblenz, km 590,3	6	0	1,22	1,76	1,42	0,60	
	Co-60	Weil, km 172,97	12	7	<0,23	<4,41	<1,51	<3,34	
		Koblenz, km 590,3	11	6	<0,37	<0,91	<0,61	<0,64	
		Wesel, km 814,0	9	9	<1,76	<9,43	nn	nn	
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	0	2,27	34,4	11,6	15,8	
		Koblenz, km 590,3	11	0	9,13	15,5	11,1	10,2	
		Wesel, km 814,0	9	0	10,1	23,9	14,5	11,3	
	I-131	Weil, km 172,97	6	2	<2,82	26,6	12,9	-	
		Koblenz, km 590,3	8	0	4,87	63,9	23,3	20,9	
	Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 170,3	1	0	0,26	0,26	0,26	0,37
		Co-60	Weil, km 170,3	24	18	<0,21	<0,38	<0,29	<0,33
Worms, km 444,50-446,60			33	32	<0,14	<0,70	<0,30	<0,33	
Koblenz, km 591,3			3	3	<0,42	<0,52	nn	<0,42	
Cs-137		Düsseldorf, km 740,3-748,9	20	20	<0,20	<0,83	nn	nn	
		Weil, km 170,3	24	0	5,9	10,4	7,5	9,0	
		Worms, km 444,50-446,60	33	3	<0,19	12,9	3,1	7,0	
		Koblenz, km 591,3	3	0	12,3	14,1	13,2	13,9	
Düsseldorf, km 740,3-748,9		20	0	4,7	15,7	10,9	13,7		
NECKAR									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	0	8,91	51,0	20,5	26,9	
		Rockenau, km 61,4	11	0	4,41	29,5	15,7	16,8	
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	0	0,0019	0,0089	0,0043	0,0039	
		Rockenau, km 61,4	4	1	0,0040	0,0084	0,0057	0,0022	
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	12	7	<0,0012	0,0040	<0,0021	<0,0024	
Rockenau, km 61,4		12	6	<0,0012	0,0032	<0,0020	<0,0023		
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	0	8,82	11,2	10,3	11,5	
		Rockenau, km 61,4	4	0	5,44	10,2	7,2	9,2	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	14	0	3,52	32,6	9,7	10,6	
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	6	0	2,52	21,8	11,0	24,0	
		Guttenbach, km 72,0-77,0	15	0	0,81	18,1	7,6	7,4	
MAIN									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12	0	1,95	16,9	7,0	8,5	
		Eddersheim, km 15,3	9	0	1,41	13,5	4,7	5,3	
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	3	0	0,0028	0,0086	0,0055	0,0041	
		Eddersheim, km 15,3	2	0	0,0046	0,0077	0,0062	0,0044	
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	11	7	<0,0012	0,0030	<0,0021	0,0028	
		Eddersheim, km 15,3	8	4	<0,0011	0,0064	<0,0023	0,0036	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	3	0	28,3	34,1	31,5	29,1	
		Garstadt, km 323,7	3	0	14,2	18,9	16,2	25,1	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	6,36	14,2	9,7	14,7	
		Garstadt, km 316,2-324,8	10	0	1,68	59,7	14,0	16,6	

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
MOSEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	11	0	20,3	45,2	31,7	25,8
		Koblenz, km 1,2	10	0	8,37	20,0	14,9	11,3
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	3	0	0,0019	0,0088	0,0048	0,0037
		Koblenz, km 1,2	4	0	0,0032	0,0105	0,0071	0,0051
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	11	5	<0,0011	0,0062	0,0029	<0,0022
		Koblenz, km 1,2	11	6	<0,0014	0,0045	<0,0022	<0,0021
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	4	0	0,63	1,57	1,10	1,07
		Co-60	Perl, km 241,96	12	2	<0,61	8,30	2,66
	Cs-137	Trier, km 196,0	12	6	<0,66	1,69	<1,11	nn
		Perl, km 241,96	12	0	11,0	19,9	14,6	18,9
	I-131	Trier, km 196,0	12	0	11,1	22,3	14,3	14,9
		Perl, km 241,96	11	0	10,7	112	37	22,2
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	18	11	<0,17	<0,67	<0,34	<0,43
		Trier, km 184,1-196,1	24	21	<0,25	<0,72	<0,44	<0,47
		Koblenz, Güls km 4,05	2	2	<0,334	<0,534	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	18	0	1,06	45,7	8,5	9,0
		Trier, km 184,1-196,1	24	0	5,08	17,7	10,6	12,4
		Koblenz/Güls, km 4,05	2	0	8,70	9,43	9,06	66
SAAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	10	0	1,21	1,73	1,37	1,52
	Sr-90		3	0	0,0032	0,0071	0,0058	0,0057
	Cs-137		8	6	0,0013	0,0044	<0,0026	<0,0035
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	12	0	16,0	23,8	19,7	22,1
DONAU								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	12	0	1,70	3,08	2,09	2,29
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	2,33	3,81	3,03	3,22
	Sr-90	Geisling, km 2354,28	4	0	0,0021	0,0113	0,0068	0,0042
		Vilshofen, km 2249,0	4	0	0,0022	0,0070	0,0049	0,004
	Cs-137	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	3	<0,0044	0,0117	<0,0070	nn
Geisling, km 2354,28		11	6	<0,0012	0,0039	<0,0020	<0,0022	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Vilshofen, km 2249,0	12	4	<0,0012	0,0049	0,0030	0,0029
		Ulm-Wiblingen 2590,8	2	0	115	152	134	122
		Regensburg, km 2381,3	4	0	44,2	50,9	48,7	48,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Vilshofen, km 2249,0	10	0	23,9	42,5	33,4	33,5
		Ulm-Wiblingen 2590,8	4	0	53,9	126	101	109
		Regensburg, km 2379,1-2381,3	5	0	4,48	196	108	48,7
		Straubing, km 2326,65	2	0	34,2	58,1	46,2	37,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Grünau, km 2205,5	2	0	14,4	14,6	14,5	18,5
ISAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	2	1,07	<5,20	<3,22	1,33
		Platting, km 9,1	4	4	<5,20	<5,20	nn	<7,3
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0055	<0,0072	nn	nn
		Platting, km 9,1	4	4	0,0043	0,0060	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	18,7	31,1	23,8	26,4
		Platting, km 9,1	4	0	47,8	75,6	64,7	69,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	3	0	29,5	30,2	29,8	27,2
		Platting, km 9,1	4	0	18,0	34,1	29,6	17,7
EMS								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	0	1,63	73,9	14,1	12,7
		Terborg, km 24,64	12	0	1,77	15,2	5,8	5,9
	Co-60	Terborg, km 24,64	10	2	<0,0017	0,0069	0,0042	0,0037
		Geeste, km 106,3	4	0	0,0048	0,0106	0,0063	0,0051
	Sr-90	Terborg, km 24,64	3	0	0,0080	0,0335	0,0203	0,0066
		Geeste, km 106,3	12	3	<0,0013	0,0154	0,0042	<0,0032
	Cs-137	Terborg, km 24,64	10	0	0,0066	0,0627	0,0289	0,0225

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	4	4	<0,393	<1,18	nn	nn
		Terborg, km 24,64	4	2	0,29	0,47	<0,35	0,503
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	0	17,4	20,0	18,7	31,3
		Terborg, km 24,64	4	0	2,95	3,78	3,36	3,91
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herbrum, km 212,75	4	3	0,50	<0,99	<0,85	0,76
	Cs-137	Herbrum, km 212,75	4	0	6,34	12,3	9,2	6,17
WESER / UNTERWESER/ JADEBUSEN								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	1,24	21,3	7,4	8,5
		Langwedel, km 329,4	12	0	1,39	11,6	4,4	4,7
		Blexen, km 430,00	8	0	1,99	7,07	4,62	5,0
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	4	0	0,0033	0,0054	0,0042	0,0043
		Langwedel, km 329,4	4	0	0,0029	0,0077	0,0054	0,0046
		Blexen, km 430,0	3	0	0,0059	0,0131	0,0087	0,0040
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	12	4	<0,0015	0,0052	0,0030	0,0036
		Langwedel, km 329,4	12	4	0,0013	0,0035	0,0021	<0,0021
		Blexen, km 430,0	6	0	0,0037	0,0069	0,0057	0,0075
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	6,76	12,9	9,7	11,4
		Langwedel, km 329,4	11	0	12,2	16,6	14,3	12,4
		Wilhelmshaven/Jadebusen	2	1	<3,01	3,25	<3,13	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Minden, km 204,40	4	0	9,59	12,0	10,7	9,0
		Bremen, km 373,97	2	0	10,4	17,5	14,0	-
ELBE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	9	0	2,44	5,21	3,54	2,13
		Tangermünde, km 389,10	8	0	1,82	5,06	2,89	1,67
		Geesthacht, km 586,0	10	0	1,73	6,18	2,99	1,58
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	1,22	2,16	1,65	1,48
		Cuxhaven, km 724,5	4	0	3,75	4,34	4,13	3,53
	Sr-90	Dresden, km 58,0	3	0	0,0042	0,0053	0,0047	0,0046
		Tangermünde, km 389,10	2	0	0,0050	0,0068	0,0059	0,0061
		Geesthacht, km 586,0	3	0	0,0048	0,0072	0,0062	0,0031
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0035	0,0048	0,0043	0,0033
		Cuxhaven, km 724,5	1	1	0,0079	0,0079	0,0079	0,0037
	Cs-137	Dresden, km 58,0	9	5	<0,0011	0,0052	<0,0022	<0,0033
		Tangermünde, km 389,10	7	3	0,0014	0,0125	0,0046	0,0060
		Geesthacht, km 586,0	9	5	<0,0011	0,0065	<0,0027	<0,0020
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0021	0,0058	0,0034	0,0036
		Cuxhaven, km 724,5	4	1	0,0029	0,0116	0,0065	0,0033
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	0	20,1	29,4	24,7	21,3
		Geesthacht, km 586,0	4	0	8,87	15,4	12,6	14,9
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	9,88	25,0	14,7	-
		Cuxhaven, km 724,5	2	0	0,30	0,37	0,33	0,51
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	11	0	20,0	30,6	24,7	8,2
		Tangermünde, km 389,1	10	0	7,48	93,8	29,8	-
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	21,1	57,0	34,2	68
ODER								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	11	0	1,00	1,44	1,24	1,25
		Hohensaaten, km 667,5	1	0	1,22	1,22	1,22	-
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	0	0,0045	0,0114	0,0082	0,0063
		Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	11	6	<0,0014	<0,0119	<0,0033
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hohensaaten, km 667,5	1	1	<0,0016	<0,0016	nn	-
		Eisenhüttenstadt, km 553,20	4	0	18,1	31,5	24,0	28,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	1	0	30,7	30,7	30,7	-
		Hohensaaten, km 667,5	6	0	1,64	33,6	22,5	28,4

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
SPREE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<2,18	<3,70	nn	nn
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	11	0	0,77	1,13	0,95	1,07
	Sr-90 Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	4	0	0,0032	0,0082	0,0053	0,0041
		Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	0	0,0014	0,0017	0,0016	0,0020
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	11	5	<0,0011	0,0030	0,0022	0,0032
Schwebstoffe (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	10	0	20,6	34,2	25,0	32,6
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	1,5	13,0	6,3	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	13,0	22,0	17,0	12,7
HAVEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Zehdenick, km 15,1	12	0	0,69	1,28	1,13	1,21
			4	0	0,0046	0,0164	0,0097	0,0042
			12	4	<0,0017	0,0082	0,0047	0,0050
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	8	0	51,4	76,0	63,3	69
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	9	0	28,8	51,3	37,3	37,3
SAALE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Merseburg, km 104,5	11	0	1,02	1,44	1,22	1,14
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,56	<4,01	nn	nn
	Sr-90 Cs-137	Merseburg, km 104,5	4	0	0,0034	0,0087	0,0070	0,0086
		Camburg, km 187,0	4	0	0,0039	0,0079	0,0057	0,0042
		Merseburg, km 104,5	11	4	<0,0011	0,0048	0,0026	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	8	0	9,06	13,9	11,9	11,2
		Camburg, km 187,0	4	0	23,8	40,7	30,4	20,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 105,5	10	0	7,21	14,8	10,2	7,4
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	22,7	30,8	25,0	-
PEENE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Anklam, km 96,1	11	0	0,93	1,42	1,17	1,17
			4	0	0,0039	0,0086	0,0056	0,0063
			11	5	<0,0016	0,0052	0,0037	0,0030
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	5	0	32,6	51,1	39,4	31,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	9	0	23,2	39,9	30,3	38,5
TRAVE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Travemünde, km 26,9	10	0	1,14	1,75	1,48	1,51
			4	0	0,0024	0,0096	0,0063	0,0037
			9	0	0,0036	0,0220	0,0105	0,0210
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	4	0	28,8	54,6	43,8	41,4
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12	0	1,30	1,98	1,59	1,44
			4	0	0,0064	0,0158	0,0089	0,0030
			12	0	0,0047	0,0295	0,0115	0,0207
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	30,0	44,0	34,7	42,0

nn nicht nachgewiesen / nicht nachweisbar
- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.3.1-3 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrVG
(Monitoring of surface waters, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrVG)

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Probenentnahmeort	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
BADEN-WÜRTTEMBERG								
Bodensee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Langenargen	8	8	<8,00	<8,0	nn	nn
			8	8	<0,0031	<0,0104	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	3,28	9,38	5,75	-
BAYERN								
Chiemsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Seeon-Seebruck	4	2	1,05	<5,20	<3,17	1,41
			4	0	0,0036	0,0069	0,0056	0,009
			4	4	<0,0039	<0,0071	nn	<0,0041
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	38,7	74,5	56,2	64,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	1,78	14,7	10,9	13,7
Starnberger See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Starnberg	4	2	1,74	<5,20	<3,73	2,09
			4	0	0,0076	0,0116	0,0100	0,0074
			4	3	0,0039	0,0081	<0,0063	<0,0038
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	3	0	229	268	249	294
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	1,98	8,33	5,67	35,9
BERLIN								
Müggelsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	PE-Stelle41035	4	4	<2,20	<3,70	nn	nn
			4	0	0,0031	0,0046	0,0037	0,0051
			4	2	<0,0011	<0,0030	<0,0021	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	1	<1,6	12,0	9,1	2,70
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	0	15	79	47	34,6
Stössensee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Siemenswerder	4	4	<2,19	<3,70	nn	nn
			4	0	0,0025	0,0047	0,0036	0,005
			4	0	0,0015	0,0032	0,0220	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	3,0	14,4	7,7	6,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	82	120	98	90
BRANDENBURG								
Stechlinsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Neuglobsow	4	4	<5,28	<6,81	nn	nn
			4	0	0,017	0,024	0,020	0,018
			4	0	0,007	0,010	0,009	0,008
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	2,9	18	13	10,6
Neuendorfer See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Alt-Schadow	4	4	<6,70	<9,40	nn	nn
			4	0	0,0037	0,0043	0,0041	0,0036
			4	3	<0,0033	0,0090	<0,0051	<0,0053
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	3	0	26	29	27	-

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Probenentnahmeort	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	1,1	1,5	1,4	1,8
HESSEN								
Marbach-Talsperre								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<10	<10	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,01	<0,01	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0070	<0,0122	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	17,5	20,9	19,2	23,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	19,5	23,5	21,4	20,1
MECKLENBURG-VORPOMMERN								
Borgwallsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	3	3,49	<4,95	<4,41	nn
	Cs-137		4	1	0,0017	<0,0057	0,0246	<0,0040
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	7,22	15,0	10,7	12,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	3,2	25,8	10,5	15,8
SchwerinerSee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<4,60	<4,99	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,004	0,006	0,005	0,005
	Cs-137		4	0	0,0100	0,0109	0,0104	0,0124
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	53,9	107	86	81
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	21,8	38,9	29,6	31,4
NIEDERSACHSEN								
Sösetalsperre								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	3	<1,10	<2,40	<1,73	1,15
	Sr-90		4	0	0,0007	0,0028	0,0015	0,0025
	Cs-137		4	4	<0,0005	<0,0009	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	27	57	43	41,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	49	95	69	61,8
Steinhuder Meer								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	2	0,86	<2,30	<1,69	1,75
	Cs-137		4	0	0,0043	0,0250	0,0116	0,0084
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	2	0	300	330	315	333
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	100	220	143	57,5
NORDRHEIN-WESTFALEN								
Möhne-Stausee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<6,0	<10	nn	nn
	Sr-90		1	0	0,0398	0,0398	0,0398	0,0224
	Cs-137		4	4	<0,0039	<0,0062	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	3	<0,0003	0,0008	<0,0004	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	0	4,47	12,6	7,9	8,26
RHEINLAND-PFALZ								
Laacher See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	3	1,7	3,5	<2,6	nn
	Cs-137		4	0	0,031	0,034	0,032	0,037

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Probenentnahmeort	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	47	110	73	87
SACHSEN								
Talperre Pöhl								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3 Cs-137	Thoßfell	4 4	4 4	<6,3 <0,0050	<8,2 <0,0055	nn nn	<7,20 <0,0028
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	12,5	22,4	16,7	23,6
SACHSEN-ANHALT								
Arendsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Arendsee	4 4	4 0	<5,0 0,0548	<5,0 0,0911	nn 0,0685	nn 0,0795
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	15,3	67,8	34,4	81,1
SchollenerSee								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3 Cs-137	Schollene	4 4	4 0	<5,0 0,0198	<5,0 0,0542	nn 0,0360	nn 0,0325
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	117	302	223	262
SCHLESWIG-HOLSTEIN								
Schaalsee								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Seedorf	4 4 4	4 0 2	<10 0,010 <0,008	<10 0,012 0,013	nn 0,011 <0,011	nn 0,012 0,015
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	106	202	159	180
Wittensee								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3 Cs-137	Gr. Wittensee	4 4	4 4	<10 <0,007	<10 <0,013	nn nn	nn nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Gr. Wittensee	4	0	12,1	23,0	15,4	15,4
THÜRINGEN								
Talperre Schmalwasser								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Tambach-Dietharz	4 4	4 4	<3,29 <0,0064	<4,16 <0,0065	nn nn	nn nn

nn nicht nachgewiesen / nicht nachweisbar

3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment (*Seawater, suspended matter, and sediment*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Hamburg

In diesem Kapitel wird der Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide der letzten Jahre beschrieben. Grundlage der Bewertung sind jährlich mehrere Überwachungsfahrten mit dem Forschungsschiff GAUSS des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Schwerpunktmäßig werden die Radionuklide Cäsium-137 bzw. Cäsium-134, Strontium-90, Plutonium-239/240, Plutonium-238 und Americium-241 untersucht.

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 Wiederaufbereitungsanlagen in Sellafield (UK) und La Hague (F),
- Fallout aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986,
- Ableitungen aus kerntechnischen Einrichtungen wie Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren.

Seit Beginn der siebziger Jahre bestimmten die kontrollierten und genehmigten Einleitungen radioaktiver Abwässer aus den europäischen Wiederaufbereitungsanlagen 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 über einem Jahr von Interesse. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Wesentlichen durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffentests der sechziger Jahre sowie den Einstrom kontaminierten Nordseewassers aus dem Skagerrak und Kattegat durch die Beltsee bestimmt.

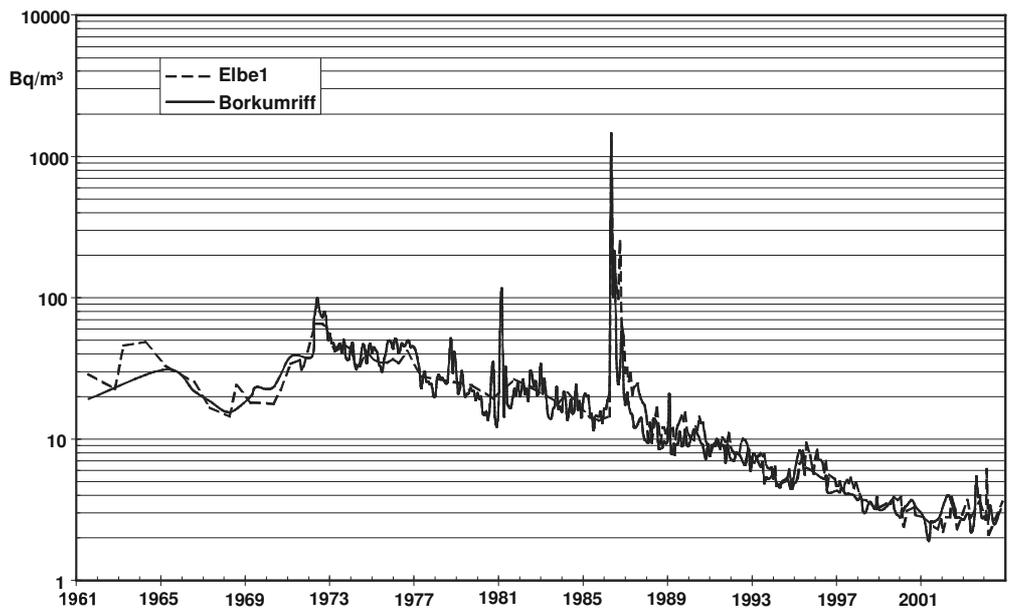
Einleitungen aus Kernkraftwerken oder anderen kerntechnischen Einrichtungen spielen für das Aktivitätsinventar des Meeres kaum eine Rolle. Sie sind nur in unmittelbarer Umgebung dieser Anlagen nachzuweisen. Dies gilt auch für die bis 1982 durchgeführte Versenkung schwach-radioaktiver Abfälle in mehr als 4000 m Tiefe im Nordostatlantik. Auch die früheren Versenkungen radioaktiver Abfälle durch die ehemalige UdSSR in der Barents- und Karasee, sowie das 1989 gesunkene russische Atom-U-Boot "*Komsomolets*" in etwa 1700 m Tiefe in der Norwegensee führt zu keiner erhöhten Belastung dieser Meeresgebiete oder gar der Nordsee.

Die Einleitungen aus den Wiederaufbereitungsanlagen 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 führten dazu, dass die Einleitungen beider Wiederaufbereitungsanlagen für fast alle Radionuklide stark reduziert wurden. Dies führt auch im Wasser der Nordsee zu deutlich geringeren Konzentrationen der meisten künstlichen Radionuklide. So nahm auch bis Ende der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration an Cs-137 in der mittleren Nordsee mit einer durch den Transport bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab.

Eine Ausnahme bildet das Tritium. Da dieses Radionuklid aber praktisch in Meeresorganismen nicht angereichert wird, ist es für eine Strahlenexposition des Menschen oder der Meeresorganismen von geringerer Bedeutung.

In den Abbildungen 3.3.2-1 und 3.3.2-2 ist der zeitliche Verlauf der Cs-137- bzw. Sr-90-Aktivitätskonzentration an den Positionen der früheren Feuerschiffe "Elbe 1" und "Borkumriff" seit 1961 bzw. 1980 dargestellt. Der Fallout von Tschernobyl war in der Nordsee schon zwei bis drei Jahre nach dem Unfall nicht mehr nachzuweisen. Die direkten oder indirekten Ableitungen aus der WAA Sellafield sind auch nur noch durch leicht erhöhte Werte in der äußeren Deutschen Bucht nachzuweisen. In der Deutschen Bucht liegen die Konzentrationen beider Nuklide inzwischen nur noch geringfügig über den Fallout-Konzentrationen des atlantischen Meerwassers. Cs-134 ist im Wasser der Nordsee nicht mehr nachweisbar (NWG ca. 0,2 Bq/m³).

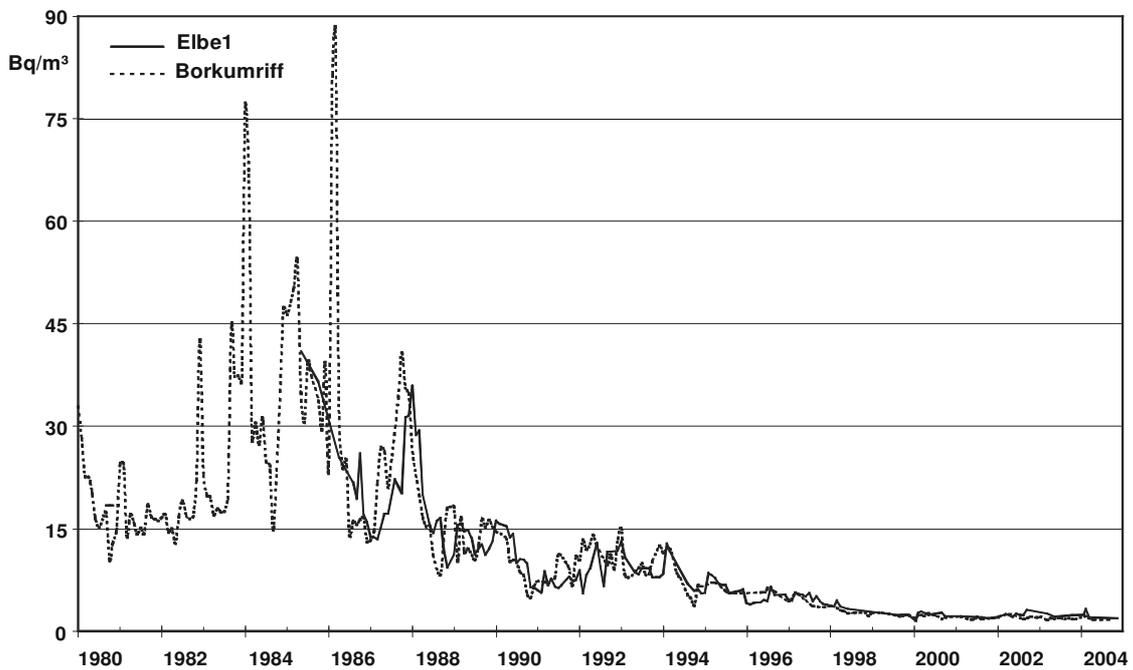
Das Sediment vor allem der Irischen See, aber auch in geringerem Maße der kontinentalen Küste, ist durch Einleitungen der Wiederaufbereitungsanlagen in den siebziger Jahren stark kontaminiert worden. Durch natürliche Vorgänge wie Stürme und Bioturbation aber auch durch menschliche Einflüsse wie Grundnetz- und Baumkurrenfischerei werden abgelagerte Radionuklide wieder in die Wasserphase und anschließend wieder in Lösung gebracht. Diesen Vorgang bezeichnet man als Resuspension. Das Sediment der Irischen See ist seit mindestens sechs Jahren eine stärkere Quelle für Cs-137 und Transurannuklide als die vergleichbaren Einleitungen der Anlage Sellafield.



BSH

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)

3.3.2-1



BSH

Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 [Bq/m³] an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980
(Temporal trend of the activity concentration of Sr-90 [Bq/m³] at two positions in the German Bight since 1980)

3.3.2-2

In den Abbildungen 3.3.2-3, 3.3.2-5, 3.3.2-10 und 3.3.2-12 wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 an der Wasseroberfläche in der Deutschen Bucht im Januar, März, August und November 2004 dargestellt. Die Konzentrationen bewegen sich in einem schmalen Bereich von 1,4 bis 6,1 Bq/m³, wobei die höheren Konzentrationen regelmässig in der mittleren Deutschen Bucht zu finden sind. Im Vergleich mit früheren Jahren sind die Konzentrationen von Cs-137 sehr niedrig. Eine eindeutige Zuordnung zu einer Quelle ist bei diesen geringen Werten nicht mehr möglich. Wie an einer Vergleichsprobe aus der Elbe (<0,4 Bq/m³; November 2004) gezeigt, ist der Beitrag aus dem Elbwasserabfluss vernachlässigbar.

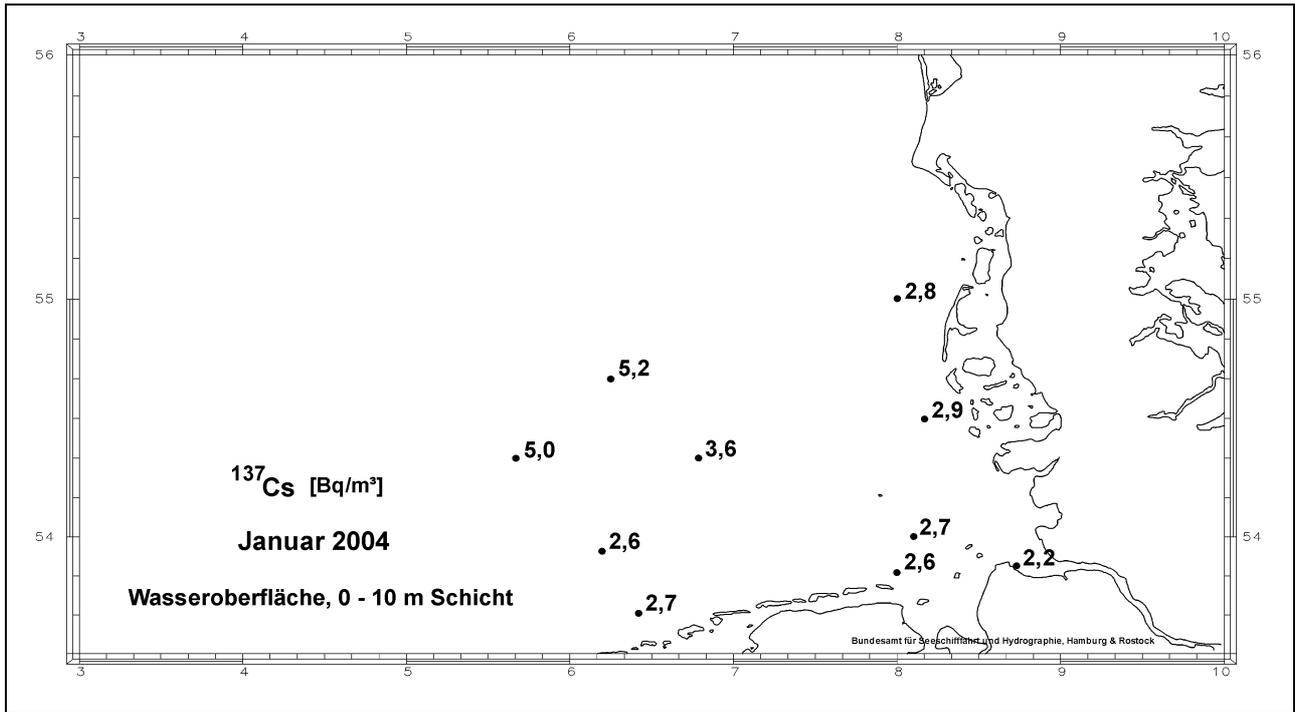
In den Abbildungen 3.3.2-4, 3.3.2-6 und 3.3.2-11 sind die Verteilungen der Aktivitätskonzentration von Sr-90 an der Wasseroberfläche der Deutschen Bucht im Januar, März und August 2004 dargestellt. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass sich die Konzentrationen an der Wasseroberfläche der flachen Seegebiete der Nordsee nicht signifikant von denen nahe des Meeresbodens unterscheiden. Strömung und Seegang sorgen zusammen mit den langen Transportwegen für eine gute Durchmischung unterschiedlich kontaminierter Wasserkörper und damit für eine über die Wassersäule homogene Radionuklidkonzentration, so dass eine Beprobung der Oberfläche ausreichend ist. Die gefundenen Konzentrationen reichen von 1,7 bis 3,7 Bq/m³ und sind im Mittel geringer als die des Cs-137. Während der 90er Jahre war dieses Verhältnis umgekehrt, da für einige Jahre die Anlage La Hague relativ viel Sr-90 eingeleitet hat. Die jetzt gefundenen sehr geringen Konzentrationen dieses Radionuklids sind ein Indiz dafür, dass auch diese Wiederaufarbeitungsanlage ihre Emissionen in die Meeresumwelt deutlich reduziert hat. Sr-90 wird im Gegensatz zu Cs-137 und Transurannukliden auf Grund seiner chemischen Eigenschaften fast überhaupt nicht an Sedimenten angelagert, so dass die im Jahre 2004 in der Deutschen Bucht gefundenen Werte ein exaktes Abbild der Einleitungen in den Jahren 2002/2003 ergeben. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass die Transportzeit vom Englischen Kanal in das Gebiet der Deutschen Bucht ca. 1,5 Jahre beträgt.

Gelegentlich, z. B. im März und August 2004, können im Mündungstrichter der Elbe etwas höhere Sr-90-Werte als auf offener See gemessen werden. Dies ist auf ausgewaschenes Fallout-Sr-90 zurückzuführen, welches in der Umwelt sehr mobil ist. Eine akute Kontamination aus einer Nuklearanlage liegt hier nicht vor, da sonst Cs-134 hätte nachweisbar sein müssen. Die Tatsache, dass Flusseinträge, wenn auch sehr gering, mittlerweile höhere Konzentrationen aufweisen als Meerwasser, zeigt, dass die Massnahmen zur Reduzierung der Einträge von Wiederaufarbeitungsanlagen in den letzten Jahren erfolgreich gewesen sind.

In den Abbildungen 3.3.2-7 bis 3.3.2-9 und 3.3.2-13 bis 3.3.2-15 sind Ergebnisse der Untersuchungen zur Verteilung der Transurane Pu-239/240, Pu-238 und Am-241 dargestellt, wobei die Konzentration von Pu-238 durch das Aktivitätsverhältnis der beiden Plutoniumisotope wiedergegeben ist. Aus diesem Verhältnis kann man die Herkunft dieser Nuklide erkennen. Der globale Fallout weist ein Verhältnis von etwa 0,02 bis 0,06 auf, Pu-Isotope aus den Wiederaufbereitungsanlagen liegen mit Verhältnissen von 0,15 bis 0,2 (Sellafield) bzw. 0,4 bis über 0,5 (La Hague) deutlich darüber. Die gefundenen Verhältnisse lassen daher darauf schließen, dass der überwiegende Teil der in der Nordsee vorhandenen Plutoniumisotope aus den Anlagen Sellafield und La Hague stammt. Die Konzentrationen sind gering und liegen nur geringfügig über dem Niveau des globalen Fallouts des Nordatlantikoberflächenwassers. In der Wasserphase vorhandenes Plutonium wird durch Partikel sehr stark aufgenommen und im Sediment deponiert. Dies gilt im Übrigen auch für Am-241, das tendenziell noch stärker durch Partikel adsorbiert wird. Dessen Verteilung ist in den Abbildungen 3.3.2-9 und 3.3.2-15 dargestellt. Das in der Nordsee nachgewiesene Plutonium und Americium stellt damit eine Mischung aus globalem Fallout und demjenigen dar, das aus europäischen Wiederaufbereitungsanlagen eingeleitet wurde, wobei inzwischen Gleichgewichte zwischen der Wasserphase und resuspendiertem Sediment vorliegen sollten. Diese resuspendierten Partikel werden durch Meeresströmungen weiterverfrachtet. Dadurch können diese Transurane aus den Wiederaufbereitungsanlagen in der gesamten Nordsee oder auch darüber hinaus nachgewiesen werden.

Ein außergewöhnliches Messergebnis stellen die über 70 mBq/m³ Pu-239/240 bzw. über 60 mBq/m³ Am-241 auf der Elbe Vergleichsstation Stade dar. Wenn auch die Konzentration vergleichsweise hoch ist, dürfte die Ursache vermutlich auf der hohen Schwebstoffbelastung der unfiltriert untersuchten Wasserprobe beruhen. Dieses Ergebnis ist jedoch durch weitere Untersuchungen zu erhärten.

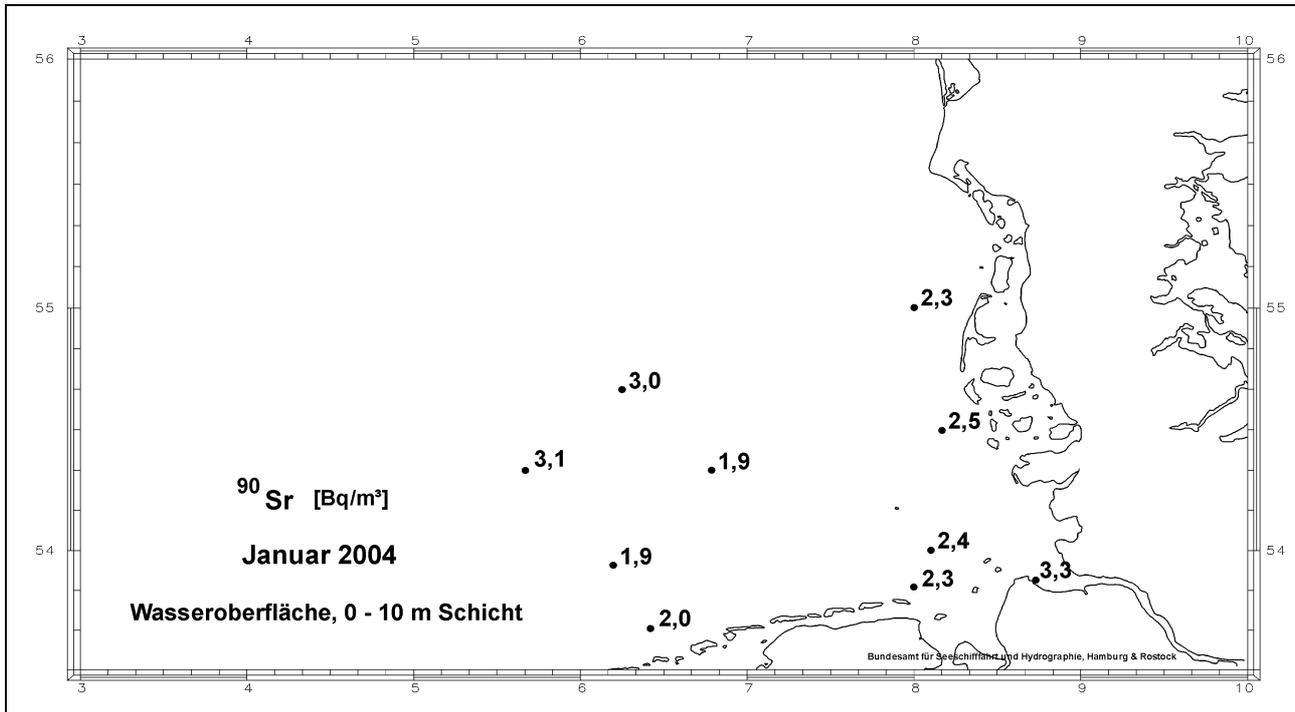
Neben den genannten Transuranen Plutonium und Americium kann im Einstromgebiet entlang der Kontinentalküste, wie auch auf der Vergleichsstation Stade, das Nuklid Curium-244 nachgewiesen werden.



BSH

Die Verteilung von Cs-137 [Bq/m³] im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2004
(Distribution of Cs-137 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in January 2004)

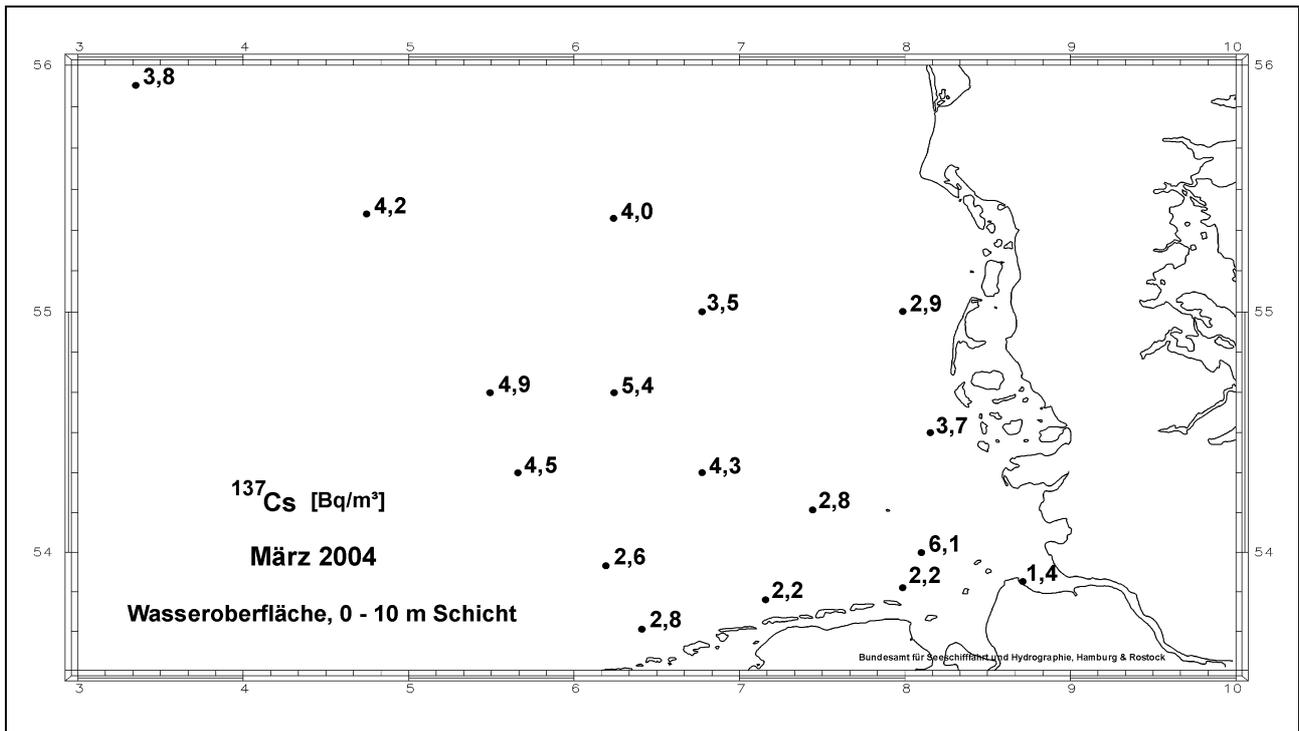
3.3.2-3



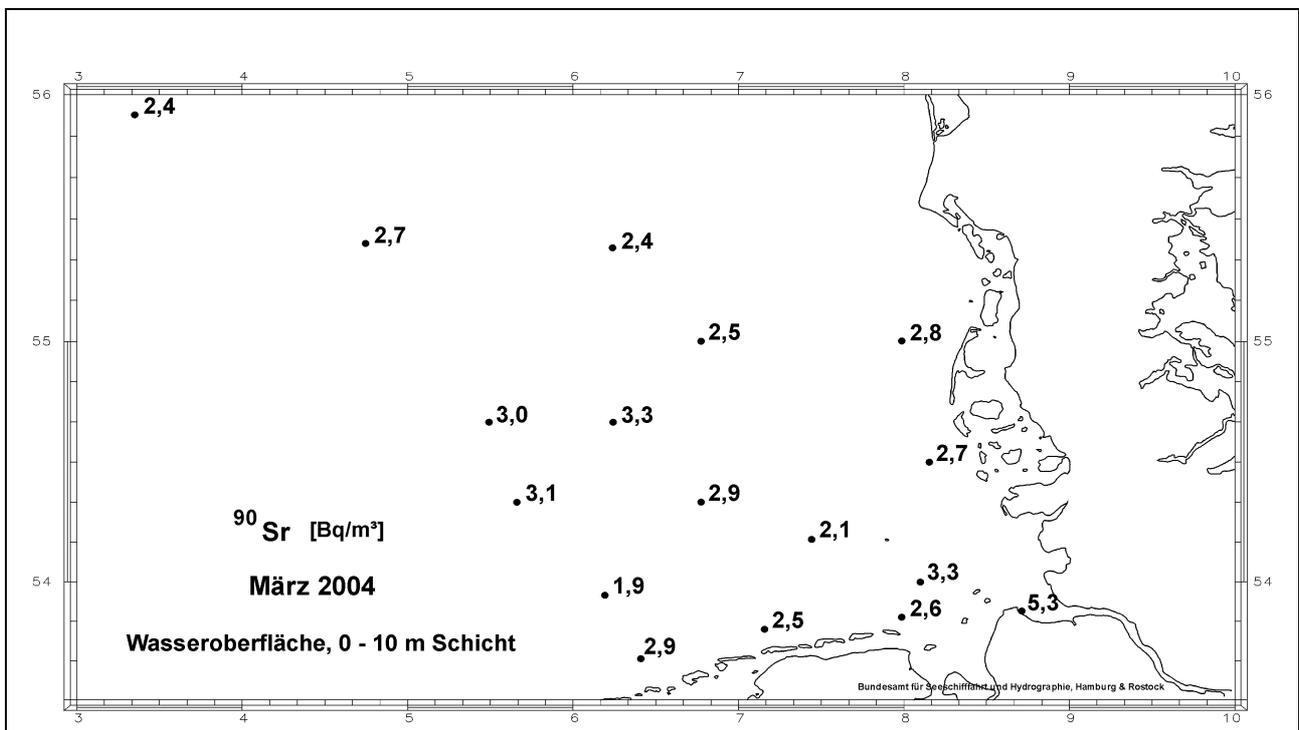
BSH

Die Verteilung von Sr-90 [Bq/m³] im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2004
(Distribution of Sr-90 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in January 2004)

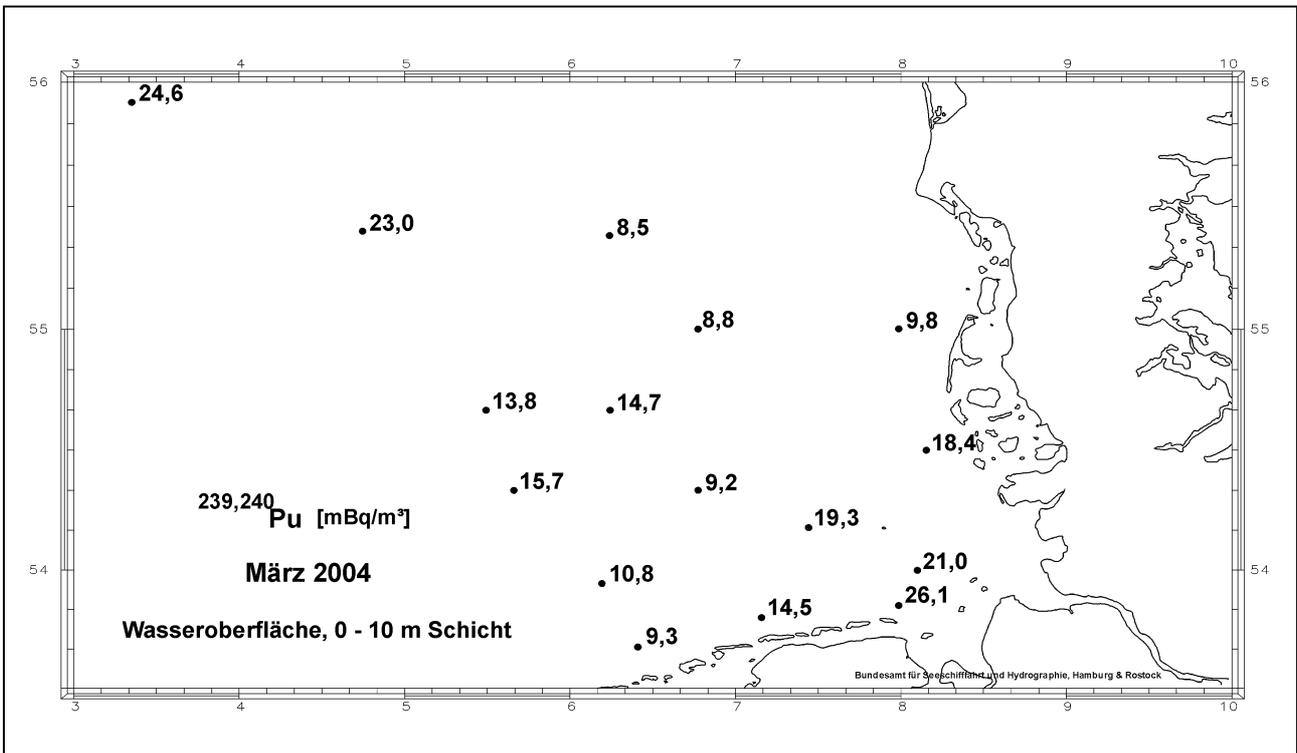
3.3.2-4



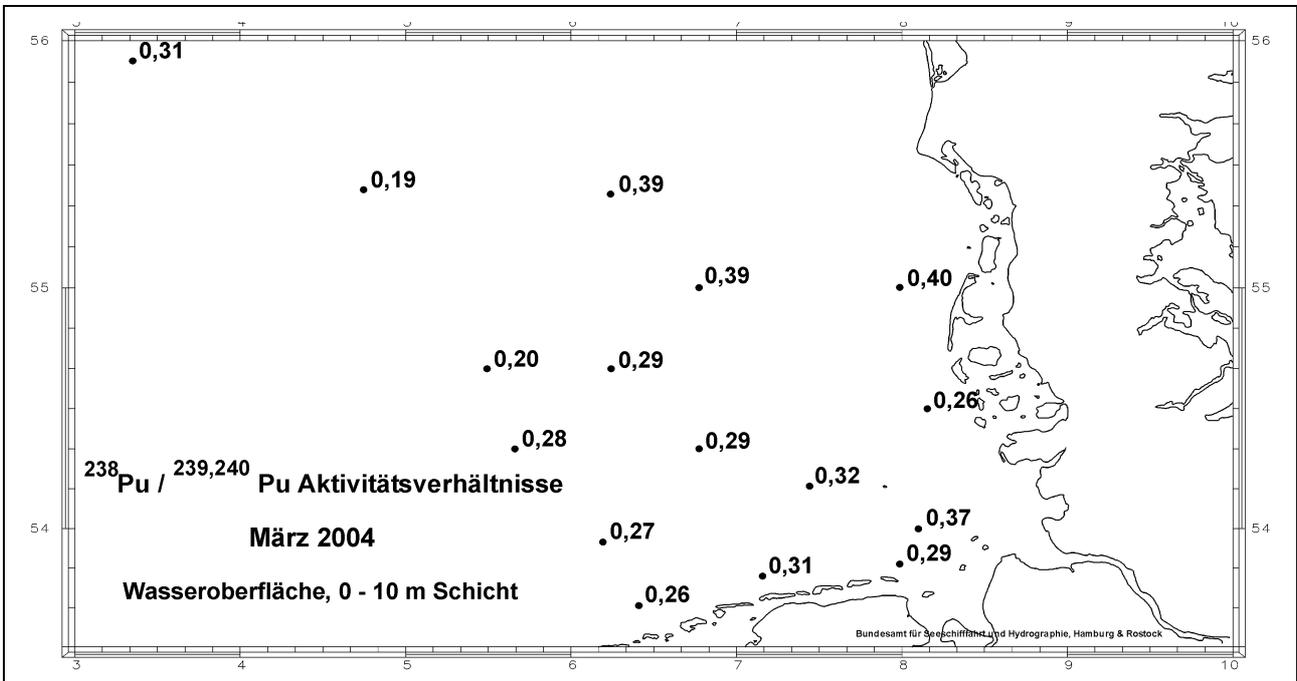
BSH	Verteilung von Cs-137 [Bq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of Cs-137 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-5
------------	--	----------------



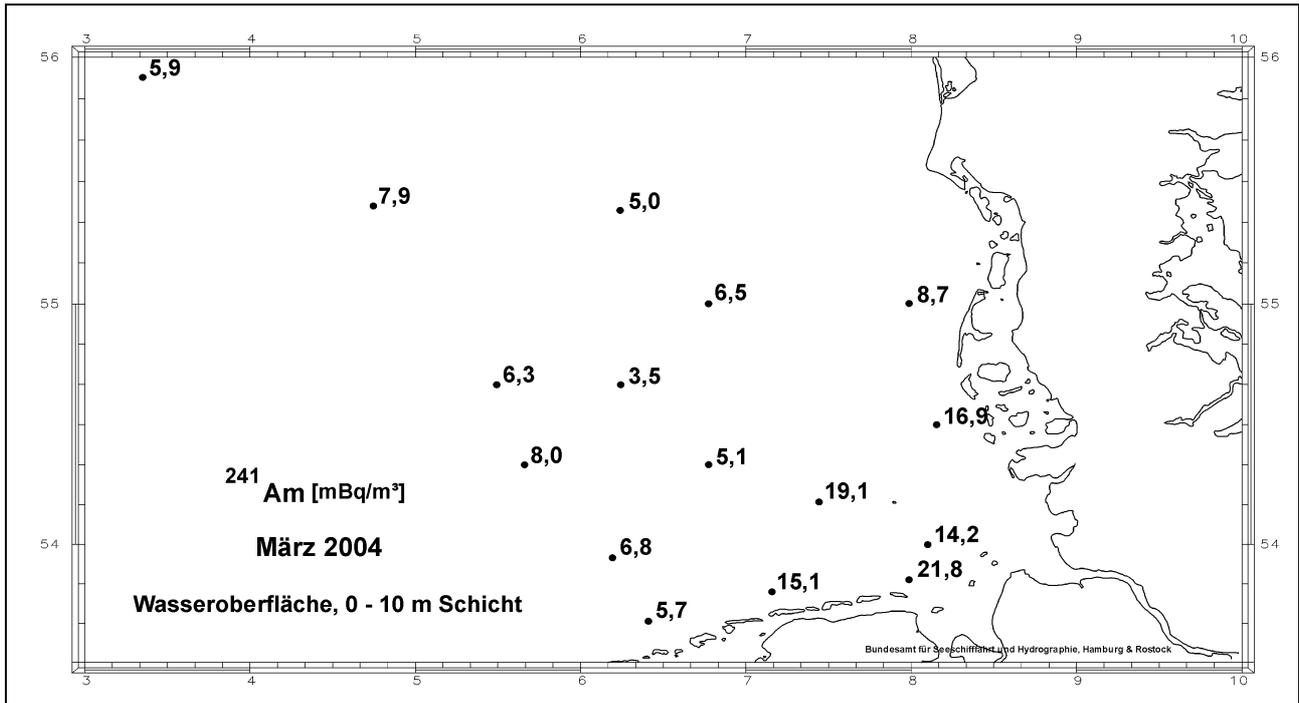
BSH	Die Verteilung von Sr-90 [Bq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of Sr-90 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-6
------------	--	----------------



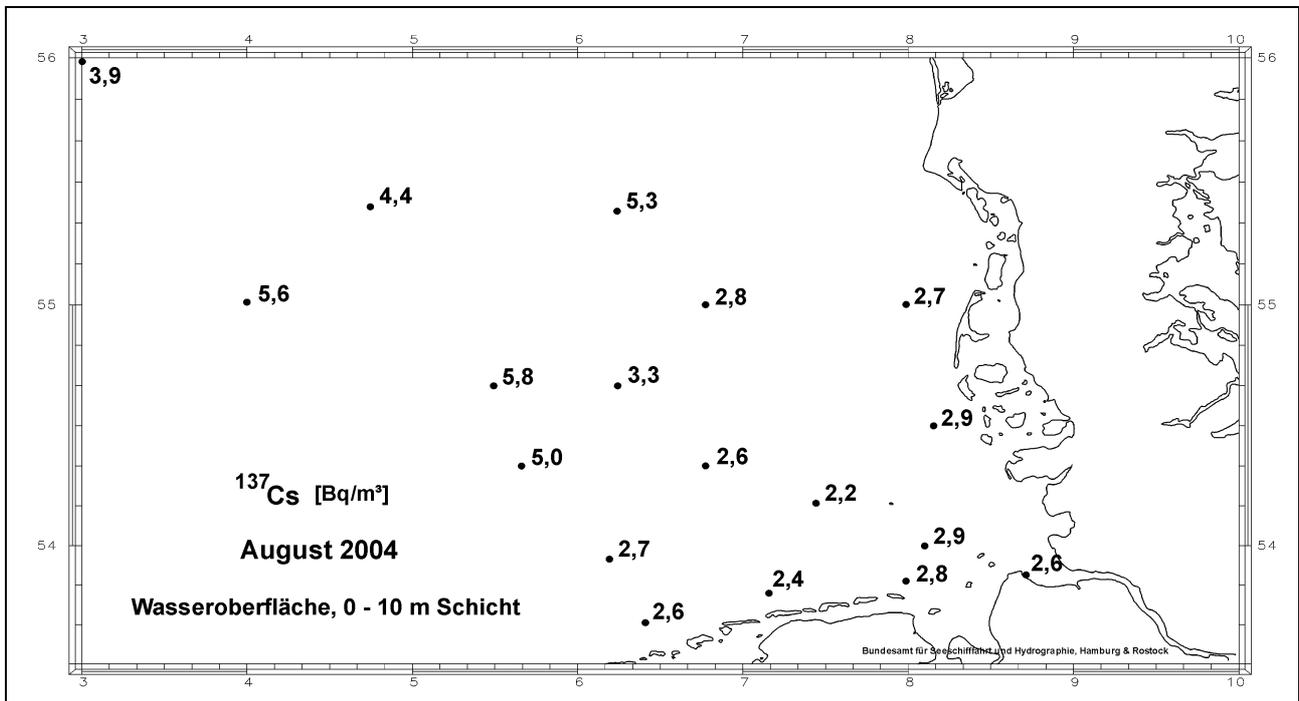
BSH	Verteilung der Konzentration an Pu-239/240 [mBq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of the activity concentration of Pu-239/240 [mBq/m³] in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-7
------------	--	----------------



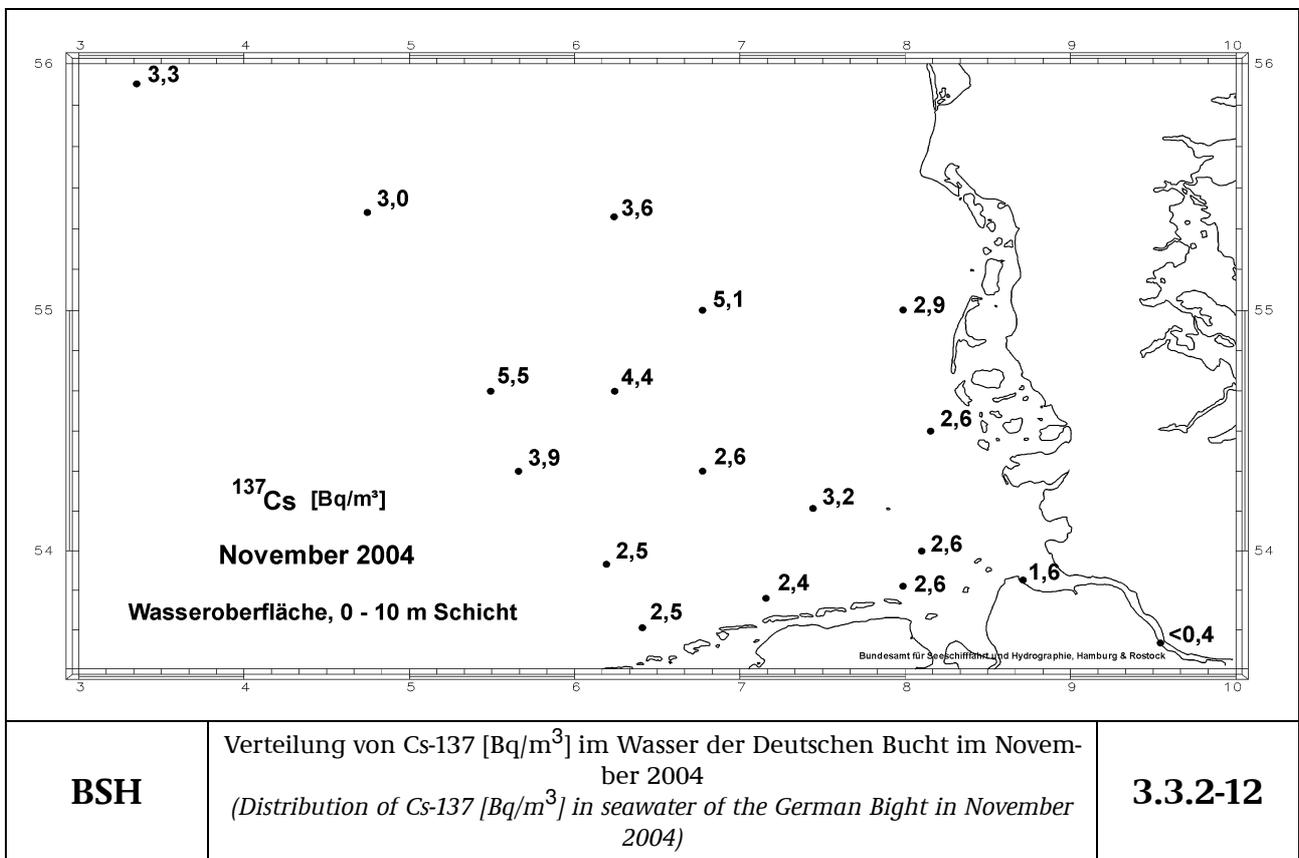
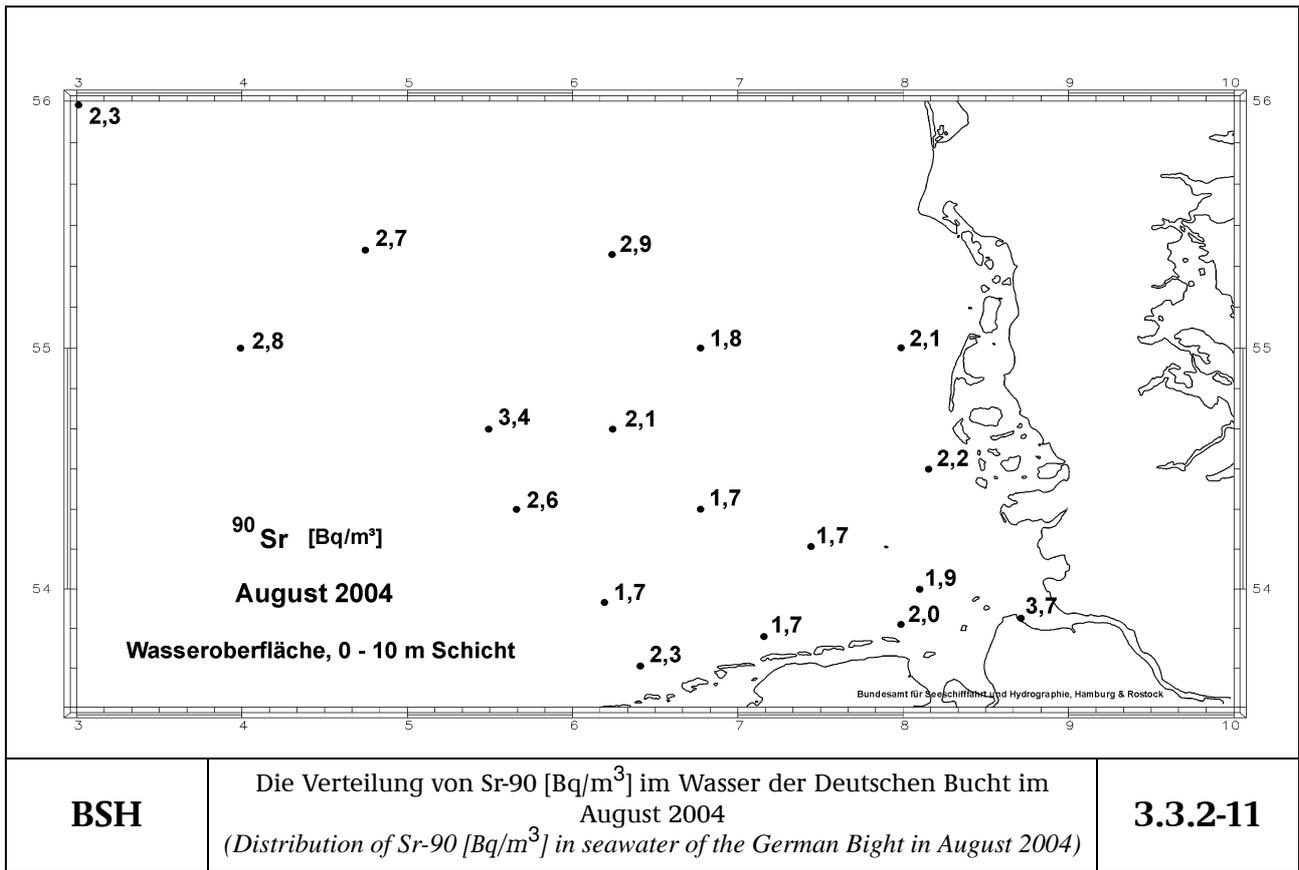
BSH	Verteilung der Aktivitätsverhältnisse zwischen Pu-238 und Pu-239/240 im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of activity ratios of Pu-238 and Pu-239/240 in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-8
------------	--	----------------

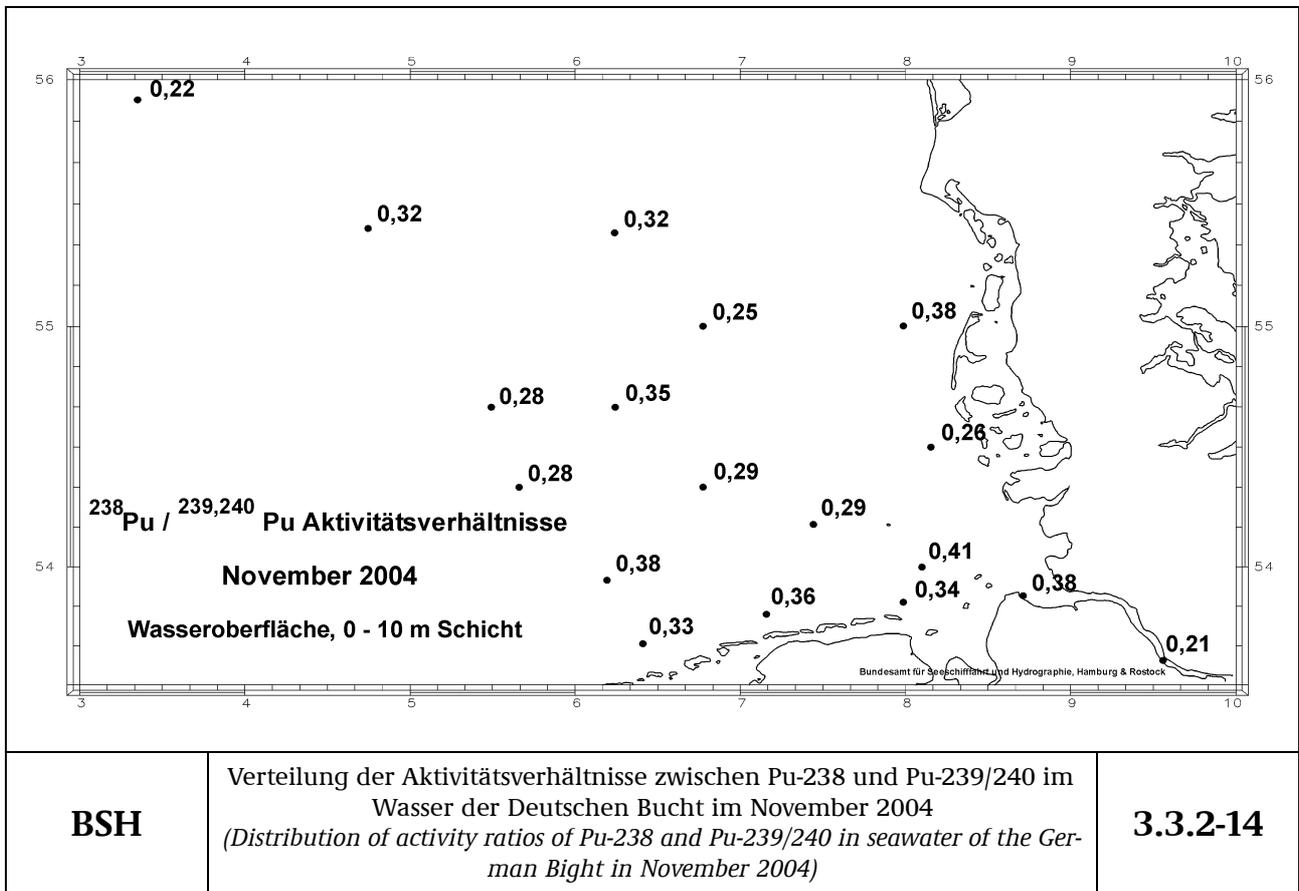
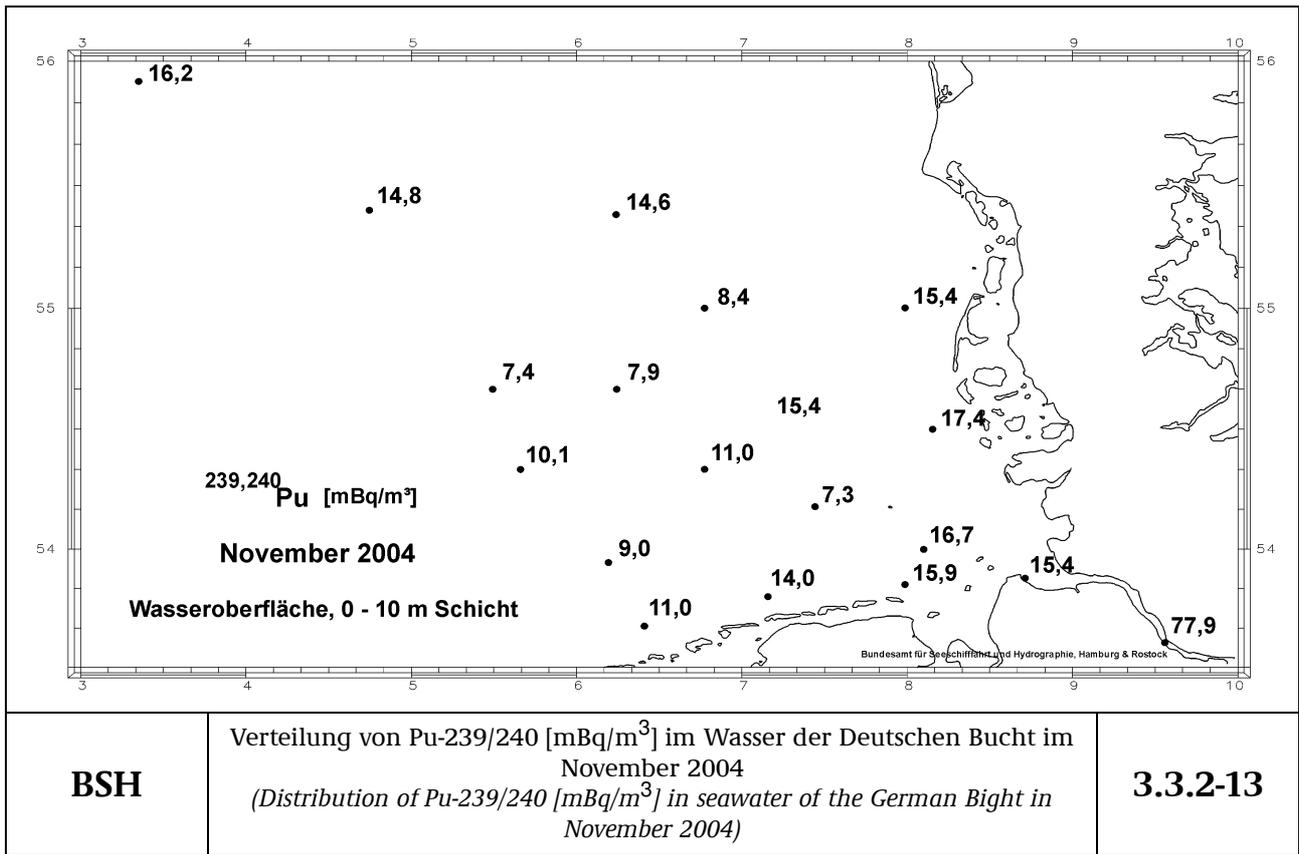


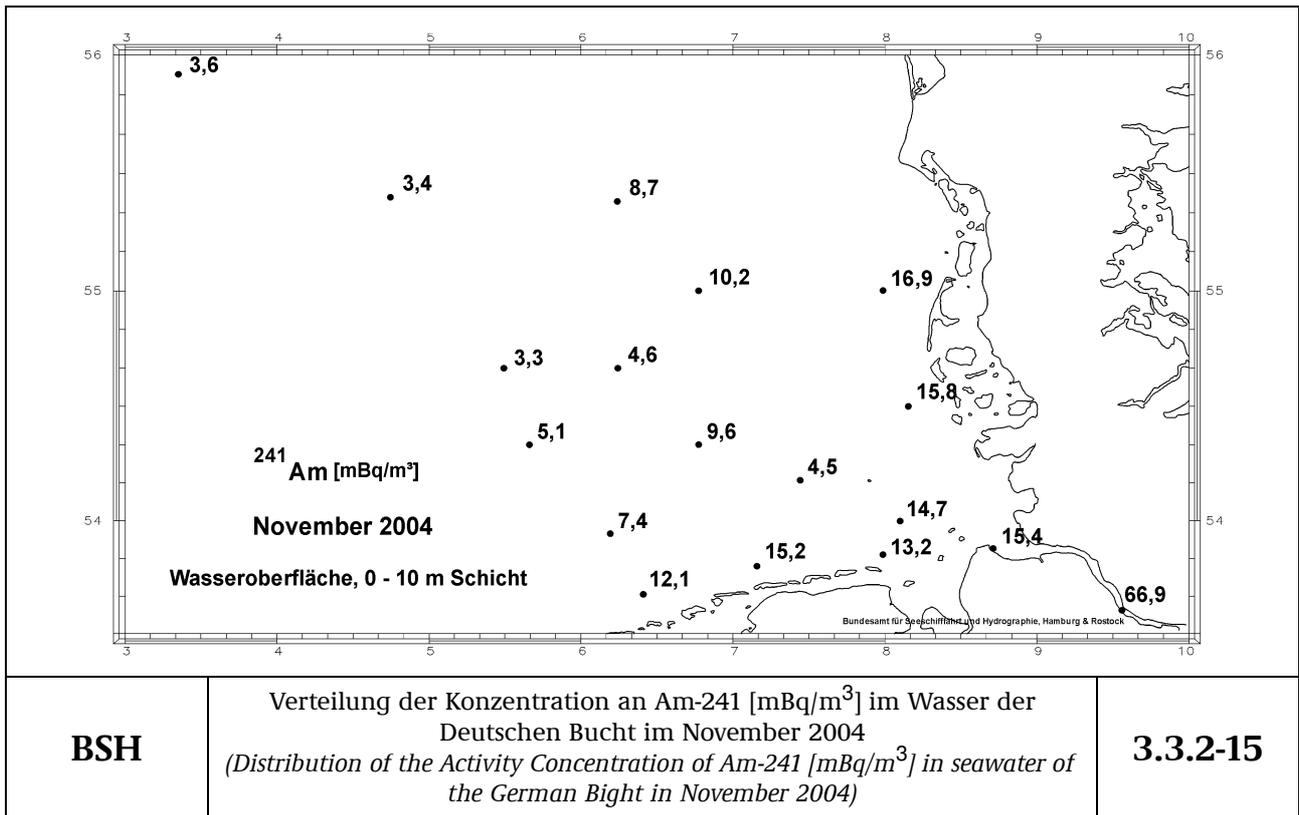
BSH	Verteilung der Konzentration an Am-241 [mBq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of the Activity Concentration of Am-241 [mBq/m³] in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-9
------------	--	----------------



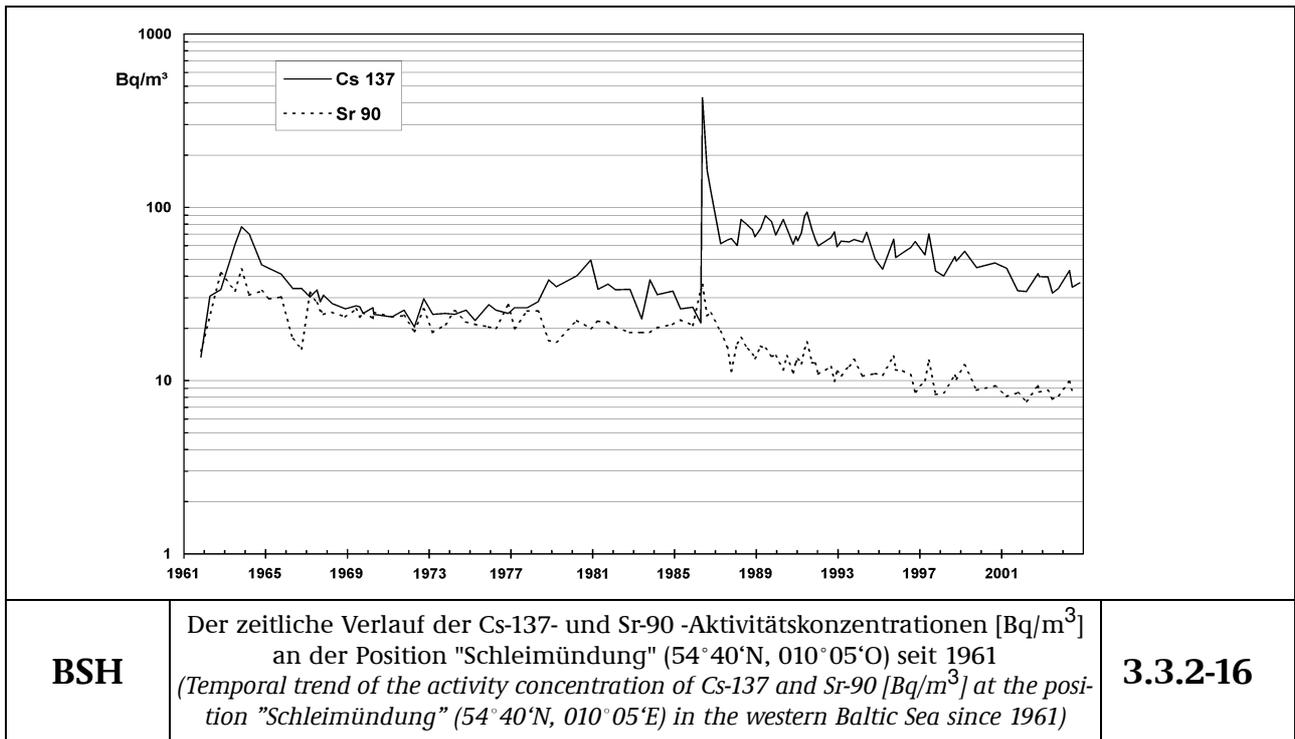
BSH	Verteilung von Cs-137 [Bq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im August 2004 <i>(Distribution of Cs-137 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in August 2004)</i>	3.3.2-10
------------	--	-----------------



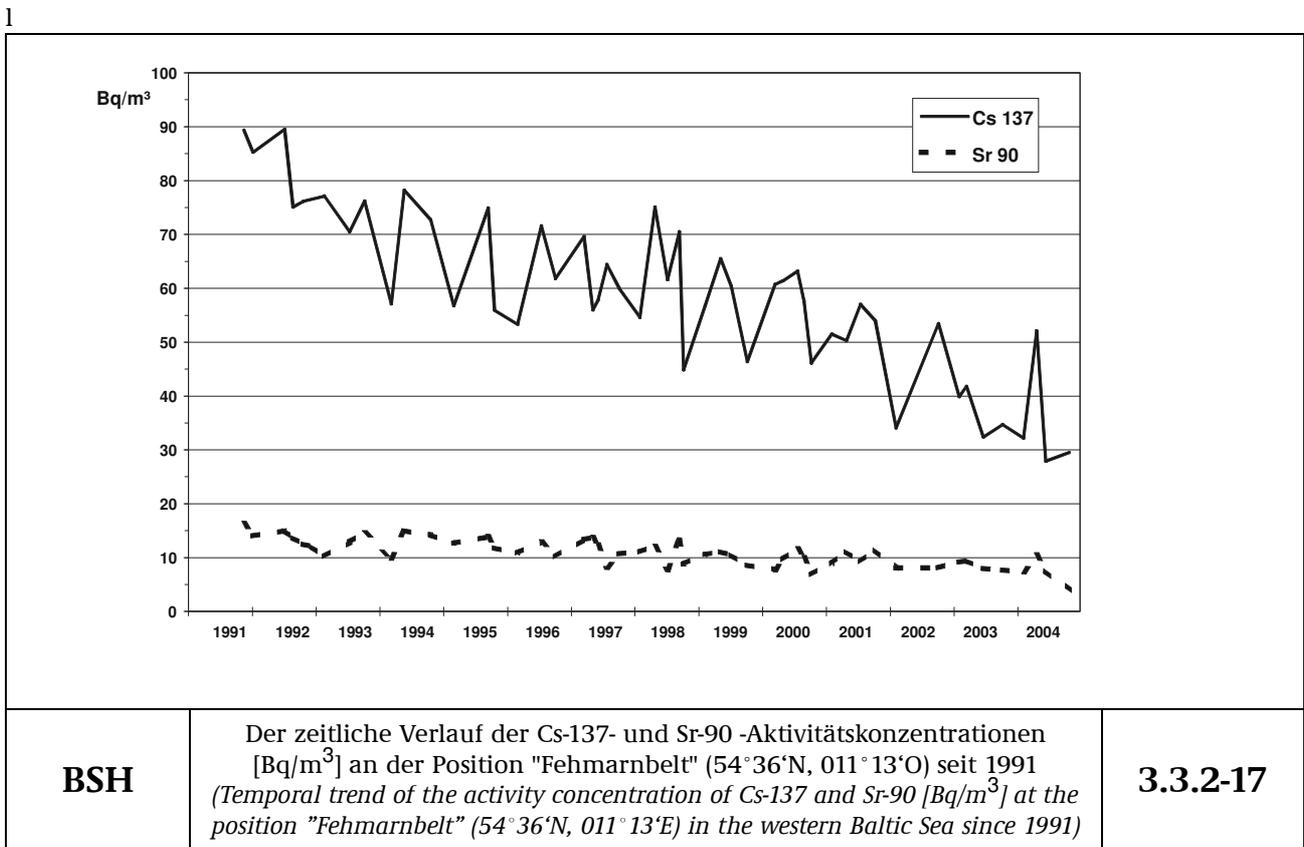


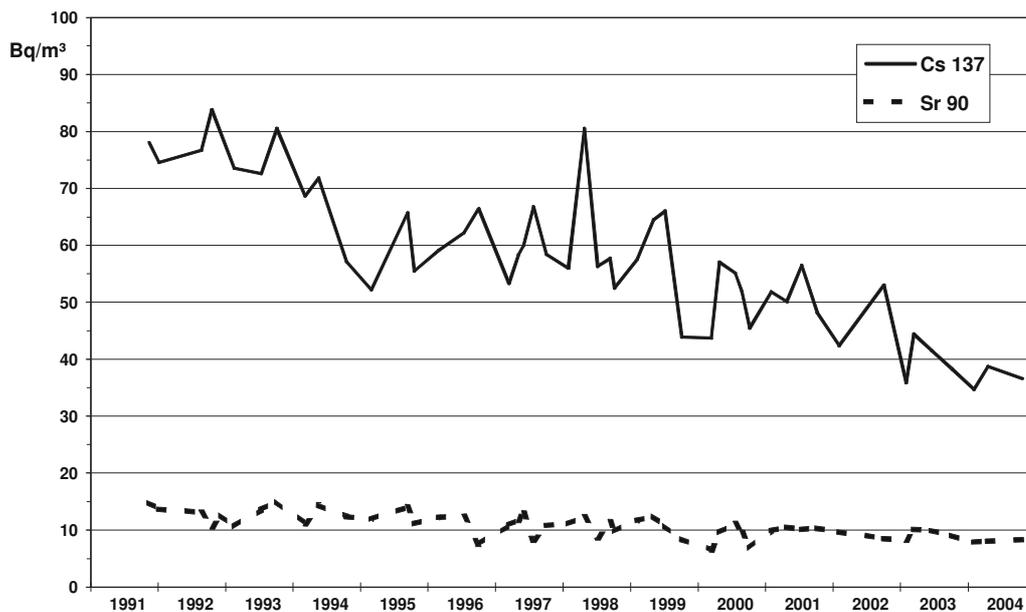


Die Abbildungen 3.3.2-16 bis 3.3.2-20 stellen den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser an den Positionen Schleimündung, Fehmarnbelt, Neustädter Bucht, Darsser Schwelle und Arkonasee in der Ostsee dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren (Abbildung 3.3.2-16) und an Cs-137 seit dem Tschernobyl-Unfall. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Cs-137-Konzentrationen sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt. Dabei sind die messbaren Schwankungen der Cs-137-Konzentration an Meerengen wie Fehmarnbelt und Darsser Schwelle (Kadetrinne) stärker ausgeprägt als in ruhigen Buchten wie z. B. der Neustädter Bucht.



Der Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl am 26. April 1986 hat das Inventar an künstlichen Radionukliden in der Ostsee drastisch erhöht. Langfristig sind - wie auch an Land - im Meeresbereich nur die Nuklide Cs-134 und Cs-137 von größerem Interesse, da bei dem Unfall 1986 in einem Aktivitätsverhältnis von etwa 0,5 freigesetzt wurden. Die Ostsee ist noch heute, noch vor dem Schwarzen Meer und der Irischen See, das Seegebiet mit den höchsten Konzentrationen an Cs-137 in der Welt.

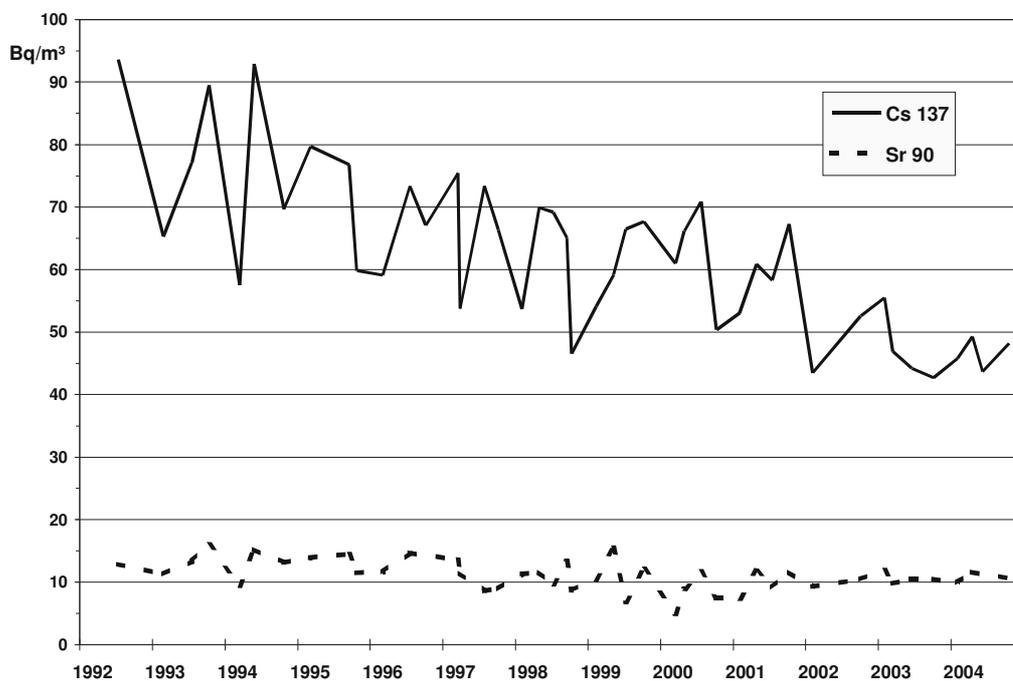




BSH

Der zeitliche Verlauf der ^{137}Cs - und ^{90}Sr -Aktivitätskonzentrationen [Bq/m^3] an der Position "Neustädter Bucht" ($54^\circ 03' \text{N}$, $010^\circ 51' \text{O}$) seit 1991
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 [Bq/m^3] at the position "Neustädter Bucht" ($54^\circ 03' \text{N}$, $010^\circ 51' \text{E}$) in the western Baltic Sea since 1991)

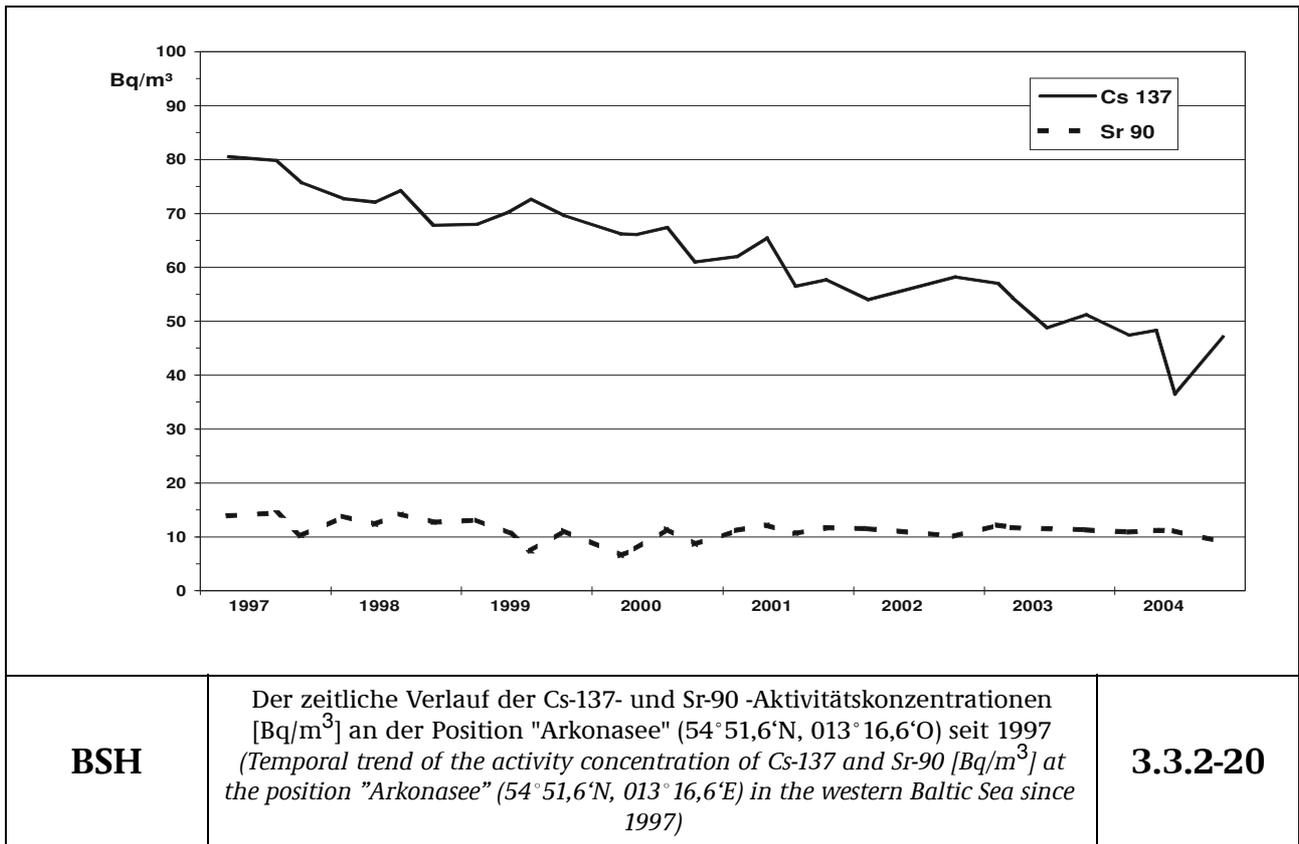
3.3.2-18



BSH

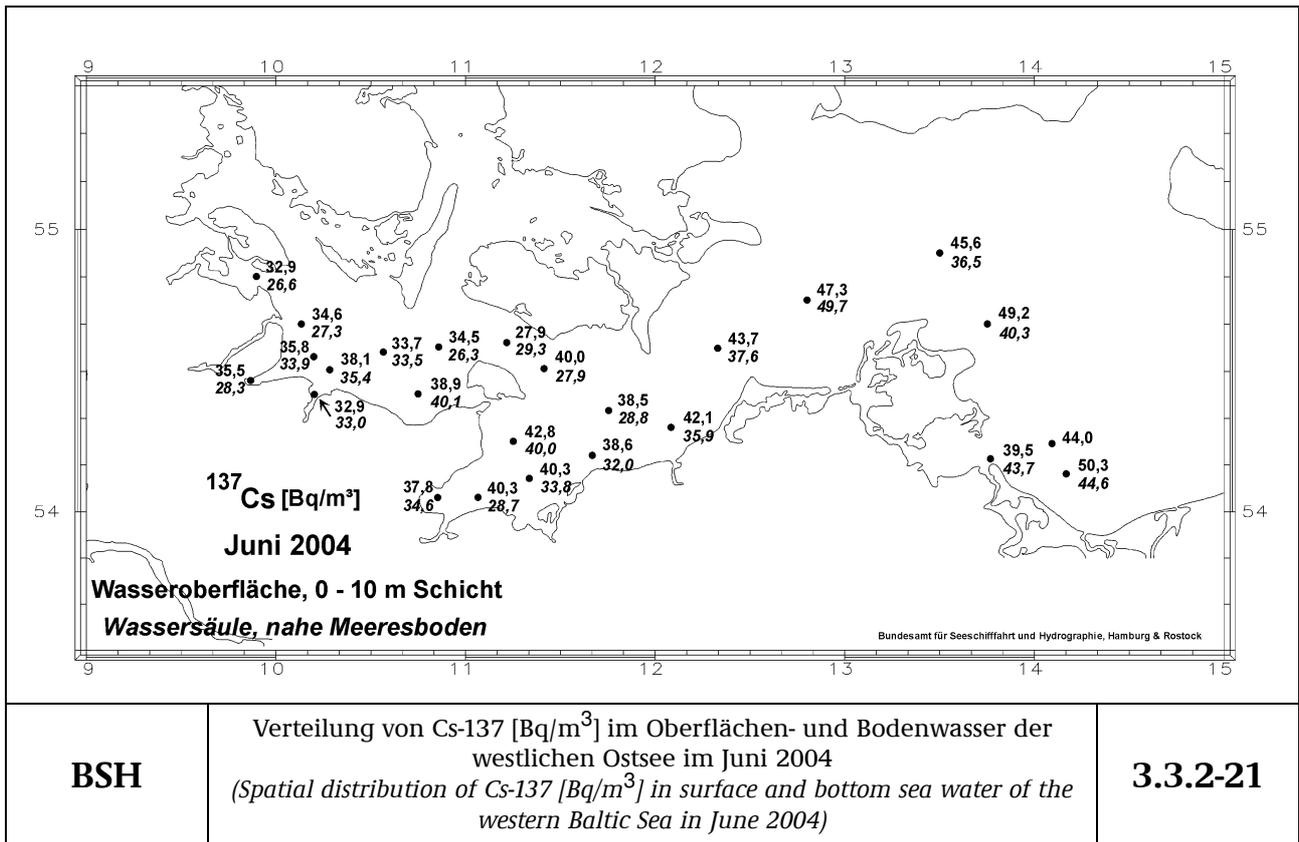
Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen [Bq/m^3] in der Position "Darsser Schwelle" ($54^\circ 36,3' \text{N}$, $012^\circ 19,9' \text{O}$) seit 1992
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 [Bq/m^3] at the position "Darsser Schwelle" ($54^\circ 36,3' \text{N}$, $012^\circ 19,9' \text{E}$) in the western Baltic Sea since 1992)

3.3.2-19



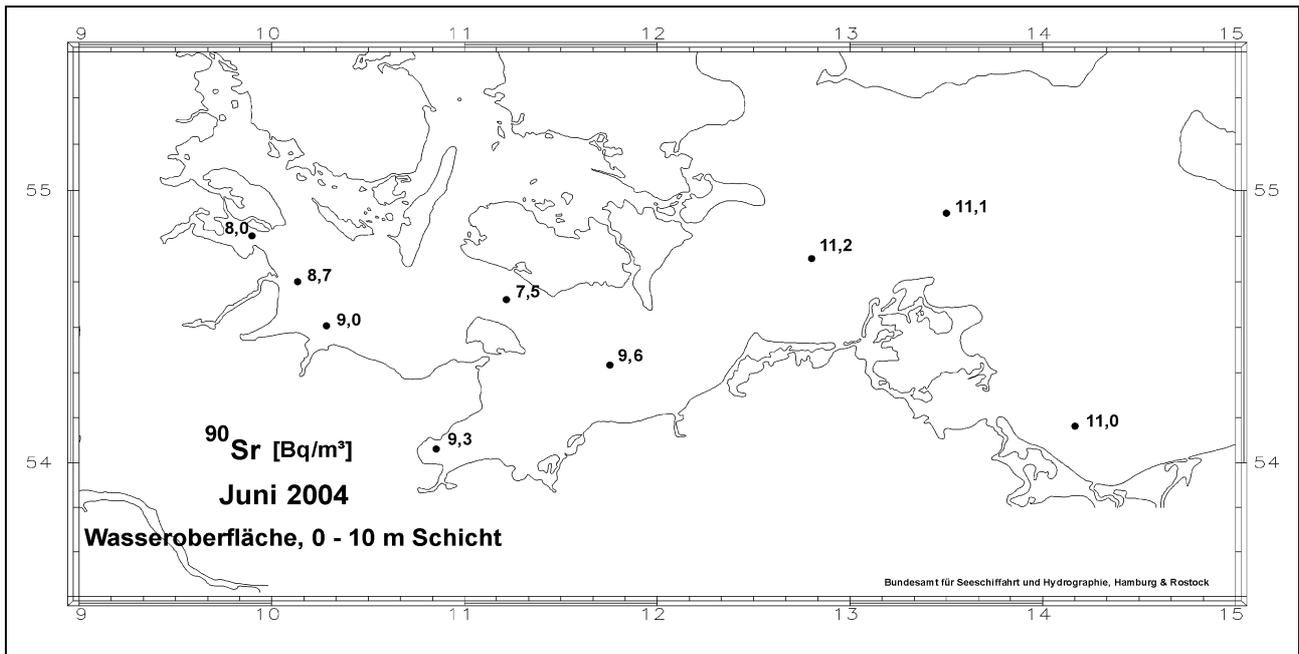
Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch Tschernobyl eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum dort verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser 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 (Abb. 3.3.2-20). 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 jedoch auch hier die Cs-137-Aktivitätskonzentration deutlich ab.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lag im Juni 2004 an der Wasseroberfläche in der westlichen Ostsee etwa zwischen 33 Bq/m³ im westlichen und 50 Bq/m³ im östlichen Teil des überwachten Gebietes (Abbildung 3.3.2-21). Die Konzentrationen nehmen nach Osten nach wie vor leicht zu – in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallout. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich gegenüber den Vorjahren verringert hat, liegt sie immer noch um den Faktor 10 über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der 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 und Sr-90 nachweisen. Dabei weist im Juni 2004 eine Position im östlichen Fehmarnbelt den größten Unterschied in der Cs-137-Konzentration zwischen Oberflächen- und Bodenwasser auf.

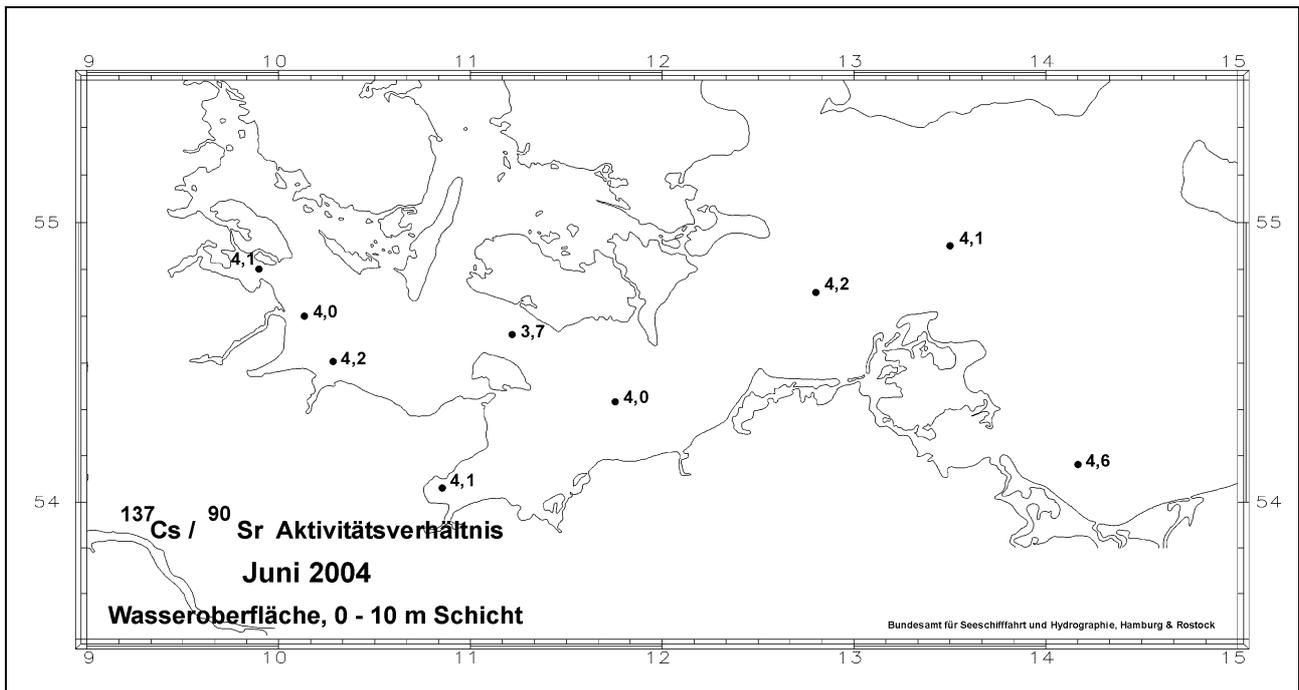


Die Konzentrationen an Sr-90 liegen in der westlichen Ostsee zwischen 7,5 und 11,2 Bq/m³ (Abbildung 3.3.3-22) und damit um den Faktor 2 - 6 höher als in der Deutschen Bucht. Die Quelle des Sr-90 ist nahezu ausschließlich der globale Fallout. Die Kombination aus hoher Mobilität des Sr-90 mit dem sehr umfangreichen Einzugsgebiet des Ostsee und dem damit verbundenen hohen Süßwasserzufluss führen schon seit Jahrzehnten zu einem relativ hohen Gehalt an Radiostrontium.

Das Aktivitätsverhältnis zwischen Cs-137 und Sr-90 (Abbildung 3.3.2-23) gibt Aufschluss über die Entwicklung der Cs-137-Kontamination in der westlichen Ostsee. Während dieses Verhältnis in der Nordsee in den letzten Jahren ziemlich konstant zwischen ca. 1 bis maximal 2 liegt, wies die westliche Ostsee über Jahre ein konstantes Verhältnis von ca. 5 auf. In den beiden letzten Jahren hat sich das Verhältnis Cs-137/Sr-90 auf 4 verringert, das heißt die Konzentration des Cs-137 im Ostseewasser geht wesentlich schneller zurück als die des Sr-90. Der Grund hierfür ist in einer Kombination aus Abfluss aus der Ostsee und Vermischung mit einfließendem Nordseewasser zu finden. Der Wert von 3,7, wie er im Jahr 2004 im Fehmarnbelt gefunden wurde, war noch im Jahr 2001 charakteristisch für die Mischungszone im nördlichen Kattegat.



BSH	Verteilung von Sr-90 [Bq/m ³] im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2004 <i>(Spatial distribution of Sr-90 [Bq/m³] in surface sea water of the western Baltic Sea in June 2004)</i>	3.3.2-22
------------	--	-----------------



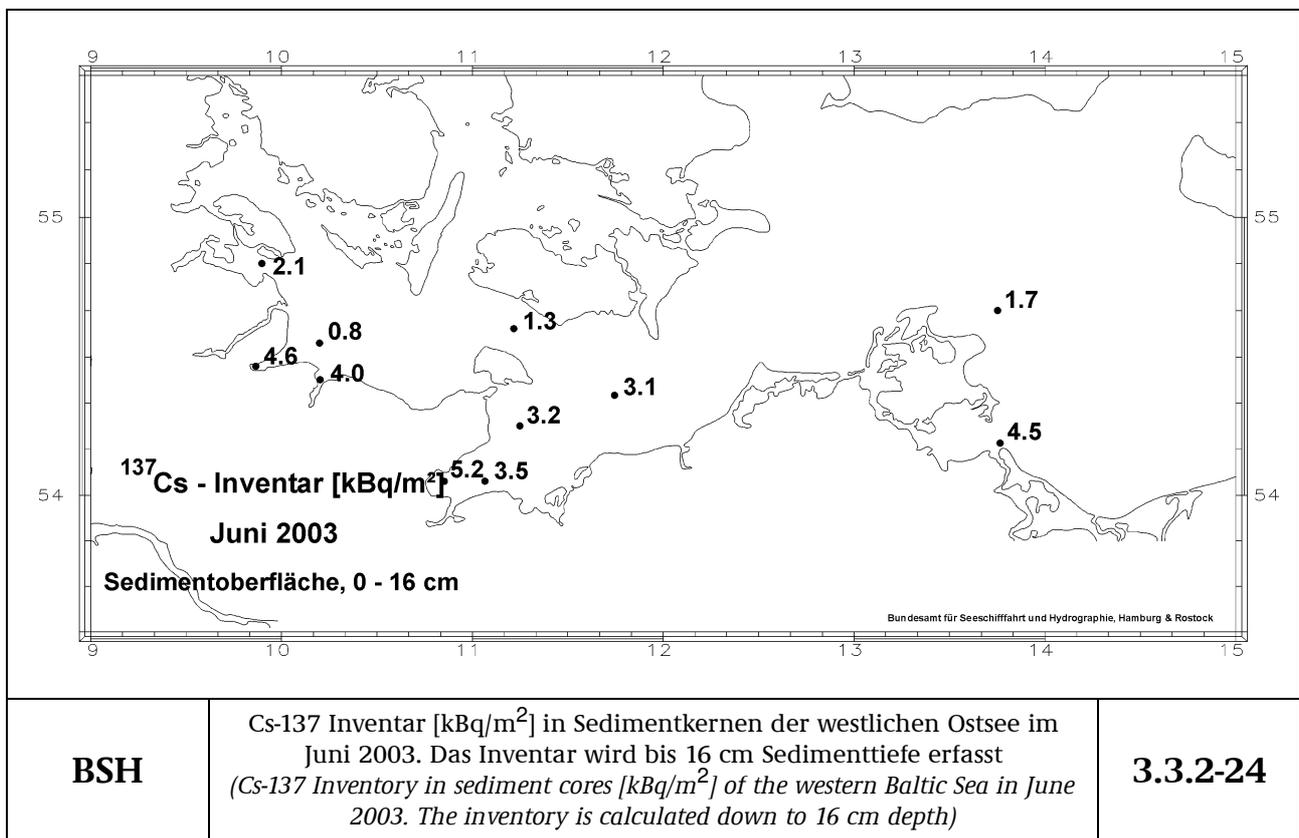
BSH	Aktivitätsverhältnis zwischen Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2004 <i>(Distribution of the Activity ratios of Cs-137 and Sr-90 in surface seawater in the western Baltic Sea in June 2004)</i>	3.3.2-23
------------	---	-----------------

Sedimente

Sedimente reichern Stoffe aus der Wassersäule an. Sie sind damit eine wesentliche Senke für den Verbleib von in das Meer eingetragenen Schadstoffen. 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 weitgehend irreversiblen Prozess, durch den die Radioaktivität der Wassersäule "ausgekämmt" und in der Meeresbodenoberfläche konzentriert wird. Man muss jedoch je nach chemischen und physikalischen Gegebenheiten auch mit Resuspension, d. h. Wiederfreisetzung der abgelagerten Radionuklide in die Wassersäule rechnen.

Die Oberflächensedimente der Ostsee weisen deutlich höhere spezifische Aktivitäten als diejenigen der Nordsee auf. Diese Aussage gilt in den meisten Fällen auch für natürliche Radionuklide. Einerseits ist dieser Effekt darauf zurückzuführen, dass die Korngröße der mehr schlickigen und damit feinkörnigeren Sedimente der Ostsee kleiner ist, andererseits liegt dies auch darin begründet, dass die geringere Turbulenz im Wasser der Ostsee zur Sedimentation der feineren Partikel führt. Auch die höhere Flächendeposition des Tschernobyl-Eintrags auf das Gebiet der westlichen Ostsee spiegelt sich in den erhöhten Aktivitäten wider.

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 Abbildung 3.3.2-24 ist das Inventar in kBq/m^2 einiger ausgewählter Sedimentstationen der westlichen Ostsee bis in 16 cm Tiefe dargestellt. Die höchsten Werte mit bis zu $5,2 \text{ kBq/m}^2$ (Neustädter Bucht) sind in den wasseraustauscharmen Buchten zu finden. Die Inventare hängen stark von der Körnigkeit der Sedimente ab. Dabei sind die in diesem Teil der Ostsee gefundenen Inventare wesentlich geringer als z. B. im Finnischen oder Bottnischen Meerbusen.



3.4 Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser) *(Foodstuffs and drinking water - including groundwater)*

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz sind im Jahr 2004 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 3.4-1 zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte sowie der Median der Aktivitätskonzentration.

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 65 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cäsium-137 liegen fast alle unterhalb der bei den Messungen gefundenen Nachweisgrenzen (NWG) von 0,53 mBq/l bis 13 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Die tatsächlich gemessenen Werte liegen zwischen 2,2 mBq/l und 46 mBq/l (2003: 1 mBq/l bis 9,6 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte beträgt < 4,1 mBq/l (2003: < 4,2 mBq/l).

In 38% der gemessenen Proben konnte Strontium-90 mit Werten der Aktivitätskonzentrationen von 0,051 mBq/l bis 6 mBq/l (2003: 0,60 bis 17 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei < 1,7 mBq/l (2003: < 2,7 mBq/l).

In 5 Proben wurde Tritium mit Werten von 1,3 Bq/l bis 2,2 Bq/l bestimmt, die gefundenen Nachweisgrenzen liegen zwischen 1,1 Bq/l und 10 Bq/l. Zum Vergleich sei erwähnt, dass die derzeitige Tritiumkonzentration im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegt (Messungen des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, Hildesheim).

Trinkwasser

Von den amtlichen Messstellen der Länder wurden Messwerte für 81 Trinkwasser- und 47 Rohwasser-Probenentnahmestellen mitgeteilt.

Für Cäsium-137 liegen mehr als 98% der Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,11 mBq/l bis 49 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen zwischen 1 mBq/l und 7 mBq/l (2003: 0,14 und 20 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei < 6 mBq/l (2003: < 6,3 mBq/l).

In 54% der untersuchten Proben konnte Strontium-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 1,0 mBq/l und 18 mBq/l (2003: 1,0 und 10,0 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei < 3,4 mBq/l (2003: 4 mBq/l). Die Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche in den 60er Jahren herrührenden Einfluss von Oberflächenwasser und oberflächennahem Grundwasser auf die Trinkwassergewinnung an.

Von den Messstellen wurden im Rahmen des Routinemessprogramms für Grundwasser und Trinkwasser auch α -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 0,2 Bq/l. Plutoniumisotope konnten oberhalb der geforderten Nachweisgrenzen nicht nachgewiesen werden.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Wege über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition vernachlässigbar klein. Legt man die Maximalwerte für Cs-137 und Sr-90 zugrunde, ergeben sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 700 Liter für den Erwachsenen Ingestionsdosen von 0,000064 bzw. 0,00035 (2003: 0,00018 bzw. 0,00020) Millisievert pro Jahr.

Tabelle 3.4.1-1 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in 2004
(General monitoring of groundwater and drinking water in 2004)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl < NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane
Grundwasser (mBq/l)							
alle Bundesländer	K-40	113	55	26	12.000	480	140
	Cs-137	113	111	2,2	46		< 4,1
	Sr-90	58	36	0,051	6		< 1,7
	H-3	12	7	1.300	2.200		2.200
Trinkwasser (mBq/l)							
alle Bundesländer	K-40	283	155	14	1.300		140
	Cs-137	283	278	1,0	7,0		< 6
	Sr-90	91	42	1,0	18	4,5	< 3,4

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

3.4.2 Milch und Milchprodukte
(Milk and milk products)

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Kiel

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall deponierten Cäsium-137, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cäsium-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die Strontium-90-Aktivitätskonzentration ist gegenüber dem Jahr 2003 auf extrem niedrigem Niveau ebenfalls nahezu konstant geblieben.

Die Messwerte, die für Milch und Milchprodukte ermittelt wurden, können in diesem Bericht nur in komprimierter Form wiedergegeben werden. In Tabelle 3.4.2-1 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 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 3.4.2-1 angegeben werden, basieren auf Messergebnissen der Ländermessstellen und auf zusätzlichen Messungen der Leitstelle an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die im Berichtsjahr regelmäßig monatlich durchgeführt wurden. Abbildung 3.4.2-1 gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte des Sr-90- und Cs-137-Gehaltes der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 2004. Tabelle 3.4.2-2 gibt für das Bundesgebiet einen Überblick über die Bereiche der radioaktiven Kontamination für wichtige Radionuklide in Milch und einigen Milchprodukten.

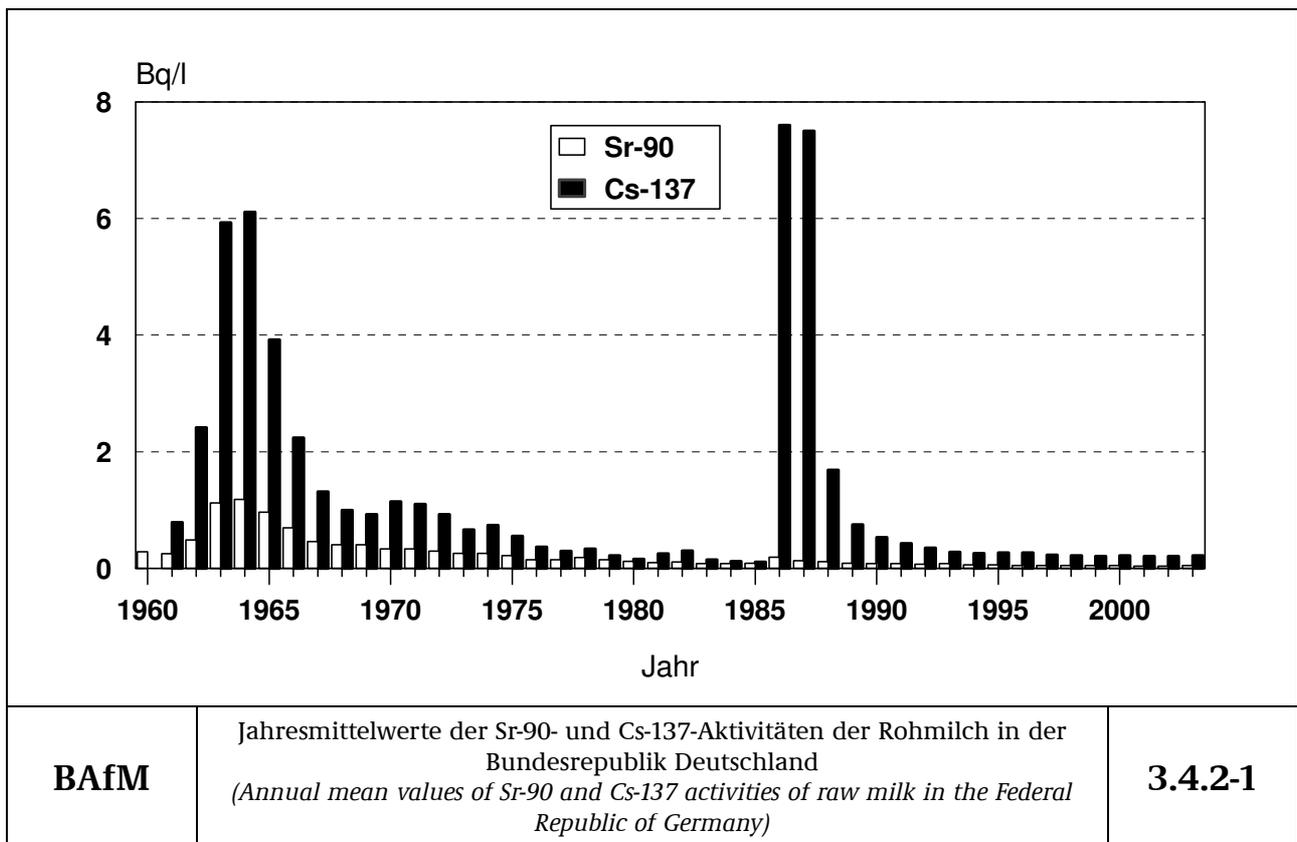


Tabelle 3.4.2-1 Radioaktive Kontamination der Rohmilch
(Radioactive contamination of the raw milk)

Bundesland		Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
	Jahr	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2002	35	0,07	83	< 0,15
	2003	31	< 0,07	83	< 0,16
	2004	29	< 0,06 (<0,01 - 0,1)	83	< 0,14 (< 0,01 - 0,43)
Bayern	2002	92	0,07	260	< 0,32
	2003	35	0,10	261	< 0,28
	2004	90	0,12 (0,02 - 0,33)	259	< 0,24 (0,03 - 0,82)
Berlin	2002	12	0,03	24	< 0,07
	2003	12	< 0,02	24	< 0,10
	2004	13	0,03 (0,01 - 0,06)	25	0,66 (0,03 - 8,3*)
Brandenburg	2002	16	0,03	42	< 0,30
	2003	15	0,03	40	< 0,31
	2004	16	0,03 (0,02 - 0,05)	40	< 0,38 (< 0,08 - 0,92)
Bremen	2002	12	< 0,02	12	< 0,41
	2003	12	< 0,03	12	0,55
	2004	12	< 0,03 (0,003 - 0,07)	12	0,35 (0,01 - 1,0)
Hamburg	2002	12	0,03	11	< 0,13
	2003	12	0,03	11	< 0,12
	2004	12	< 0,02 (<0,004 - 0,04)	12	< 0,12 (<0,08 - <0,16)
Hessen	2002	14	< 0,04	35	< 0,11
	2003	14	0,04	32	< 0,09
	2004	12	0,05 (0,009 - 0,12)	34	< 0,09 (0,01 - <0,27)
Mecklenburg-Vorpommern	2002	43	0,03	67	< 0,17
	2003	33	0,03	58	< 0,14
	2004	27	< 0,03 (0,007 - 0,08)	51	< 0,17 (<0,07 - 0,55)
Niedersachsen	2002	126	0,04	219	< 0,21
	2003	102	0,04	200	< 0,23
	2004	97	0,03 (0,02 - 0,06)	216	< 0,31 (<0,05 - 1,44)
Nordrhein-Westfalen	2002	44	< 0,05	134	< 0,14
	2003	39	< 0,04	134	< 0,12
	2004	44	0,04 (0,01 - 0,25)	145	< 0,12 (0,01 - 0,45)
Rheinland-Pfalz	2002	21	0,04	67	< 0,20
	2003	20	0,04	63	< 0,10
	2004	18	0,04 (0,03 - 0,05)	37	< 0,08 (0,03 - <0,24)
Saarland	2002	11	< 0,03	11	< 0,20
	2003	12	< 0,03	12	< 0,20
	2004	12	0,06 (0,02 - 0,12)	12	< 0,20 (<0,20 - <0,20)
Sachsen	2002	12	0,03	24	< 0,09
	2003	12	0,02	24	< 0,10
	2004	12	0,03 (0,02 - 0,04)	24	< 0,09 (0,05 - 0,22)

Bundesland		Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
	Jahr	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	2002	12	< 0,03	24	< 0,26
	2003	12	< 0,02	37	< 0,30
	2004	12	< 0,03 (< 0,02 - 0,05)	35	< 0,28 (<0,07 - 0,81)
Schleswig-Holstein	2002	36	0,05	96	< 0,13
	2003	32	< 0,05	94	< 0,13
	2004	27	< 0,05 (0,03 - 0,07)	91	< 0,14 (0,03 - 0,41)
Thüringen	2002	25	0,03	37	< 0,08
	2003	20	0,02	34	< 0,10
	2004	21	0,02 (0,01 - 0,05)	36	< 0,08 (0,01 - 0,13)
Bundesrepublik (gesamt)	2002	523	< 0,04	1146	< 0,20
	2003	413	< 0,04	1119	< 0,20
	2004	454	< 0,05 (0,003 - 0,33)	1112	< 0,22 (< 0,01 - 8,3**)

* Der Wert ist nicht repräsentativ. Mittelwert ohne den höchsten Wert: 0,34 Bq/l Cs-137.

** Der Wert ist nicht repräsentativ

Tabelle 3.4.2-2 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten
(*Range of radioactive contamination of milk and milk products*)

Produkt	N	Cs-134 Bq/kg		Cs-137 Bq/kg	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1112	< 0,23	< 0,001	8,3**	< 0,01
Trinkmilch	2	< 0,21	-	0,19	< 0,13
Käse	5	< 0,20	< 0,13	< 0,34	< 0,13
Importe					
Käse	109	< 0,24	< 0,001	0,72	< 0,001
Frischkäse	4	-	-	0,15	< 0,10
Molkeneiweißkäse	1	< 0,14	-	< 0,2	-
Schafskäse	12	< 0,2	< 0,07	< 0,28	< 0,09
Ziegenkäse	2	< 0,12	< 0,12	0,17	< 0,14
Lakenkäse	5	< 0,19	< 0,08	< 0,34	< 0,10

- Messung / Angabe nicht erforderlich

* Der Wert ist nicht repräsentativ. Mittelwert ohne den höchsten Wert: 0,34 Bq/l Cs-137.

** Der Wert ist nicht repräsentativ

3.4.3 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer

(Fish and seafood, fish from inland waters)

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

Der vorliegende Beitrag enthält Messergebnisse der Messstellen der Bundesländer über Radionuklidkonzentrationen in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus den Bereichen der Binnengewässer und der Meere sowie in entsprechender importierter Ware, die im Rahmen des Routinemessprogramms zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) erhalten wurden. Im marinen Bereich werden diese Messdaten durch Untersuchungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi) ergänzt. Die bei der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen (REI) von den Messstellen der Bundesländer und den Betreibern erhobenen Messdaten werden in Kapitel II 1.5.4 in zusammengefasster Form dargestellt.

Bei der Auswertung wurde im Allgemeinen nicht nach Fischarten unterschieden. Da die spezifischen Cäsium-137-Aktivitäten im Fisch im Wesentlichen auf den Tschernobyl-Fallout zurückgehen, ist für das Verhältnis Cäsium-134/Cäsium-137 im Fisch im Jahr 2004 ein Wert zwischen 0,0021 und 0,0016 zu erwarten. Die verwendeten Aktivitätsangaben in Bq/kg beziehen sich im Folgenden immer auf die Feuchtmasse. Soweit nicht anders ausgewiesen, wurden bei Fischen, Krusten- und Schalentieren die Aktivitätswerte im Fleisch bestimmt. Die statistische Auswertung wurde nach dem Verfahren nach "Helsel und Cohn" [1] unter Einbeziehung der unterhalb der Nachweisgrenze liegenden, nicht-signifikanten Messwerte durchgeführt. Wegen der im Vergleich zur Normalverteilung oft größeren Ähnlichkeit der gefundenen Verteilungen zu Lognormalverteilungen wurde (ab 1995) der Medianwert als repräsentativer Mittelwertschätzer verwendet. Die in den Tabellen angegebenen Gesamtanzahlen N von Messwerten umfassen auch die nicht nachgewiesenen (nn) unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) liegenden Werte.

Routinemessprogramm der Länder

Im Berichtsjahr 2004 wurden im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG Messungen von γ -Strahlern (an 468 Proben) und Strontium-90 (an 64 Proben) ausgewertet. Für die Auswertung der Daten wurden 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 für 2004 zusammengefassten Cs-137-Werte durchgeführt. Cs-134 wurde 2004 nicht mehr nachgewiesen.

Tabelle 3.4.3-1 zeigt für 2004 im Vergleich zwischen Süddeutschland (der Hauptanteil der Daten stammt aus Bayern), Mitteldeutschland und Norddeutschland die mittleren Cs-137-Aktivitäten in Fischen aus Binnenseen, aus Fischteichen sowie aus Fließgewässern. Werte für nicht spezifizierete Gewässer sind in der Tabelle ebenfalls aufgeführt. Deutliche Unterschiede zwischen den Regionen sind wie schon in den Vorjahren nicht festzustellen. Bei Fischen aus süddeutschen Gewässern wurde ein niedrigerer Cs-137-Median als z. B. in Norddeutschland beobachtet. Dies hat vermutlich mit der jeweiligen Auswahl der in den Regionen beprobten Gewässer, vor allem auch mit den relativ niedrigen Probenanzahlen zu tun und darf daher nicht überbewertet werden. So tragen z. B. Fische aus der Schlei, die mit der im Vergleich zu Flüssen noch höher kontaminierten Ostsee verbundenen ist, zu etwas höheren Werten für Cs-137 in Flüssen Norddeutschlands bei.

Im Vergleich zwischen Süd- und Norddeutschland zeigen die Abbildungen 3.4.3-1 bis 3.4.3-3 die zeitliche Entwicklung der mittleren Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen, aus Fischteichen und aus Fließgewässern seit 1986. Die in Binnenseefischen ab 1988 beobachtete deutliche Abnahme der Cs-137-Aktivität setzte sich ab etwa 1993 praktisch nicht weiter fort. In den Fließgewässern setzte die Abnahme zumindest schon ab 1987 ein.

Zur näheren Untersuchung dieses zeitlichen Verlaufs wurden im Herbst 2004 von der Leitstelle erstmalig die effektiven Halbwertszeiten ermittelt, mit denen die Cs-137-Aktivität seit etwa 1992 in Fischen aus Flüssen und Seen Deutschlands abnimmt [2]. Für verschiedene Flüsse – jeweils im Bereich von Atomkraftwerken – wurden erstaunlich gut übereinstimmende Werte für die effektive Halbwertszeit gefunden. Der Median lag bei 6,3 Jahren, die effektiven Halbwertszeiten in einzelnen Gewässern reichten von 4,6 bis 8,8 Jahren (Einzelfälle 17 und 30 Jahre). Für Binnenseen war der Medianwert vergleichbar, jedoch war der Mittelwert von 9,0 Jahren (3,8 bis 7,2 Jahre, Einzelwerte bis 30 Jahre) größer als der Median, was auf einige höhere Einzelwerte der effektiven Halbwertszeit zurückgeht. Die Erklärung der zwischen Seen und Flüssen insgesamt gut übereinstimmenden effektiven Halbwertszeiten muss darin gesehen werden, dass der fortdauernde Eintrag von Tschernobyl-Cs-137 aus den Böden der Gewässereinzugsgebiete in die Flüsse oder Seen maßgeblich das zeitliche Verhalten in beiden Gewässerarten gleichermaßen steuert. Eine effektive Halbwertszeit von 6,3 Jahren entspricht einer jährlichen Abnahme der Cs-137-Aktivität von ca. 10%.

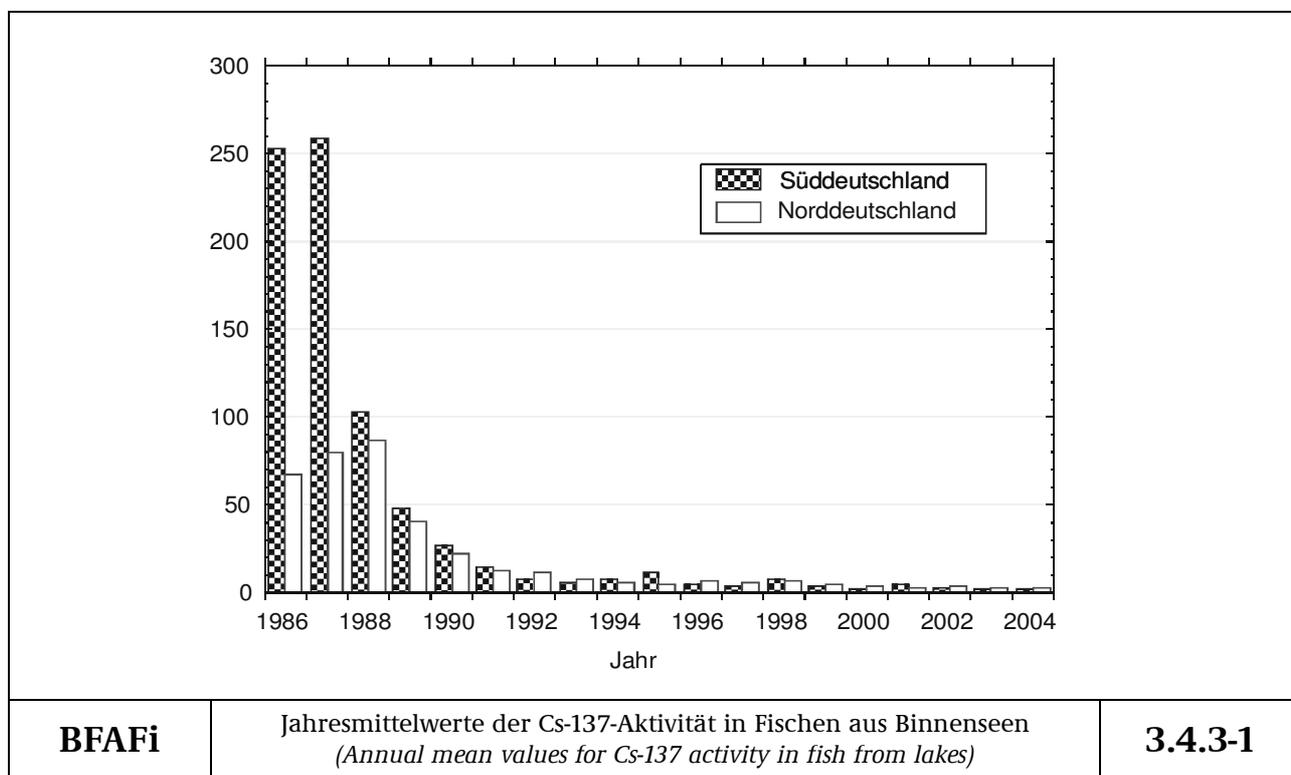
Die mittleren Cs-137-Aktivitäten der Fische aus Fischteichen und aus Fließgewässern waren in den Jahren 2004 in Süddeutschland etwa 7-fach niedriger als die aus Binnenseen. Für Norddeutschland betrug dieser Faktor etwa 3,3.

Tabelle 3.4.3-1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen (2004)

(Specific Cs-137 activity in freshwater fish - year 2004)

Messungen der Bundesländer (siehe Text für Einteilung der drei Regionen)

Gewässer	Region	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Cs-137-Aktivität Bq/kg FM		
Binnenseen	Süddeutschland	39	1	0,13	41	1,6
	Mitteldeutschland	3	1	0,15	0,26	0,15
	Norddeutschland	60	4	<0,11	81	2,7
Fischteiche	Süddeutschland	26	6	0,082	2,6	0,20
	Mitteldeutschland	23	8	<0,1	3,8	0,16
	Norddeutschland	12	1	0,16	1,8	0,71
Fließgewässer	Süddeutschland	10	1	0,078	1,8	0,25
	Mitteldeutschland	28	8	0,093	1,7	0,18
	Norddeutschland	11	0	0,21	16	0,88
nicht spezifizierte Gewässer	Süddeutschland	2	2	<0,14	<0,18	<0,16
	Mitteldeutschland	1	0	2,2	2,2	2,2
	Norddeutschland	2	0	0,63	2,0	1,3



BFAFi

Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from lakes)

3.4.3-1

Bei Fischteichen Norddeutschlands wurden seit 1989 etwas höhere Cs-137-Mittelwerte als in Süddeutschland beobachtet (Abb. 3.4.3-2). Anfänglich wurde dies darauf zurückgeführt, dass auch aus Seen genommene Proben den Teichen zugeordnet worden waren. Dieser Unterschied ist aber weiterhin verblieben und kann - letztlich auf Grund zu geringer Probenanzahlen - nicht statistisch gesichert werden.

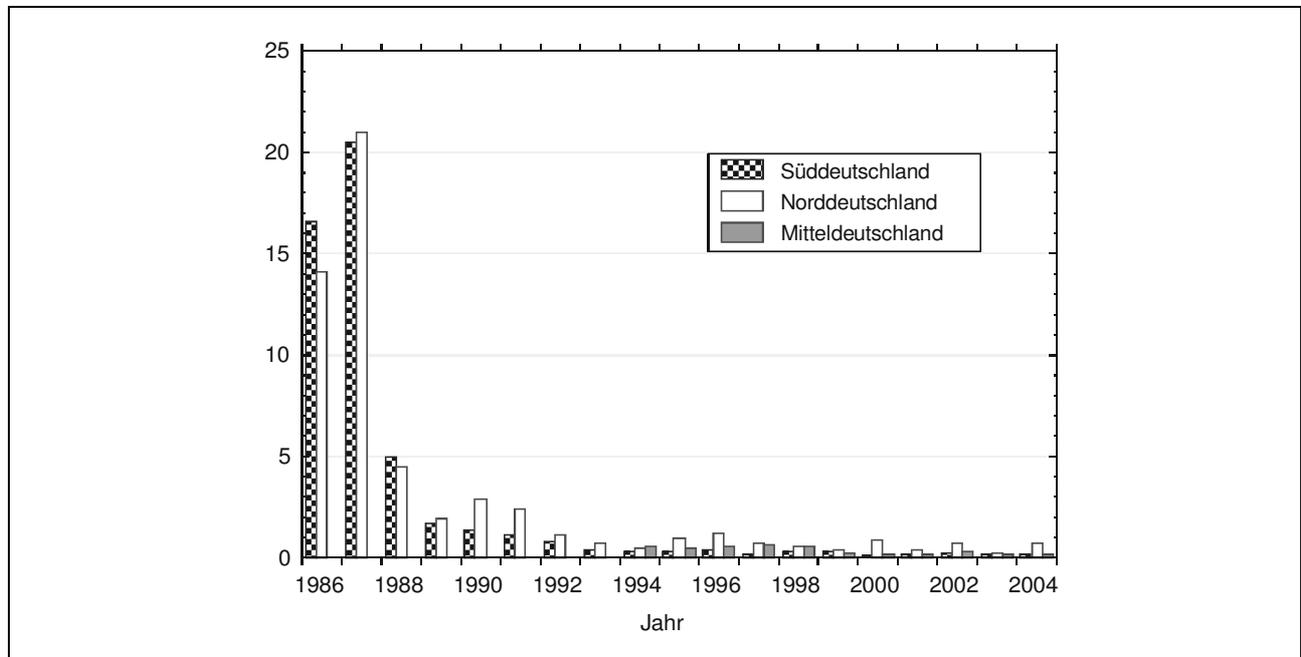
Die ab 1994 in genügender Anzahl vorliegenden Cs-137-Werte von Fischproben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands unterscheiden sich nicht von den in Abb. 3.4.3-2 und 3.4.3-3 dargestellten Verläufen Nord- und Süddeutschlands.

Für die aus Binnengewässern wirtschaftlich bedeutsamsten Fische, Forellen und Karpfen sind die mittleren Cs-137-Aktivitäten (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 3.4.3-2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Werte ergibt, dass bis 1999 (vgl. Abb. 3.4.3-4) Forellen niedriger kontaminiert waren als Karpfen, ab 2000 jedoch ist der Unterschied nicht mehr signifikant.

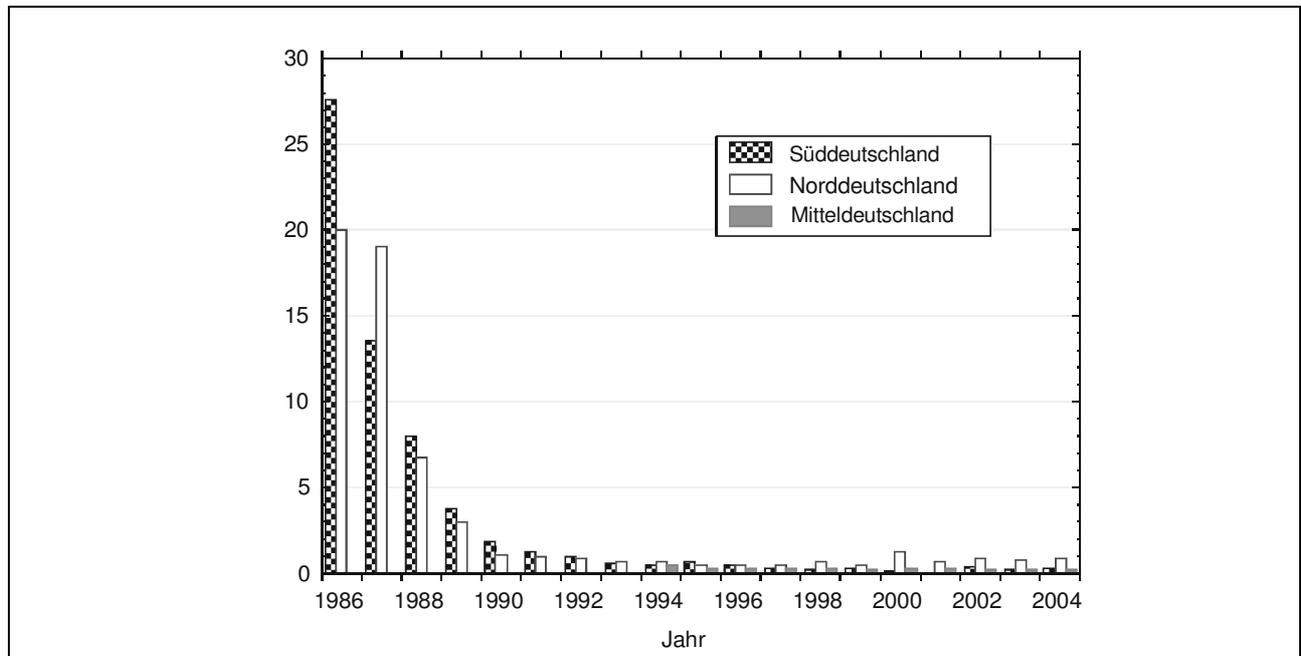
Tabelle 3.4.3-2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (2004)
(Specific Cs-137 activity in trout and carp - year 2004)

Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

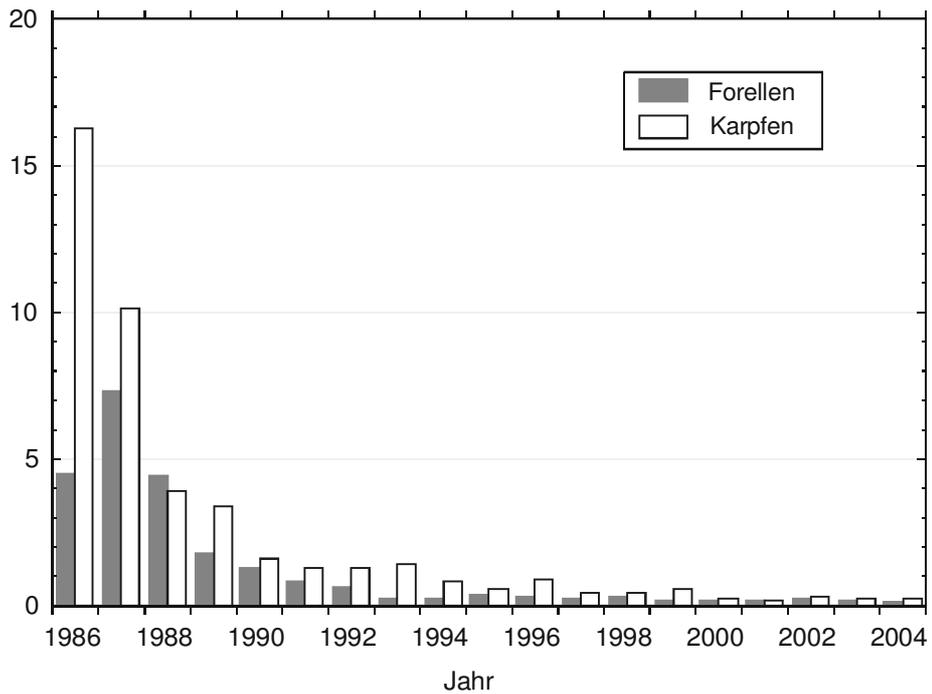
Fisch	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
			Spez. Cs-137-Aktivität Bq/kg FM		
Forellen	39	13	0,085	2,2	0,16
Karpfen	40	7	0,078	24	0,25



BFAFi Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms) **3.4.3-2**



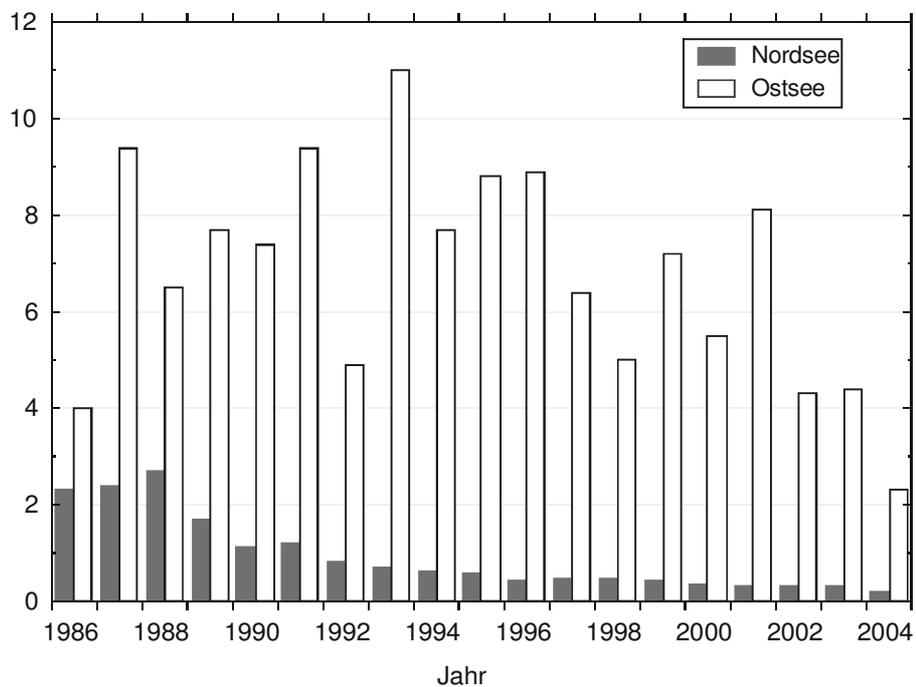
BFAFi Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers) **3.4.3-3**



BFAFi

Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen
(Annual mean values for Cs-137 activity in carp and trout)

3.4.3-4



BFAFi

Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the
North and Baltic Seas)

3.4.3-5

In Tabelle 3.4.3-3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätswerte für Fische aus der Nord- und der Ostsee dargestellt (2004: nur Werte der Ländermessstellen). In Abb. 3.4.3-5 wurden rückwirkend für die Jahre 2002 und 2003 korrigierte Werte eingetragen, in denen die verspätet erfolgten Messungen bei der Leitstelle berücksichtigt wurden; nur der Wert für die Ostsee in 2003 hat sich dadurch merklich geändert, von 3,0 auf 4,4 Bq/kg. In Fischen aus der Nordsee, die vor Tschernobyl bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminiert waren, blieben 2004 die Cs-137-Werte unter maximal 0,7 Bq/kg, im Mittel bei etwa 0,18 Bq/kg (2003: 0,30 Bq/kg).

Tabelle 3.4.3-3 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen und Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee (2004)
(Specific Cs-137 activity in fish and crustaceans from the North Sea and the Baltic Sea - year 2004)

Messungen der Bundesländer und, im Falle von Fischen, auch der Leitstelle

Gewässer	Probenart	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Nordsee	Fische	27	11	<0,1	0,7	0,18
	Garnelen	18	18	<0,10	<0,22	<0,13
	Miesmuscheln	15	14	<0,1	0,23	<0,13
Ostsee	Fische	27	1	0,17	14	2,3

Während bei Nordseefisch ein durch Tschernobyl bedingter Beitrag zur mittleren Cs-137-Aktivität schon seit Jahren nicht mehr festzustellen war, bestimmt er praktisch vollständig die Cs-137-Aktivität im Ostseefisch. Die im Jahresgang in Abb. 3.4.3-5 festzustellende Variation der Jahresmittelwerte ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass der Anteil der Fischproben mit höherer Cs-137-Aktivität aus der östlichen Ostsee von Jahr zu Jahr variieren kann.

Im Bereich der Nordseeküste von den Messstellen der Länder entnommene Proben von Garnelen- und Miesmuschelfleisch wiesen eine mittlere Cs-137-Aktivität von weniger als 0,13 Bq/kg auf; vgl. Tab. 3.4.3-3. Die meisten Einzelwerte lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Die im Jahr 2004 für Proben von Süßwasserfisch aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tab. 3.4.3-4) lagen bei 0,27 Bq/kg (2003: 0,24 Bq/kg), diejenigen für Seefisch sowie Krusten- und Schalentiere (Tab. 3.4.3-4) waren vergleichbar mit den in Tab. 3.4.3-3 für die Nordsee angegebenen Werten.

Tabelle 3.4.3-4 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen (2004)

(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans and fishery products - year 2004)

Messungen der Bundesländer

Probenart	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
			Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Süßwasserfisch	29	11	<0,12	3,8	0,27
Seefisch	106	34	0,056	8,0	0,21
Krusten- u. Schalentiere	10	9	<0,1	0,32	<0,15
Fischerzeugnisse	4	1	0,072	20	0,11

Die Ergebnisse der von den Ländermessstellen durchgeführten Sr-90-Analysen sind in Tabelle 3.4.3-5 aufgeführt. Bei Fischen aus dem Süßwasserbereich zeigte sich, dass die Sr-90-Aktivität bei Binnenseen etwa 5 mal so groß war wie bei Fließgewässern und Fischteichen. Der mittlere Sr-90-Wert von Fischen aus Binnenseen hat sich gegenüber dem Vorjahr (2003: 0,047 Bq/kg) nicht geändert. In der Bewertung ist generell zu beachten, dass schon leichte Änderungen der geringen Haut- bzw. Grätenanteile der analysierten Fischproben eine merkliche Änderung der gemessenen Sr-90-Konzentration bewirken können. In Fischen aus Nord- und Ostsee sowie im Fleisch der Garnelen und Miesmuscheln aus der Nordsee wurden vergleichbar niedrige Sr-90-Werte gefunden.

Tabelle 3.4.3-5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (2004)
(Specific Sr-90 activity in fish and crustaceans - year 2004)
 Messungen der Bundesländer

Probenart	Gewässer	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Sr-90-Aktivität (Bq/kg FM)		
Fisch	Binnenseen	15	2	0,008	0,19	0,047
	Fischteiche	7	2	0,012	0,051	0,013
	Fließgewässer	12	8	0,0052	0,11	0,0050
	Meere	5	2	0,010	0,037	0,016
Garnelen	Nordsee	12	6	<0,02	0,078	0,034
Miesmuscheln	Nordsee	12	6	<0,02	0,066	0,025

Routineprogramm der Leitstelle

Fischproben aus der Nordsee und der Ostsee wurden während der Fahrten mit dem FFS "Walther-Herwig-III" genommen. Durch einen Laborumzug bedingt konnten γ -spektrometrische Analysen der Proben ab Dezember 2001 bis Ende 2003 erst ab Frühjahr 2004 durchgeführt werden. Die Messungen der für das Berichtsjahr 2004 fälligen Proben begannen erst ab Juni 2005, vollständige Ergebnisse liegen noch nicht vor. Daher kann nur über neue Daten der Proben früherer Jahre berichtet werden.

Tabelle 3.4.3-6 zeigt die für 2002 und 2003 nachzutragenden Ergebnisse für Fischproben aus der Nordsee. Dabei ist anzumerken, dass 2001 und 2002 während der Forschungsfahrten in der Nordsee keine Proben von Kabeljau zu fangen waren, einer Fischart, die der Leitstelle bisher als Referenzart für Cs-137 diente. Die mittleren Cs-137-Gehalte im Fischfleisch stimmten gut überein mit dem von den Messstellen der Länder in 2002 und 2003 erhaltenen Mittelwert von 0,30 Bq/kg.

Die nachzutragenden Ergebnisse γ - und α -spektrometrischer Analysen von Fischproben aus der Ostsee sind in Tabelle 3.4.3-7 für alle Stationen gemittelt zusammengefasst. Nachzutragen waren hier die γ -Messungen der Kabeljauleberproben. Insbesondere die Proben aus 2003, die mit deutlich längerer Messzeit (mindestens 2 Wochen) gemessen wurden als die älteren Proben, zeigen nach wie vor das Vorhandensein des langlebigen Silberisotops Ag-108m, allerdings mit sehr niedrigen Werten. Die Kabeljauleber-Messungen sind derzeit die einzigen, mit deren Hilfe die Existenz dieses Silberisotops im marinen Bereich überhaupt nachgewiesen werden kann. Dessen Herkunft ist nach wie vor nicht aufgeklärt. Die bisher noch geringe Zahl an Messungen der Alpha-Strahler Pu-239/240 und Am-241 im Fischfleisch zeigen sehr niedrige Werte unterhalb 0,025 mBq/kg. Sprotten, als Gesamtfischproben analysiert, haben wegen des hohen Grätenanteils etwa 10fach höhere Werte von Pu-239/240 und Am-241, das Pu-238 jedoch wurde hierin nicht signifikant nachgewiesen.

Tabelle 3.4.3-6 Radionuklidgehalte von Fischen der Nordsee – Nachträge zu früheren Jahren
(Radionuclide activities of Baltic Sea fish – Supplement to earlier years)

Ergebnisse von "Walther-Herwig-III"-Fahrten in den Jahren 2002 bis 2003;
 Probeentnahme zwischen 53° und 57° Nord; Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

Probe	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
zu 2002:						
Fischfleischproben	Cs-137	6	0	0,24	0,45	0,35
Sprotte, Gesamtfisch	Cs-137	2	0	0,16	0,39	0,27
zu 2003:						
Fischfleischproben	Cs-137	12	0	0,16	0,56	0,27
Sprotte, Gesamtfisch	Cs-137	1	0	0,21	0,21	0,21

Tabelle 3.4.3-7 Radionuklidgehalte von Fischen der Ostsee – Nachträge zu früheren Jahren
(Radionuclide activities of Baltic Sea fish – Supplement to earlier years)

Ergebnisse von "Walther-Herwig-III"-Fahrten in den Jahren 2001 bis 2003;

Probeentnahme zwischen 10°30' und 20°30' Ost; Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

Probe	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
zu 2001:						
Kabeljauleber	Cs-137	7	0	0,80	2,7	1,5
Kabeljauleber	Ag-108m	7	6	<0,0056	<0,017	<0,0068
zu 2002:						
Fischfleischproben	Pu-239/240	3	2	<2,1E-05	<2,7E-05	<2,5E-5
Fischfleischproben	Am-241	3	3	<1,4E-05	<1,7E-05	<1,5E-5
Kabeljauleber	Cs-137	3	0	1,0	1,5	1,2
Kabeljauleber	Ag-108m	7	6	<0,0053	<0,022	<0,012
Sprotte, Gesamt	Pu-239/240	2	0	0,00057	0,00057	0,00057
Sprotte, Gesamt	Am-241	1	0	0,00022	0,00022	0,00022
zu 2003:						
Fischfleischproben	Cs-137	18	0	1,3	16	8,4
Kabeljauleber	Cs-137	13	0	0,58	1,8	1,2
Kabeljauleber	Ag-108m	13	7	0,0031	<0,021	0,0037

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet: 2003 (18 Messungen, nn=4): 0,0023 ± 0,0001

Von den Messungen, die von der Leitstelle im Rahmen der HELCOM-Verpflichtungen durchgeführt wurden, seien hier erstmalig die Messungen von Blasantangproben (*Fucus vesiculosus*) aus dem Greifswalder Bodden erwähnt. Die für den Zeitraum 1998 bis 2003 erhaltenen Ergebnisse des als Indikator für in der Ostsee vorhandene Radionuklide anzusehenden Blasantangs sind in der Tabelle 3.4.3-8 dargestellt. Von besonderem Interesses sind die Alphastrahler und deren Aktivitätsverhältnisse. Insbesondere die in dem betrachteten Zeitraum sehr wenig variierenden Verhältnisse Pu-238/Pu-239/240 von im Mittel 0,032 deuten auf den Kernwaffenfallout als die wesentliche Quelle des Plutoniums. Das Aktivitätsverhältnis Am-241/Pu-239/240 scheint ebenfalls für diesen Fallout als wesentliche Quelle für das Am-241 zu sprechen.

Tabelle 3.4.3-8 Radionuklidgehalte von Blasantang (*Fucus vesiculosus*) der Ostsee
*(Radionuclide activities of Baltic sea bladder wreck (*Fucus vesiculosus*))*
 Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei)

Radionuklid	Jahr	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg TM)		
Cs-137	1998	4	0	18	42	30
	1999	2	0	42	44	43
	2000	2	0	30	39	35
	2001	2	0	28	34	31
	2003	2	0	18	28	23
Pu-238	1998 - 2003	8	0	0,00060	0,0036	0,0020
Pu-239,240	1998 - 2003	8	0	0,014	0,11	0,064
Pu-238/Pu-239/240	1998 - 2003	8	0	0,030	0,042	0,032
Am-241	1998 - 1999	7	0	0,0020	0,014	0,0055
Am-241/Pu-239/240	1998 - 2003	7	0	0,041	0,26	0,089

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. Urban & Fischer Verlag München, Jena, ISBN 3-437-21596-5
- [2] Kanisch, G.: "Effektive Halbwertszeiten von ^{137}Cs in Fischen aus Binnenseen und Fließgewässern". Kapitel 13. In: Trugenberger-Schnabel et al.: Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland. Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz. Daten und Bewertung für 2002 und 2003. BfS-Schrift BfS-SCHR-34/05, Salzgitter, Juni 2005, ISBN 3-86509-312-2

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

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Kiel

Einzellebensmittel

Das vor und nach dem Tschernobylunfall deponierte Cäsium-137 in Nahrungsmitteln führte auch im Jahr 2004 zu Kontaminationen, die auf einem sehr niedrigen Niveau lagen (s. Tabellen 3.4.4-1 - 3.4.4-17). Im Vergleich zu den Vorjahren veränderte sich die Aktivitätskonzentrationen von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Wegen der kürzeren Halbwertszeit war Cäsium-134 nicht mehr nachweisbar. Auf einem sehr niedrigen Niveau befindet sich ebenfalls die Strontium-90-Aktivitätskonzentration.

Eine Ausnahme bilden die meisten Wildfleischarten (Tabelle 3.4.4-8), Speisepilze (Tabelle 3.4.4-11) mit Ausnahme von Kulturpilzen, Wildbeeren (Tabelle 3.4.4-12) und Blütenhonig (Tabelle 3.4.4-14). Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln.

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung können in diesem Bericht nur in komprimierter Form wiedergegeben werden.

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 "<" gekennzeichneten 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 3.4.4-1 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	2003	42	< 0,15	(< 0,06 - < 0,20)	9	0,16	(0,10 - 0,31)
	2004	45	< 0,15	(< 0,02 - < 0,23)	9	0,17	(0,08 - 0,26)
Bayern	2003	30	< 0,14	(< 0,07 - 0,24)	2	0,23	(0,21 - 0,25)
	2004	34	< 0,17	(0,05 - 0,82)	3	0,42	(0,27 - 0,50)
Berlin	2003	2	< 0,18	(< 0,12 - 0,24)	1	0,30	
	2004	1	< 0,12	(< 0,12 - < 0,12)	1	0,13	
Brandenburg	2003	16	< 0,13	(0,06 - 0,40)	1	0,34	
	2004	16	< 0,12	(< 0,08 - 0,30)	1	0,43	
Bremen	2003	4	< 0,76	(< 0,05 - 2,78)	1	0,15	
	2004	2	< 0,04	(< 0,03 - < 0,06)	1	0,08	
Hamburg	2003	4	< 0,11	(0,10 - < 0,12)	1	0,45	
	2004	4	< 0,14	(< 0,12 - < 0,18)	-		
Hessen	2003	15	< 0,14	(< 0,07 - 0,54)	-		
	2004	10	< 0,15	(< 0,13 - < 0,17)	-		
Mecklenburg-Vorpommern	2003	32	< 0,12	(< 0,08 - < 0,17)	2	0,17	(0,16 - 0,19)
	2004	31	< 0,13	(< 0,07 - < 0,18)	2	0,11	(0,11 - 0,11)
Niedersachsen	2003	39	< 0,17	(< 0,07 - 0,80)	4	0,28	(0,16 - 0,48)
	2004	52	< 0,14	(< 0,04 - 0,24)	4	0,09	(0,07 - 0,14)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Nordrhein-Westfalen	2003	44	< 0,11	(< 0,04 - 0,21)	4	0,19	
	2004	36	< 0,10	(< 0,04 - < 0,19)	2	<0,06	(< 0,02 - 0,09)
Rheinland-Pfalz	2003	27	< 0,11	(< 0,06 - < 0,23)	1	0,11	
	2004	27	< 0,13	(< 0,05 - < 0,24)	1	0,17	
Saarland	2003	3	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)	-		
	2004	2	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)	-		
Sachsen	2003	11	< 0,12	(< 0,08 - < 0,13)	3	0,26	(0,12 - 0,52)
	2004	12	< 0,10	(< 0,08 - < 0,12)	3	0,12	(0,10 - 0,14)
Sachsen-Anhalt	2003	14	< 0,16	(< 0,09 - 0,43)	4	0,21	(0,08 - 0,40)
	2004	15	< 0,16	(< 0,10 - 0,28)	4	0,20	(0,08 - 0,40)
Schleswig-Holstein	2003	34	< 0,12	(< 0,03 - 0,29)	4	0,22	(0,18 - 0,30)
	2004	34	< 0,14	(< 0,08 - < 0,52)	4	0,17	(0,12 - 0,25)
Thüringen	2003	22	< 0,12	(< 0,09 - 0,14)	1	0,05	
	2004	22	< 0,12	(< 0,09 - < 0,13)	1	0,03	
Bundesrepublik (gesamt)	2003	339	< 0,14	(< 0,03 - 2,78)	38	0,21	(0,05 - 0,52)
	2004	343	< 0,14	(< 0,02 - 0,82)	36	< 0,17	(< 0,02 - 0,50)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

**Tabelle 3.4.4-2 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import)**

Importe	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Dänemark	2003	1	< 0,11
	2004	3	< 0,13 (< 0,07 - < 0,19)
Frankreich	2003	3	< 0,18 (< 0,13 - < 0,20)
	2004	5	< 0,17 (< 0,10 - < 0,20)
Österreich	2003	-	
	2004	1	< 0,06
Spanien	2003	1	< 0,17
	2004	1	< 0,04
Türkei	2003	3	< 0,17 (< 0,12 - < 0,20)
	2004	1	< 0,04
Sonstige Importe*	2003	-	
	2004	13	< 0,17 (< 0,08 - < 0,22)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

* Es lagen keine Angaben zum Herkunftsland vor

Tabelle 3.4.4-3 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)
Gerste	2003	105	< 0,16 (0,04 - 0,81)	11	0,25 (0,07 - 0,64)
	2004	121	< 0,14 (< 0,04 - 0,35)	12	0,19 (0,05 - 0,57)
Hafer	2003	24	< 0,36 (< 0,10 - 3,63)	2	0,34 (0,34 - 0,35)
	2004	23	< 0,49 (< 0,06 - 2,76)	2	0,50 (0,26 - 0,75)
Mais	2003	4	< 0,17 (< 0,08 - < 0,24)	-	
	2004	3	< 0,09 (< 0,03 - < 0,16)	-	
Reis	2003	18	< 0,16 (< 0,07 - < 0,25)	-	
	2004	14	< 0,12 (< 0,04 - < 0,25)	-	
Roggen	2003	154	< 0,20 (< 0,03 - 1,44)	9	0,17 (0,10 - 0,26)
	2004	155	< 0,16 (< 0,02 - 0,97)	11	< 0,18 (< 0,02 - 0,46)
Sonstige	2003	25	< 0,23 (0,06 - 1,18)	1	0,09
	2004	24	< 0,13 (< 0,04 - < 0,34)	1	0,11

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-4 Kalbfleisch, Inland
(*Veal, domestic production*)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2003	8	< 0,48 (< 0,14 - 1,04)
	2004	7	< 0,46 (< 0,15 - 0,84)
Bayern	2003	4	0,58 (0,17 - 1,40)
	2004	5	0,35 (0,10 - 0,52)
Berlin	2003	3	< 0,43 (0,17 - 0,92)
	2004	2	2,25 (0,30 - 4,20)
Brandenburg	2003	3	0,90 (0,20 - 2,00)
	2004	3	1,63 (0,50 - 2,60)
Bremen	2003	3	0,39 (0,14 - 0,61)
	2004	2	0,84 (0,73 - 0,94)
Hamburg	2003	3	0,89 (0,47 - 1,59)
	2004	3	0,76 (0,59 - 0,97)
Hessen	2003	3	< 0,39 (< 0,12 - 0,53)
	2004	3	< 0,34 (0,27 - 0,45)
Mecklenburg-Vorpommern	2003	9	1,78 (0,31 - 6,09)
	2004	7	< 2,26 (0,11 - 9,08)
Niedersachsen	2003	8	< 1,39 (< 0,19 - 5,70)
	2004	9	< 0,61 (< 0,14 - 1,27)
Nordrhein-Westfalen	2003	17	< 0,60 (< 0,14 - 2,12)
	2004	18	< 0,54 (< 0,12 - 2,59)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Rheinland-Pfalz	2003	3	< 0,47 (< 0,17 - 0,84)
	2004	4	< 0,27 (< 0,13 - 0,39)
Saarland	2003	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
	2004	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
Sachsen	2003	5	< 0,32 (< 0,11 - 0,68)
	2004	5	0,52 (0,16 - 1,40)
Sachsen-Anhalt	2003	3	0,79 (0,55 - 0,93)
	2004	3	0,92 (0,64 - 1,15)
Schleswig-Holstein	2003	2	0,46 (0,26 - 0,66)
	2004	1	0,47
Thüringen	2003	-	
	2004	-	
Bundesrepublik (gesamt)	2003	76	< 0,78 (< 0,11 - 6,09)
	2004	74	< 0,78 (0,10 - 9,08)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-5 Rindfleisch, Inland
(*Beef, domestic production*)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2003	36	< 0,31 (< 0,11 - 1,66)
	2004	35	< 0,60 (< 0,08 - 4,00)
Bayern	2003	50	< 0,53 (< 0,07 - 5,03)
	2004	49	< 0,43 (0,11 - 2,59)
Berlin	2003	7	0,82 (0,22 - 2,00)
	2004	6	1,26 (0,08 - 3,00)
Brandenburg	2003	32	2,66 (0,20 - 9,30)
	2004	34	< 3,38 (< 0,08 - 20,0)
Bremen	2003	6	< 1,05 (< 0,03 - 2,62)
	2004	7	2,15 (0,10 - 7,84)
Hamburg	2003	6	< 2,22 (< 0,12 - 11,8)
	2004	6	< 1,58 (< 0,09 - 5,19)
Hessen	2003	7	< 0,19 (< 0,06 - 0,36)
	2004	9	< 0,21 (< 0,10 - 0,41)
Mecklenburg-Vorpommern	2003	34	< 1,64 (< 0,08 - 7,95)
	2004	33	< 1,36 (0,08 - 10,9)
Niedersachsen	2003	29	< 0,83 (< 0,08 - 13,3)
	2004	28	< 2,63 (< 0,11 - 26,0)
Nordrhein-Westfalen	2003	37	< 0,38 (0,06 - 3,74)
	2004	39	< 0,31 (< 0,06 - 1,95)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Rheinland-Pfalz	2003	8	< 0,20 (< 0,07 - 0,40)
	2004	9	< 0,15 (0,09 - 0,31)
Saarland	2003	6	< 0,20 (< 0,20 - 0,20)
	2004	6	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
Sachsen	2003	29	< 0,50 (< 0,10 - 2,76)
	2004	29	< 0,34 (0,07 - 1,74)
Sachsen-Anhalt	2003	24	< 0,60 (< 0,07 - 7,78)
	2004	24	< 1,28 (< 0,09 - 16,2)
Schleswig-Holstein	2003	23	< 0,47 (< 0,12 - 2,00)
	2004	24	< 0,56 (< 0,11 - 4,14)
Thüringen	2003	24	< 0,12 (< 0,09 - 0,36)
	2004	22	< 0,14 (< 0,08 - 0,54)
Bundesrepublik (gesamt)	2003	358	< 0,81 (< 0,03 - 13,3)
	2004	360	< 1,06 (< 0,06 - 26,0)

Tabelle 3.4.4-6 Schweinefleisch, Inland
(*Pork, domestic production*)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2003	17	< 0,18 (< 0,12 - 0,29)
	2004	20	< 0,23 (< 0,13 - 0,48)
Bayern	2003	28	< 0,33 (0,10 - 1,43)
	2004	26	< 0,34 (0,04 - 2,18)
Berlin	2003	5	0,23 (0,12 - 0,40)
	2004	6	0,25 (0,16 - 0,44)
Brandenburg	2003	30	< 0,28 (< 0,09 - 0,70)
	2004	25	< 0,28 (< 0,08 - 1,30)
Bremen	2003	6	0,16 (0,10 - 0,25)
	2004	6	0,15 (0,09 - 0,22)
Hamburg	2003	6	< 0,19 (0,09 - 0,27)
	2004	6	< 0,25 (< 0,11 - 0,56)
Hessen	2003	5	< 0,14 (< 0,07 - 0,25)
	2004	9	< 0,21 (< 0,08 - < 0,33)
Mecklenburg - Vorpommern	2003	32	< 0,21 (0,06 - 1,05)
	2004	31	< 0,48 (0,08 - 6,26)
Niedersachsen	2003	53	< 0,19 (0,09 - 0,65)
	2004	53	< 0,20 (< 0,06 - 0,69)
Nordrhein-Westfalen	2003	67	< 0,15 (0,06 - 0,35)
	2004	67	< 0,14 (< 0,05 - 0,55)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Rheinland-Pfalz	2003	10	< 0,17 (0,08 - < 0,25)
	2004	9	< 0,24 (0,09 - 0,84)
Saarland	2003	6	< 0,20 (< 0,20 - 0,22)
	2004	6	< 0,21 (< 0,20 - 0,28)
Sachsen	2003	23	< 0,19 (< 0,08 - 0,52)
	2004	23	< 0,16 (0,06 - 0,40)
Sachsen-Anhalt	2003	36	< 0,21 (< 0,07 - 0,46)
	2004	-	
Schleswig-Holstein	2003	11	< 0,18 (< 0,11 - 0,28)
	2004	11	< 0,27 (< 0,10 - 0,67)
Thüringen	2003	20	< 0,14 (< 0,08 - 0,30)
	2004	20	< 0,21 (< 0,09 - 0,77)
Bundesrepublik (gesamt)	2003	355	< 0,20 (0,06 - 1,43)
	2004	354	< 0,23 (0,04 - 6,26)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-7 Sonstiges Fleisch und Hühnereier, Inland und Einfuhr
(*Other meat and chicken eggs, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Lamm /Schaf	2003	15	< 0,23 (0,04 - 0,66)
	2004	14	< 0,25 (< 0,09 - 0,97)
Ente	2003	18	< 0,14 (0,07 - < 0,24)
	2004	12	< 0,15 (0,07 - < 0,21)
Gans	2003	13	< 0,16 (< 0,07 - < 0,33)
	2004	16	< 0,18 (< 0,06 - 0,42)
Pute	2003	63	< 0,13 (< 0,05 - < 0,21)
	2004	63	< 0,13 (0,04 - < 0,24)
Huhn/Hähnchen	2003	118	< 0,17 (0,04 - < 0,55)
	2004	135	< 0,16 (0,04 - 0,57)

Tabelle 3.4.4-8 Wild, Inland und Einfuhr
(Game, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Haarwild			
Damwild	2003	7	14,3 (5,30 - 46,1)
	2004	2	39,70 (13,8 - 65,6)
Hirsch	2003	17	13,5 (0,15 - 44,6)
	2004	10	< 7,63 (< 0,08 - 30,3)
Känguru	2003	2	< 0,11 (< 0,09 - < 0,13)
	2004	2	< 0,14 (< 0,10 - < 0,18)
Reh	2003	132	< 26,1 (< 0,09 - 221)
	2004	113	< 39,10 (< 0,13 - 1060)
Hase	2003	-	
	2004	2	< 0,13 (< 0,07 - < 0,20)
Ren	2003	-	
	2004	2	50,20 (16,4 - 84,0)
Gams	2003	-	
	2004	2	23,10 (7,31 - 38,9)
Wildschwein	2003	387	< 120 (0,04 - 3970)
	2004	114	< 299 (< 0,05 - 2680)
Federwild			
Strauss	2003	-	
	2004	1	< 0,07
Wildente	2003	-	
	2004	1	0,09

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-9 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	2003	15	< 0,12 (< 0,03 - < 0,20)	1	0,02
	2004	9	< 0,14 (< 0,07 - < 0,21)	1	0,01
Bayern	2003	27	< 0,21 (0,13 - 0,36)	-	
	2004	34	< 0,27 (< 0,11 - 0,95)	2	0,15 (0,14 - 0,15)
Berlin	2003	2	< 0,12 (< 0,06 - 0,17)	1	0,03
	2004	3	< 0,18 (< 0,11 - 0,27)	1	0,02
Brandenburg	2003	13	< 0,16 (< 0,09 - 0,50)	2	0,02 (0,02 - 0,03)
	2004	12	< 0,13 (0,10 - 0,20)	1	0,03
Bremen	2003	2	< 0,02 (< 0,02 - < 0,02)	-	
	2004	2	0,08 (0,05 - 0,12)	-	

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Hamburg	2003	2	< 0,15 (< 0,14 - < 0,15)	-	
	2004	2	< 0,15 (< 0,13 - < 0,17)	-	
Hessen	2003	5	< 0,10 (< 0,06 - < 0,14)	1	< 0,02
	2004	5	< 0,10 (< 0,06 - < 0,13)	-	
Mecklenburg-Vorpommern	2003	11	< 0,10 (< 0,04 - 0,30)	1	0,01
	2004	12	< 0,10 (< 0,04 - 0,25)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
Niedersachsen	2003	43	< 0,20 (0,06 - 0,84)	4	< 0,08 (< 0,02 - 0,26)
	2004	39	< 0,16 (< 0,08 - 0,66)	4	< 0,02 (0,02 - 0,02)
Nordrhein-Westfalen	2003	16	< 0,14 (< 0,08 - < 0,27)	5	< 0,05 (< 0,02 - 0,11)
	2004	17	< 0,12 (< 0,06 - < 0,16)	5	< 0,05 (0,01 - 0,19)
Rheinland-Pfalz	2003	6	< 0,15 (< 0,03 - < 0,30)	2	0,03 (0,02 - 0,04)
	2004	6	< 0,09 (< 0,03 - < 0,17)	2	0,03 (0,03 - 0,04)
Saarland	2003	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	-	
	2004	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	-	
Sachsen	2003	10	< 0,14 (< 0,07 - 0,40)	1	0,01
	2004	10	< 0,10 (< 0,06 - < 0,13)	1	0,01
Sachsen-Anhalt	2003	12	< 0,14 (< 0,09 - 0,41)	2	< 0,02 (< 0,01 - 0,02)
	2004	9	< 0,14 (< 0,11 - 0,25)	2	< 0,03 (< 0,02 - 0,03)
Schleswig-Holstein	2003	6	< 0,12 (< 0,01 - < 0,17)	1	0,04
	2004	6	< 0,10 (< 0,07 - 0,16)	1	0,05
Thüringen	2003	6	< 0,12 (< 0,10 - < 0,12)	1	0,01
	2004	6	< 0,11 (< 0,09 - < 0,12)	1	0,02
Bundesrepublik (gesamt)	2003	178	< 0,16 (< 0,01 - 0,84)	22	< 0,04 (0,01 - 0,26)
	2004	174	< 0,16 (< 0,03 - 0,95)	23	< 0,04 (0,01 - 0,19)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4-10 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	2003	688	< 0,16 (< 0,02 - < 1,29)	75	< 0,19 (0,01 - 1,14)
	2004	672	< 0,15 (< 0,01 - 2)	80	0,20 (0,03 - 1,03)
Fruchtgemüse	2003	227	< 0,13 (< 0,02 - 0,74)	13	0,05 (0,03 - 0,08)
	2004	214	< 0,13 (< 0,02 - 0,39)	13	< 0,06 (< 0,02 - 0,14)
Sprossgemüse	2003	247	< 0,14 (< 0,02 - 0,76)	13	0,05 (0,02 - 0,13)
	2004	279	< 0,13 (< 0,01 - 0,51)	18	< 0,05 (0,01 - < 0,13)
Wurzelgemüse	2003	173	< 0,16 (< 0,03 - 1,36)	15	0,20 (0,04 - 0,63)
	2004	174	< 0,16 (0,03 - 1,93)	15	0,15 (0,01 - 0,44)
Kräuter	2003	2	< 0,13 (< 0,11 - < 0,14)	1	0,45
	2004	2	< 0,25 (< 0,17 - < 0,33)	1	0,19

Tabelle 3.4.4-11 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(Mushrooms, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Kulturpilze	2003	11	< 1,62	(< 0,15 - 8,8)
	2004	2	< 0,30	(< 0,13 - 0,47)
Wildröhrenpilze				
Maronenpilze	2003	31	141	(0,96 - 500)
	2004	66	252	(2,61 - 2210)
Steinpilze	2003	37	58,1	(1,72 - 170)
	2004	32	< 91,2	(< 0,73 - 1650)
sonstige Wildröhrenpilze	2003	29	47,9	(0,60 - 207)
	2004	56	77	(0,40 - 510)
sonstige Waldpilze				
Keulen- und Korallenpilze	2003	5	24,6	(3,00 - 66,7)
	2004	3	20,7	(4,10 - 48,9)
Pfifferling	2003	33	57,1	(1,86 - 402)
	2004	50	42,6	(0,78 - 188)
Wildblätterpilze	2003	95	< 57,6	(< 0,19 - 840)
	2004	97	< 68,2	(< 0,15 - 1830)
Wildbauchpilze	2003	-		
	2004	1	< 0,70	
Wildstachelpilze	2003	-		
	2004	2	470	(9,36 - 931)
Wildpilzmischungen	2003	-		
	2004	14	< 25,4	(< 0,14 - 71)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-12 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)	
Erdbeeren und sonstige	2003	120	< 0,16	(< 0,02 - 2,88)	8	0,06	(0,03 - 0,10)
	2004	111	< 0,13	(< 0,03 - 0,48)	10	0,09	(0,01 - 0,37)
Exotische Früchte	2003	8	< 0,22	(< 0,02 - 0,99)	-		
	2004	10	< 0,15	(< 0,04 - 0,33)	-		
Kernobst	2003	197	< 0,13	(< 0,02 - < 0,52)	19	< 0,02	(0,01 - 0,05)
	2004	191	< 0,13	(0,02 - < 0,27)	20	< 0,02	(0,01 - 0,04)
Rhabarber	2003	18	< 0,13	(< 0,04 - 0,24)	2	0,11	(0,10 - 0,11)
	2004	24	< 0,18	(< 0,08 - 1,16)	2	0,21	(0,19 - 0,22)
Schalenobst	2003	8	< 0,44	(< 0,12 - 1,25)	-		
	2004	7	< 0,60	(< 0,14 - 2,94)	-		
Steinobst	2003	120	< 0,12	(0,02 - 0,20)	11	0,05	(0,01 - 0,11)
	2004	130	< 0,12	(0,02 - 0,38)	10	< 0,08	(0,02 - 0,27)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Strauchbeeren	2003	30	< 0,15 (< 0,02 - 0,55)	1	0,06
	2004	29	< 0,12 (< 0,02 - < 0,26)	3	0,08 (0,05 - 0,13)
Wildbeeren	2003	24	< 29,4 (< 0,20 - 304)	-	
	2004	14	< 39,9 (< 0,16 - 300)	-	
Zitrusfrüchte	2003	12	< 0,12 (< 0,02 - < 0,25)	-	
	2004	10	< 0,10 (< 0,04 - < 0,20)	-	

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-13 Getränke, Inland und Einfuhr
(*Soft drinks, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Wein	2003	-	
	2004	2	< 0,29 (< 0,28 - < 0,30)
Heidelbeerwein	2003	-	
	2004	1	2,65

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-14 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
(*Other foodstuffs, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Blütenhonigmischung	2003	25	< 4,58 (< 0,07 - 69,2)
	2004	24	< 3,57 (< 0,07 - 62,0)
Blütenhonig	2003	23	< 87,6 (< 0,08 - 546)
	2004	20	< 57,1 (< 0,11 - 466)
Honigtauhonig	2003	1	34,9
	2004	2	29,1 (8,90 - 49,3)
Hühnereier	2003	-	
	2004	1	< 0,14 (< 0,14 - < 0,14)
Kaffee	2003	3	< 0,28 (< 0,22 - 0,35)
	2004	3	< 0,21 (< 0,20 - 0,22)
Tee, schwarz	2003	1	0,52
	2004	1	2,07 (2,07 - 2,07)
Teeähnliche Erzeugnisse	2003	3	< 0,67 (0,43 - 0,82)
	2004	3	4,86 (0,59 - 7,74)
Ölsamen	2003	4	< 0,10 (< 0,05 - 0,15)
	2004	4	< 0,24 (< 0,09 - 0,50)
Gewürze	2003	-	
	2004	7	< 0,64 (< 0,21 - 2,44)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-15 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(*Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production*)

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1960	1,2	0,56	0,09	9,6	-	-	-	0,07	3,2
1961	0,85	0,15	0,07	-	-	-	2,2	5,6	2,2
1962	0,56	0,19	0,06	12	-	-	2,6	1,0	0,48
1963	5,6	0,22	0,67	18	13	31	18	4,1	7,0
1964	7,0	0,22	0,30	36	27	39	21	2,0	5,2
1965	3,3	0,33	0,26	18	19	23	9,2	0,85	2,3
1966	2,0	0,30	0,22	8,9	11	13	5,2	0,59	1,7
1967	1,5	0,26	0,11	6,7	5,2	7,4	3,0	0,37	1,7
1968	0,85	0,16	0,11	4,8	3,3	7,8	2,1	0,59	0,59
1969	0,92	0,19	0,06	4,1	3,1	4,8	1,8	0,59	0,59
1970	1,0	0,14	0,07	,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 *

* Inland und Einfuhr

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Gesamtnahrung

Die Beprobung der Gesamtnahrung (s. Tabelle 3.4.4-16) dient der Abschätzung der ingestionsbedingten Strahlendosis Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. Dazu werden verzehrsfertige Menüs der Gemeinschaftsverpflegung aus Kantinen, Heimen, Krankenhäusern und Restaurants analysiert. Daraus resultiert eine Mittlung der Verzehrsmenge und der Zusammensetzung.

Die mittlere tägliche Cäsium-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2004 mit 0,26 Bq/(d·p) (d = Tag; p = Person) 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 seiner Interpretation berücksichtigt werden muss.

Für Strontium-90 mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von 0,11 Bq/(d·p) gilt die gleiche Betrachtungsweise wie für Cs-137, allerdings muss hier noch berücksichtigt werden, dass die Messwerte nahe oder unterhalb der Nachweisgrenzen der angewendeten Analyseverfahren liegen, was zu einer zusätzlichen Unsicherheit führt. Die mittlere jährliche ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr lässt sich somit wie folgt abschätzen:

Sr-90 : 40 Bq/(a·p),
Cs-137 : 95 Bq/(a·p).

Tabelle 3.4.4-16 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung
(Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet)

Monat	Jahr	Cs-137 Bq/(d • p) (d=Tag, p=Person)		Sr-90 Bq/(d • p) (d=Tag, p=Person)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2003	90	< 0,29 (0,03 - 3,87)	14	< 0,09 (< 0,02 - 0,18)
	2004	82	< 0,38 (< 0,02 - 6,60)	18	0,15 (0,02 - 0,90)
Februar	2003	80	< 0,26 (< 0,04 - 4,67)	21	< 0,13 (< 0,01 - 0,57)
	2004	87	< 0,25 (0,03 - 1,62)	22	< 0,15 (0,02 - 0,96)
März	2003	89	< 0,29 (0,04 - 3,70)	20	0,16 (0,01 - 0,70)
	2004	96	< 0,30 (0,06 - 7,29)	19	0,11 (0,05 - 0,45)
April	2003	82	< 0,21 (0,02 - 0,86)	15	0,10 (0,03 - 0,29)
	2004	82	< 0,23 (< 0,04 - 1,90)	15	0,10 (0,05 - 0,28)
Mai	2003	86	< 0,34 (0,02 - 6,10)	22	< 0,10 (< 0,01 - 0,26)
	2004	95	< 0,21 (< 0,05 - 0,81)	22	0,07 (0,01 - 0,15)
Juni	2003	94	< 0,34 (< 0,06 - 7,17)	23	< 0,12 (< 0,04 - 0,72)
	2004	92	< 0,24 (< 0,06 - 2,00)	21	< 0,13 (0,04 - 0,99)
Juli	2003	84	< 0,32 (< 0,04 - 5,29)	14	0,13 (0,07 - 0,29)
	2004	86	< 0,22 (< 0,05 - 0,94)	17	0,11 (0,04 - 0,33)
August	2003	76	< 0,23 (< 0,06 - 1,39)	22	< 0,13 (< 0,04 - 0,59)
	2004	96	< 0,31 (0,03 - 4,39)	23	< 0,08 (0,03 - 0,22)
September	2003	94	< 0,23 (0,07 - 1,04)	22	< 0,12 (< 0,04 - 0,54)
	2004	92	< 0,23 (< 0,04 - 1,34)	20	< 0,10 (0,04 - 0,21)
Oktober	2003	93	< 0,29 (0,05 - 3,00)	14	0,12 (0,03 - 0,41)
	2004	86	< 0,23 (0,03 - 1,01)	18	< 0,10 (0,02 - 0,26)
November	2003	86	< 0,30 (< 0,06 - 5,82)	18	0,11 (0,02 - 0,51)
	2004	91	< 0,24 (0,04 - 1,84)	20	0,12 (0,02 - 0,47)
Dezember	2003	86	< 0,33 (< 0,02 - 3,25)	19	0,12 (0,03 - 0,39)
	2004	87	< 0,25 (< 0,02 - 2,00)	16	< 0,10 (0,03 - 0,18)
Jahr (gesamt)	2003	1040	< 0,29 (0,02 - 7,17)	224	< 0,12 (0,01 - 0,72)
	2004	1070	< 0,26 (< 0,02 - 7,29)	231	< 0,11 (0,01 - 0,99)

Tabelle 3.4.4-17 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	2003	23	< 0,70	(0,06 - 10,9)	10	< 0,03	(0,01 - 0,07)
	2004	19	< 0,21	(< 0,01 - 1,74)	8	< 0,05	(< 0,02 - 0,10)
Februar	2003	20	< 1,01	(< 0,04 - 17,0)	4	0,11	(0,01 - 0,36)
	2004	21	< 0,15	(< 0,04 - 0,29)	4	0,03	(0,01 - 0,04)
März	2003	18	< 1,15	(0,03 - 18,8)	3	0,03	(0,02 - 0,05)
	2004	18	< 0,11	(0,03 - < 0,21)	4	0,05	(0,02 - 0,07)
April	2003	21	< 0,14	(< 0,03 - 0,92)	6	< 0,04	(0,02 - 0,13)
	2004	17	< 0,13	(< 0,02 - 0,85)	5	< 0,02	(0 - 0,03)
Mai	2003	19	< 0,11	(< 0,03 - 0,43)	4	0,09	(0,02 - 0,28)
	2004	17	< 0,14	(< 0,03 - 0,35)	3	0,04	(0,03 - 0,06)
Juni	2003	14	< 0,14	(< 0,02 - 0,36)	1	0,03	
	2004	26	< 0,12	(< 0,02 - 0,40)	3	0,06	(0,05 - 0,06)
Juli	2003	23	< 0,11	(< 0,01 - < 0,24)	9	< 0,04	(< 0,01 - 0,10)
	2004	18	< 0,16	(< 0,04 - 0,45)	9	< 0,06	(< 0,02 - 0,16)
August	2003	21	< 0,13	(< 0,03 - 0,46)	3	< 0,02	(< 0,01 - 0,04)
	2004	18	< 0,14	(< 0,02 - < 0,28)	3	< 0,02	(< 0,01 - 0,02)
September	2003	19	< 0,14	(0,05 - 0,52)	2	< 0,04	(< 0,0002 - 0,07)
	2004	14	< 0,14	(0,03 - 0,43)	3	0,07	(0,02 - 0,15)
Oktober	2003	14	< 0,26	(< 0,03 - 1,56)	1	0,06	
	2004	24	< 0,18	(< 0,04 - 0,82)	7	< 0,07	(0,01 - 0,31)
November	2003	24	< 0,17	(< 0,03 - 1,32)	5	0,03	(0,001 - 0,05)
	2004	24	< 0,13	(< 0,03 - 0,55)	1	0,03	
Dezember	2003	20	< 0,17	(0,04 - 0,91)	-		
	2004	15	< 0,19	(0,04 - 0,71)	-		
Jahr (gesamt)	2003	236	< 0,35	(< 0,01 - 18,8)	48	< 0,05	(< 0 - 0,36)
	2004	231	< 0,15	(< 0,01 - 1,74)	50	< 0,05	(0 - 0,31)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

3.4.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe (*Tobacco products, consumer goods, medical preparations and their constituent materials*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt,
Oberschleißheim

Die Leitstelle für Tabakerzeugnisse, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Gebrauchsgegenstände überwacht routinemäßig in größerem Umfang vor allem Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel dienen. Der Schwerpunkt der Überwachung liegt hierbei auf dem gammaspektrometrisch messbaren Radionuklid Cäsium-137, einem Falloutbestandteil der oberirdischen Kernwaffenversuche und des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Die anderen künstlichen Radionuklide, die gammaspektrometrisch erfasst werden können, liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Tabakerzeugnisse werden stichprobenartig überprüft und Bedarfsgegenstände werden auf Anfrage auf mögliche Kontaminationen untersucht.

Die untersuchten Ausgangsstoffe für Arzneimittel pflanzlicher Herkunft stammen aus verschiedenen europäischen Ländern.

In den γ -spektrometrisch untersuchten Pflanzenproben wurden außer Cäsium-137 keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen.

Lokale Unterschiede, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaugebieten, können zu Schwankungen der Messergebnisse führen. In Tabelle 3.4.5-1 sind die Jahresmittelwerte der Cäsium-137- und Kalium-40-Konzentrationen in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoff für Arzneimittel und Tees dienen, für 2004 zusammengefasst.

Die Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 liegen mit maximal 1.155 Bq/kg (TM) bei Brennnesselblättern aus Bulgarien und minimal bei 87 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Rumänien im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite.

Die Aktivitäten des Radionuklids Cäsium-137 variieren zwischen maximal 456 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Rumänien, 37 Bq/kg (TM) bei Gänsefingerkraut aus Polen und Werten unterhalb der Nachweisgrenze z. B. bei Brennnesselblättern aus Bulgarien, Mateblättern aus Brasilien und Grünem Tee aus China.

Bei der Herstellung eines Arzneimittels aus der Pflanze wird der Gehalt an Cäsium-137 durch die erforderlichen Arbeitsschritte in der Regel reduziert. Die Strahlenexposition, die aus der Anwendung von Arzneimitteln resultiert, ist im Vergleich zu der natürlichen Strahlenexposition (in Deutschland durchschnittlich zwischen 2 und 3 mSv/Jahr) als sehr gering einzuschätzen.

Tabelle 3.4.5-1 Jahresmittelwerte für 2004 der Cäsium-137- und Kalium-40-Konzentrationen in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoff für Arzneimittel dienen, mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean value of the cesium-137 and potassium-40 concentrations in different medicinal plants and plants used as basic product for pharmaceuticals, and indication of their country of origin, in the year 2004)

Artikel	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Ginkgoblätter	China	319 ± 12	NWG: 0,15
Kürbiskerne	Österreich	307 ± 6	NWG: 0,1
Lindenblüten	Bulgarien	573 ± 13	1,7 ± 0,2
Pfefferminzblätter	Ägypten	796 ± 30	NWG: 0,3
Salbei, ganz	Kroatien	372 ± 15	0,8 ± 0,1
Kamillenblüten	Kroatien	959 ± 20	0,6 ± 0,1
Hagebuttenschalen	Chile	628 ± 23	0,4 ± 0,1
Islandmoos	Rumänien	87 ± 7	456 ± 18
Johanniskraut	Polen	431 ± 10	1,7 ± 0,2
Ringelblumenblüten	Ägypten	992 ± 20	0,4 ± 0,1
Brennnesselblätter	Bulgarien	1155 ± 24	NWG: 1,0
Mateblätter, grün	Brasilien	653 ± 24	NWG: 0,2
Gänsefingerkraut	Polen	815 ± 35	37 ± 1,8
Spitzwegerichkraut	Polen	1072 ± 20	1,7 ± 0,1
Thymian	Türkei	342 ± 7	0,6 ± 0,1
Lavendelblüten	Frankreich	639 ± 24	NWG: 0,2
Zimtrinde	Indonesien	178 ± 4	0,9 ± 0,1
Wacholderbeeren	Bulgarien	328 ± 7	0,9 ± 0,1
Salbeiblätter	Türkei	652 ± 13	0,4 ± 0,1
Lorbeerblätter, ganz	Türkei	168 ± 7	NWG: 0,4
Majoran, gerebelt	Ägypten	667 ± 13	0,5 ± 0,1
Pfeffer, schwarz, ganz	Brasilien	428 ± 8	NWG: 0,2
Wacholderbeeren	Bulgarien	328 ± 7	0,9 ± 0,1
Grüner Tee	China	661 ± 13	NWG: 0,2
Melissenblätter	Bulgarien	1005 ± 20	1,5 ± 0,2

3.5 Abwasser und Klärschlamm (Waste water and sludge)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin

Diesem Bericht liegen die Messergebnisse aus 91 Abwasserreinigungsanlagen zugrunde. Die Probenentnahmen der amtlichen Messstellen der Länder zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt entsprechend dem Routinemessprogramm erfolgten zum weitaus größten Teil an den gleichen Stellen und nach dem gleichen Verfahren wie im Vorjahr.

In Tabelle 3.5-1 sind die ausgewerteten Daten in stark verdichteter Form zusammengestellt. Angegeben wird 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 Kalium-40, Kobalt-60, den Cäsiumisotopen Cs-134 und Cs-137, Jod-131, Strontium-90 und den Uranisotopen. Sämtliche Zahlenwerte sind auf zwei signifikante Stellen gerundet.

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 den regionalen geologischen Gegebenheiten in weiten Grenzen. Die Messwerte im Jahr 2004 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 850 Bq/kg TM (Vorjahr bis 680 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 140 bzw. 100 Bq/kg TM (Vorjahr 150 bzw. 110 Bq/kg TM).

Das hauptsächlich in der Nuklearmedizin eingesetzte Radionuklid I-131 wurde nur in einem Teil der Abwasser- und Klärschlammproben nachgewiesen (Medianwert für Klärschlamm: 41 Bq/kg TM; Maximalwert: 2500 Bq/kg TM, Vorjahr: 41 bzw. 4400 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m (Maximalwert: 6200 Bq/kg TM) sowie Thallium-201 (Maximalwert: 160 Bq/kg TM) und Indium-111 (Maximalwert: 7,1 Bq/kg TM). Co-60 wurde nur in einer einzigen Probe mit 0,64 Bq/kg TM in Niedersachsen nachgewiesen. In Abwasser einer Hamburger Kläranlage wurden Plutoniumisotope, die bei Kernwaffenversuchen in den 50er und 60er Jahren freigesetzt worden sind, in der extrem niedrigen Konzentration von 0,000006 Bq/l und im Klärschlamm einer weiteren Hamburger Kläranlage in Spuren von 0,02 Bq/kg TM nachgewiesen.

Von den infolge des Kernkraftwerkunfalls in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten ist für Abwässer und Klärschlämme nur noch Cs-137 von Bedeutung. Die im Vergleich zu der Zeit vor dem Kernkraftwerkunfall 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 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 im Abwasser lagen zu 96% und von Cs-134 ausschließlich unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen. Als Mindestnachweisgrenze dieser Radionuklide im Abwasser werden im Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) 0,1 Bq/l gefordert. Die für Cs-137 ermittelten Messwerte lagen im Jahr 2004 zwischen 0,0016 und 0,010 Bq/l, bei einem Median von < 0,034 Bq/l (2003: zwischen 0,0011 und 0,074 Bq/l).

In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl deutliche Unterschiede fest. Als Folge von starken Niederschlägen Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tabelle 3.5-1 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 2004 - wie seit etwa 15 Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 98 Bq/kg TM für Cs-137. Seit 1998 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage die mittleren spezifischen Aktivitäten 170, 180, 140, 140, 110, 110 und 98 Bq/kg TM. Ein Spitzenwert (Einzelmessung) von 170 Bq/kg TM (bei einem Jahresmittelwert von 71 Bq/kg TM, Vorjahr 23 Bq/kg TM) aus der Kläranlage Radolfzell erklärt sich mit außergewöhnlichen Reinigungsarbeiten im Kanalsystem bei dem ältere Sedimente in die Kläranlage eingespült wurden und auf vermehrten und anders getarteten Schlammanfall auf Grund von Umbauarbeiten an einem Faulschlammbecken.

Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte für die Cs-137-Gehalte der Klärschlämme aller Bundesländer in den letzten fünf Jahren ist in Abbildung 3.5-1 dargestellt. Die bisherige Tendenz einer kontinuierlichen Abnahme der Kontamination der Klärschlämme ist nur noch in wenigen Fällen zu beobachten, z. B. in Thüringen. Dies gilt auch teilweise für höher kontaminierte Gebiete. Im Zeitraum von 1988 bis 2004 wurden im südlichen Bayern anfangs noch stark abnehmende Jahresmittelwerte ermittelt, die sich über ein nahezu konstantes Niveau in den Jahren 1999 bis 2003 weiterhin verringern: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68, 63, 43, 38, 37, 44, 30

und 25 Bq/kg TM. Nach leichtem Anstieg der Jahresmittelwerte in Rheinland-Pfalz und einem sehr drastischen Anstieg des Jahresmittelwertes insbesondere in Bremen zeigt sich auch in diesen Bundesländern wieder eine deutliche Tendenz zur Abnahme der Cs-137-Gehalte (vergl. Abb. 3.5-1). Bei dem inzwischen erreichten sehr niedrigen Niveau der spezifischer Aktivität der Klärschlämme sind die zu beobachtenden Schwankungen im Wesentlichen durch die natürliche Streuung der Messwerte bedingt.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137 aus dem Tschernobyl-Fallout hat sich auf Grund des unterschiedlich schnellen radioaktiven Zerfalls dieser beiden Isotope (Halbwertzeiten: 2 bzw. 30 Jahre) bis Mitte des Jahres 2004, d. h. im Laufe von 18 Jahren, auf etwa 0,0018 : 1 verschoben (Vorjahr 0,0024 : 1). In wenig belasteten Gebieten findet man häufig ein noch kleineres Verhältnis, da sich der Anteil des "alten" Cs-137 aus der Zeit der Kernwaffenversuche relativ stärker bemerkbar macht, sofern Cs-134 überhaupt noch nachzuweisen ist.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 110 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 unter 20 Bq Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flächenbelastung von zurzeit ca. 20.000 Bq/m² Cs-137, eine jährliche Aktivitätszufuhr in den Boden von weniger als 0,1%. Hierbei ist aber anzumerken, dass eine solche Aufstockung des Cs-137-Inventars gegenüber dem radioaktiven Zerfall des bereits im Boden befindlichen Inventars in der Höhe von 2,3% pro Jahr um ein Vielfaches kompensiert wird.

Tabelle 3.5-1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2004
Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sludge in the year 2004
minimum, maximum, and mean values)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwerte ¹	Maximalwerte ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Mediane
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Schleswig-Holstein	K-40	15	15				<1,4
	Co-60	15	15				<0,042
	I-131	12	0	0,069	0,35	0,2	0,18
	Cs-137	15	15				<0,057
	Sr-90	2	2				<0,05
	U-234	2	2				<0,1
	U-235	2	2				<0,1
	U-238	2	2				<0,1
Hamburg	K-40	4	4				<1,6
	Co-60	4	4				<0,056
	I-131	4	0	0,27	0,45	0,33	0,3
	Cs-137	4	4				<0,059
	Sr-90	4	0	0,00097	0,0014	0,0012	0,0011
	U-234	4	0	0,00012	0,00034	0,00021	0,00018
	U-235	4	2	0,000022	0,000031		0,000027
	U-238	4	0	0,0001	0,00031	0,0002	0,00019
Niedersachsen	K-40	45	16	0,3	1,9	0,82	0,81
	Co-60	45	45				<0,028
	I-131	45	10	0,028	0,33	0,13	<0,091
	Cs-137	45	44	0,0097	0,0097		<0,023
	Sr-90	4	1	0,0076	0,017	0,013	0,01
	U-234	2	2				<0,0013
	U-235	2	2				<0,0015
	U-238	2	2				<0,0013
Nordrhein-Westfalen	K-40	35	24	0,44	4,6		<1,1
	Co-60	35	35				<0,047
	I-131	27	3	0,047	1	0,3	<0,19
	Cs-137	35	35				<0,051
	Sr-90	3	1	0,089	0,34	0,22	0,089
	U-234	4	0	0,0053	0,011	0,0081	0,0082
	U-235	4	2	0,00032	0,00048		<0,00059
	U-238	4	0	0,0037	0,0067	0,0052	0,0052

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- Werte ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Mediane
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Bremen	K-40	7	6	8,7	8,7		<0,58
	Co-60	7	7				<0,024
	I-131	7	0	0,04	0,19	0,14	0,15
	Cs-137	7	7				<0,029
	Sr-90	3	2	0,2	0,2		<0,019
	U-234	3	2	0,014	0,014		<0,013
	U-235	3	3				<0,002
	U-238	3	1	0,0017	0,006	0,0039	0,006
Hessen	K-40	15	13	0,91	1,1		<1,3
	Co-60	15	15				<0,05
	I-131	11	11				<0,65
	Cs-137	15	15				<0,052
	Sr-90	2	2				<0,1
	U-234	2	1	0,031	0,031		0,031
	U-235	2	2				<0,005
	U-238	2	1	0,021	0,021		0,021
Rheinland-Pfalz	K-40	17	8	0,68	2,6	1,6	0,91
	Co-60	17	17				<0,025
	I-131	17	2	0,028	0,39	0,15	0,099
	Cs-137	17	17				<0,026
	Sr-90	3	0	0,0016	0,0024	0,002	0,0021
	U-234	3	0	0,0035	0,023	0,016	0,021
	U-235	3	3				<0,0038
	U-238	3	0	0,0037	0,025	0,016	0,02
Baden-Württemberg	K-40	32	10	0,28	1,9	0,8	0,7
	Co-60	32	32				<0,036
	I-131	32	27	0,043	3,9		<0,065
	Cs-137	32	32				<0,033
	Sr-90	4	4				<0,0075
	U-234	4	1	0,0017	0,004	0,0028	0,0023
	U-235	4	4				<0,00083
	U-238	4	0	0,00065	0,0029	0,0019	0,0021
Bayern	K-40	38	35	0,77	1,7		<1,2
	Co-60	38	38				<0,088
	I-131	8	0	0,16	1,6	0,55	0,43
	Cs-137	38	38				<0,097
	Sr-90	4	0	0,016	0,018	0,017	0,017
	U-234	4	0	0,00064	0,017	0,0075	0,0063
	U-235	4	3	0,00098	0,00098		<0,00066
	U-238	4	1	0,0019	0,017	0,0097	0,0063
Saarland	K-40	8	2	0,59	1	0,82	0,97
	Co-60	8	8				<0,01
	I-131	8	6	0,015	0,03		0,015
	Cs-137	8	8				<0,011
	Sr-90	4	2	0,003	0,01		<0,0034
	U-234	4	0	0,0014	0,0043	0,0027	0,0025
	U-235	4	4				<0,00027
	U-238	4	0	0,00081	0,003	0,0018	0,0017
Berlin	K-40	16	0	0,72	1,2	0,97	0,98
	Co-60	16	16				<0,0016
	Cs-137	16	6	0,0016	0,0035	0,0026	<0,0025
	Sr-90	8	0	0,0025	0,0043	0,0033	0,0033
	U-234	8	0	0,0013	0,0043	0,0026	0,0022
	U-235	8	6	0,0001	0,0002		<0,0002
	U-238	8	0	0,0009	0,0035	0,0023	0,0022

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- Werte ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Mediane
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Brandenburg	K-40	18	1	0,7	1	0,89	0,9
	Co-60	18	18				<0,008
	I-131	18	1	0,04	0,83	0,25	0,17
	Cs-137	18	16	0,006	0,01		0,01
	Sr-90	8	0	0,002	0,005	0,0041	0,0045
	U-234	8	8				<0,00028
	U-235	8	8				<0,00032
	U-238	8	7	0,0003	0,0003		<0,0002
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	18	0	0,45	1,2	0,79	0,76
	Co-60	18	18				<0,011
	I-131	17	0	0,0065	1	0,18	0,092
	Cs-137	18	18				<0,008
	Sr-90	4	2	0,001	0,0038		<0,0018
	U-234	4	3	0,004	0,004		0,004
	U-235	4	4				<0,004
	U-238	4	3	0,0051	0,0051		0,0051
Sachsen	K-40	19	4	0,44	1,7	0,99	0,85
	Co-60	19	19				<0,068
	I-131	19	10	0,045	0,38		0,18
	Cs-137	19	19				<0,062
	Sr-90	4	3	0,005	0,005		<0,007
	U-234	4	0	0,008	0,028	0,02	0,021
	U-235	4	4				<0,0021
	U-238	4	0	0,0041	0,025	0,016	0,017
Sachsen-Anhalt	K-40	20	1	0,39	1,4	0,76	0,77
	Co-60	20	20				<0,01
	I-131	18	2	0,045	0,58	0,17	0,11
	Cs-137	20	20				<0,011
	Sr-90	4	4				<0,01
	U-234	4	0	0,0079	0,058	0,036	0,038
	U-235	4	1	0,0021	0,0032	0,0027	0,0024
	U-238	4	0	0,0049	0,05	0,029	0,031
Thüringen	K-40	16	16				<2,2
	Co-60	16	16				<0,085
	I-131	1	0	0,13	0,13	0,13	0,13
	Cs-137	16	16				<0,094
	Sr-90	2	2				<0,0031
	U-234	2	0	0,013	0,034	0,024	0,024
	U-235	2	2				<0,0015
	U-238	2	0	0,0064	0,017	0,012	0,012
Bundesrepublik Deutschland	K-40	323	155	0,28	8,7	0,96	0,99
	Co-60	323	323				<0,037
	I-131	244	72	0,0065	3,9	0,24	0,12
	Cs-137	323	310	0,0016	0,01		<0,034
	Sr-90	63	25	0,00097	0,34	0,022	0,005
	U-234	62	19	0,00012	0,058	0,011	<0,0039
	U-235	62	52	0,000022	0,0032		<0,00071
	U-238	62	17	0,0001	0,05	0,0082	0,0029
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Schleswig-Holstein	K-40	15	0	23	100	64	58
	Co-60	15	15				<1,2
	I-131	14	0	2,1	92	34	25
	Cs-137	15	8	2,4	4,1		2,4
	Sr-90	2	0	2,7	4,4	3,6	3,6
	U-234	2	0	7	13	9,9	9,9
	U-235	2	2				<5
	U-238	2	0	5,6	10	7,8	7,8

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- Werte ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Mediane
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Hamburg	K-40	7	0	110	400	280	320
	Co-60	7	7				<2,4
	I-131	7	0	16	92	42	37
	Cs-134	7	7				<2,1
	Cs-137	7	0	1,6	6,3	3,9	4,3
	Sr-90	3	0	1,2	1,5	1,4	1,4
	U-234	3	0	12	14	13	13
	U-235	3	0	0,53	0,74	0,61	0,57
	U-238	3	0	11	12	12	12
Niedersachsen	K-40	38	1	35	670	220	140
	Co-60	38	37	0,64	0,64		<0,61
	I-131	37	0	3,5	2500	270	51
	Cs-134	38	38				<0,51
	Cs-137	38	1	1,1	31	5,2	3,9
	Sr-90	3	0	2,4	6,3	4	3,2
	U-234	3	0	14	57	35	34
	U-235	3	1	1	2,2	1,6	1
	U-238	3	0	14	45	29	27
Bremen	K-40	7	0	82	850	410	440
	Co-60	7	7				<1,1
	I-131	7	0	12	200	52	25
	Cs-134	7	7				<1,1
	Cs-137	7	1	3,1	16	7,7	3,2
	Sr-90	2	1	1,1	1,1		1,1
	U-234	2	0	9,7	28	19	19
	U-235	2	2				<2,3
	U-238	2	0	9,7	21	15	15
Nordrhein-Westfalen	K-40	37	0	62	410	190	140
	Co-60	37	37				<0,3
	I-131	36	0	1,1	420	80	46
	Cs-134	23	23				<0,36
	Cs-137	37	2	1,6	12	5,8	5,5
	Sr-90	3	0	5	19	14	17
	U-234	4	0	30	43	36	36
	U-235	4	0	0,96	1,7	1,3	1,2
	U-238	4	0	21	36	28	27
Hessen	K-40	14	0	100	260	170	160
	Co-60	14	14				<0,99
	I-131	12	5	23	130	63	<46
	Cs-134	14	14				<0,9
	Cs-137	14	4	1,9	17	7,8	4,8
	Sr-90	2	0	0,69	0,87	0,78	0,78
	U-234	2	0	42	130	87	87
	U-235	2	0	2,3	3,9	3,1	3,1
	U-238	2	0	32	86	59	59
Rheinland-Pfalz	K-40	17	0	99	280	170	150
	Co-60	17	17				<0,49
	I-131	17	4	1,5	270	62	18
	Cs-134	17	17				<0,44
	Cs-137	17	1	1,6	27	8,1	4
	Sr-90	2	0	1,3	3,9	2,6	2,6
	U-234	2	0	41	43	42	42
	U-235	2	0	1	1,4	1,2	1,2
	U-238	2	0	25	31	28	28

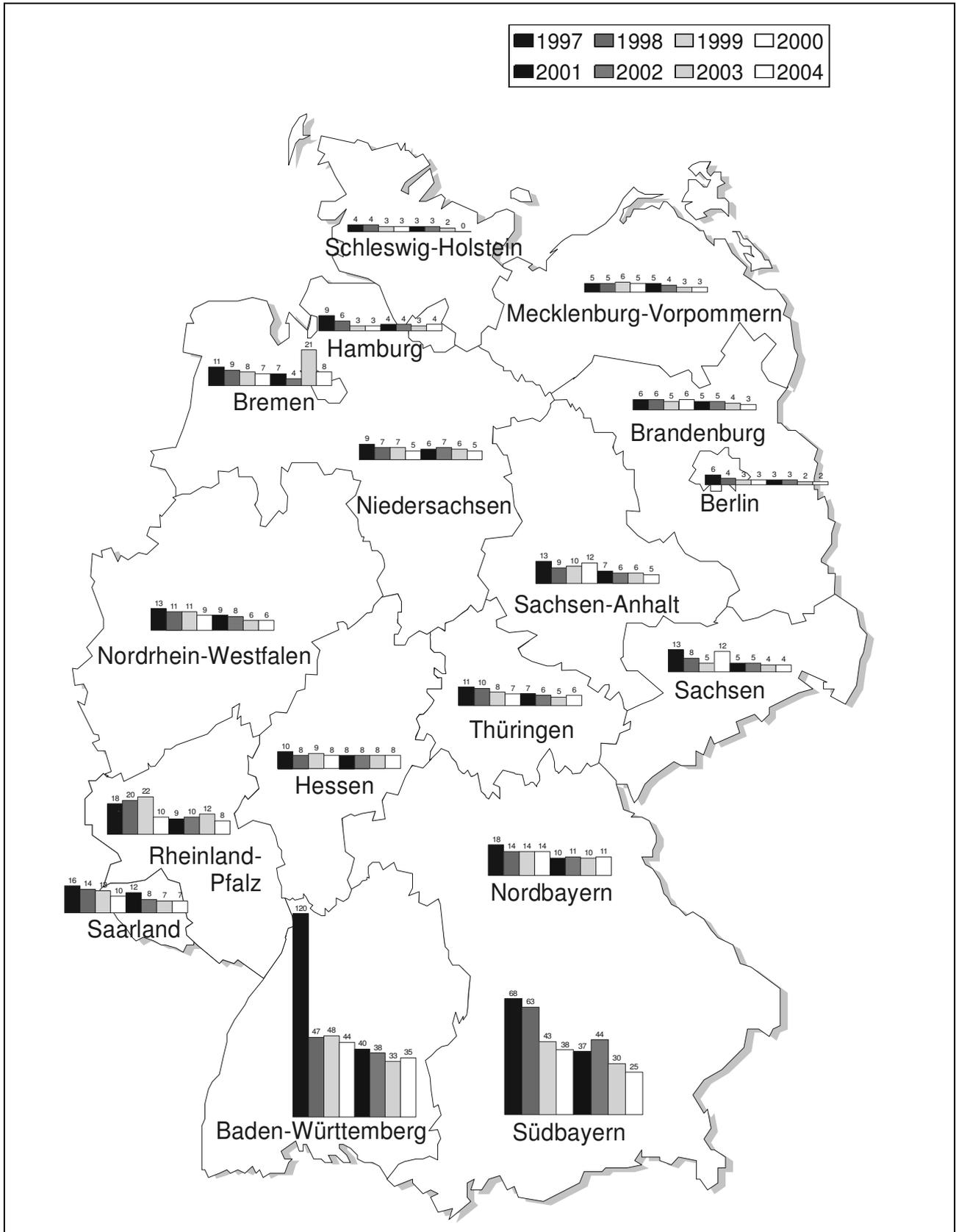
Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- Werte ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Mediane
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Baden-Württemberg	K-40	30	0	55	430	180	170
	Co-60	30	30				<0,9
	I-131	30	5	2,1	1700	170	25
	Cs-137	30	0	2,6	170	35	15
	Sr-90	2	1	2,3	2,3		2,3
	U-234	2	0	18	49	33	33
	U-235	2	2				<2,2
	U-238	2	0	14	40	27	27
Baden-Württemberg (West ²)	Co-60	20	20				<0,9
	Cs-137	20	0	2,6	56	15	9,1
	Sr-90	1	1				<0,7
Baden-Württemberg (Ost ³)	Co-60	10	10				<0,91
	Cs-137	10	0	13	170	74	71
	Sr-90	1	0	2,3	2,3	2,3	2,3
Bayern	K-40	37	0	60	600	270	250
	Co-60	37	37				<1,4
	I-131	35	0	6,4	480	88	37
	Cs-134	37	37				<1,4
	Cs-137	37	0	2	64	18	13
	Sr-90	4	0	3	8	5,3	5,1
	U-234	4	0	25	64	44	44
	U-235	10	0	1,6	10	5,2	4,8
	U-238	4	0	24	54	40	42
Bayern (Nord ²)	Co-60	18	18				<1,4
	Cs-134	18	18				<1,6
	Cs-137	18	0	4,8	31	11	8
	Sr-90	2	0	5,4	8	6,7	6,7
Bayern (Süd ³)	Co-60	19	19				<1,3
	Cs-134	19	19				<1,4
	Cs-137	19	0	2	64	25	22
	Sr-90	2	0	3	4,7	3,9	3,9
Saarland	K-40	8	0	170	350	250	240
	Co-60	8	8				<0,39
	I-131	8	0	2,6	93	39	30
	Cs-134	8	8				<0,37
	Cs-137	8	0	2,7	15	6,9	6,2
	Sr-90	4	1	3	3,7	3,4	3,5
	U-234	4	0	79	140	110	110
	U-235	4	0	2,7	4,3	3,8	4,1
	U-238	4	0	60	100	79	79
Berlin	K-40	14	0	47	120	83	75
	Co-60	14	14				<0,52
	I-131	12	0	37	480	150	110
	Cs-134	14	14				<0,54
	Cs-137	14	0	1,3	3,9	2,3	2
	Sr-90	4	0	1,5	1,8	1,7	1,7
	U-234	4	0	12	16	15	15
	U-235	4	0	0,33	0,56	0,44	0,43
	U-238	4	0	11	15	13	14
Brandenburg	K-40	18	0	47	150	100	110
	Co-60	18	18				<0,19
	I-131	18	0	3	120	42	33
	Cs-134	18	18				<0,19
	Cs-137	18	0	1	8,1	3,3	2,6
	Sr-90	8	0	2,3	3,2	2,8	2,7
	U-234	8	0	15	50	30	28
	U-235	8	0	0,6	3	1,5	1,4
	U-238	8	0	14	40	27	25

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- Werte ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Mediane
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Mecklenburg- Vorpommern	K-40	18	0	61	230	110	110
	Co-60	18	18				<0,33
	I-131	18	1	23	390	120	100
	Cs-134	18	18				<0,29
	Cs-137	18	0	0,85	7,5	3,1	2,8
	Sr-90	4	1	2,7	6,1	3,9	2,8
	U-234	3	0	20	28	23	22
	U-235	3	0	0,6	3,5	1,6	0,63
	U-238	3	0	13	24	20	23
Sachsen	K-40	19	0	79	240	130	130
	Co-60	19	19				<0,66
	I-131	17	0	7,1	590	120	72
	Cs-134	4	4				<0,18
	Cs-137	19	2	1,1	11	4,1	2,8
	Sr-90	4	0	1,2	2,4	1,9	2,1
	U-234	4	0	25	34	31	31
	U-235	4	4				<1,4
	U-238	4	0	23	29	27	28
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	91	240	150	160
	Co-60	20	20				<0,21
	I-131	20	0	0,93	310	60	44
	Cs-134	20	20				<0,2
	Cs-137	20	0	1,4	14	5,1	3,5
	Sr-90	4	2	1,3	2,4		<5
	U-234	4	0	21	110	61	58
	U-235	5	0	1,1	6	3,5	3,3
	U-238	5	0	19	93	51	55
Thüringen	K-40	16	0	110	440	250	240
	Co-60	16	16				<0,41
	I-131	13	0	1,3	420	64	37
	Cs-134	13	13				<0,45
	Cs-137	16	0	1,9	35	5,7	3,4
	Sr-90	2	0	2	2,7	2,3	2,3
	U-234	2	0	79	120	97	97
	U-235	2	0	2,2	2,7	2,5	2,5
	U-238	18	0	24	95	56	56
Bundesrepublik Deutschland	K-40	315	1	23	850	190	140
	Co-60	315	314	0,64	0,64		<0,56
	I-131	301	15	0,93	2500	110	41
	Cs-134	238	238				<0,44
	Cs-137	315	19	0,85	170	9,7	4,4
	Sr-90	53	6	0,69	19	3,5	2,7
	U-234	53	0	7	140	42	34
	U-235	60	11	0,33	10	2,6	2
	U-238	70	0	5,6	100	38	31
Bundesrepublik Deutschland (Nord ²)	Co-60	286	285	0,64	0,64		<0,47
	Cs-134	219	219				<0,39
	Cs-137	286	19	0,85	56	6,2	3,9
	Sr-90	50	6	0,69	19	3,5	2,6
Bundesrepublik Deutschland (Süd ³)	Co-60	29	29				<1,2
	Cs-134	19	19				<1,4
	Cs-137	29	0	2	170	42	32
	Sr-90	3	0	2,3	4,7	3,4	3

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

2) Nördlich bzw. westlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

3) Östlich bzw. südlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel



BfS	<p>Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM, Jahresmittelwerte in den Bundesländern <i>(Cs-137 in sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal Länder)</i></p>	3.5-1
------------	---	--------------

3.6 Reststoffe und Abfälle (Residues and wastes)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt,
Berlin

Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden im Jahr 2004 der Leitstelle Messwerte zu den Überwachungsmedien Sickerwasser und oberflächennahes Grundwasser von Hausmülldeponien, von Asche, Schlacke, festen und flüssigen Rückständen aus den Rauchgasreinigungsanlagen von Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll sowie für in den Handel gelangenden Kompost aus Kompostierungsanlagen mitgeteilt.

Tabelle 3.6-1 gibt eine Übersicht über die zusammengefassten Messwerte für Cäsium-137, Jod-131, Kalium-40 und Tritium. Nach Medien geordnet sind die Anzahl der Messungen, die Anzahl der Messwerte, die kleiner als die Nachweisgrenze sind, die Minimal- und Maximalwerte sowie die Mediane der Konzentrationen und spezifischen Aktivitäten angegeben. Im Gegensatz zu den Vorjahren wurde bei der Auswertung der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 nicht mehr nach Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Konstanz – Eichstätt – Regensburg - Zwiesel unterschieden, da die Anzahl der Messergebnisse aus den höher belasteten Gebieten in Bayern und im südöstlichen Baden-Württemberg für eine repräsentative Aussage zu gering war. Dessen ungeachtet liegen insbesondere für Sickerwasser, Filterstaub und die Die höchsten Werte stammen in den meisten Fällen aber immer noch aus diesen Gebieten.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137 aus dem Tschernobyl-Fallout hat bis zum Jahr 2004 auf Grund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,0018 : 1 (2003: 0,0025 : 1) abgenommen. Da in den Proben, soweit noch nachweisbar, etwa das erwartete Aktivitätsverhältnis auftrat, wird auf eine Angabe der Cs-134-Aktivitäten verzichtet.

Im Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien stammen die höchsten Werte für Cs-137 wie in den Vorjahren aus Nordbayern. Der Maximalwert liegt bei 1,9 Bq/l (2003: 2,5 Bq/l), der Median aller Werte beträgt 0,067 Bq/l (2003: <0,069 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,096 Bq/l bis 61 Bq/l, der Median bei 13 Bq/l (2003: 0,067 bis 62 Bq/l, Median: 15 Bq/l). Tritium wurde in 77% der untersuchten Proben mit Werten zwischen 3,8 und 660 Bq/l (2003: 3,4 bis 980 Bq/l) gefunden.

Bei den Reststoffen und Abfällen der Verbrennungsanlagen ergibt sich folgendes Bild:

Der Median der spezifischen Aktivität von Cs-137 in Flugasche/Filterstaub liegt im Jahr 2004 bei 24 Bq/kg TM (2003: 27 Bq/kg TM). Weit höhere Werte wurden mit 150 und 190 Bq/kg TM an Proben aus den höher belasteten Gebieten Bayerns und Baden-Württembergs bestimmt (Maximalwert 2003: 330 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 260 Bq/kg TM bis 5100 Bq/kg TM, der Median bei 1400 Bq/kg TM (2003: 140 bis 3400 Bq/kg TM, Median: 1300 Bq/kg TM). In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,3 Bq/kg TM bis 61 Bq/kg TM (2003: 0,49 bis 62 Bq/kg TM) nachgewiesen werden.

Für Rohschlacke mit und ohne Filterstaub beträgt der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 20 Bq/kg TM (2003: 81 Bq/kg TM). Der Median liegt bei 1,6 Bq/kg TM (2003: 1,8 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 110 Bq/kg TM bis 3500 Bq/kg TM (2003: 100 bis 3100 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,85 Bq/kg TM bis 1,9 Bq/kg TM (2003: 1,0 bis 20 Bq/kg TM) mitgeteilt.

Bei den festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen liegt der Median des Cs-137-Gehaltes im Jahr 2004 bei 0,97 Bq/kg TM (2003: 2,4 Bq/kg TM).

Die K-40-Messwerte liegen im Bereich von 2,6 Bq/kg TM bis 2500 Bq/kg TM (2003: 2,7 bis 1700 Bq/kg TM) mit einem Median von 73 Bq/kg TM (2003: 62 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,28 Bq/kg TM bis 2000 Bq/kg TM (2003: 0,3 bis 4200 Bq/kg TM) ermittelt.

Bei den flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen (Abwasser) ergab sich für Cs-137 ein Median von < 0,096 Bq/l (2003: < 0,1 Bq/l).

I-131 wurde in 22 Proben mit Werten zwischen 0,083 Bq/l und 2500 Bq/l (2003: 0,24 und 1000 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 15 Bq/l (2003: 8,4 Bq/l). Dabei stammen die Proben mit den höchsten I-131-Werten aus dem Ablauf der Schwermetallfällung bei nasser Rauchgaswäsche.

Die Beprobung des Kompostes ergab für die spezifische Aktivität des Cs-137 Werte von 2,8 Bq/kg TM bis 37 Bq/kg TM (2003: 2,4 bis 42 Bq/kg TM) mit einem Median von 8,6 Bq/kg TM (2003: 8,6 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 180 Bq/kg TM bis 820 Bq/kg TM, der Median bei 500 Bq/kg TM (2003: 160 bis 830 Bq/kg TM, Median: 470 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. Wegen des niedrigen Wurzeltransfers von Cäsium ist die resultierende zusätzliche Cs-Aktivität in gärtnerischen Produkten für die Strahlenexposition der Bevölkerung ohne Bedeutung.

Zusammenfassend ist für Reststoffe und Abfälle festzustellen, dass der Gehalt an Cs-137 meistens 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 3.6-1 Überwachung von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2004
(*Monitoring of residues and wastes in the year 2004*)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane
Sickerwasser (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	100	58	0,008	1,9		<0,065
Südlich *)	Cs-137	7	0	0,12	0,64	0,35	0,18
Alle Länder	K-40	107	12	0,096	61	17	13
	H-3	108	25	3,8	660	56	22
Filterstaub (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	41	0	0,52	82	25	23
Südlich *)	Cs-137	2	0	150	190	170	170
Alle Länder	K-40	43	0	260	5100	1300	1400
	I-131	30	16	0,30	61		1,6
Schlacke (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	41	3	0,20	20	3,0	1,5
Südlich *)	Cs-137	2	0	3,1	11	7,0	7,0
Alle Länder	K-40	43	0	110	3500	460	290
	I-131	30	24	0,85	1,9		<0,46
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	35	12	0,21	95	14	1,0
Südlich *)	Cs-137	2	0	0,59	0,97	0,78	0,78
Alle Länder	K-40	37	4	2,6	2500	410	73
	I-131	32	4	0,28	2000	170	3,8
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	26	17	0,091	0,87		0,096
Südlich *)	Cs-137	2	2				<0,086
Alle Länder	K-40	28	8	0,69	46	11	2,9
	I-131	22	0	0,083	2500	300	15
Kompost (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	48	1	2,8	27	8,9	8,2
Südlich *)	Cs-137	4	0	12	37	24	24
Alle Länder	K-40	52	0	180	820	490	500

*) nördlich/westlich und südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

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

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Cäsium-137 und Cäsium-134-Aktivität durchgeführt, wobei ab dem Jahr 1998 kein Cs-134 mehr nachgewiesen werden konnte. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind in den Tabellen 3.7-1 und 3.7-2 zusammengefasst und in Abb. 3.7-1 bis 3.7-4 dargestellt. Unter "Jahresmittelwert" wird hier der Mittelwert über die Monate, in denen Messwerte vorliegen, verstanden. Dargestellt sind die Ergebnisse der Ganzkörpermessstelle der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS am Standort Neuherberg für die Referenzgruppe München sowie der Messstelle am Forschungszentrum Karlsruhe. Die übrigen Messstellen verfolgen nicht mehr regelmäßig ihre Referenzgruppen. Ein Trend für den Gehalt an Radiocäsium im Körper kann nicht mehr angegeben werden, da fast alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

In den Abbildungen 3.7-5 und 3.7-6 sind die bisher vorliegenden Ergebnisse von Referenzgruppenmessungen an verschiedenen Orten in Deutschland getrennt für Frauen und Männer zusammengefasst dargestellt. Es ist die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichte kumulierte Dosis aus inkorporiertem Radiocäsium angegeben. Dieser Dosiswert ergibt sich aus der fortlaufenden Summierung der monatlichen effektiven Dosen. Für Männer aus dem Raum München z. B. beträgt diese kumulierte Dosis für die 18 Jahre seit dem Unfall in Tschernobyl etwa 0,2 mSv.

Tabelle 3.7-1 Jahres- und Monatsmittelwerte im Raum München
(Annual and monthly mean values in the Munich area)
Messstelle: Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim,
Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS, Oberschleißheim

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Anahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Zahl der Per- sonen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1992	270	55	0,63	264	61	0,76
1993 a)	239	49	1,03	243	55	1,14
1994	267	46	1,18	310	55	1,39
1995	248	46	1,04	277	54	1,28
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
Januar	31	57	< 1,3	21	63	< 1,1
Februar	31	57	< 1,3	26	63	< 1,1
März	36	56	< 1,4	24	61	< 1,0
April	36	55	< 1,4	23	61	< 1,1
Mai	32	56	< 1,4	25	61	< 1,1
Juni	31	57	< 1,5	23	62	< 1,1
Juli	32	56	< 1,3	23	62	< 1,1
August	27	55	< 1,3	20	61	< 1,0
September	33	56	< 1,4	20	64	< 1,1
Oktober	36	55	< 1,4	27	64	< 1,1
November	37	54	< 1,3	22	64	< 1,2
Dezember	36	56	< 1,4	24	64	< 1,2

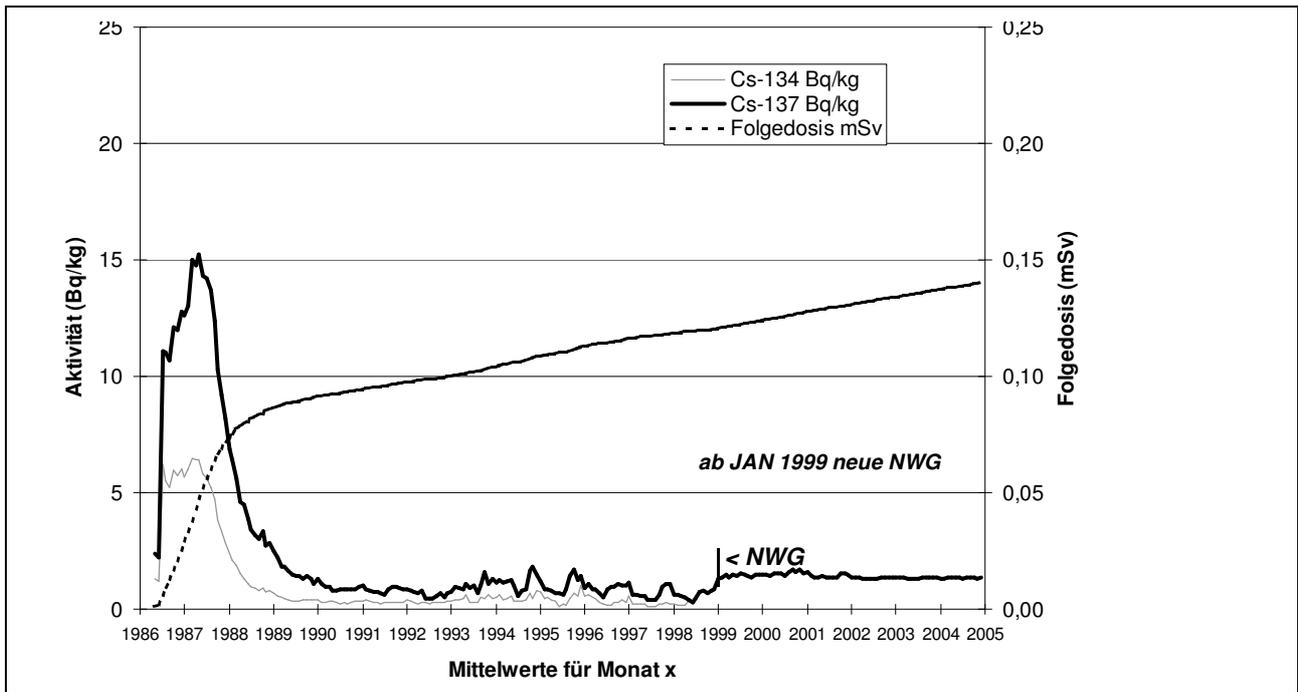
a) im März wegen Umbau der Messanlage keine Messungen

Tabelle 3.7-2 Jahres- und Monatsmittelwerte im Raum Karlsruhe
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)
 Messstelle: Forschungszentrum Karlsruhe

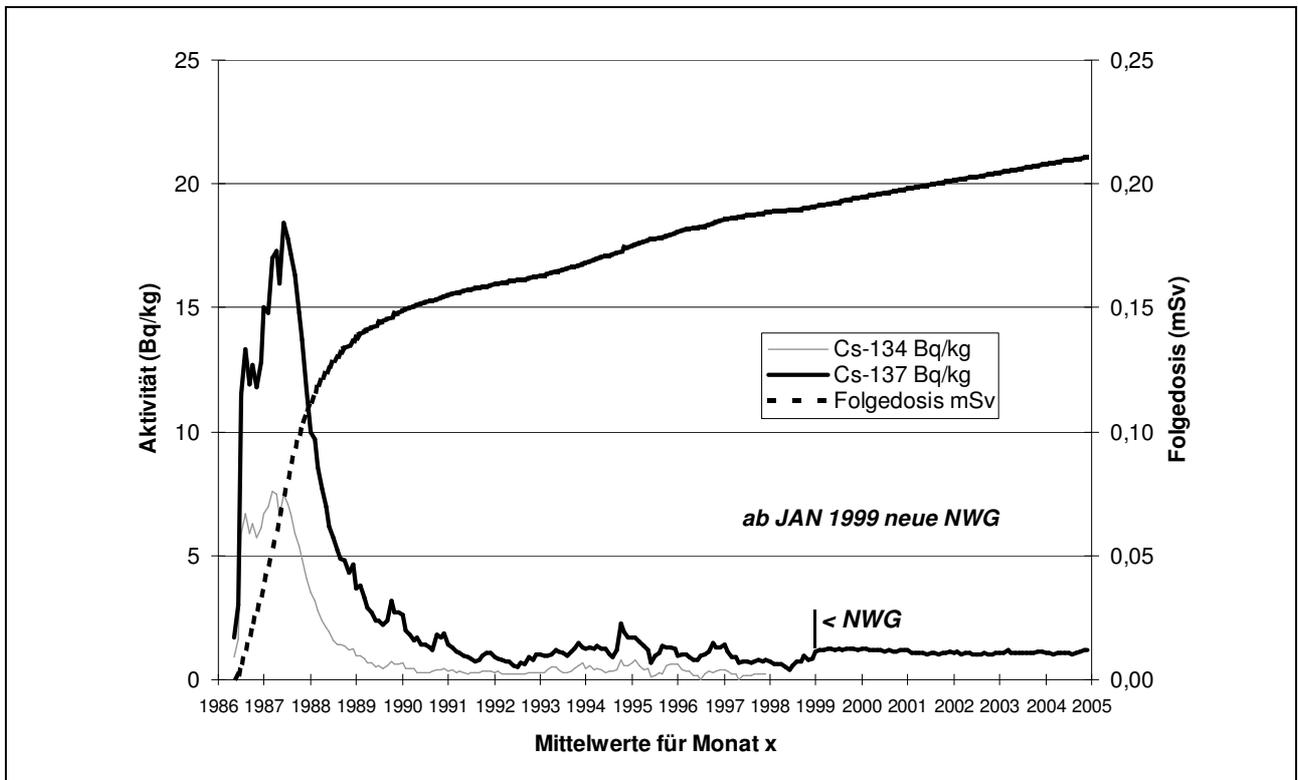
Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Per- sonen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1992 a)	82	51	0,51	76	58	0,58
1993	106	52	0,43	87	58	0,50
1994	112	49	< 0,20	102	52	< 0,32
1995	106	49	0,19	98	54	0,32
1996 b)	36	49	< 0,21	38	57	< 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
Januar	5	54	0,33	6	61	0,25
Februar	5	52	0,26	4	61	0,33
März	6	53	0,23	6	58	0,25
April	5	53	0,18	4	64	0,31
Mai	3	53	0,10	5	60	0,21
Juni	6	50	0,17	4	57	0,13
Juli	5	55	0,28	6	64	0,31
August	6	49	0,26	6	62	0,26
September	6	51	0,41	4	62	0,64
Oktober	5	52	0,21	4	63	0,30
November	6	52	0,24	5	62	0,61
Dezember	4	56	0,18	2	63	0,27

a) März und April 1992 keine Messungen wegen Anlagensanierung

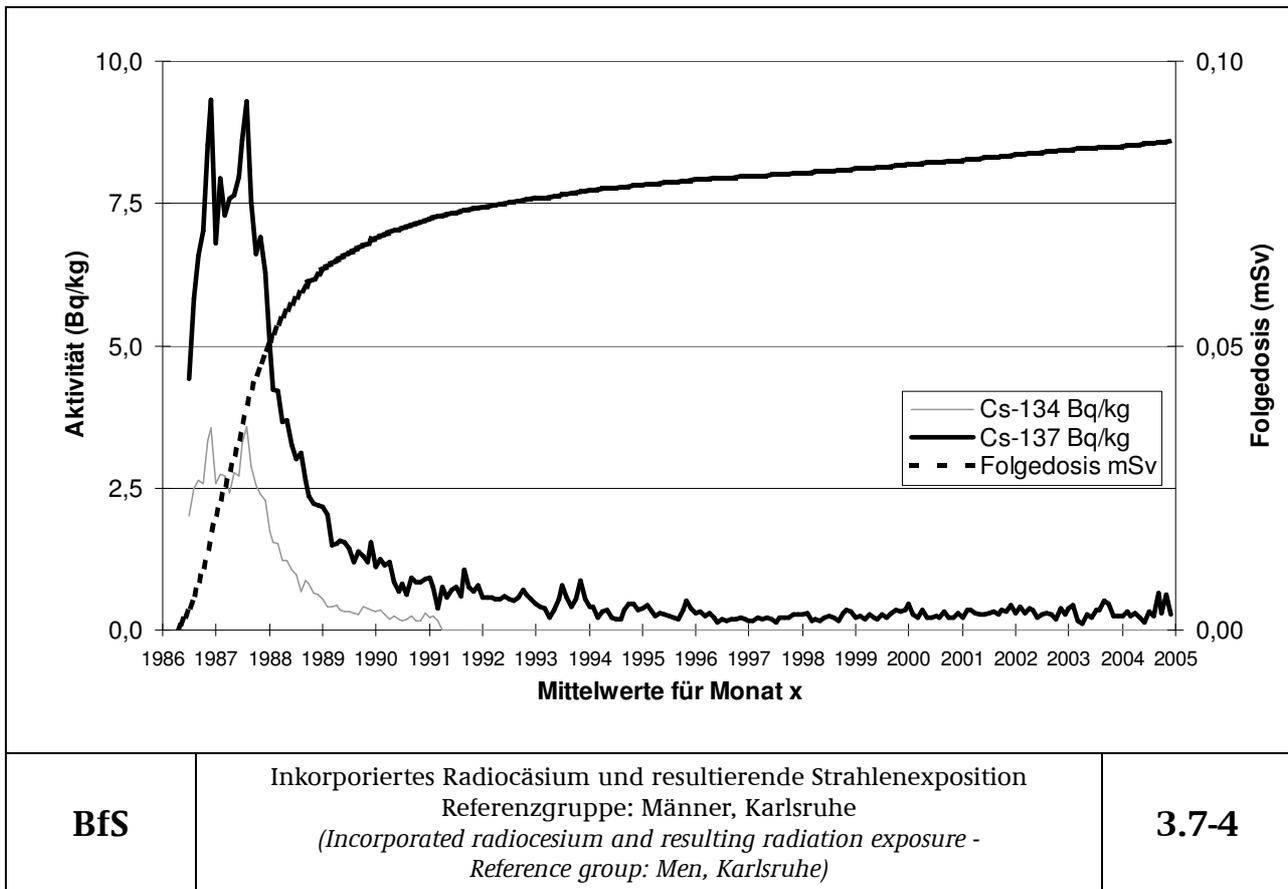
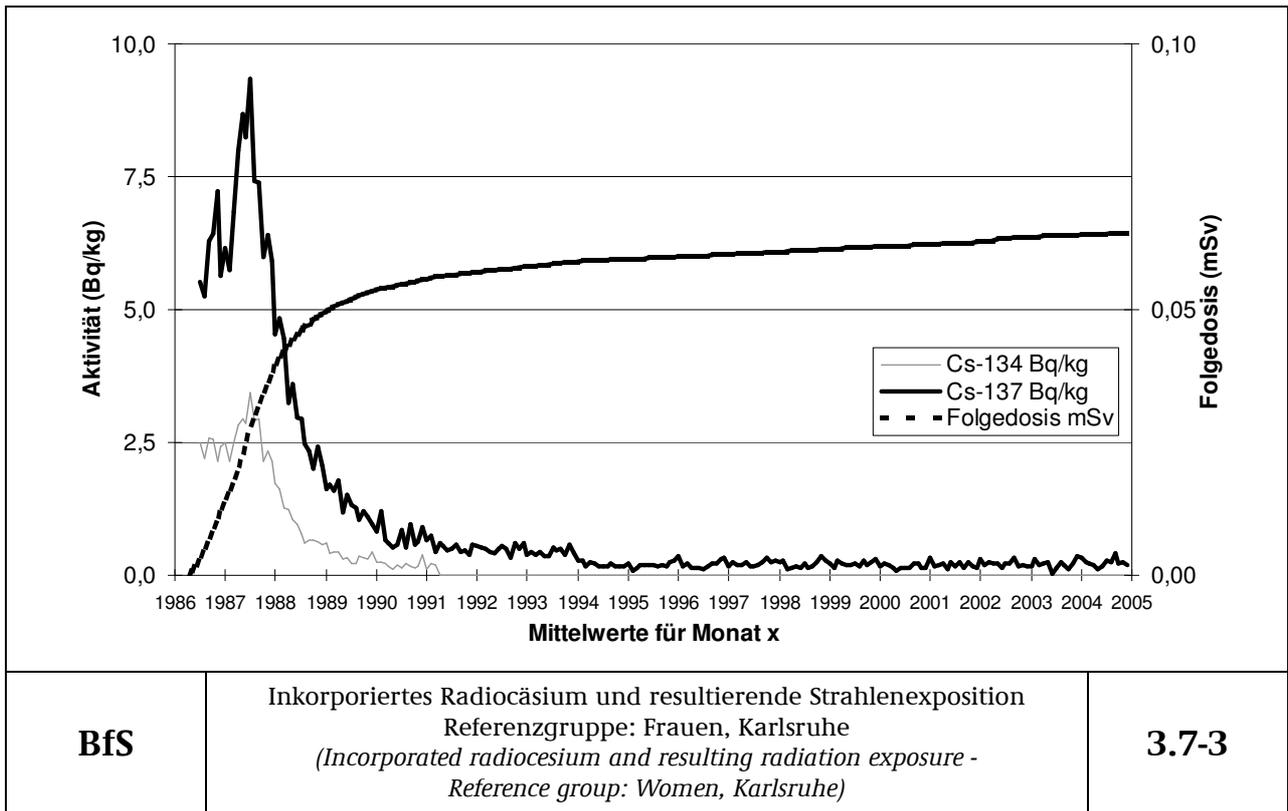
b) Mai 1996 keine Messungen

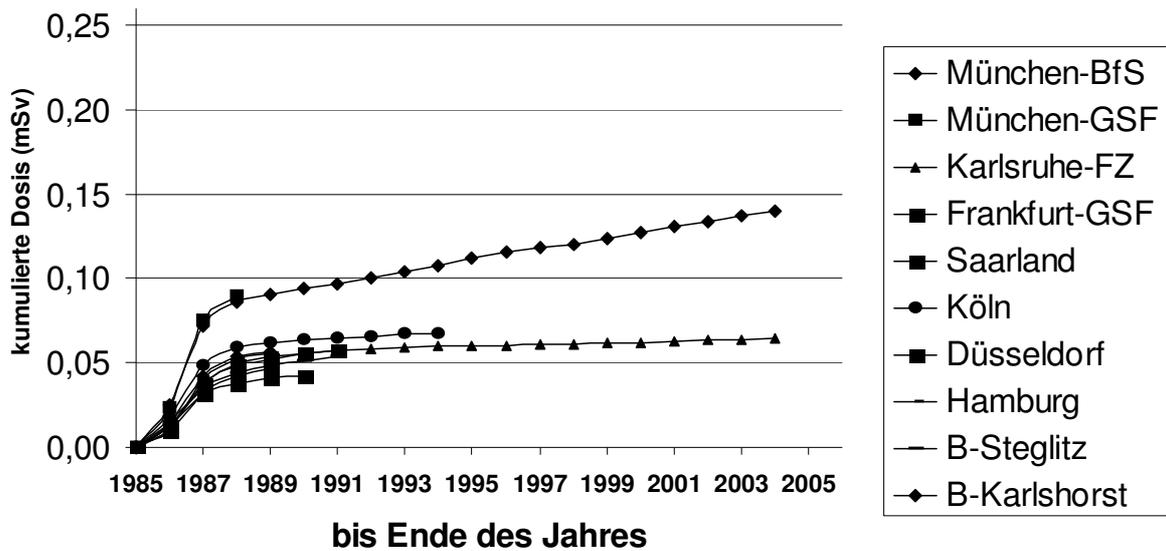


BfS	Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Frauen, München <i>(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure -Reference group: Women, Munich)</i>	3.7-1
------------	---	--------------



BfS	Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Männer, München <i>(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure -Reference group: Men, Munich)</i>	3.7-2
------------	---	--------------

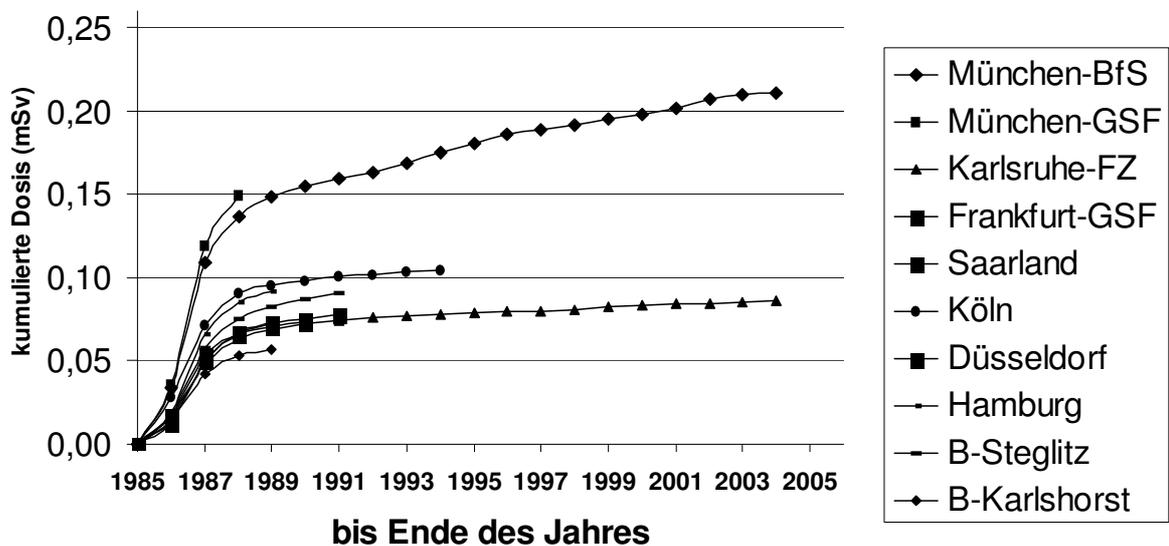




BfS

Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium
 Vergleich der Referenzgruppen: Frauen
*(Radiation exposure from incorporated radiocesium -
 Comparison of reference groups: Women)*

3.7-5



BfS

Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium
 Vergleich der Referenzgruppen: Männer
*(Radiation exposure from incorporated radiocesium -
 Comparison of reference groups: Men)*

3.7-6

3.8 Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl (Radiation exposure from the Chernobyl accident)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim

Derzeit trägt mit 30 Jahren Halbwertszeit nur noch Cäsium-137 nennenswert zur Strahlenbelastung bei. Dieser Beitrag ist hauptsächlich auf die Bodenstrahlung zurückzuführen. Der Beitrag zur inneren Strahlenbelastung ist dagegen mit $< 0,001$ mSv/a gering. Die Strahlenexposition durch Bodenstrahlung betrug im Jahr 2004 bei einer mittleren Bodenkontamination von 3400 Bq/m^2 im Freien noch etwa $15 \mu\text{Sv}$, in Gebäuden etwa $2 \mu\text{Sv}$. Dies ergibt bei einer Aufenthaltsdauer von täglich 5 Stunden im Freien und einem Abschirmfaktor von 0,15 in Gebäuden eine durchschnittliche Strahlenexposition von ca. $5 \mu\text{Sv}$ (zum Vergleich: 1986 ca. $70 \mu\text{Sv}$). In Gebieten, die eine höhere Ablagerung aufweisen, z. B. in hoch kontaminierten Gebieten im Bayerischen Wald kann die Jahresdosis bei einer Bodenbelegung von 70.000 Bq/m^2 [1] nach wie vor $90 \mu\text{Sv}$ erreichen (siehe Tabelle 3.8-1). Die durch externe Strahlung natürlich radioaktiver Nuklide verursachte effektive Dosis (siehe Teil I, 1) beträgt im Vergleich dazu im Mittel $400 \mu\text{Sv}$ pro Jahr (ohne kosmische Strahlung).

Tabelle 3.8-1 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. $0,07^{\text{a}}$	ca. $0,04^{\text{b}}$	ca. $0,11$
1987	ca. $0,03$	ca. $0,04^{\text{c}}$	ca. $0,07$
1988	ca. $0,025$	ca. $0,015^{\text{d}}$	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. $0,02^{\text{e}}$
1994	$< 0,02$	$< 0,01$	$< 0,02$
1995-1999	$< 0,015$	$< 0,001$	$< 0,02$
2000-2004	$< 0,01$	$0,001$	$< 0,015$

- 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

Im Jahr 2004 sind Grundnahrungsmittel nur noch geringfügig durch Cs-137 aus dem Reaktorunfall kontaminiert. Die mittlere tägliche Cs-137-Zufuhr mit der Gesamtnahrung im Jahr 2004 wurde mit $0,26 \text{ Bq}$ pro Tag und Person bestimmt (siehe Teil I, 3.4.4). Dies entspricht einer effektiven Dosis durch Ingestion von ca. $1,5 \mu\text{Sv}$ pro Jahr. Zum Vergleich liegt die Strahlenexposition durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung bei ca. $300 \mu\text{Sv}$ pro Jahr.

Bei einzelnen Nahrungsmitteln wie Waldbeeren, Fischen aus Binnenseen oder Blütenhonig wurden auch 2004 in einigen Proben Cs-137-Aktivitäten von bis zu einigen hundert Bq/kg gefunden, in Waldpilzen und Wild bis zu einigen tausend Bq/kg und darüber, jeweils bezogen auf die Frischmasse (siehe auch Teil I Tab. 3.4.4-8, 3.4.4-11 - 13). Insbesondere Wildschweine aus den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands überschreiten häufig den Höchstwert von 600 Bq pro kg für Radiocäsium und dürfen daher nicht vermarktet werden. Im Berichtsjahr wurden im Rahmen eines BMU-Forschungsvorhabens [1] 92 Wildschweinproben aus dem Bayerischen Wald analysiert. Das Untersuchungsgebiet zählt zu den am höchsten belasteten Regionen Deutschlands. Die Messungen ergaben spezifische Aktivitäten in Muskelfleisch zwischen 80 Bq/kg und 40.000 Bq/kg für Cäsium-137. Der Mittelwert lag bei 6.700 Bq/kg . Cäsium-137 wird von Schwarzwild über das Futter aufgenommen. Eine besondere Rolle spielen dabei Hirschtrüffel, die sehr viel höher belastet sind als Speisepilze, und die von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Auch große geschlossene Waldflächen führen zu höheren Aktivitäten, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Zuchttiere, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, zeigen nur sehr geringe Kontaminationen. Individuelle Verzehr

gewohnheiten und starke örtliche Schwankungen der Cs-137-Aktivitäten können zu Abweichungen von der durchschnittlichen Aktivitätszufuhr durch Ingestion führen. Ein Verzehr von z. B. 500 g eines Nahrungsmittels mit einer spezifischen Cs-137-Aktivität von 1000 Bq/kg führt zu einer effektiven Dosis von 7 μ Sv.

Der Strontium-90-Gehalt in Nahrungsmitteln blieb 2004 gegenüber dem Vorjahr nahezu konstant. Dieses Radionuklid stammt zu mehr als 90% aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen in den 50er und 60er Jahren und nur zu einem kleinen Teil aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl. Die jährliche effektive Dosis für Erwachsene durch Ingestion von Strontium-90 beträgt ca. 2 μ Sv pro Jahr, der Tschernobyl-Beitrag liegt bei ungefähr 0,2 μ Sv pro Jahr.

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2004 eine durch Radionuklide aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl verursachte mittlere effektive Dosis von weniger als 15 μ Sv. 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 nur langsam zurückgehen. Im Vergleich zur mittleren effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von 2.100 μ Sv pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl in Deutschland sehr gering.

[1] U. Fielitz, Untersuchungen zum Verhalten von Radiocäsium in Wildschweinen und anderen Biomedien des Waldes, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben StSCH 4324, 2005

3.9 Kernwaffenversuche (Nuclear weapons tests)

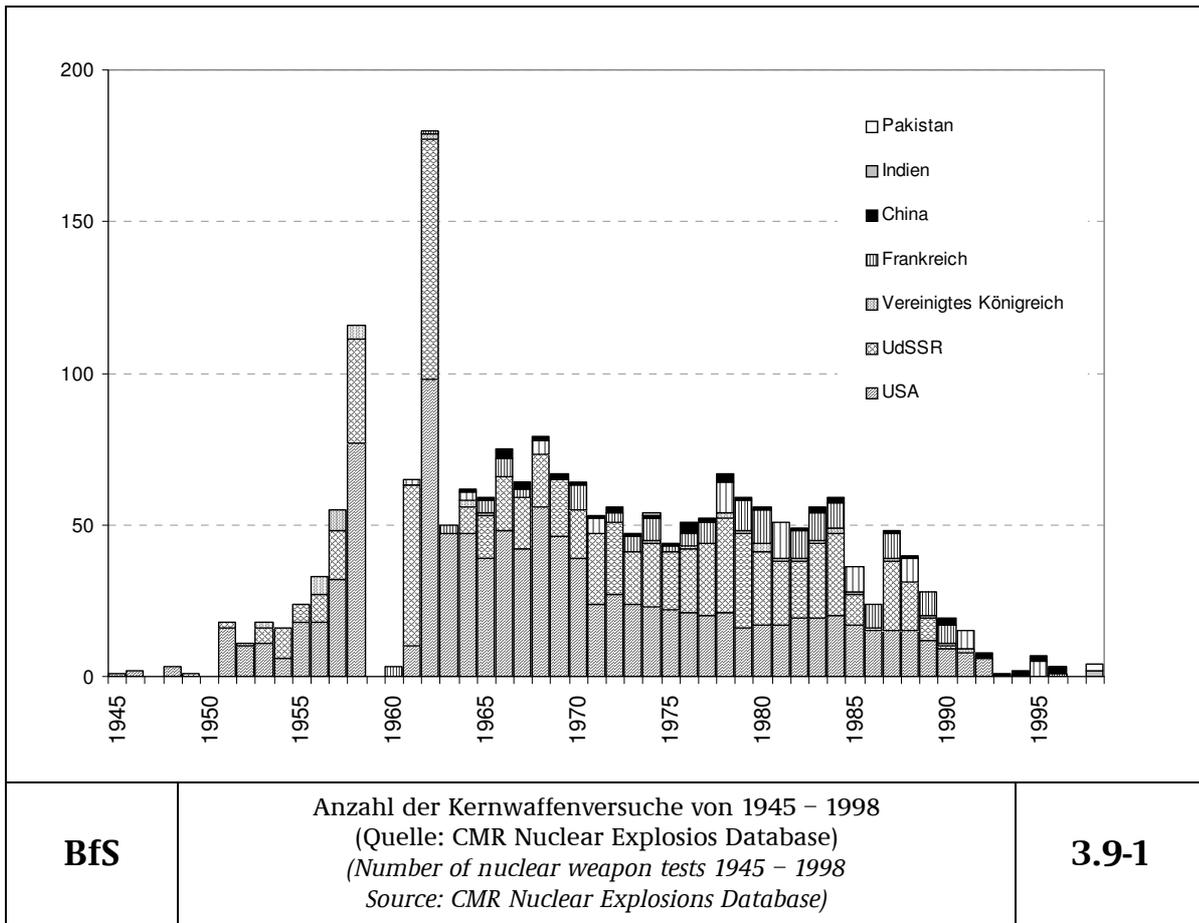
Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Freiburg

Im Jahr 2004 wurden (wie in den Vorjahren) keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Abbildung 3.9-1 gibt einen Überblick aller bekannt gewordenen Kernwaffenversuche von 1945 - 1998.

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 Strontium-90 und Cäsium-137 auch heute noch in der Umwelt vorhanden. Die mittlere effektive Dosis durch den Fallout der Kernwaffenversuche im Jahr 2004 liegt unter 0,01 Millisievert.

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 Signaturstaaten ein weltweites Überwachungssystem mit einem Netz von 321 Messstationen (Internationales Messnetz, IMS) auf. Dieses System beinhaltet u. a. 80 Spurenmessstationen für Radioaktivität in Luft. Das Radioaktivitätsmessnetz wird ergänzt durch 16 Radionuklidlaboratorien, deren wichtigsten Aufgaben die Qualitätssicherung und die unabhängige Nachmessung von Proben bei aussergewöhnlichen Messergebnissen der Stationen sind. Das BFS ist im Auftrag des Auswärtigen Amtes für die fachlichen Aspekte der Radionuklidmesstechnik und Bewertung von Radionukliddaten der CTBTO auf nationaler Ebene zuständig. Es ist außerdem für den operativen Betrieb der deutschen Radionuklidstation verantwortlich.

Die einzige Radionuklidstation in Mitteleuropa befindet sich an der deutschen Station Schauinsland des BFS (Radionuklidstation 33, RN 33) in der Nähe von Freiburg. Dort sind seit 2003 automatische Messsysteme mit hoher Empfindlichkeit für den Nachweis von schwebstoffgebundener Radioaktivität als auch für den Nachweis der radioaktiven Xenonisotope Xe-135, Xe-133m, Xe-133 und Xe-131m in Betrieb. Der Probenentnahmezeitraum dieser kontinuierlichen Überwachungssysteme beträgt jeweils 24 Stunden. Das Messsystem für den Nachweis der schwebstoffpartikelgebundenen 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. Die bisherigen Messergebnisse zeigen einen kontinuierlichen Xenon-133 Untergrund von etwa 1 mBq/m³. Einige wenige Proben zeigen erhöhte Xe-133 Aktivitätskonzentrationen von bis zu 200 mBq/m³. In einigen dieser kurzzeitigen Erhöhungen sind auch Xenon-135, Xe-133m und Xe-131m in der Größenordnung von mBq/m³ nachweisbar. Auf Grund der Isotopenzusammensetzung kommen für diese Ereignisse zivile Quellen in Betracht. Mit Hilfe atmosphärischer Ausbreitungsmodelle wird die geographische Lage möglicher Quellen eingegrenzt. Die Daten beider Messsysteme der Radionuklidstation werden über Satellitenverbindung alle 2 Stunden an das internationale Datenzentrum der Vertragsorganisation in Wien übermittelt.



TEIL II

RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN

***(RADIOACTIVE SUBSTANCES FROM NUCLEAR AND URANIUM MINING
FACILITIES)***

1. Radioaktive Stoffe aus kerntechnischen Anlagen ***(Radioactive substances from nuclear facilities)***

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin und Oberschleißheim, und von der Eigenüberwachung Bundesendlager, Salzgitter

1.1 Allgemeine Angaben über kerntechnische Anlagen ***(General data on nuclear facilities)***

In der Bundesrepublik Deutschland bestanden im Jahr 2004 folgende kerntechnische Anlagen:

- 18 in Betrieb befindliche Atomkraftwerke (Tabelle 1.1-1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 21.693 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 167 TWh und einem Anteil von 28% an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung und von rund 32% an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2004. Die Kernkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald, Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich und Stade haben den Betrieb bereits beendet.
- 5 Forschungsreaktoren (Tabelle 1.1-2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 58 MW.
- 4 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: NUKEM GmbH, SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau: Betriebs- teil MOX-Verarbeitung und Betriebsteil Uran-Verarbeitung, ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau. Die Betriebe NUKEM GmbH und SIEMENS AG haben die Brennelementeproduktion eingestellt und werden zurzeit rückgebaut.
- 7 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente: Zwischenlager Greifswald für abgebrannten Brennstoff (ZAB) Lubmin, Transportbehälterlager Ahaus (TBL-A), AVR-Behälterlager im Forschungszentrum Jülich, Transportbehälterlager Gorleben (TBL-G), Zwischenlager im KKW Obrigheim, Transportbehälterlager im Zwischenlager Nord (ZLN) Rubinow und Standort-Zwischenlager Lingen.
- 4 Interimslager für abgebrannte Brennelemente: Interimslager Neckarwestheim, Philippsburg, Biblis und Krümmel.
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) hat im Jahr 2004 keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung angenommen (Tabelle 1.1-3).

Bei kerntechnischen Anlagen werden von der zuständigen Aufsichtsbehörde im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zusätzlich Höchstwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser festgelegt. In einem radioökologischen Gutachten ist dabei nachzuweisen, dass auch bei voller Ausschöpfung dieser Genehmigungswerte die Dosisgrenzwerte nach § 47 StrlSchV nicht überschritten werden. Darüber hinaus besteht nach § 6 StrlSchV die Verpflichtung, jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Die Ableitungen aus Anlagen oder Einrichtungen sind nach § 48 StrlSchV zu überwachen und nach Art und Aktivität spezifiziert der zuständigen Aufsichtsbehörde mindestens jährlich mitzuteilen. Die Anforderungen der Emissions- und Immissionsüberwachung sind in der "Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen" (REI) aufgeführt. Ziel dieser Richtlinie ist es, eine Beurteilung der aus der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen zu ermöglichen und die Kontrolle der Einhaltung der Emissions- und Dosisgrenzwerte zu gewährleisten.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung bei Kernkraftwerken erforderlichen Messungen, die Dokumentation der Messergebnisse und die Berichterstattung an die jeweils zuständige Aufsichtsbehörde sind gemäß den sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) 1503.1 (Überwachung der Ableitung 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.

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 Atomkraftwerken 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 verfügt die atomrechtliche Aufsichtsbehörde mit der Kernreaktor-Fernüberwachung über ein System 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 der Atomkraftwerke, der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Garching und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren und des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben für das Jahr 2004 sind in den Kapiteln 1.2 und 1.3 getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. In den Ableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2004 ermittelten Ableitungswerten geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden.

Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Strahlenexposition der Bevölkerung sind in Kapitel 1.5 zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Im benachbarten Ausland waren 2004 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle 1.1-4 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". Die jährlichen Emissionen der Schweizer Anlagen werden in den Jahresberichten "Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz" des Bundesamtes für Gesundheit, Bern, veröffentlicht.

Tabelle 1.1-1 Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany)

Atomkraftwerk/Standort	Typ a)	elektr. Bruttoleistung (MW)	Bruttostromerzeugung 2004 *) (MWa)	Beginn / Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Versuchsatomkraftwerk Kahl	SWR	16	0	1960/1985	Main
MZFR Karlsruhe	D2O-DWR	58	0	1965/1984	Rhein
Kernkraftwerk Rheinsberg	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Kernkraftwerk Gundremmingen A	SWR	252	0	1966/1977	Donau
Versuchsatomkraftwerk AVR Jülich	HTR	15	0	1966/1988	Rur/Maas
Kernkraftwerk Lingen	SWR	268	0	1968/1977	Ems
Kernkraftwerk Obrigheim	DWR	357	313	1968	Neckar
Kernreaktoranlage KNK Karlsruhe	NaR	20	0	1971/1991	Rhein
Kernkraftwerk Würgassen	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Kernkraftwerk Stade	DWR	672	0	1972/2003	Elbe
Kernkraftwerk Greifswald 1 - 5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Kernkraftwerk Biblis A	DWR	1225	1166	1974	Rhein
Kernkraftwerk Biblis B	DWR	1300	1060	1976	Rhein
Kernkraftwerk Neckarwestheim 1	DWR	840	731	1976	Neckar
Kernkraftwerk Brunsbüttel	SWR	806	579	1976	Elbe
Kernkraftwerk Isar 1	SWR	912	805	1977	Isar
Kernkraftwerk Unterweser	DWR	1410	1167	1978	Weser
Kernkraftwerk Philippsburg 1	SWR	926	757	1979	Rhein
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	DWR	1345	1218	1981	Main
Kernkraftwerk Krümmel	SWR	1316	1148	1983	Elbe
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Kernkraftwerk Gundremmingen B	SWR	1344	1234	1984	Donau
Kernkraftwerk Grohnde	DWR	1430	1294	1984	Weser
Kernkraftwerk Gundremmingen C	SWR	1344	1015	1984	Donau
Kernkraftwerk Philippsburg 2	DWR	1458	1240	1984	Rhein
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	DWR	1302	0	1986/1988	Rhein
Kernkraftwerk Brokdorf	DWR	1440	1326	1986	Elbe
Kernkraftwerk Isar 2	DWR	1475	1397	1988	Isar
Kernkraftwerk Emsland	DWR	1400	1343	1988	Ems
Kernkraftwerk Neckarwestheim 2	DWR	1365	1279	1988	Neckar

a) SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D₂O-DWR = Schwermwasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart

*) Daten aus Atomwirtschaft, atw 3/2005

Tabelle 1.1-2 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	FRM I	4	1957/2000
		FRM II	20	2004
Rosendorf	Forschungszentrum Rosendorf e.V.	RFR	10	1957/1991
Geesthacht	GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH	FRG 1	5	1958
		FRG 2	15	1963/1993
Karlsruhe	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	FR 2	44	1961/1981
Jülich	Forschungszentrum Jülich GmbH	FRJ 1	10	1962/1985
		FRJ 2	23	1962
Mainz	Johannes Gutenberg-Universität	FRMZ	0,1	1965
Braunschweig	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	FMRB	1	1967/1995
Neuherberg	GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH	FRN	1	1972/1982
Hannover	Medizinische Hochschule	FRH	0,25	1973/1996
Berlin	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH	BER II	10	1973
Heidelberg	Deutsches Krebsforschungszentrum	HD II	0,25	1978/1999

*) im Dauerbetrieb

Tabelle 1.1-3 Endlager für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland
(Ultimate disposal facilities for radioactive wastes in the Federal Republic of Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar (Stand 31.12.2004)
Morsleben	Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1971	36.815 m ³ / 3,8 E14 Bq

Die Volumendifferenz zum Vorjahr ergibt sich aus der Einlagerung radioaktiver Betriebsabfälle, die im ERAM angefallen sind. Unter Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Gesamtaktivität ein Wert von 1,3 E14 Bq.

Tabelle 1.1-4 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-Däniken	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

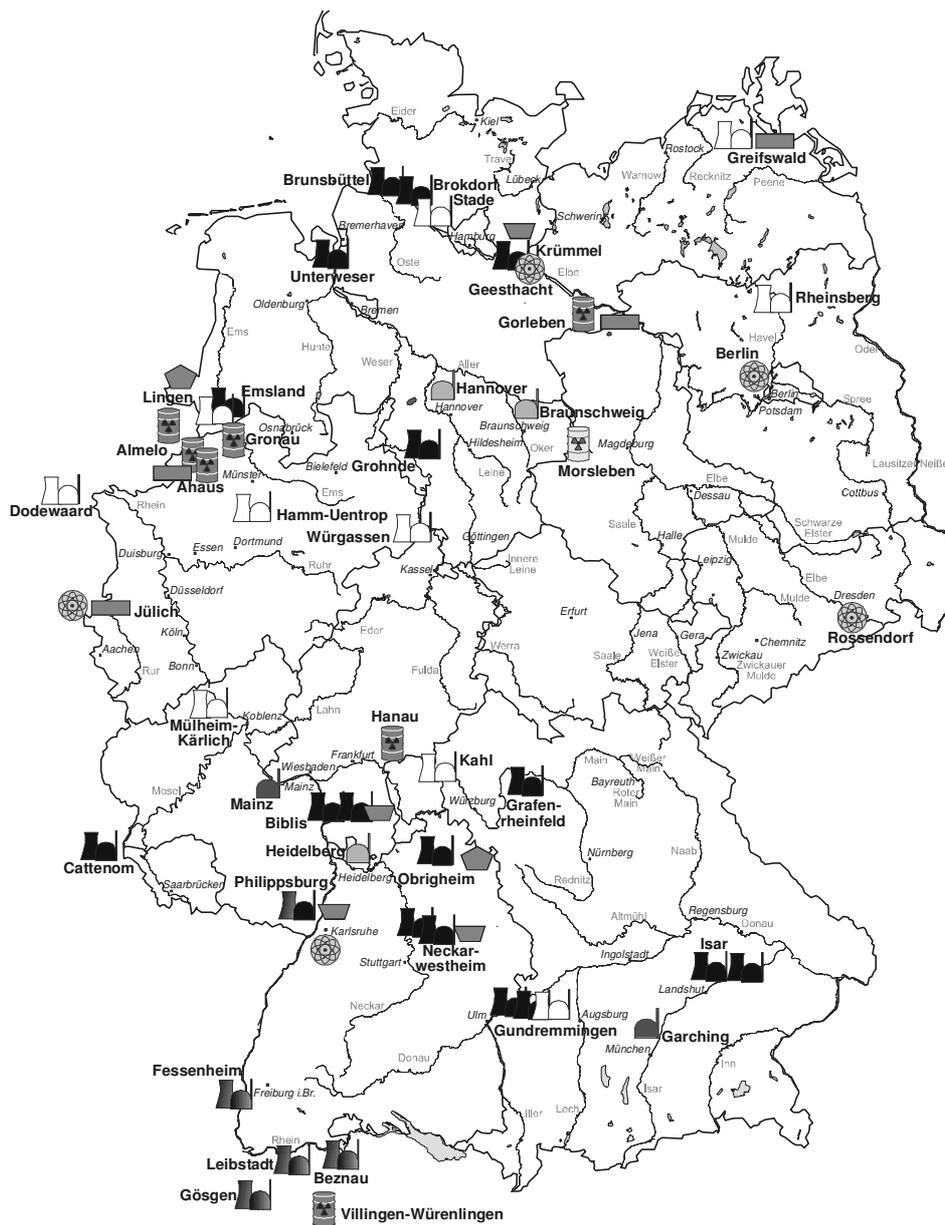


Abb.4-1: Standorte kerntechnischer Anlagen

- | | | | | | |
|--|--------------------------------|--|-------------------------------------|--|----------------------------------|
| | Kernkraftwerk in Betrieb | | Forschungseinrichtung | | Standortzwischenlager in Betrieb |
| | Kernkraftwerk nicht in Betrieb | | Forschungsreaktor in Betrieb | | Zentrallager in Betrieb |
| | Kernkraftwerk stillgelegt | | Forschungsreaktor stillgelegt | | Interimslager in Betrieb |
| | Kerntechnischer Betrieb | | Kerntechnischer Betrieb stillgelegt | | |

Stand Mai 2005

BfS

Standorte kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im grenznahen Bereich (2004)
(Sites of nuclear facilities both within the Federal Republic of Germany and close to the German border – year 2004)

1.1-1

1.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft kerntechnischer Anlagen (Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear facilities)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt,
Oberschleißheim

Die nuklidspezifisch nachgewiesenen Aktivitätsableitungen werden vom Betreiber vierteljährlich und jährlich dokumentiert und an die zuständige Aufsichtsbehörde übermittelt. Aus der lückenlosen Bilanzierung der Ableitungen radioaktiver Stoffe wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen ermittelt und die Einhaltung der Dosisgrenzwerte des § 47 StrlSchV überprüft. Auf die Bestimmung der Strahlenexposition aus den Emissionsdaten muss deshalb zurückgegriffen werden, weil die Aktivitätskonzentrationen 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 1.2-1 bis 1.2-8).

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft der Atomkraftwerke im Jahr 2004 sind in Tabelle 1.2-1 für die Nuklidgruppen radioaktive Edelgase und Schwebstoffe (Halbwertszeit > 8 Tage), sowie für die Radionuklide Jod-131, Kohlenstoff-14 ($^{14}\text{CO}_2$ -Anteil) und Tritium aufgeführt. Die Jahresableitungen von MZFR, KNK und AVR sind in den Ableitungswerten der Forschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 1.2-5). Die einzelnen in einer Nuklidgruppe zusammengefassten Radionuklide zeigen entsprechend ihrer chemisch-physikalischen Natur in den Umweltmedien und im menschlichen Körper ein unterschiedliches Verhalten. Daher ist für die Berechnung der Strahlendosis die Kenntnis der Zusammensetzung des abgeleiteten Nuklidgemisches erforderlich. Die auf Grund von Einzelnuklidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 2004 abgeleiteten Edelgase ist aus Tabelle 1.2-2 zu ersehen. Tabelle 1.2-3 enthält die Zusammensetzung der schwebstoffgebundenen Radionuklide einschließlich der β -Strahler Strontium-89 und -90 sowie der α -Strahler Plutonium-238, -239, -240, Americium-241, Curium-242 und -244.

Tabelle 1.2-4 zeigt die zeitliche Entwicklung der jährlichen Gesamtableitungen für Edelgase und I-131 mit der Fortluft und die Gesamt-Bruttostromerzeugung der Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresableitungen radioaktiver Edelgase war 2004 mit $2,8 \cdot 10^{13}$ Becquerel höher als 2003 mit $1,4 \cdot 10^{13}$ Becquerel. Ebenso lag die Gesamtableitung an I-131 2004 mit $2,5 \cdot 10^8$ Becquerel über dem Vorjahreswert von $1,4 \cdot 10^8$ Becquerel. Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Atomkraftwerke.

In Tabelle 1.2-5 sind die Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und Garching und dem Hahn-Meitner-Institut Berlin im Jahr 2004 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren sind in Tabelle 1.2-6 angegeben.

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus dem Endlager Morsleben ist in Tabelle 1.2-7 zusammengestellt. Am Schacht Bartensleben werden jährlich etwa 1 Milliarde m^3 Abwetter aus dem untertägigen Kontrollbereich abgegeben. Die Ableitungswerte für radioaktive Stoffe liegen z. T. um Größenordnungen unterhalb der genehmigten Werte.

Bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben werden die mit der Fortluft emittierten α -strahlenden Schwebstoffe ermittelt (Tabelle 1.2-8). Die abgeleitete α -Aktivität lag 2004 mit insgesamt $3,0 \cdot 10^6$ Becquerel höher als 2003 mit $5,9 \cdot 10^5$ Becquerel.

Die für das Jahr 2004 ermittelten Werte für die Ableitung 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 im Allgemeinen deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte, wie beispielsweise für Atomkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Tabelle 1.2-1 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Becquerel für Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für Schwebstoffe und ca. 10^{10} Bq für I-131 zeigt.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung ermittelten jährlichen Ableitungen 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 Jahresableitungen unter Berücksichtigung von meteorologischen, ökologischen und biologischen Parametern berechneten Jahresdosen sind in Kapitel 1.5 angegeben.

Tabelle 1.2-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2004
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2004)

Kernkraftwerk	Edelgase	Schwebstoffe ^{a)}	Jod-131	¹⁴ CO ₂	Tritium
	Aktivität in Bq				
Kahl ^{b)}	-	8,8 E04	-	-	-
Rheinsberg ^{c)}	nn	3,3 E06	nn	-	nn
Gundremmingen A ^{d)}	-	1,8 E03	-	-	2,0 E10
Lingen ^{d)}	-	nn	-	6,5 E08	7,2 E07
Obrigheim	8,8 E11	6,5 E05	nn	7,9 E09	1,4 E11
Stade ^{g)}	9,9 E11	1,1 E05	nn	6,0 E10	6,9 E11
Würgassen ^{e)}	-	4,5 E06	-	7,9 E08	4,9 E10
Greifswald ^{c)}	-	8,0 E06	-	-	3,3 E08
Biblis A	4,6 E11	1,0 E05	6,2 E04	1,4 E10	1,1 E11
Biblis B	1,4 E12	4,1 E05	4,7 E06	4,2 E10	1,9E11
Neckar 1	5,1 E11	3,1 E05	2,0 E04	1,4 E10	1,3 E11
Brunsbüttel	3,9 E12	3,7 E07	7,7 E06	2,6 E11	5,7 E10
Isar 1	1,3 E12	nn	2,4 E07	3,4 E11	9,5 E10
Unterweser	3,4 E12	2,5 E06	3,5 E04	3,8 E10	3,6 E11
Philippsburg 1	3,4 E12	1,9 E07	1,3 E08	4,1 E11	4,5 E10
Grafenrheinfeld	9,5 E10	1,2 E06	nn	5,2 E10	2,1 E11
Krümmel	7,0 E11	5,4 E06	7,3 E07	1,7 E11	3,7 E10
Gundremmingen B und C	6,4 E11	nn	3,1 E05	8,0 E11	1,0 E12
Grohnde	5,2 E12	3,8 E05	5,6 E04	4,5 E10	6,9 E11
Hamm-Uentrop ^{f)}	-	nn	-	nn	2,0 E08
Philippsburg 2	9,1 E11	1,8 E05	1,6 E04	3,0 E10	1,8 E11
Mülheim-Kärlich ^{f)}	nn	nn	nn	7,3 E08	8,8 E09
Brokdorf	1,3 E11	nn	nn	8,3 E10	2,9 E11
Isar 2	1,4 E11	nn	nn	4,7 E10	4,2 E11
Emsland	3,9 E11	nn	8,9 E04	1,2 E11	1,3 E12
Neckar 2	3,5 E12	2,8 E05	6,0 E06	2,3 E11	1,3 E11

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschließlich Strontium und Alphastrahler

b) Betrieb beendet 1985

c) Betrieb beendet 1990

d) Betrieb beendet 1977

e) Betrieb beendet 1994

f) Betrieb beendet 1988

g) Betrieb beendet 2003

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

¹⁴C wird in Tabelle 1.2-1 in Form von ¹⁴CO₂ angegeben, hauptsächlich deshalb, weil Kohlendioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders von Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes ¹⁴C abgeleitet, dessen Dosisbeitrag vernachlässigbar ist. Die Gesamtsumme an abgeleitetem ¹⁴C über die Fortluft im Jahr 2004 beträgt an den in Tabelle 1.2-1 aufgeführten Standorten etwa 5,0 E12 Bq.

Tabelle 1.2-2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2004 in Becquerel
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2004 in Becquerel)

	Kahl/ Rheins- berg	Gundremm. A /Lingen	Obrigheim	Würgassen	Stade *)	Greifswald	Biblis A	Biblis B
Ar 41			8,8 E10				2,5 E10	4,6 E10
Kr 85m							2,1 E07	1,1 E10
Kr 85							4,3 E11	3,9 E11
Kr 87							2,0 E07	3,5 E09
Kr 88							1,6 E08	7,2 E09
Kr 89							1,6 E08	1,5 E08
Xe 131m							4,4 E08	5,8 E09
Xe 133m							2,2 E08	1,2 E10
Xe 133			6,4 E11				3,0 E08	8,3 E11
Xe 135m								2,2 E09
Xe 135			1,6 E11				5,4 E07	1,2 E11
Xe 137								1,3 E08
Xe 138							4,7 E08	1,9 E08

*) Werte der nuklidspezifischen Messung liegen unter der Erkennungsgrenze

	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterweser	Philippsburg 1	Grafen- rheinfeld	Krümmler	Gundrem- mungen B, C
Ar 41	4,7 E11	4,0 E11	7,3 E08	1,3 E11	1,3 E09	9,5 E10		1,8 E11
Kr 85m		3,1 E10	4,7 E08		9,7 E09		3,9 E08	2,9 E07
Kr 85		1,8 E10	1,4 E11	1,2 E11	1,2 E11		4,0 E10	2,3 E11
Kr 87		4,0 E10	6,1 E08	6,2 E10	2,3 E10		1,4 E09	1,2 E08
Kr 88		7,3 E10	2,6 E11		1,5 E10		1,4 E09	
Kr 89			2,4 E10		2,8 E09			
Xe 131m		1,5 E10	8,5 E08	2,7 E11			8,0 E09	2,3 E11
Xe 133m		5,7 E10	1,7 E09		1,7 E09		8,5 E09	1,7 E08
Xe 133	1,3 E10	1,1 E12	2,0 E11	2,1 E12	7,3 E11		5,5 E11	7,7 E08
Xe 135m		2,3 E11	2,9 E11		9,1 E11		1,3 E10	4,6 E08
Xe 135	2,1 E10	1,8 E12	1,1 E11	7,6 E11	8,2 E11		6,3 E10	1,4 E09
Xe 137		7,2 E10	1,9 E11		4,3 E11			2,3 E08
Xe 138			1,3 E11		3,3 E11		1,6 E10	

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

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze oder die Messung war nicht erforderlich

Tabelle 1.2-3 Ableitung radioaktiver Schwebstoffe mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2004 in Becquerel (Jod-131: Tabelle 1.2-1)
(Discharges of radioactive aerosols with exhaust air from nuclear power plants in the year 2004 expressed in becquerel - iodine-131: Table 1.2-1)

	Kahl	Rheins- berg	Gund- remmingen A	Lingen	Obrig- heim	Würgas- sen	Stade	Greifs- wald	Biblis A
Cr 51									
Mn 54									
Fe 59									
Co 57									
Co 58					2,3 E05				
Co 60	4,2 E04	1,8 E05	6,0 E02		2,1 E05	2,3 E06	4,5 E04	7,0 E06	
Zn 65									
Sr 89									
Sr 90	5,9 E02	5,5 E04				1,3 E04			
Zr 95									
Nb 95									
Ru 103									
Ru 106									
Ag 110m					1,7 E05				
Sn 113									
Sb 124									
Sb 125									
Te 123m									1,0 E05
Cs 134					3,3 E04				
Cs 137	4,6 E04	2,2 E05	1,2 E03			2,2 E06	6,8 E04	1,0 E06	
Ba 140									
La 140									
Ce 141									
Ce 144									
Eu 152		2,0 E06							
Eu 154		7,8 E05							
Eu 155		6,3 E04							
Pu 238/ Am 241									
Pu 239/ Pu 240									
Pu 241									
Cm 242									
Cm 244									

	Biblis B	Neckar 1	Brunsbüt- tel	Isar 1	Unter- weser	Philipps- burg 1	Grafen- rheinfeld	Krüm- mel	Gundrem- mingen B,C
Cr 51			2,6 E06			2,1 E06	4,3 E04		
Mn 54			5,8 E06			2,1 E05	4,0 E03	6,7 E05	
Fe 59			5,1 E05					8,8 E04	
Co 57									
Co 58			5,4 E05			2,0 E04	4,4 E04	8,7 E04	
Co 60		2,0 E05	1,0 E07		2,5 E06	1,9 E06	9,3 E05	3,1 E06	
Zn 65			1,4 E07			2,5 E06		3,8 E05	
Sr 89			1,7 E05			2,8 E06		5,5 E05	
Sr 90			9,9 E03			3,8 E04		3,4 E03	
Zr 95			2,0 E04				7,0 E04		
Nb 95			5,1 E04				1,2 E05		
Ru 103									
Ru 106						3,0 E04			
Ag 110m		1,1 E05							
Sn 113									

	Biblis B	Neckar 1	Brunsbüt- tel	Isar 1	Unter- weser	Philipps- burg 1	Grafen- rheinfeld	Krüm- mel	Gundrem- mingen B,C
Sb 124	4,1 E05		6,4 E04		2,9 E04				
Sb 125									
Te 123m									
Cs 134				3,5 E04			5,1 E04		
Cs 137				2,7 E06			1,8 E05	1,3 E04	
Ba 140				1,2 E05			5,5 E06	3,5 E05	
La 140				1,2 E05			3,8 E06	1,4 E05	
Ce 141				5,3 E03			1,8 E05		
Ce 144									
Eu 152									
Eu 154									
Eu 155									
Pu 238/ Am 241									
Pu 239/ Pu 240									
Pu 241									
Cm 242									
Cm 244									

	Grohnde	Hamm- Uentrop	Philipps- burg 2	Mülheim- Kärlich	Brok- dorf	Isar 2	Emsland	Neckar 2
Cr 51	3,8 E05		5,4 E04					
Mn 54			2,7 E03					
Fe 59								
Co 57								
Co 58								1,2 E04
Co 60				6,2 E04				2,7 E05
Zn 65								
Sr 89								
Sr 90								
Zr 95				4,9 E03				
Nb 95				1,3 E04				
Ru 103				3,2 E03				
Ru 106								
Ag 110m				2,1 E04				
Sn 113								
Sb 124								
Sb 125								
Te 123m								
Cs 134								
Cs 137				1,1 E04				
Ba 140								
La 140								
Ce 141				9,5 E03				
Ce 144								
Eu 152								
Eu 154								
Eu 155								
Pu 238/Am 241								
Pu 239/Pu 240								
Pu 241								
Cm 242								
Cm 244								

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze oder die Messung war nicht erforderlich (vgl. Tabelle 1.2-1)

Tabelle 1.2-4 Ableitung radioaktiver Edelgase, von Jod-131 und Schwebstoffen (ohne Jod-131, einschließlich Strontium und Alphastrahler) mit der Fortluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Atomkraftwerke in den Jahren 1994 bis 2004
(Discharges of radioactive noble gases, of iodine-131 and aerosols (excluding iodine-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 1994 to 2004)

Jahr	Aktivität in Bq			Bruttostromerzeugung in MWa
	Edelgase	Jod-131	Aerosole	
1994	4,2 E13	8,0 E08	2,6 E08	17256
1995	9,8 E13	5,5 E08	5,2 E08	17596
1996	6,2 E13	3,4 E08	3,6 E08	18459
1997	3,8 E13	3,0 E08	3,7 E08	19451
1998	2,7 E13	1,8 E08	2,7 E08	18460
1999	1,9 E13	2,5 E08	1,4 E08	19374
2000	2,6 E13	2,2 E08	1,1 E08	19371
2001	1,5 E13	2,8 E08	7,4 E07	19552
2002	1,8 E13	3,3 E08	5,7 E07	18816
2003	1,4 E13	1,4 E08	6,2 E07	18847*
2004	2,8 E13	2,5 E08	8,3 E07	19071*

*) Quelle: Atomwirtschaft

Tabelle 1.2-5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2004
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres in the year 2004)

Forschungszentrum	Aktivität in Bq					
	Edelgase	Schwebstoffe a)	Jod-131	Jod-129	Kohlenstoff-14	Tritium
Forschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	6,7 E11	7,3 E06 b)	1,0 E07	2,6 E06	2,3 E10	9,8 E11
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	5,7E11	2,9 E05	8,6 E05	-	3,2 E11	3,5 E12
Forschungszentrum Rossendorf	1,6 E10	2,5 E06	nn	nn	3,2 E09	7,4 E09
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	9,1 E11	2,1 E04	1,8 E05	-	8,5 E08	9,0 E10
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	4,4 E11	2,8 E04	7,9 E05	-	2,8 E09	7,9 E10
Garching, FRM I	-	nn	nn	-	5,0 E06	4,1 E09
Garching, FRM II	6,5 E10	nn	nn	-	8,4 E07	1,9 E10

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschließlich Strontium und Alphastrahler

b) davon Alphastrahler: 1,3 E05 Bq

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 1.2-6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungsreaktoren im Jahr 2004
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research reactors in the year 2004)

Forschungsreaktor	Edelgase	Schwebstoffe	Jod-131	Kohlenstoff-14	Tritium
	Aktivität in Bq				
Braunschweig	nn	nn	nn	7,6 E06	nn
Heidelberg	nn	3,2 E03	2,0 E05	-	2,0 E06
Mainz	1,5 E11	nn	nn	-	4,3 E06

- Messung / Angabe nicht erforderlich
 nn: nicht nachgewiesen

Die Jahresableitungen von FRJ1, FRJ2, RFR, FRG1, FRG2 und BER II sind in den Ableitungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin enthalten (Tabelle 1.2-5). Der Forschungsreaktor Braunschweig wurde Ende 1995 endgültig abgeschaltet und der Forschungsreaktor Heidelberg Ende November 1999.

Tabelle 1.2-7 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2004
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Morsleben final disposal facility in the year 2004)

Nuklid	Aktivität in Bq
Tritium	1,4 E10
Kohlenstoff-14	7,3 E 08
langlebige Aerosole	9,1 E 05
Radon-Folgeprodukte	7,0 E 09

Tabelle 1.2-8 Ableitung radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2004
(Discharges of radioactive substances - α -activity) with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels in the year 2004)

Betrieb	Aktivität in Bq
NUKEM GmbH (Hanau) *)	2,4 E06
SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung *)	<1,3 E03
Betriebsteil Uran-Verarbeitung *)	<5,7 E05
ANF GmbH (Lingen)	<1,4 E04
URENCO D (Gronau)	2,6 E04

*) Brennelementeproduktion eingestellt, Gebäude großteils abgerissen

1.3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen (Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear facilities)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin

In den Tabellen 1.3-1 bis 1.3-3 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2004 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Aus dem Kontrollbereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden 2004 insgesamt 6,1 m³ Abwasser abgeleitet (Tabelle 1.3-4).

Sämtliche Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken (Tabelle 1.3-1) liegen in der Größenordnung der Abgaben der Vorjahre und unterschreiten die entsprechenden Genehmigungswerte deutlich.

Für Druck- und Siedewasserreaktoren lagen die insgesamt abgegebenen Mengen an Spalt- und Aktivierungsprodukten bei 0,69 GBq bzw. 1,3 GBq. Die Tritiumabgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 193 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 11 TBq.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Kernforschungszentren (Tabelle 1.3-2) und den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben (Tabelle 1.3-3) liegen bezüglich der einzelnen Radionuklidgruppen ebenfalls in der Größenordnung der Abgaben der letzten Jahre.

Tabelle 1.3-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Atomkraftwerken in Deutschland im Jahr 2004 (Summenwerte, Tritium und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2004 - summation values, tritium and alpha sources)

Radionuklid Kernkraftwerk	Spalt und Aktivierungs- Produkte(außer Tritium)	Tritium	α-Strahler
Siedewasserreaktoren			
Kahl ¹⁾	3,2 E06	7,6 E06	4,5 E04
Lingen ¹⁾	5,1 E05	3,7 E06	9,3 E03
Würgassen ¹⁾	3,5 E07	2,8 E10	3,3 E05
Brunsbüttel	2,1 E08	4,4 E11	
Isar 1	7,8 E07	5,3 E11	
Philippsburg 1	1,4 E08	4,6 E11	
Krümmel	5,3 E05	5,6 E11	
Gundremmingen	8,0 E08	9,0 E12	
Druckwasserreaktoren			
Obrigheim	9,2 E07	6,3 E12	
Stade ¹⁾	4,8 E07	1,4 E13	1,9 E04
Biblis Block A	5,1 E07	1,7 E13	
Biblis Block B	8,5E07	1,1 E13	
Neckar 1		7,4 E12	
Unterweser	2,3 E08	1,4 E13	
Grafenrheinfeld	4,9 E07	1,7 E13	
Grohnde	6,8 E06	2,2 E13	
Philippsburg 2	4,9 E07	1,5 E13	
Mülheim-Kärlich ¹⁾	1,9 E07	7,3 E09	
Brokdorf	2,0 E05	1,6 E13	
Isar 2		1,8 E13	
Emsland	6,0 E03	1,8 E13	
Neckar 2	8,2 E04	1,8 E13	
Greifswald Block 1 bis 5 ¹⁾	5,6 E07	2,0 E09	
Rheinsberg ¹⁾	7,8 E06	4,2 E09	2,3 E05

1) Anlage stillgelegt

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 1.3-2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2004
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2004)

Forschungszentrum	Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer Tritium)	Tritium	α-Strahler
	Aktivität in Bq		
Karlsruhe (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	1,9 E07	9,3 E11	1,2 E06
Jülich	1,2 E08	4,2 E11	
GKSS Geesthacht	2,2 E08	1,6 E08	1,6 E04
HMI Berlin	1,2 E06	6,6 E08	
FRM Garching	1,9 E06	7,4 E06	
FRZ/VKTA Rossendorf ¹⁾	9,3 E06	1,5 E11	5,7 E05

1) vormals ZfK Rossendorf

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 1.3-3 Ableitungen radioaktiver Stoffe (α-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2004
(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants in the year 2004)

Betrieb	α-Strahler
	Aktivität in Bq
NUKEM GmbH	3,8 E06
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau Betriebsteil MOX-Verarbeitung ¹⁾ Betriebsteil Uran-Verarbeitung ¹⁾	4,6 E06
ANF GmbH (Lingen)	
URENCO (Gronau)	1,4 E03

¹⁾ Brennelementproduktion eingestellt

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 1.3-4 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2004
(Discharges of radioactive substances with waste water from the final repository Morsleben in the year 2004)

Radionuklid	Jahresaktivitätsabgabe (Bq)
Tritium	1,3 E04
Nuklidgemisch (außer Tritium)	9,2 E02

1.4 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen (*Radiation exposures from nuclear facilities*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Oberschleißheim und Berlin und von der Eigenüberwachung Bundesendlager, Salzgitter

Die für das Jahr 2004 ermittelten Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Abschnitten II 1.2 bzw. 1.3 zusammengefasst. Sie dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der einzelnen Anlagen. Diese Berechnung wurde entsprechend des Entwurfs der "Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen" durchgeführt.

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Tabellen 1.4-1 bis 1.4-6 angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen stellen obere Werte dar, da sie gemäß § 47 Abs. 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.

Tabelle 1.4-1 enthält die Ergebnisse aus den Berechnungen der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2004 in der Umgebung von Atomkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe >17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe >1 bis ≤2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Tabelle 1.4-1 zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 3 µSv (1% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) sowie für Kleinkinder 5 µSv (rund 2% des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Philippsburg. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 7 µSv (unter 1% des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg.

In Tabelle 1.4-2 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte Wert der effektiven Dosis und der Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark) beträgt jeweils 1,3 µSv/Jahr für Kleinkinder (entsprechend ca. 0,4% des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Emsland.

Entsprechend des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung 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 1,0 µSv für Erwachsene und 1,6 µSv für Kleinkinder ermittelt; für die Weser und die Donau wurden für beide Personengruppen 0,3 µSv bzw. 0,5 µSv berechnet; am Main liegen die effektiven Jahresdosen bei 0,2 µSv bzw. 0,3 µSv und am Rhein bei 0,1 µSv bzw. 0,2 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.

Tabelle 1.4-1 Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung von Atomkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2004 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Kernkraftwerk	Oberer Wert ^{a)}		
	der effektiven Dosis		der Schilddrüsendosis für Kleinkinder (μSv)
	für Erwachsene (μSv)	für Kleinkinder (μSv)	
Kahl	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Rheinsberg ^{b)}	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lingen	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Obrigheim	2	4	4
Stade	0,5	0,9	0,9
Würgassen	0,1	0,1	0,2
Greifswald ^{b)}	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Biblis A, B	0,5	0,9	0,9
Neckar 1, 2	2	3	3
Brunsbüttel	1	2	2
Isar 1, 2	2	4	4
Unterweser	0,2	0,3	0,3
Philippsburg 1, 2	3	5	7
Grafenrheinfeld	0,1	0,2	0,2
Krümmel	0,9	2	2
Gundremmingen A, B, C	2	4	4
Grohnde	0,4	0,7	0,6
Hamm-Uentrop	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Brokdorf	0,3	0,5	0,5
Emsland	0,3	0,4	0,4

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

Tabelle 1.4-2 Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung von Atomkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2004 due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Kernkraftwerk	Oberer Wert der effektiven Dosis	
	für Erwachsene in μSv	für Kleinkinder in μSv
Kahl	< 0,1	< 0,1
Gundremmingen A, B und C	0,6	0,5
Obrigheim	0,2	0,3
Stade	< 0,1	0,1
Würgassen	< 0,1	< 0,1
Biblis A und B	0,2	0,3
Neckar 1 und 2	0,5	0,9
Brunsbüttel	< 0,1	< 0,1
Isar 1 und 2	0,2	0,4
Unterweser	0,1	0,1
Philippsburg 1 und 2	0,1	0,2
Grafenrheinfeld	0,3	0,5
Krümmel	< 0,1	< 0,1
Grohnde	0,3	0,5
Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1
Brokdorf	< 0,1	0,1
Emsland	0,7	1,3
Rheinsberg *)	0,1	0,1
Greifswald *)	< 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.

Die in Tabelle 1.4-3 angegebenen Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren stammen teilweise aus den Jahresberichten der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 2004 als höchsten Wert 5 μSv (rund 2% des Grenzwertes) für Erwachsene und 8 μSv (rund 3% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 7 μSv (rund 1% des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

Tabelle 1.4-3 Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft *)
(Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2004 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Forschungseinrichtung	Oberer Wert		
	der effektiven Dosis (μSv)		der Schilddrüsendosis (μSv) für Kleinkinder
	für Erwachsene	für Kleinkinder	
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) *	0,8	1,1	2,1
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	5	8	7
Forschungszentrum Rossendorf (FZR) *	0,6	1,0	1,0
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht *	0,2	0,5	0,5
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)*	0,4	0,6	0,9
Garching, FRM I und FRM II	<0,1	<0,1	<0,1

*) Entnommen den Jahresberichten 2004 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin

In Tabelle 1.4-4 wird die Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe über das Abwasser aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf und Geesthacht angegeben. Im Jahr 2004 wurde mit 22 µSv der höchste Wert der effektiven Dosis für Erwachsene beim Forschungszentrum Rossendorf berechnet.

Tabelle 1.4-4 Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser *)
(Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2004 due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Forschungseinrichtung	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene (µSv)
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	0,1
Forschungszentrum Jülich (einschließl. Versuchsreaktor AVR)	1
Forschungszentrum Rossendorf	22
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	< 100

*) Entnommen den Jahresberichten 2004 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich und Rossendorf

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Hanau, Lingen und Gronau sind in Tabelle 1.4-5 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 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft angegeben. Die höchsten Werte der Strahlenexposition einer Referenzperson treten beim Betrieb NUKEM auf. Infolge höherer Emissionen, bedingt durch Abrissarbeiten, ergeben sich hier für eine Referenzperson größere Expositionswerte als im Vorjahr. Sie sind vergleichbar mit 2002 und betragen für die effektive Dosis für Erwachsene 1 µSv (rund 0,3% des Grenzwertes) und für Kleinkinder 3 µSv (1% des Grenzwertes). Die Knochenoberflächendosis für Kleinkinder errechnet sich zu 60 µSv (rund 3% des Grenzwertes).

Tabelle 1.4-5 Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels in the year 2004 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Betrieb	Oberer Wert		
	der effektiven Dosis (µSv)		der Knochenoberfläche (µSv)
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
NUKEM GmbH (Hanau)	1	3	60
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau			
Betriebsteil MOX-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,1
Betriebsteil Uran-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,2
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO D (Gronau)	<0,1	<0,1	<0,1

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 1.4-6 aufgeführt. Wie in den Vorjahren liegen die Werte bei jeweils weniger als 0,1 µSv.

Tabelle 1.4-6 Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels in the year 2004 due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Betrieb	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder (mSv)
NUKEM GmbH Hanau (einschließlich HOBEG)	< 0,1
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung	< 0,1
Betriebsteil Uranverarbeitung	< 0,1
ANF GmbH (Lingen)	< 0,1
URENCO D (Gronau)	< 0,1

Die Strahlenexposition in Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und mit dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in Tabelle 1.4-7 aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene betrug 2004 0,15 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,4 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 1,2 μSv ; dies sind ca. 0,5%, 0,1% bzw. 0,4% des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Dosis des kritischen Organs (rotes Knochenmark) errechnete sich zu 0,3 μSv für Erwachsene, 1,1 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 - 2 Jahre) und 3,7 μSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1%, 0,4% bzw. 1,2% des Grenzwertes). Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 2004 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 μSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 1.4-7 Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung des Endlagers Morsleben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser
(Radiation exposure in the surroundings of the Morsleben final repository in the year 2004 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

	Abluft		Abwasser
	Oberer Wert (μSv)		Oberer Wert (μSv)
	der effektiven Dosis	der Organdosis	der effektiven Dosis
Erwachsene	0,15	0,3	< 0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,4	1,1	< 0,1
Mit Muttermilch ernährte Säuglinge	1,2	3,7	< 0,1

Bewertung

Die für 2004 aus den Jahresableitungen nach dem Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen 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 der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2004 deutlich unter 10 μSv pro Jahr.

1.5 Überwachung der Umweltmedien in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (Monitoring of environmental media from the surroundings of nuclear facilities)

1.5.1 Luft und Niederschlag (Air and precipitation)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Freiburg, und dem Deutschen Wetterdienst, Offenbach am Main

Gemäß der REI (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen) sind die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem Jod-131 und von schwebstoffgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch zu ermitteln. Die geforderten Nachweisgrenzen liegen für I-131 bei 2 mBq/m³ und für Co-60 bei 0,4 mBq/m³.

Die Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Jod-131 haben sich mit den jeweils erreichten Nachweisgrenzen gegenüber dem Vorjahr nicht verändert.

Bezugsnuclid für die Überwachung der Aktivitätskonzentration der Luft ist Cobalt-60. Die Aktivitätskonzentrationen für Co-60 lagen 2004 an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen (vgl. Tabelle 1.5.1-2).

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der kontinuierlich gemessenen γ -Dosisleistung (Tabelle 1.5.1-3) sind im Vergleich zum Vorjahr im Allgemeinen gering und entsprechen den natürlichen Schwankungen

Tabelle 1.5.1-1 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Jod-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous iodine-131)
(in Millibecquerel pro Kubikmeter, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	Messwerte in mBq/m ³							
	N	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
HMI Berlin	2	<0,29	<0,31	<0,2	<0,31	<0,32	[<0,22] ⁶	<0,33
KKW Brunsbüttel	2	a	a	[<0,2] ⁹	<0,2	<0,15	[<0,21] ³	<0,32
KKW Brokdorf	2	a	a	<0,54	<0,43	<0,40	[<0,35] ³	<0,39
KKW Krümmel	3	a	a	<0,36	<0,36	<0,39	[<0,38] ³	<0,37
GKSS Geesthacht	1	a	a	[<0,43] ⁶	<0,45	<0,43	[<0,24] ³	<0,24
KKW Stade	1	[<0,38] ⁹	<0,37	a	a	a	[<0,45] ⁶	[<0,41] ⁹
KKW Unterweser	2	[<2,00] ⁹	<2,00	<2,00	[<2,00] ^{6,d}	<2,0	<2,0	<2,0
KKW Grohnde	3	<0,44	<0,47		[<0,69] ⁹	<0,65	<0,58	<0,59
KKW Emsland	2	<0,31	<0,37		[<0,31] ⁹	<0,32	<0,32	<0,3
KKW Würzgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
KFA Jülich	3	0,63**	0,25**	0,76**	0,72**	0,68**	1,2**	<2,0
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KKW Biblis	2	<0,50	<0,57	[<0,65] ⁹	[<0,76] ⁹	-	[<0,74] ⁹	[<0,56] ⁶
KKW Philippsburg	4	<0,62	<0,60	<0,62	<0,64	[<0,53] ⁹	<0,53	<0,49
KKW Obrigheim	3	<0,80	<0,79	<0,85	<0,86	<0,82	<0,64	<0,37
KKW Neckarwestheim	2	<0,68	<0,64	<0,60	<0,59	[<0,61] ⁹	<0,6	<0,65
KfK Karlsruhe	a	a	a	a	a	a	a	a
KKI Niederaichbach	3	<0,31	a	a	a	a	a	a
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,42	a	a	a	a	a	a
KRB Gundremmingen II	3	<0,32	a	a	a	a	a	a
KKW Greifswald	2	<0,08	<0,07	<0,27	[<0,76]*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	<0,06	<0,06	<0,1	[<0,06] ⁹	<0,08	<0,06	<0,06
KKR Rheinsberg	a	a	a	a	a	a	a	a
KKW Mühlheim-Kärlich	2	<0,36	<0,18	*	*	*	*	*

N : Zahl der Messstationen

a : Daten liegen nicht vor

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

* : Messungen eingestellt

** : Jahreswert von einer Messstelle, die Werte der anderen Messstellen lagen unterhalb der Nachweisgrenze

d : zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

Tabelle 1.5.1-2 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60)
(in Millibecquerel pro Kubikmeter, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	Messwerte in mBq/m ³							
	N	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
HMI Berlin	2	<0,013	<0,016	<0,08	<0,02	<0,02	[<0,02] ³	<0,02
KKW Brunsbüttel	2	a	a	[<0,06] ⁶	<0,06	<0,06	[<0,06] ³	<0,06
KKW Brokdorf	2	a	a	[0,19] ⁶	<0,19	<0,19	[<0,16] ³	<0,18
KKW Krümmel	3	a	a	[<0,08] ⁶	<0,07	<0,07	[<0,07] ³	<0,07
GKSS Geesthacht	1	a	a	[<0,19] ⁶	<0,18	<0,14	[<0,03] ³	<0,06
KKW Stade	1	[<0,22] ⁹	<0,21	a	a	a	[<0,28] ⁶	[<0,18] ⁹
KKW Unterweser	2	[<0,4] ⁹	<0,40	<0,40	[<0,40] ^{6,d}	<0,40	<0,40	<0,40
KKW Grohnde	3	<0,12	<0,12	-	[<0,12] ⁹	<0,10	<0,11	<0,11
KKW Emsland	2	<0,16	<0,18	-	[<0,18] ⁹	<0,18	<0,17	<0,18
KKW Würgassen	2	<0,10	<0,10	<0,1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
KFA Jülich	3	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	[<0,40] ³	<0,4
THTR Hamm-Uentrop	2	<0,04	<0,17	<0,11	<0,05	a	a	a
KKW Biblis	3	<0,18	<0,19	[<0,21] ⁹	[<0,21] ⁹	a	[<0,22] ⁹	[<0,17] ⁶
KKW Philippsburg	4	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	[<0,04] ⁹	<0,04	<0,03
KKW Obrigheim	3	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,07	<0,05
KKW Neckarwestheim	2	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	[<0,14] ⁹	<0,14	<0,14
KfK Karlsruhe	3	<0,006	<0,008	<0,01	<0,01	[<0,01] ⁹	[<0,01] ⁹	a
KKI Niederaichbach	3	<0,19	a	a	a	a	a	a
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,09	a	a	a	a	a	a
KRB Gundremmingen II	3	<0,20	a	a	a	a	a	a
KKW Greifswald	2	<0,07 [#]	<0,13	<0,15	[<0,37] [*]	<0,37	[<0,03] ⁹	0,002
VKTA Rossendorf	3	<0,02	<0,02	<0,02	[<0,02] ⁹	<0,02	<0,02	<0,002
KKR Rheinsberg	2	<0,11	<0,14	<0,10	<0,09	<0,10	<0,10	<0,09
KKW Mühlheim-Kärlich	2	<0,29	<0,18	<0,16	0,15	<0,20	<0,20	<0,15

N : Zahl der Messstationen

a : Daten liegen nicht vor

: Maximale Nachweisgrenze aus den 4 Quartalsberichten

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

* : Messungen eingestellt

** : Jahreswert von einer Messstelle, die Werte der anderen Messstellen lagen unterhalb der Nachweisgrenze

d : zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

Tabelle 1.5.1-3 Umgebungsstrahlung bei Atomkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors)
 (γ -Dosisleistung in nSv pro Stunde, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
		nSv/h						
HMI Berlin	2	73	70	71	71	71	[70] ⁶	72
KKW Brunsbüttel	2	75	78	75	85	[83] ⁶	a	a
KKW Brokdorf	2	60	61	61	60	[60] ³	a	a
KKW Krümmel	3	71	68	53	56	[59] ⁶	a	a
GKSS Geesthacht	1	[80] ⁹	84	84	84	84	92b	[82] ⁶
KKW Stade	1	[50] ⁹	[85] ¹¹			[77] ⁹	[60] ⁶ y	[59] ⁹ y
KKW Unterweser	2	[90] ⁹	83	87	[90] ⁶	90	89	93
KKW Grohnde	3	85	85		[88] ⁹	84	86	85
KKW Emsland	2	66	66		[65] ⁹	65	65	74
KKW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
KFA Jülich	12	64	64	61	59	58	57	56
THTR Hamm-Uentrop	2	90	90	89	88	87	86	85
KKW Biblis	3	88	88	[88] ⁹	[90] ⁹	a	[93] ⁹	[95] ⁶
KKW Philippsburg	4	105	105	105	100	[98] ⁹	[100] ⁹	103
KKW Obrigheim	2	73	72	70	70	82MT	105	103
KKW Neckarwestheim	2	58	56	56	56	[55] ⁹	[55] ⁹	53
KfK Karlsruhe	6	84	84	82	82	[81] ⁹	[80] ³	[81] ⁶
KKI Niederaichbach c	3	67	a	a	a	a	a	a
KKG Grafenrheinfeld c	3	109	a	a	a	a	a	a
KRB Gundremmingen II c	3	77	a	a	a	a	a	a
KKW Greifswald	20	72	71	71	77	81	80	81
VKTA Rossendorf	3	110	112	106	[109] ⁹	112	[111] ⁶	112
KKR Rheinsberg	4	101	100	99	99	98	98	94z
KKW Mühlheim-Kärlich	2			110	114	113	117	119

a : Daten liegen nicht vor

y : Ersatzwert Sonde NLÖ unweit abgebauter Sonde

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

* : Messungen eingestellt

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

c: teilweise Überwachung durch unabhängige Sachverständige

b: zeitweise Messung mit ungeeichetem Leihgerät

N: Zahl der Messstationen

MT: Austausch des Messsystems

Niederschlag

Gemäß der REI ist die Aktivitätskonzentration des Niederschlags gammaspektrometrisch zu ermitteln. Aus den Aktivitätskonzentrationen und der Niederschlagsmenge wird die Deposition berechnet. Aus den Monatsdepositionen in Becquerel pro Quadratmeter werden Jahresmittelwerte gebildet und berichtet. Bezugsnuclid ist Cobalt-60.

Als Nachweisgrenze für die Konzentrationsmessung bezogen auf Co-60 werden 0,05 Bq/l gefordert. Die Niederschlagsmenge pro Monat liegt im Durchschnitt je nach Jahreszeit und Standort zwischen 10 und 100 Liter pro Quadratmeter und Monat.

Es wurde kein erhöhter Messwert festgestellt. In Tabelle 1.5.1-4 sind die Nachweisgrenzen bezogen auf Co-60 zusammengefasst.

Tabelle 1.5.1-4 Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60
(Deposition of radioactivity related to Co-60)

Probenahmestelle	N	Messwerte in Bq/m ² oder in Bq/l					
		2002		2003		2004	
		Bq/l	Bq/m ²	Bq/l	Bq/m ²	Bq/l	Bq/m ²
HMI Berlin	1		<0,32		<0,05		<0,11
KKW Brunsbüttel	2		<1,0		[<0,7] ³		<0,9
KKW Brokdorf	2		<1,55		[<1,4] ³		<1,7
KKW Krümmel	4		<0,5		[<0,28] ³		<0,37
GKSS Geesthacht	2		<0,5		[<0,26] ³		<1,7
KKW Stade	2		<2,4		<1,2		[<2,7] ⁹
KKW Unterweser	2	<0,05	+	<0,05	+	<0,05	+
KKW Grohnde	2	<0,04	+	<0,04	+	<0,04	+
KKW Emsland	2	<0,02	+	<0,02	+	<0,03	+
KKW Würgassen	2	<0,005	+	<0,006	+	<0,007	+
KFA Jülich	1	<0,05	+	<0,05	+	<0,05	+
THTR Hamm-Uentrop	*		*		*		*
KKW Biblis	2		<1,4		[<0,82] ¹¹		[<0,68] ⁶
KKW Philippsburg	4		[<1,9] ⁹		<1,1		<1,2
KKW Obrigheim	2		<3,1		<1,5		<1,6
KKW Neckarwestheim	2	<0,04	+	<0,04	+	<0,04	+
KfK Karlsruhe	3		[<2,2] ⁹		[<2,5] ⁹		[<2,2] ⁶
KKI Niederaichbach			a		a		a
KKG Grafenrheinfeld			a		a		a
KRB Gundremmingen II			a		a		a
KKW Greifswald	2		<6,2		<1,2		<2,3
VKTA Rossendorf	2		<0,5		<0,25		<0,47
KKR Rheinsberg	2		<0,35		<0,33		<0,26
KKW Mühlheim-Kärlich	2		<0,8		<0,53		<0,83

a : keine Messwerte

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

d : zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

N : Zahl der Messstationen

* : Messungen eingestellt

+ : nur Konzentrationsangaben

1.5.2 Boden, Bewuchs und Milch (Soil, vegetation and milk)

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Kiel

Hinsichtlich der radioökologischen Situation in der Umgebung kerntechnischer Anlagen und der beobachteten Schwankungen der Messwerte in diesen Bereichen gelten die gleichen Ausführungen, die bereits in den Kapiteln I 3.2 und I 3.4.2 gemacht wurden. Auch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahre 1986 geprägt.

Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Boden und Bewuchs in den Tabellen 1.5.2-1 und 1.5.2-2, für Milch in Tabelle 1.5.2-3 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 1.5.2-1 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity of the soil in the vicinity of nuclear power plants)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		N	Mittelwert Bereich	N	Mittelwert d) e) (Bereich)		
Baden-Württemberg	FZ Karlsruhe		Cs-137		Pu-238	Pu-239/240	
		2002	11	15,0	7	<0,13	0,21
		2003	6	12,3	4	<0,14	<0,09
	2004	1	19,6	a)	a)	a)	
						Sr-90	
	2002			3	0,8		
	2003			a)			
	2004			a)			
	Kernkraftwerk Obrigheim	2002	8	11,4			
		2003	8	10,0			
		2004	6	10,5 (3,0 - 17,0)			
	Kernkraftwerk Neckarwestheim	2002	4	13,3			
		2003	8	10,2			
		2004	2	10,5 (9,7 - 12,0)			
	Kernkraftwerk Philippsburg	2002	6	11,3			
	2003	8	14,0				
	2004	6	10,3 (3,9 - 24,0)				
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	2002	8	30,9				
	2003	8	24,7				
	2004	8	25,1 (15,1 - 40,9)				
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	2002	4	12,2				
	2003	4	11,4				
	2004	4	11,1 (8,9 - 15,6)				
TRIGA Heidelberg	2002	2	b) 19,0; 20,6				
	2003	2	b) 15,3; 17,3				
	2004	1	16,5				

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert Bereich	N	Mittelwert d) e) (Bereich)	
Bayern Kernkraftwerk Kahl Kernkraftwerk Gundremmingen Kernkraftwerk Isar Kernkraftwerk Grafenrheinfeld Forschungsreaktor München Framatome ANP Erlangen KWU Framatome ANP Karlstein KWU SBWK Karlstein Berlin Forschungsreaktor BERII Brandenburg Kernkraftwerk Rheinsberg			Cs-137		Sr-90	
	2002	2	38,0			
	2003	a)	a)			
	2004	a)	a)			
	2002	10	38,9			
	2003	a)				
	2004	a)				
	2002	12	79,8			
	2003	a)				
	2004	a)				
	2002	10	8,5			
	2003	a)				
	2004	a)				
	2002	2	57,0			
	2003	a)				
	2004	a)				
	2002	4	<24,0	2	Pu-238	Pu-239/240
	2003	a)		a)	<0,04	0,11
	2004	a)		a)		
	2002	4		4	U-235	U-238
2003	a)		a)	0,26	7,9	<0,06
2004	a)		a)			
2002	2	17,0	2	Pu-238	Pu-239/240	
2003	a)		a)	<0,1	<0,1(N=1)	
2004	a)		a)			
2002	2		2	U-235	U-238	Am-241
2003	a)		a)	<0,23	6,8	<0,05
2004	a)		a)			
			Gesamt-α-Aktivität		Sr-90	
2002	a)					
2003	a)					
2004	a)					
			Cs-137			
2002	8	13,4				
2003	8	12,8				
2004	8	13,6 (5,4 - 21,4)				
2002	8	8,3				
2003	8	8,9				
2004	8	9,7 (7,0 - 13,0)				

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert Bereich	N	Mittelwert d) e) (Bereich)	
Hessen Kernkraftwerk Biblis	2002 2003 2004	10 10 4	Cs-137	3	Sr-90	
			6,2			
			8,9			
	2004	4	7,8 (7,4 - 8,3)	3	Rest-β-Aktivität Bq/kg Asche	Pu-239/240 Bq/kg Asche
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		7,0	
			856		<0,58	
	Nuklearbetriebe Hanau	2002 2003 2004	8 8 a)	920	4 a)	
				Cs-137		U-235
				10,0		1,2
	Mecklenburg-Vorp. Kernkraftwerk Greifswald	2002 2003 2004	30 29 19	9,4	18 18 a)	0,8
9,3 (1,2 - 40,0)						
Zwischenlager Nord	2002 2003 2004	41 30 28	5,8			
			6,6			
			< 7,1 (<0,5 - 20,0)			
Niedersachsen Kernkraftwerk Stade	2002 2003 2004	14 14 11	9,1	a) a) a)		
			8,0			
			9,9 (5,2 - 22,0)			
	Kernkraftwerk Unterweser	2002 2003 2004	12 12 9	18,1	a) a) a)	
				17,2		
				21,0 (3,2 - 40,8)		
	Kernkraftwerk Grohnde	2002 2003 2004	10 10 7	19,2	a) a) a)	
				15,4		
				12,7 (3,6 - 22,0)		
	Kernkraftwerk Emsland	2002 2003 2004	10 10 7	19,1	a) a) a)	
15,8						
17,4 (8,1 - 25,0)						
Zwischenlager Gorleben	2002 2003 2004	20 26 18	23,6	4 4 2	4,1	
			32,6		4,2	
			31,6 (5,0 - 67,0)		0,5 (0,4 - 0,6)	
	2002 2003 2004	2 2 a)	Pu-238 (Bq/kgTM)	2 2 a)	Pu-239/240 (Bq/kg TM)	
			<0,08		<0,08	
			<0,17)		<0,17	
FMRB Braunschweig	2002 2003 2004	8 8 8	Cs-137	a) a) a)	Gesamt-α-Aktivität	
			18,4			
			23,4			
Schacht Konrad II c)	2002 2003 2004	8 4 a)	13,4 (6,1 - 21,0)	a) a) a)	Sr-90	
			14,9			
			11,2			

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		N	Mittelwert Bereich	N	Mittelwert d) e) (Bereich)		
			Cs-137		U-234 Bq/kg TM	U-235 (Bq/kg TM)	U-238 (Bq/kg TM)
Advanced Nuclear Fuels Lingen	2002	12	17,6	2	4,8	0,21	5,1
	2003	12	12,0	a)			
	2004	a)		a)			
Advanced Nuclear Fuels Lingen	2002	2	Pu-238 (Bq/kg TM) <0,074	2	Pu-239 (Bq/kg TM) <0,074		
	2003	a)		a)			
	2004	a)		a)			
Nordrhein-Westfalen			Cs-137		Sr-90 (Bq/kg TM)		
KFA Jülich	2002	8	< 7,2	6	1,4		
	2003	10	8,8	6	1,3		
	2004	10	9,8 (4,1 - 29,8)	6	1,0 (0,6 - 1,4)		
Kernkraftwerk Würgassen	2002	20	16,3				
	2003	20	17,7				
	2004	19	15,2 (5,5 - 40,5)				
Kernkraftwerk Uentrop	2002	8	24,9	a)			
	2003	8	15,0	a)			
	2004	8	12,7 (5,7 - 29,5)	a)			
Zwischenlager Ahaus	2002	5	11,3	5	0,6		
	2003	5	15,0	5	0,4		
	2004	6	10,9 (8,4 - 15,4)	5	0,5 (0,2 - 0,8)		
			U-238 TM				
UAG Gronau	2002	10	<0,3				
	2003	10	<0,2 (<0,2 - <0,2)				
	2004	a)					
Rheinland-Pfalz			Cs-137				
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	2002	8	8,6				
	2003	8	8,4				
	2004	5	14,9 (6,9 - 19,3)				
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	2002	a)		a)			
	2003	a)		a)			
	2004	a)		a)			
Sachsen							
Rosendorf	2002	8	19,8				
	2003	16	7,1				
	2004	8	7,7 (1,7 - 16,0)				
Sachsen-Anhalt					Sr-90	Gesamt-β-Aktivität	
Endlager Morsleben	2002	8	8,6	4	0,3	620	
	2003	8	10,3	4	0,3	608	
	2004	8	9,5 (3,7 - 15,0)	4	0,3 (0,2 - 0,4)	620 (580 - 660)	

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert Bereich	N	Mittelwert d) e) (Bereich)
Schleswig-Holstein			Cs-137		Sr-90
GKSS	2002	5	12,5	1	0,4
Geesthacht	2003	10	11,4	2	0,3
	2004	10	12,0 (5,9 - 18,0)	2	0,3 (0,3 - 0,4)
Kernkraftwerk Brunsbüttel	2002	4	24,7	2	b) 0,9; 3,5
	2003	8	29,8	a)	
	2004	8	30,5 (16,0 - 53,4)	2	b) 0,8; 4,7
Kernkraftwerk Krümmel	2002	6	8,1	3	1,1
	2003	12	7,2	6	0,8
	2004	12	6,6 (3,6 - 8,7)	6	0,8 (0,5 - 1,4)
Kernkraftwerk Brokdorf	2002	8	19,3	4	2,3
	2003	12	20,3	8	2,1
	2004	16	17,1 (5,8 - 34,0)	8	2,0 (0,7 - 3,7)

a) Daten lagen nicht vor

b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll

c) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Gegen diesen Beschluss wurden mehrere Klagen eingereicht. Die Schachanlage befindet sich bis zur gerichtlichen Entscheidung im Offenhaltungsbetrieb

d) Weicht die Anzahl einzelner Messungen in dieser Spalte vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt

e) Die Erhebung der Sr-90-Daten ist nicht vorgegeben. In einzelnen Ländern wird Sr-90 jedoch zu Übungszwecken gemessen und veröffentlicht

Tabelle 1.5.2-2 Radioaktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(*Radioactivity of vegetation in the vicinity of nuclear power plants*)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) e) (Bereich)
Baden-Württemberg			Cs-137		Pu-238 Pu-239/240
FZ Karlsruhe	2002	6	0,9	4	<0,04 <0,06
	2003	6	0,9	4	<0,03 <0,03
	2004	1	0,9	a)	
					Sr-90
Kernkraftwerk Obrigheim	2002	8	<0,9		
	2003	8	<0,8		
	2004	6	<1,0 (<0,2 - 3,9)		
Kernkraftwerk Neckarwestheim	2002	4	0,4		
	2003	8	<1,0		
	2004	2	0,6 (0,5 - 0,7)		
Kernkraftwerk Philippsburg	2002	6	<1,1	a)	
	2003	8	<2,6	a)	
	2004	4	0,6 (0,3 - 1,2)	a)	
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	2002	8	1,5		
	2003	8	3,3		
	2004	8	2,3 (0,2 - 7,6)		
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	2002	4	1,7		
	2003	4	1,8		
	2004	4	0,5 (0,2 - 1,0)		

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) e) (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
TRIGA Heidelberg	2002	2	0,4		
	2003	2	0,3		
	2004	1	0,5		
Bayern					
Kernkraftwerk Kahl	2002	2	<0,4		
	2003	a)	a)		
	2004	a)	a)		
Kernkraftwerk Gundremmingen	2002	10	<1,9		
	2003	a)			
	2004	a)			
Kernkraftwerk Isar	2002	12	<3,4		
	2003	a)			
	2004	a)			
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	2002	10	<0,5		
	2003	a)			
	2004	a)			
Forschungsreaktor München	2002	2	6,7		
	2003	a)			
	2004	a)			
					Pu-238 Pu-239/240
Framatome ANP Erlangen (KWU)	2002	4	<4,8	2	<0,004 <0,008
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Framatome ANP Karlstein (KWU)	2002	2	b)0,6; 0,3	1	<0,01 <0,01
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
			Gesamt-α-Aktivität		Sr-90
SBWK Karlstein	2002	a)			
	2003	a)			
	2004	a)			
Berlin			Cs-137		
Forschungsreaktor BERII	2002	7	<1,6		
	2003	8	<1,5)		
	2004	8	< 1,9 (<0,2 - 5,2)		
Brandenburg					
Kernkraftwerk Rheinsberg	2002	8	5,7		
	2003	8	2,9		
	2004	8	3,0 (0,4 - 11,0)		
Hessen					
Kernkraftwerk Biblis	2002	10	<0,4	a)	
	2003	10	<0,7	a)	
	2004	4	<0,3 (<0,3 - <0,4)	a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) e) (Bereich)	
					Rest-β-Akt. Bq/kg Asche	Pu-239/240 Bq/kg Asche
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche			
Nuklearbetriebe Hanau	2002	6	183	3	a)	<0,56
	2003	3	507	a)		
	2004	a)		a)		
Mecklenburg-Vorp.			Cs-137		Sr-90	
Kernkraftwerk Greifswald	2002	20	<0,7			
	2003	20	<0,5			
	2004	14	<2,9 (0,2 - 33,0)			
Zwischenlager Nord	2002	36	<2,4			
	2003	24	<0,5			
	2004	24	< 1,2 (0,1 - 5,3)			
Niedersachsen						
Kernkraftwerk Stade	2002	14	<0,9			
	2003	10	<0,7			
	2004	11	<0,7 (<0,3 - 1,2)			
Kernkraftwerk Unterweser	2002	12	<1,2	a)		
	2003	12	<0,8	a)		
	2004	9	<0,7 (<0,1 - 3,1)	a)		
Kernkraftwerk Grohnde	2002	10	<0,4	a)		
	2003	10	<0,3	a)		
	2004	7	<0,6 (<0,1 - 1,0)			
Kernkraftwerk Emsland	2002	10	<1,3			
	2003	10	1,3			
	2004	7	1,0 (0,3 - 2,0)			
Zwischenlager Gorleben	2002	20	15,8	4	10,4	
	2003	20	15,2	5	10,3	
	2004	12	23,8 (0,4 - 120,0)	2	b) 3,4; 8,3	
FMRB Braunschweig	2002	3	4,8			
	2003	4	8,1			
	2004	4	2,2 (0,6 - 4,8)			
Schacht Konrad II c)	2002	8	<2,3	a)		
	2003	4	<5,5	a)		
	2004	a)		a)		
					Sr-90	Gesamt-α-Aktivität
					Pu-238 (Bq/kgFM)	Pu-239/240 (Bq/kgFM)
Advanced Fuels Lingen	2002	4	0,8	1	<0,01	<0,01
	2003	a)		1	<0,03	<0,03(
	2004	a)		a)		

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) e) (Bereich)		
					U-234	U-235 Bq/kgFM	U-238
			Cs-137				
Advanced Fuels Lingen	2002			5	0,07	<0,008	0,06
	2003			2	0,10	b)0,004 <0,014	0,11
	2004			1	0,065	0,003	0,059
Nordrhein-Westfalen					Sr-90		
KFA Jülich	2002	9	<0,3	1	0,8		
	2003	10	<0,4	a)			
	2004	10	<0,3 (0,1 - 0,6)	a)			
Kernkraftwerk Würgassen	2002	12	<0,6				
	2003	12	<0,4	a)			
	2004	12	<0,8 (<0,3 - 1,5)	a)			
Kernkraftwerk Uentrop	2002	8	<2,3				
	2003	8	<3,4				
	2004	8	<1,2 (0,2 - 2,6)				
Zwischenlager Ahaus	2002	10	1,2	9	1,3		
	2003	9	<0,9	9	1,1		
	2004	10	<0,9 (<0,3 - 2,7)	8	1,6 (0,7 - 2,4)		
UAG Gronau			U-238 Bq/kg TM		Uran Bq/kg TM	Fluor mg/kg TM	
	2002	3	<0,5	12	<0,29	<1,6 (<1,5 - 3,0)	
	2003	4	<0,4 (<0,4 - <0,4)	16	c)<1,6 (<0,23 - 21,1)	c)<13,5 (<1,5 - 189,0)	
	2004	a)		13	<0,23 (<0,23 - 0,43)	<1,5 (<1,5 - <1,5)	
Rheinland-Pfalz			Cs-137		Sr-90		
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	2002	8	<0,4				
	2003	7	<0,4				
	2004	4	<0,5 (0,2 - 0,8)				
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	2002	a)		a)			
	2003	a)		a)			
	2004	a)		a)			
Sachsen-Anhalt					Gesamt-β-Aktivität		
Endlager Morsleben	2002	8	<0,5	4	1180		
	2003	8	<0,7	4	1000		
	2004	8	<1,2 (0,2 - 6,8)	4	1050 (930 - 1200)		
Sachsen					Sr-90		
Rossendorf	2002	8	<2,2				
	2003	16	<2,1				
	2004	8	1,0 (0,2 - 2,1)				
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	2002	4	2,3				
	2003	8	2,3				
	2004	8	2,8 (1,6 - 4,7)				

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) e) (Bereich)
Kernkraftwerk Brunsbüttel	2002	4	<0,4	a)	Sr-90
	2003	8	0,5	a)	
	2004	8	0,4 (0,2 - 0,8)	a)	
Kernkraftwerk Krümmel	2002	4	0,5	3	2,7
	2003	8	<0,7	6	0,9
	2004	8	<0,4 (<0,2 - 1,0)	6	2,4 (1,5 - 3,3)
Kernkraftwerk Brokdorf	2002	7	0,9	a)	
	2003	8	<0,6	a)	
	2004	14	<0,8 (<0,2 - 1,9)	a)	

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll

c) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Gegen diesen Beschluss wurden mehrere Klagen eingereicht. Die Schachanlage befindet sich bis zur gerichtlichen Entscheidung im Offenhaltungsbetrieb

d) Weicht die Anzahl einzelner Messungen in der letzten Spalte vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt

e) Die hohen Maximalwerte für Fluor und Uran wurden bei Wiederholungsmessungen nicht bestätigt

Tabelle 1.5.2-3 Radioaktive Kontamination der Milch aus unmittelbarer Nähe kerntechnischer Anlagen

(Radioactive contamination of milk from the close vicinity of nuclear power plants)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Bereich
Baden-Württemberg			Sr-90		Cs-137		I-131
FZ Karlsruhe	2003	2	0,03	2	<0,05	2	<0,005-<0,025
	2004	2	0,02 (0,02-0,02)	2	<0,04 (<0,03-<0,04)	a)	
Kernkraftwerk Obrigheim	2003	4	0,02	4	<0,03	10	<0,007 - <0,010
	2004	2	<0,02 (0,01-<0,02)	2	<0,05 (0,04-<0,06)	4	<0,008 - <0,009
Kernkraftwerk Neckarwestheim	2003	4	0,03	4	<0,04	10	<0,007 - <0,009
	2004	2	0,02 (0,02-0,02)	2	<0,05 (<0,05-<0,05)	5	<0,007 - <0,011
Kernkraftwerk Philippsburg	2003	4	0,03	4	<0,05	12	<0,006 - <0,045
	2004	4	0,02 (0,01-0,02)	4	<0,03 (0,02-<0,05)	12	<0,008 - <0,011
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt, Schweiz	2003	5	0,07	5	<0,05	11	<0,007 - <0,009
	2004	5	0,04 (0,02-0,05)	5	<0,04 (0,03-<0,05)	10	<0,004 - <0,011
Kernkraftwerk Fessenheim, Frankreich	2003	4	0,02	4	<0,05	7	<0,006 - <0,009
	2004	3	0,02 (0,01-0,02)	3	<0,06 (<0,05-<0,06)	8	<0,006 - <0,009
Bayern							
Kernkraftwerk Gundremmingen	2003	a)		a)		a)	
	2004	a)		a)		a)	
Kernkraftwerk Isar	2003	a)		a)		a)	
	2004	a)		a)		a)	
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	2003	a)		a)		a)	
	2004	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Bereich
Brandenburg			Sr-90		Cs-137		I-131
Kernkraftwerk Rheinsberg	2003	4	0,03	4	<0,10	a)	
	2004	4	0,02 (0,02-0,03)	4	<0,19 (<0,1-0,3)	a)	
Hessen							
Kernkraftwerk Biblis	2003	10	0,01	10	<0,08	30	<0,003 - <0,010
	2004	5	0,02 (0,002-0,04)	2	<0,02 (<0,02-<0,02)	13	<0,004 - <0,010
Mecklenburg-Vorpommern							
Kernkraftwerk Greifswald	2003	6	<0,03	6	<0,41	6	<0,088 - <0,12
	2004	4	0,02 (0,01-0,03)	5	0,15 (0,06-0,36)	3	<0,06 - <0,16
Niedersachsen							
Kernkraftwerk Stade	2003	4	0,03	4	<0,14	12	<0,005 - <0,012
	2004	2	0,02 (0,02-0,03)	2	<0,15 (<0,12-0,18)	4	<0,006 - <0,01
Kernkraftwerk Unterweser	2003	4	0,04	4	<0,09	12	<0,006 - <0,012
	2004	2	0,04 (0,03-0,04)	2	<0,16 (<0,07-0,25)	4	<0,006 - <0,012
Kernkraftwerk Grohnde	2003	4	0,02	6	<0,06	12	<0,004 - <0,013
	2004	4	0,03 (0,02-0,03)	4	<0,06 (<0,04-0,07)	6	<0,006 - <0,009
Kernkraftwerk Emsland	2003	4	0,02	4	0,13	12	<0,005 - <0,014
	2004	4	0,02 (0,02-0,03)	4	<0,10 (<0,07-0,13)	6	<0,007 - <0,021
Schacht Konrad II b)	2003	a)		2	<0,14	2	<0,09 - <0,10
	2004	a)		a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	2002	12	0,04	24	0,45	a)	I-129 µBq/l
	2003	12	0,04	24	0,45	a)	
	2004	a)		a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							I-131 Bq/l
KFA Jülich	2003	2	0,02	2	<0,09	36	<0,002 - <0,01
	2004	4	0,03 (0,03-0,03)	4	<0,14 (<0,07-<0,22)	32	<0,006 - <0,01
Kernkraftwerk Würgassen	2003	a)		a)			
	2004	a)		a)			
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	2003	a)		a)			
	2004	a)		a)			
UAG Gronau	2003	13	<0,23 (<0,23-<0,23)	13	<0,42 (<0,42-<0,42)		
	2004	12	<0,23 (<0,23-<0,23)	12	<0,42 (<0,42-<0,42)		
Rheinland-Pfalz			Sr-90		Cs-137		
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	2003	4	0,05	4	0,06	a)	
	2004	a)		2	<0,10 (<0,09-<0,10)	a)	
Kernkraftwerk Cattenom, Frankreich	2003	a)		a)		a)	
	2004	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Bereich
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben	2003	a)	Sr-90	4	<0,26	10	I-131
	2004	a)					
Sachsen Rossendorf	2003	3	0,02	4	<0,14	3	<0,04 - <0,13
	2004	2	0,03 (0,03-0,04)	4	<0,19 (<0,07-<0,54)	2	<0,002 - <0,04
Schleswig-Holstein GKSS Geesthacht	2003	4	0,05	4	<0,16	10	<0,005 - <0,009
	2004	4	0,05 (0,03-0,05)	4	<0,17 (<0,11-0,19)	12	<0,004 - <0,009
Kernkraftwerk Brunsbüttel	2003	4	0,03	4	<0,08	28	<0,008 - <0,01
	2004	4	0,04 (0,03-0,05)	4	0,07 (0,03-0,14)	32	<0,007 - <0,01
Kernkraftwerk Krümmel	2003	6	0,03	6	<0,11	20	<0,008 - <0,01
	2004	8	0,03 (0,02-0,05)	8	<0,10 (0,03-0,27)	24	<0,008 - <0,01
Kernkraftwerk Brokdorf	2003	4	0,03	4	<0,04	20	<0,008 - <0,01
	2004	8	0,03 (0,03-0,04)	8	<0,05 (0,02-0,11)	24	<0,008 - <0,01

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Gegen diesen Beschluss wurden mehrere Klagen eingereicht. Die Schachanlage befindet sich bis zur gerichtlichen Entscheidung im Offenhaltungsbetrieb

1.5.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer (*Surface water and sediment from inland waters*)

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Der vorliegende Beitrag enthält die Ergebnisse der Immissionsmessungen an Wasser- und Sedimentproben aus dem aquatischen Nahbereich kerntechnischer Anlagen gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) aus dem Jahr 2004. In die Auswertung wurden insgesamt 4870 Einzelwerte einbezogen; sie erfolgte entsprechend der Hinweise in Teil I Abschnitt 3.3.1.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in Oberflächenwasser aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte in Einzelfällen nachweisbar. Erhöhte Tritium-Gehalte (H-3) wurden in Proben gemessen, die direkt an Auslaufbauwerken genommen wurden. Die Werte betragen hier im Mittel bis ca. 2.700 Bq/l (Ems, KKW Emsland). In Folge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die H-3-Konzentrationen aber wieder zurück (siehe auch Teil I Abschnitt 3.3.1). Die Nuklidgehalte anderer relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten in der Regel die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l oder waren wegen der Vorbelastung (siehe Teil I Abschnitt 3.3.1), insbesondere Strontium-90 (Sr-90) und Cäsium-137 (Cs-137) aus anderen Quellen - Kernwaffen-Fallout und Reaktorunfall in Tschernobyl -, praktisch nicht aufzeigbar. Dies gilt auch für Jod-131 (I-131), das meist von nuklearmedizinischen Anwendungen stammen dürfte. Einzelne Bestimmungen von Plutonium-238 (Pu-238) und Pu-239/240 an Wasserproben ließen wegen der niedrigen Werte (unter 0,0003 Bq/l) kaum Auswirkungen der jeweiligen Anlage im Vorfluter erkennen (Kalter Bach, FZ Rossendorf).

In Sedimentproben aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die mittleren Gehalte der anlagenspezifischen Radionuklide überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. In wenigen direkt an Auslaufbauwerken entnommenen Sedimentproben wurden geringfügig höhere mittlere Gehalte an Kobalt-60 (Co-60) gemessen: bis 18 Bq/kg TM in der Weser (KKW Würgassen) und 37 Bq/kg TM im Hauptentwässerungskanal des FZ Jülich. Auf Grund der vergleichsweise hohen Vorbelastung an Cs-137 waren Auswirkungen dieses Radionuklids von kerntechnischen Anlagen auch hier praktisch nicht aufzeigbar. Für Alpha-Strahler wurden etwas erhöhte Werte der Gesamt-Alpha-Aktivität mit 620 Bq/kg TM im Mittel im Hirschkanal (FZ Karlsruhe) gemessen; hier konnte zudem Americium-241 (Am-241) mit 2,4 Bq/kg TM nachgewiesen werden. Andere Transurane konnten bei vereinzelt durchgeführten Bestimmungen nicht nachgewiesen werden.

Zu bedenken ist, dass von den kerntechnischen Anlagen mit den Abwässern abgegebene Radionuklide, die im Allgemeinen an Schwebstoffe sorbiert sind, über große Fließstrecken verfrachtet werden können, um in Stillwasserbereichen (Häfen, Stauhaltungen, Altarmen, Bühnenfeldern, Uferböschungen u. a.) zu sedimentieren. Im Falle einer Nutzung oder bei erforderlichen Ausbaumaßnahmen (Schifffahrt) müssen solche Flussabschnitte u. U. mit zu den "ungünstigsten Einwirkungsstellen" gezählt werden.

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser und Sediment ist aus radiologischer Sicht vernachlässigbar. (Anmerkung der Redaktion: Im Gegensatz zu anderen Umweltbereichen konnten in Oberflächenwasser und Sediment Radionuklide quantitativ nachgewiesen werden. Der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung werden gemäß der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift die Messwerte aus der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser zu Grunde gelegt (s. Kapitel II 1.4)).

Geringfügig erhöhte H-3-Gehalte traten als Folge von Ableitungen aus dem französischen KKW Cattenom in der Mosel auf mit Jahresmittelwerten bis ca. 32 Bq/l (siehe Teil I Abschnitt 3.3.1) auf. Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich die auf dem "Trinkwasser-Pfad" für Erwachsene (> 17 a; 700 l/a Konsum) von H-3 resultierende effektive Dosis zu ca. 0,40 µSv/a. Für Kleinkinder (<= 1 a; 340 l/a Konsum) beträgt der entsprechende Wert 0,70 µSv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 µSv/a nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu 0,13 bzw. 0,23% ausgeschöpft werden.

Mittlere Gehalte an Co-60 von 18 Bq/kg TM konnten an Sedimentproben aus der Weser gemessen werden. Für den Fall, dass derartiges Sohlenmaterial 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. 6 µSv/a abschätzen. Sie liegt damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 47 StrlSchV von 300 µSv/a.

Tabelle 1.5.3-1 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI
(Monitoring of bodies of water in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI)

GEWÄSSER/ KT-Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
RHEIN / KKW Beznau und Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	3	3	<8,0	<8,0	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	3	2	<8,0	13	<9,7	nn
	Co-60	nach KKW Leibstadt	3	3	<8,0	<8,0	nn	nn
		vor Aare-Einmündung	3	3	<0,0124	<0,0178	nn	nn
	Cs-137	vor KKW Leibstadt	3	3	<0,0312	<0,0371	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	3	3	<0,0293	<0,0448	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,236	<0,737	nn	-
		vor KKW Leibstadt	2	2	<0,349	<0,612	nn	-
	Cs-137	nach KKW Leibstadt	2	2	<0,397	<0,981	nn	nn
		vor Aare-Einmündung	2	0	6,72	7,64	7,18	-
	Cs-137	vor KKW Leibstadt	2	0	7,95	8,51	8,23	-
		nach KKW Leibstadt	2	0	3,98	6,41	5,20	5,49
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil	9	9	<8,0	<8,0	nn	nn
		Neuf-Brisach	9	9	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	Weil	9	9	<0,015	<0,031	nn	nn
		Neuf-Brisach	9	9	<0,0142	<0,0356	nn	nn
	Cs-137	Weil	9	9	<0,0122	<0,0327	nn	nn
Neuf-Brisach		9	9	<0,0122	<0,028	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Breisach, km 232,0	1	1	<7,23	<7,23	nn	nn
		Neuenburg/Grissheim, km 206,5	1	1	<0,53	<0,53	nn	nn
	Cs-137	Breisach, km 232,0	1	0	4,42	4,42	4,42	4,70
		Neuenburg/Grissheim, km 206,5	1	0	2,66	2,66	2,66	1,78
RHEIN / HIRSCHKANAL/ Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Hirschkanal	6	0	0,012	0,051	0,037	0,037
	Gβ	Hirschkanal	6	1	0,052	0,129	0,104	0,111
	H-3	Hirschkanal	15	11	1,1	<8,0	<5,4	nn
	Co-60	Hirschkanal	3	3	<0,0137	<0,0253	nn	nn
	Cs-137	Hirschkanal	3	3	<0,0093	<0,0217	nn	<0,0008
Sediment (Bq/kg TM)	Gα	Hirschkanal	2	0	589	650	620	590
	Gβ	Hirschkanal	2	0	1200	1300	1250	1300
	Co-60	Hirschkanal	5	5	<0,37	<2,4	nn	nn
	Cs-137	Hirschkanal	5	0	40,8	150	95	143
	Am-241	Hirschkanal	5	2	1,23	<8,1	2,4	8,0
RHEIN / KKW Philippsburg								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	10	<3,4	<8,0	<7,2	<5,6
		am Auslaufbauwerk	12	3	<8,0	62	31	36
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,0089	<0,029	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	6	6	<0,0074	<0,033	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,0078	<0,030	nn	nn
am Auslaufbauwerk		6	6	<0,0072	<0,031	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	vor Auslaufbauwerk	2	0	1,93	2,36	2,15	1,34
		nach Auslaufbauwerk	2	0	2,19	2,90	2,55	1,59
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	1	<0,518	0,775	0,653	0,842
		nach Auslaufbauwerk	3	0	1,49	3,05	2,16	8,66
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	0	13,2	16,8	14,9	20,1
nach Auslaufbauwerk		3	0	12,4	13,7	13,0	14,2	

GEWÄSSER/ KT-Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
RHEIN / KKW Biblis								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	3	<7,0	47	<18	8,2
		nach Auslaufbauwerk	4	0	5,0	46,6	18,9	115
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,02	<0,04	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,02	<0,04	nn	nn
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,02	<0,03	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,02	<0,04	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,8	<0,8	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	1	0	0,69	0,69	0,69	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	0	17	17	17	0,5
		nach Auslaufbauwerk	1	0	101	101	101	1,4
RHEIN / KKW Mülheim-Kärlich (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	6	4	<5,8	11	<7	7,8
		nach Auslaufbauwerk	6	4	<5,8	8,8	<6,6	8,5
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,0143	<0,02	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	6	6	<0,0108	<0,03	nn	nn
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,01	<0,024	nn
		nach Auslaufbauwerk	6	6	<0,0143	<0,03	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	-	-				nn
		nach Auslaufbauwerk	-	-				1,24
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	-	-				15
		nach Auslaufbauwerk	-	-				12
NECKAR / KKW Neckarwestheim								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	5	3	<4,7	19	<9	6,9
		nach Auslaufbauwerk	5	0	74	140	96	192
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,0239	<0,046	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	5	5	<0,0327	<0,049	nn	nn
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,0153	<0,062	nn
		nach Auslaufbauwerk	5	5	<0,0309	<0,062	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,746	<0,746	nn	<0,328
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,506	<0,811	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	0	4,83	4,83	4,83	4,46
		nach Auslaufbauwerk	2	0	2,73	4,78	3,76	4,44
NECKAR / KKW Obrigheim								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	5	2	<10	15	15	19,8
		nach Auslaufbauwerk	5	1	<10	33	19	23,3
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,018	<0,047	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	5	5	<0,0173	<0,026	nn	nn
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,0155	<0,042	nn
		nach Auslaufbauwerk	5	5	<0,0144	<0,03	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,655	<0,655	nn	<0,35
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,557	<0,851	nn	<0,45
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,697	<0,697	nn	0,4
		nach Auslaufbauwerk	2	0	4,02	8,8	6,4	6,22
MAIN / KKW Grafenrheinfeld								
Oberflächen- wasser (Bq/l)			a)					
Sediment (Bq/kg TM)			a)					
MAIN / Versuchsatomkraftwerk Kahl (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	2	<3,5	15	10	-
		Auslaufkanal	4	2	<3,7	12	9	-
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,012	<0,017	nn	-
		Auslaufkanal	4	4	<0,014	<0,016	nn	-
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,011	<0,015	nn
		Auslaufkanal	4	4	<0,013	<0,016	nn	-
KINZIG / DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Auslauf Kläranlage Hanau	3	3	<0,16	<0,20	nn	-

GEWÄSSER/ KT-Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
Sediment (Bq/kg GR) (GR=Glüh- rückstand)			a)					
MOSEL / KKW Cattenom (siehe auch Teil I, Abschnitt 3.3.1)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)			a)					
Sediment (Bq/kg TM)			a)					
DONAU / KKW Gundremmingen								
Oberflächen- wasser (Bq/l)			a)					
Sediment (Bq/kg)			a)					
ISAR / KKW Isar 1 und 2								
Oberflächen- wasser (Bq/l)			a)					
Sediment (Bq/kg TM)			a)					
EMS / KKW Emsland								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	7	<7,0	12	<8	nn
		am Auslaufbauwerk	8	0	110	6500	2720	2300
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0043	<0,038	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	8	8	<0,0065	<0,043	nn	nn
		vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0044	<0,010	nn	nn
Cs-137	am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0056	<0,0095	nn	<0,0050	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	4	<0,29	<0,58	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,28	<0,62	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	0	17	39	32	10
		nach Auslaufbauwerk, km 106,	4	0	18	37	25	34
WESER / KKW Würgassen (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<10	<10	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	8	8	<10	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0018	<0,05	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	8	8	<0,002	<0,05	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47,2	2	2	<1,5	<3,5	nn	nn
		am Auslaufbauwerk, km 49,6	2	0	15	20	18	13
		Wehrden, km 60,2	2	2	<1,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137	Herstelle, km 47,2	2	0	9,2	32	21	19
		am Auslaufbauwerk, km 49,6	2	0	19	29	24	25
		Wehrden, km 60,2	2	0	9,6	19	14	14
WESER /KKW Grohnde								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<3,77	<10	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	8	2	<4,98	200	105	137
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0066	<0,042	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	8	8	<0,0065	<0,044	nn	nn
		vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0065	<0,010	nn	nn
Cs-137	am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0054	<0,0098	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,22	<0,46	nn	nn
		Hameln, km 135	4	4	<0,47	<0,51	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	0	7,6	15	12	12
		Hameln, km 135	4	0	14	14	14	18
UNTERWESER / KKW Unterweser								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<10	<10	nn	<11
		am Auslaufbauwerk	8	2	<10	49,5	29	25
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0071	<0,065	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	8	8	<0,0097	<0,069	nn	nn
		vor Auslaufbauwerk	4	3	0,0073	<0,010	<0,008	nn
Cs-137	am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0066	<0,013	nn	nn	

GEWÄSSER/ KT-Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	0	0,69	1,00	0,81	0,53
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	0,38	0,80	0,53	0,51
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	0	8,2	11	10	7
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	4,2	6,6	5,4	5,7
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Selhausen	30	30	<10	<10	nn	nn
		Jülich-Süd	30	30	<10	<10	nn	nn
	Co-60	Selhausen	30	30	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	30	30	<0,05	<0,05	nn	nn
	Gα	Selhausen	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Selhausen	2	2	<1,5	<4,8	nn	nn
		Jülich-Süd	2	2	<2,9	<3,7	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	0	12	15	14	18
		Jülich-Süd	2	0	20	26	23	20
DINKEL/ GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Retentionsanlage	4	1	<0,06	0,07	<0,07	0,09
		Goorbach ,unterhalb der Straßen- kreuzung	4	3	<0,06	0,06	<0,06	<0,06
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Retentionsanlage	2	2	<2,5	<2,6	nn	nn
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<2,1	<2,5	nn	nn
	Cs-137	Retentionsanlage	2	0	55	56	56	44
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	0	33	39	36	27
AHAUSER AA / MOORBACH / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,2	<0,2	nn	nn
	Rβ		4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
	H-3		4	4	<10	<10	nn	nn
	Co-60		4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Einleitung Moorbach	4	4	<1,4	<4,2	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<1,3	<2,4	nn	nn
	Cs-137	Einleitung Moorbach	4	0	27	36	32	32
		Ahauser Aa	4	0	31	61	49	43
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<5,8	<10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<5,8	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,018	<0,035	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,017	<0,040	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,019	<0,031	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,017	<0,032	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,43	<0,92	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,45	<1,1	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	2	0,55	<0,89	0,70	0,7
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,48	<1,1	nn	<0,7
ELBE / KKW Krümmel								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	16	<5,7	<6,5	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	16	16	<5,7	<6,5	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,009	<0,024	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	24	24	<0,006	<0,023	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,011	<0,025	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	24	24	<0,0076	<0,026	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 580	4	4	<0,8	<1,1	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 582	4	4	<0,8	<1,1	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 580	4	1	0,69	2,8	1,4	1,4
		nach Auslaufbauwerk, km 582	4	1	0,8	<1,1	0,9	<0,9

GEWÄSSER/ KT-Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
ELBE / KKW Brokdorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	13	<5,14	9,6	<6,0	nn
		am Auslaufbauwerk	16	1	<5,11	37,6	19,8	22
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,042	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	16	16	<0,011	<0,044	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	16	16	<0,011	<0,047	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,011	<0,047	nn	nn	
	am Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,05	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,73	<1,6	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,74	<0,92	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	0,75	4,9	2,2	3,7
		nach Auslaufbauwerk	4	3	0,57	<0,99	<0,82	nn
ELBE / KKW Stade (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	4	1,2	<10	2,1	nn
		am Auslaufbauwerk	13	3	<5,7	1100	428	64
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	13	<0,0011	<0,015	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	13	13	<0,0094	<0,023	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	4	0,0015	<0,011	0,003	nn
am Auslaufbauwerk		13	13	<0,0071	<0,025	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	4	<0,16	<0,42	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	4	<0,31	<0,49	nn	<0,29
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	0	1,8	8,3	4,4	17
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	0	4,7	9,4	7,2	6,0
ELBE / KKW Brunsbüttel								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	24	24	<4,39	<6,1	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	24	22	<4,39	134	<16	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0092	<0,024	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	24	24	<0,0093	<0,026	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0035	0,0046	0,0041	0,0047
		am Auslaufbauwerk	12	0	0,0037	0,0048	0,004	0,0048
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	20	0,0057	<0,025	<0,017	<0,01
am Auslaufbauwerk		24	21	0,0087	<0,027	<0,018	<0,010	
Pu-238 Pu-239/240	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	nn	
	am Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	0,00017	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	5m oberhalb Auslaufbauwerk	4	4	<1,4	<1,6	nn	nn
		5m unterhalb Auslaufbauwerk	4	4	<0,83	<1,7	nn	nn
	Sr-90	5m oberhalb Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	0,13
		5m unterhalb Auslaufbauwerk	4	0	2,9	4,1	3,3	4,5
	Cs-137	5m oberhalb Auslaufbauwerk	4	1	<0,83	4,7	2,7	3,5
		5m unterhalb Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	0,015
	Pu-238 Pu-239/240	5m oberhalb Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	0,0078
5m unterhalb Auslaufbauwerk		-	-	-	-	-	0,091	
ELBE / TBL/PKA Gorleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schnackenburg, km 474,6	8	0	1,84	4,0	2,6	1,9
		Dömitz, km 504,4	8	0	1,9	3,16	2,6	1,1
	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	8	8	<0,0010	<0,022	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	8	8	<0,0008	<0,0071	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	12	8	0,0003	<0,018	<0,004	nn
		Dömitz, km 504,4	12	5	0,0003	<0,0072	0,0007	0,0008
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,0005	<0,0007	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,0005	<0,0007	nn	nn
	Pu-239/240	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,0005	<0,0007	nn	nn
Dömitz, km 504,4		2	2	<0,0005	<0,0007	nn	nn	

GEWÄSSER/ KT-Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	4	4	<0,20	<0,29	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	4	4	<0,15	<0,69	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	4	0	9,4	17	13	11
		Dömitz, km 504,4	4	0	0,74	22	10	27
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,093	<0,14	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,085	<0,15	nn	nn
Pu-239/240	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,093	<0,14	nn	nn	
	Dömitz, km 504,4	2	2	<0,085	<0,15	nn	nn	
HAVEL / KKW Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	50m vor Auslaufstelle	5	5	<4,6	<10	nn	nn
		50m nach Auslaufstelle	5	5	<4,6	<10	nn	nn
	Co-60	50m vor Auslaufstelle	16	16	<0,0008	<0,0059	nn	nn
		50m nach Auslaufstelle	16	16	<0,001	<0,007	nn	<0,0022
	Cs-137	50m vor Auslaufstelle	16	0	0,004	0,011	0,006	0,004
50m nach Auslaufstelle		16	0	0,0045	0,0088	0,006	0,0045	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	50m vor Auslaufstelle	3	1	0,10	<0,17	0,15	0,30
		50m nach Auslaufstelle	3	2	<0,08	0,20	<0,13	0,2
	Cs-137	50m vor Auslaufstelle	3	0	7,6	21	16	18
		50m nach Auslaufstelle	3	0	2,9	9,1	5,6	5,4
GREIFSWALDER BODDEN / KKW Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	20	19	<4,6	<5,0	<4,9	<4,3
		nach Auslaufbauwerk	12	12	<5,0	<5,0	nn	<4,5
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	20	20	<0,0022	<0,049	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	12	12	<0,028	<0,049	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	20	12	0,0089	<0,063	<0,036	0,027
		nach Auslaufbauwerk	12	11	<0,021	0,074	<0,044	0,030
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,18	<0,34	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,2	<0,22	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	0	4,8	7,8	6,6	6,87
		nach Auslaufbauwerk	3	0	5,5	9,5	7,8	5,83
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Salzbach	4	4	<4,0	<4,0	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<4,0	<4,0	nn	nn
	Co-60	vor Salzbach	4	4	<0,005	<0,007	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,006	<0,006	nn	nn
	Cs-137	vor Salzbach	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
	Gß	vor Salzbach	12	0	0,32	0,48	0,41	0,36
nach Salzbach		12	0	0,40	0,58	0,49	0,45	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schwanefeld	1	1	<0,18	<0,18	nn	<0,17
		Belsdorf	1	1	<0,29	<0,29	nn	<0,13
	Cs-137	Schwanefeld	1	0	4,4	4,4	4,4	5,8
		Belsdorf	1	0	5,3	5,3	5,3	3,8
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungszentrum Rossendorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kalter Bach	8	0	47	390	230	66
		Wesenitz, Dittersbach	2	1	<5	6,7	<5,9	9,3
	Co-60	Kalter Bach	8	1	<0,0053	0,015	0,011	0,011
		Wesenitz, Dittersbach	2	2	<0,0054	<0,0055	nn	<0,0027
	Cs-137	Kalter Bach	4	2	0,0026	0,0062	0,004	0,009
	Pu-238	Kalter Bach	4	3	<0,0001	0,001	<0,0003	-
		Kalter Bach	4	0	0,0002	0,0005	0,0003	-
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	3	0	1,5	2,3	2,0	3,2
		Wesenitz, Dittersbach	2	2	<0,13	<0,22	nn	-
		Elbe unterhalb d. Wesenitz	2	2	<0,12	<0,36	nn	-
	Cs-137	Kalter Bach	3	0	8,0	12	10	16
		Wesenitz, Dittersbach	2	0	3,9	4,2	4,1	8,0
		Elbe unterhalb d. Wesenitz	2	0	2,0	19	11	1,2

- a) Daten lagen nicht vor
nn nicht nachgewiesen / nachweisbar
- Messung / Angabe nicht erforderlich

1.5.4 Fische und Wasserpflanzen (Fish and aquatic plants)

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

Der vorliegende Beitrag enthält Messergebnisse der Radioaktivität in Fischen und Wasserpflanzen, die im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern erhalten wurden. Im Berichtsjahr 2004 wurden für 21 kerntechnische Anlagen γ -spektrometrische Messungen (vor allem Cäsium-137) an 80 Fischfleischproben und 8 Wasserpflanzenproben durchgeführt; Strontium-90-Messungen wurden an 10 Fischfleischproben und an 6 Wasserpflanzenproben im Stechlinsee durchgeführt. Die statistische Auswertung der Daten wurde wie im Teil I, Kapitel 3.4.3 beschrieben durchgeführt. Die Radioaktivitätsdaten in Fischen und Wasserpflanzen sind in Tabelle 1.5.4-1 - nach Fließgewässer und überwachter Anlage sortiert - zusammengefasst.

Im Herbst 2004 wurden von der Leitstelle erstmalig effektive Halbwertszeiten ermittelt, mit denen die Cs-137-Aktivität seit etwa Anfang 1992 in Fischen der Flüsse abnimmt. Es wurde gefolgert, dass das Cäsium in Flüssen praktisch vollständig auf den Eintrag von Tschernobyl-Cäsium aus den Gewässereinzugsgebieten zurückgeht, die erstaunlich gut übereinstimmenden Werte der effektiven Halbwertszeiten belegen dies. Der Medianwert der Halbwertszeiten lag bei etwa 6 Jahren. Daraus ergibt sich eine jährliche Abnahme von ca. 10% für Cs-137 in Fischen. Dies wiederum deckt sich sehr gut mit den unabhängig davon auch schon in den Vorjahresberichten angeführten jährlichen Rückgängen von Cs-137 (im anlagenweisen Vergleich) in etwa dieser Größe. In Fließgewässern wurde Cäsium-134 im Fisch nicht nachgewiesen.

Die im Messprogramm für das außer Betrieb befindliche Kernkraftwerk Rheinsberg erhaltenen höheren Cs-137-Gehalte im Fisch sind darauf zurückzuführen, dass die Proben nicht einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee und Ellbogensee) entnommen wurden. Bedingt durch den Ostsee-Einfluss im Greifswalder Bodden weisen die dort im Überwachungsprogramm des außer Betrieb befindlichen Kernkraftwerks Greifswald genommenen Proben ebenfalls höhere Cäsium-Gehalte auf. Der Maximalwert beim Atomkraftwerk Emsland geht auf zwei Hechtproben zurück, deren Cs-137-Werte etwa 20fach höher als in Brachsen waren, was die u. a. durch den Einfluss der Nahrungskette bedingte mögliche Variabilität von Cs-137 in Fischen an einem Standort eindrucksvoll belegt.

Bei den wenigen in Tabelle 1.5.4-1 mit aufgenommenen Messdaten von Wasserpflanzen, die als Indikatoren für im Wasser vorhandene künstliche Radionuklide dienen, insbesondere aus Ableitungen kerntechnischer und klinischer Anlagen, sind keine Besonderheiten festzustellen.

Tabelle 1.5.4-1 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen 2004 (im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)
(*Specific activity in fish and aquatic plants in the year 2004 - within the framework of ambient surveillance for nuclear plants*)
(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG)

Fluss	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Fisch (Bq/kg) FM							
Donau	KGG Gundremmingen		a)				
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	6	0	0,19	0,34	0,25
	KKK Krümmel	Cs-137	4	0	0,16	0,23	0,21
	PKA Gorleben	Cs-137	4	0	0,23	0,43	0,28
	KKS Stade	Cs-137	4	0	0,18	0,59	0,27
	KBR Brokdorf		Sr-90	6	6	<0,007	<0,011
		Cs-137	6	0	0,22	0,56	0,30
	KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	0	0,11	0,74	0,25
Ems	KKE Emsland	Cs-137	7	0	0,19	6,7	1,5
Greifswalder Bodden	Greifswald	Cs-137	8	0	1,0	17	8,0
Sacrower See	HMI Berlin	Cs-137	1	0	13	13	13
Wannsee	HMI Berlin	Cs-137	1	0	2,8	2,8	2,8
Isar	KKI 1/2 Isar		a)				
	FRM		a)				
Main	KKG Grafenrheinfeld		a)				
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	1	1	<0,12	<0,12	<0,12
	KWO Obrigheim	Cs-137	2	2	<0,076	<0,13	<0,10

Fluss	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Rhein	Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,09	0,13	0,11
		Biblis	Sr-90	4	1	0,017	0,032
	Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	1	0,066	0,13	0,088
		Cs-137	5	1	0,092	0,21	0,12
		KKP Philippsburg	Cs-137	2	0	0,11	0,12
Rur	FZ Jülich	Cs-137	1	0	0,21	0,21	0,21
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-137	3	0	9	170	57
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	1	0	9,6	9,6	9,6
Weser	KWG Grohnde	Cs-137	6	0	0,054	0,099	0,077
	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,18	0,55	0,37
Wasserpflanzen (Bq/kg) TM							
Ahauser Aa	Ahaus	I-131	1	0	2,6	2,6	2,6
		Cs-137	1	0	1,2	1,2	1,2
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Sr-90	6	0	0,92	5,3	2,2
		Cs-137	6	0	1,6	34	5,7
Isar	FRM Garching		a)				
	KKI 1/2 Isar		a)				

a) Daten lagen nicht vor

In der Tabelle 1.5.4-2 sind nachträglich bei der Leitstelle eingegangene Daten aufgeführt, die zu den Terminen der Erstellung der betreffenden früheren Jahresberichte nicht bzw. nur in deutlich kleinerer Anzahl zur Verfügung standen.

Tabelle 1.5.4-2 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen (im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen): Nachträge zu früheren Jahren (*Specific activity in fish and aquatic plants (within the framework of ambient surveillance for nuclear plants): Supplement to earlier years*)
(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG)

Fluss	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Fisch (Bq/kg) FM							
Nachtrag zu 2003:							
Griebnitzsee	HMI Berlin	Cs-137	1	0	0,66	0,66	0,66
Havel/ Pfaueninsel	HMI Berlin	Cs-137	1	0	0,83	0,83	0,83
Rhein	Biblis	Sr-90	6	0	0,011	0,031	0,020
		Cs-137	8	0	0,06	0,17	0,11
Nachtrag zu 2002:							
Donau	KGG Gundremmingen	Cs-137	6	1	<0,091	0,30	0,19
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	0	0,19	0,94	0,29
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	1	<0,19	0,71	0,34
		VAK Kahl	Cs-137	2	1	<0,17	1,4
Wasserpflanzen (Bq/kg) TM							
Nachtrag zu 2002:							
Donau	KGG Gundremmingen	Cs-137	2	0	22	44	33
Isar	KKI 1/2 Isar	Co-60	1	0	0,36	0,36	0,36
		I-131	1	0	40	40	40
		Cs-134	1	0	0,15	0,15	0,15
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	1	0	33	33	33
		Cs-137 a)	2	0	0,29	0,32	0,31

a) Werte in Bq/kg FM

1.5.5 Grundwasser und Trinkwasser (Groundwater and drinking water)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind im Jahr 2004 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 1.5.5-1 zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze, der Minimal- und der Maximalwert sowie der Median der Aktivitätskonzentration.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 152 Grundwasserentnahmestellen gemeldet.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cäsium-137 liegen bei acht oberflächennahen Grundwasserproben in einem Bereich von 4,8 mBq/l bis 18 mBq/l. Bei allen anderen Grundwasserproben konnte Cäsium-137 nicht nachgewiesen werden. Die dabei aufgetretenen Nachweisgrenzen von 0,12 bis 60 mBq/l (2003: 0,11 bis 90 mBq/l) werden im Wesentlichen durch das Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers bestimmt. Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei < 23 mBq/l (2003: < 30 mBq/l).

In 50% der gemessenen Proben konnte Strontium-90 mit Aktivitätskonzentrationen von 0,84 bis 11 mBq/l (2003: 2,4 bis 11 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median liegt bei 4,1 mBq/l (2003: 4,4 mBq/l). Im Gegensatz zum Cäsium-137 (Halbwertszeit 30 Jahre) wird das ebenfalls langlebige Strontium-90 (Halbwertszeit 28,5 Jahre) nur wenig bei der Bodenpassage zurückgehalten und deshalb häufiger in Grundwässern nachgewiesen.

Die berichtete Gesamt- α -Aktivitätskonzentration liegt zwischen 0,036 und 4,5 Bq/l (2003: 0,020 bis 0,12 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von < 0,2 Bq/l (2003: < 0,08 Bq/l).

Die Rest- β -Aktivitätskonzentration wurde in 24 Proben gemessen. Alle Werte lagen unterhalb der gefundenen Nachweisgrenzen (2003: alle Werte unterhalb der Nachweisgrenze). Der Median aller Werte beträgt < 0,10 Bq/l (2003: < 0,10 Bq/l).

In 15% der untersuchten Wasserproben wurde Tritium im Konzentrationsbereich von 0,82 bis 180 Bq/l nachgewiesen (2003: 0,71 Bq/l bis 190 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei < 5,3 Bq/l (2003: < 6,5 Bq/l). Die Werte liegen damit teilweise deutlich über den derzeitigen Werten im Niederschlag, die zwischen 1 und 2 Bq/l liegen.

Die maximalen Tritiumkonzentrationen von bis zu 180 Bq/l (2003: bis 190 Bq/l) wurden - wie in den vergangenen Jahren - an Probenentnahmestellen für oberflächennahes Grundwasser auf dem Gelände des Freilagers für radioaktive Abfälle des Forschungszentrums Rossendorf gefunden. Bei diesen Stichproben wurden auch Kobalt-60-Kontaminationen von bis zu 0,14 Bq/l (2003: 0,3 Bq/l) ermittelt. Die erhöhten Tritium- und Co-60-Werte im Grundwasser sind auf eine Kontamination des Untergrundes auf dem Betriebsgelände infolge von Leckagen an (inzwischen nicht mehr genutzten) Beton-Abklingbecken für kontaminierte Wässer zurückzuführen. Alle Proben außerhalb des Forschungsstandortes weisen Tritium-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 6 Bq/l auf.

Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Schachanlage Asse festgestellten Radionuklide sind natürlichen Ursprungs oder im Fall von Sr-90 eine Folge des globalen Fallouts.

Trinkwasser

Im Jahr 2004 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen Messwerte von 19 Reinwasser- und 17 Rohwasser-Entnahmestellen beprobt.

Für Cäsium-137 wurden zwei Messwerte (1,0 und 3,9 mBq/l) oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,097 mBq/l bis 50 mBq/l (2003: 0,1 mBq/l bis 60 mBq/l) ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei < 15 mBq/l (2003: < 16 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für Strontium-90 liegen zwischen 0,22 mBq/l und 4,9 mBq/l (2003: 0,22 bis 4,4 mBq/l) mit einem Median aller Werte von 2,0 mBq/l (2003: 3,6 mBq/l).

Die Werte für die Gesamt- α -Aktivitätskonzentrationen liegen von 31 bis 50 mBq/l (2003: 48 und 56 mBq/l). Der Median lag bei 41 mBq/l (2003: 52 mBq/l).

In 15 Proben (von 75 gemessenen Proben) wurde Tritium in Konzentrationen zwischen 0,72 und 95 Bq/l (2003: 0,82 bis 44 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei < 6,5 Bq/l (2003: < 5,8 Bq/l). Die über den derzeitigen Werten im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegenden Werte sind auf den Eintrag von Oberflächen-

wasser (z. B. als Uferfiltrat) zu erklären, das durch Tritium-Emissionen aus dem Abwasser kerntechnischer Anlagen belastet ist.

Alle Werte über 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 weisen Tritiumkonzentrationen 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.

Eine Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Wege über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition vernachlässigbar klein.

Tabelle 1.5.5-1 Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen 2004
(Grundwasser und Trinkwasser)
(*Surveillance of the surroundings of nuclear facilities in 2004*
groundwater and drinking water)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt ^{b)}	Anzahl < NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane
Grundwasser in Bq/l							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	131	79	0,011	8,7		< 0,4
	Co-60	382	368	0,013	0,14		< 0,034
	Cs-137	262	254	0,0048	0,018		< 0,023
	H-3	397	337	0,82	180		< 5,3
	Sr-90	30	15	0,00084	0,011		0,0041
	R-Beta	24	24				< 0,1
	G-Alpha	83	28	0,036	4,5	1,3	< 0,2
Trinkwasser in Bq/l							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	52	38	0,026	0,48		< 0,38
	Co-60	62	62				< 0,018
	Cs-137	63	61	0,001	0,0039		< 0,015
	H-3	75	60	0,72	95		< 6,5
	Sr-90	20	13	0,00022	0,0049		0,002
	G-Alpha	2	0	0,031	0,050	0,041	0,041

- a) Liegen mehr als 50% der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert- und der Maximalwert angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet
- b) Gemäß REI-Messprogramm ist bei der γ -Spektrometrie die Einhaltung der Nachweisgrenze nur für das Radionuklid Co-60 vorgeschrieben, d. h. für andere γ -strahlende Radionuklide müssen die Nachweisgrenzen von der Messstelle nicht angegeben werden. Da nicht alle Messstellen die Nachweisgrenzen für Cs-137 und K-40 mitteilen, kann für diese Nuklide die Anzahl der gemeldeten Werte kleiner als bei Co-60 sein

1.5.6 Pflanzliche Nahrungsmittel (Foodstuffs of vegetable origin)

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Lebensmittel und Ernährung, Kiel

Hinsichtlich der radioökologischen Situation in der Umgebung kerntechnischer Anlagen und den beobachteten Schwankungen der Messwerte in diesen Bereichen gelten die gleichen Ausführungen, die bereits in den Kapiteln I 3.2 und I 3.4.2 gemacht wurden. Auch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahre 1986 geprägt.

Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Gemüse und Getreide in den Tabellen 1.5.6-1 und 1.5.6-2, für Obst in Tabelle 1.5.6-3 und für Kartoffeln in Tabelle 1.5.6-4 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 1.5.6-1 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)	
Baden-Württemberg	FZ Karlsruhe		Cs-137		Sr-90	
		2002	11	<0,04	5	<0,11
		2003	17	<0,05	2	0,11
		2004	9	<0,07 (<0,02 - 0,27)	3	0,11 (0,02 - 0,29)
	Kernkraftwerk Obrigheim	2002	20	<0,07	15	0,13
		2003	17	<0,07	11	0,13
		2004	6	<0,08 (<0,06 - <0,09)	4	0,11 (0,05 - 0,16)
	Kernkraftwerk Neckarwestheim	2002	21	<0,09	15	0,12
		2003	21	<0,07	11	0,11
		2004	7	<0,08 (<0,06 - <0,09)	3	0,14 (0,12 - 0,16)
	Kernkraftwerk Philippsburg	2002	8	<0,06	4	0,12
		2003	8	<0,05	4	0,06
		2004	4	<0,03 (0,02 - <0,04)	2	0,05 (0,01 - 0,10)
	Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	2002	8	<0,07	7	0,25
		2003	16	<0,09	11	0,24
		2004	12	<0,06 (0,04 - 0,10)	6	0,52 (0,05 - 0,71)
	Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	2002	22	<0,19	10	0,17
		2003	29	<0,09	5	0,15
		2004	15	<0,11 (<0,07 - <0,18)	4	0,14 (0,09 - 0,21)
	Bayern					
	Kernkraftwerk Gundremmingen	2002	1	2,3	1	0,15
2003		a)		a)		
2004		a)		a)		

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)	
Isar	2002	1	<0,2	1	0,1	
	2003	a)		a)		
	2004	a)		a)		
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	2002	3	<0,1	3	0,18	
	2003	a)		a)		
	2004	a)		a)		
Berlin						
Forschungsreaktor BERII	2002	14	<0,20	5	0,23	
	2003	11		6		0,33
	2004	11		3		0,17 (0,04 - 0,26)
Brandenburg						
Kernkraftwerk Rheinsberg	2002	11	<0,13	11	0,32	
	2003	10		10		0,22
	2004	18		14		0,11 (0,01 - 0,27)
Hessen						
Kernkraftwerk Biblis	2002	10	<0,07	10	0,11	
	2003	16		16		0,08
	2004	a)		a)		
		Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		Pu-238 Bq/kg Asche Pu-239/240 Bq/kg Asche		
Nuklearbetriebe Hanau	2002	-		1	<0,08	<0,07
	2003	-		a)		
	2004	-		a)		
Mecklenburg-Vorp.						
Kernkraftwerk Greifswald	2002	7	<0,09	7	0,17	
	2003	2		2		0,03
	2004	2		2		0,14 (0,03 - 0,26)
Niedersachsen						
Kernkraftwerk Emsland	2002	7	<0,11	7	0,28	
	2003	5		5		0,15
	2004	7		7		0,24 (0,08 - 0,38)
Kernkraftwerk Grohnde	2002	7	<0,08	7	0,19	
	2003	4		4		0,08
	2004	5		5		0,18 (0,10 - 0,28)
Kernkraftwerk Stade	2002	5	<0,15	5	0,30	
	2003	5		5		0,27
	2004	4		4		0,14 (0,06 - 0,26)
Kernkraftwerk Unterweser	2002	7	<0,11	6	0,08	
	2003	7		7		0,10
	2004	7		7		0,09 (0,04 - 0,21)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
Schacht Konrad II c)	2002	1	<0,13	1	0,55
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Nordrhein-Westfalen					
KFA Jülich	2002	5	<0,20	5	0,20
	2003	7	<0,08	7	0,14
	2004	10	<0,14 (<0,07 - <0,23)	10	<0,20 (<0,005 - 0,49)
			Fluor (mg/kg TM)		Uran (Bq/kg TM)
					U-238 (Bq/kg TM)
UAG Gronau	2002	2	2,9	2	0,30
	2003	5	3,5	5	<0,9
	2004	5	<2,1 (<1,5 - 3,3)	5	<0,26 (<0,23-0,33)
					<0,3 (<0,3 - <0,3) N=3
Rheinland-Pfalz					
			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	2002	a)	<0,05	1	0,1
	2003	1			
	2004	2			
			<0,06 (<0,06 - <0,06)	a)	
Sachsen					
Rosendorf	2002	a)	<0,05	a)	0,13
	2003	2		1	
	2004	1		1	
			<0,1	1	0,13
Sachsen-Anhalt					
Endlager Morsleben	2002	2	<0,14	1	0,13
	2003	2	<0,18	2	0,36
	2004	2	<0,2 (<0,19 - <0,21)	1	0,19
Schleswig-Holstein					
GKSS	2002	1	<0,14	1	0,11
Geesthacht	2003	1	<0,11	1	0,14
	2004	1	<0,10	1	0,15
Kernkraftwerk Krümmel	2002	1	0,07	1	0,14
	2003	1	<0,06	1	0,04
	2004	2	<0,06 (<0,04 - 0,08)	2	0,08 (0,06 - 0,09)
Kernkraftwerk Brunsbüttel	2004	1	<0,07		

a) Daten lagen nicht vor

b) Weicht die Anzahl einzelner Messungen vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt

c) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Gegen diesen Beschluss wurden mehrere Klagen eingereicht. Die Schachanlage befindet sich bis zur gerichtlichen Entscheidung im Offenhaltungsbetrieb

Tabelle 1.5.6-2 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kern-technischer Anlagen: Getreide
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
Baden-Württemberg			Cs-137		Sr-90
FZ Karlsruhe	2002	9	<0,08	1	0,22
	2003	10	<0,07	7	0,18
	2004	7	<0,07 (<0,04 - <0,10)	2	0,32 (0,31 - 0,32)
Kernkraftwerk Obrigheim	2002	7	<0,07	4	0,10
	2003	6	<0,09	3	0,13
	2004	3	<0,12 (<0,12 - <0,13)	a)	
Kernkraftwerk Neckarwestheim	2002	6	<0,07		
	2003	6	<0,07	3	0,11
	2004	1	<0,09	a)	
Kernkraftwerk Philippsburg	2002	4	<0,08	1	0,07
	2003	5	<0,08	3	0,14
	2004	7	<0,07 (<0,05 - <0,13)	4	0,15 (0,05 - 0,42)
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	2002	4	<0,06	4	0,29
	2003	7	<0,07	4	0,27
	2004	2	<0,08 (<0,08 - <0,09)	2	0,22 (0,07 - 0,37)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	2002	5	<0,06	4	0,24
	2003	7	<0,09	3	0,19
	2004	3	<0,09 (<0,08 - <0,10)	3	0,20 (0,12 - 0,27)
Bayern					
Kernkraftwerk Gundremmingen	2002	2	<0,2	2	0,06
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Kernkraftwerk Isar	2002	5	<0,2	5	<0,3
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	2002	2	<0,1	2	0,09
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
			Gesamt-α-Aktivität		
SBWK	2002	a)		a)	
Karlstein	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Berlin			Cs-137		
Forschungsreaktor BerIII	2002	a)			
	2003	a)			
	2004	a)			

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
Brandenburg			Cs137		Sr-90
Kernkraftwerk Rheinsberg	2002	7	<0,38	7	0,15
	2003	4	<0,14	4	<0,09
	2004	a)		a)	
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		Pu-238 Bq/kg Asche
Nuklearbetriebe Hanau	2002			a)	
	2003			a)	
	2004			a)	
Mecklenburg-Vorp.			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Greifswald	2002	8	<0,13	8	0,27
	2003	5	<0,12	5	0,20
	2004	7	<0,12 (<0,10 - <0,18)	7	0,16 (0,08 - 0,36)
Niedersachsen					
Kernkraftwerk Emsland	2002	a)		a)	
	2003	a)		a)	
	2004	1	<0,17	1	0,55
Kernkraftwerk Grohnde	2002	a)		a)	
	2003	a)		a)	
	2004	2	<0,14 (<0,12 - <0,15)	2	0,43 (0,24 - 0,61)
Kernkraftwerk Stade	2002	a)		a)	
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Kernkraftwerk Unterweser	2002	1	<0,08	1	0,37
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Schacht Konrad II c)	2002	4	<0,21	3	0,21
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Nordrhein-Westfalen					
Zwischenlager Ahaus	2002	a)		a)	
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
KFA Jülich	2002	4	<0,22	4	0,14
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
			Fluor (mg/kg TM)		Uran (Bq/kg TM)
UAG Gronau	2002	18	<1,5	18	<0,30
	2003	20	<1,6	20	<0,23
	2004	18	<1,5 (<1,5 - <1,5)	18	<0,23 (<0,23 - <0,23)
Rheinland-Pfalz					
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	2002	a)		a)	
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
Sachsen-Anhalt			Cs-137		Sr-90
Endlager Morsleben	2002	5	<0,16	1	0,06
	2003	4	<0,16	1	0,18
	2004	4	0,16 (<0,13 - <0,19)	1	0,22
Schleswig-Holstein					
GKSS	2002	1	<0,11	1	0,27
Geesthacht	2003	1	<0,10	1	0,29
	2004	1	<0,16	1	0,23
Kernkraftwerk Brunsbüttel	2002	2	<0,09	2	0,06
	2003	2	<0,09	2	0,13
	2004	2	<0,10 (<0,09 - <0,10)	2	0,13 (0,11 - 0,14)
Kernkraftwerk Krümmel	2002	2	<0,06	2	0,18
	2003	2	<0,04	1	0,21
	2004	2	<0,06 (0,03 - <0,10)	2	0,32 (0,31 - 0,33)

- a) Daten lagen nicht vor
b) Weicht die Anzahl einzelner Messungen vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt
c) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Gegen diesen Beschluss wurden mehrere Klagen eingereicht. Die Schachanlage befindet sich bis zur gerichtlichen Entscheidung im Offenhaltungsbetrieb

Tabelle 1.5.6-3 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
Baden-Württemberg			Cs-137		Sr-90
FZ Karlsruhe	2002	6	<0,03	2	0,15
	2003	6	<0,03	1	0,38
	2004	3	<0,05 (<0,03 - <0,07)	1	0,34
Kernkraftwerk Obrigheim	2002	5	<0,06	2	0,13
	2003	8	<0,06	2	0,05
	2004	4	<0,05 (<0,03 - <0,08)	3	0,10 (0,05 - 0,17)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	2002	3	<0,06	a)	
	2003	5	<0,09	2	0,09
	2004	2	<0,05 (<0,04 - <0,05)	2	0,08 (0,07 - 0,09)
Kernkraftwerk Philippsburg	2002	5	<0,06	3	0,19
	2003	3	<0,09	1	0,18
	2004	5	<0,08 (<0,04 - <0,11)	1	0,02
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt	2002	4	<0,05		
	2003	8	<0,06		
	2004	6	<0,06 (<0,03 - <0,10)		
Kernkraftwerk Fessenheim	2002	4	<0,81	a)	
	2003	2	<0,08	2	0,22
	2004	6	<0,09 (<0,07 - <0,13)	2	0,24 (0,23 - 0,24)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
Bayern			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Gundremmingen	2002	1	0,38	1	0,02
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	2002	3	<0,1	3	0,05
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Berlin					
Forschungsreaktor BERII	2002	7	<0,13	6	0,07
	2003	7	<0,11	1	0,07
	2004	4	<0,11 (<0,05 - 0,16)	1	0,05
Brandenburg					
Kernkraftwerk Rheinsberg	2002	1	<0,14	1	0,15
	2003	1	<0,16	1	0,11
	2004	a)		a)	
Hessen					
Kernkraftwerk Biblis	2002	10	<0,03	10	0,03
	2003	5	<0,03	5	0,04
	2004	a)		a)	
Mecklenburg-Vorp.					
Kernkraftwerk Greifswald	2002	15	<0,14	15	<0,13
	2003	12	<0,12	12	0,11
	2004	14	<0,15 (<0,05 - <0,40)	8	0,06 (0,006 - 0,18)
Niedersachsen					
Kernkraftwerk Emsland	2002	a)		a)	
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Kernkraftwerk Grohnde	2002	a)		a)	
	2003	1	0,06	1	0,02
	2004	a)		a)	
Kernkraftwerk Stade	2002	2	<0,09	2	0,06
	2003	2	<0,06	2	0,05
	2004	3	<0,08 (<0,06 - <0,09)	3	<0,04 (<0,02 - 0,06)
Kernkraftwerk Unterweser	2002	1	<0,06	1	0,04
	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
Schacht Konrad II c)	2002	2	<0,09	2	0,08
	2003	1	<0,08	a)	
	2004	a)		a)	
Nordrhein-Westfalen					
KFA Jülich	2002	a)		a)	
	2003	a)		a)	
	2004	1	<0,2	1	0,03

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)	
UAG Gronau	2002	a)	Fluor (mg/kgTM) <1,5	a)	Uran (Bq/kgTM) <0,23	U-238 (Bq/kgTM) <0,3(<0,3-<0,3) N=4
	2003	1		1		
	2004	a)		a)		
Rheinland-Pfalz			Cs-137		Sr-90	
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	2002	8	<0,03	8	0,03	
	2003	4	<0,04	4	0,03	
	2004	2	<0,04 (<0,03 - <0,04)	a)		
Sachsen						
Rosendorf	2002	a)		a)		
	2003	1	<0,09	1	0,04	
	2004	1	<0,08	1	0,02	
Sachsen-Anhalt						
EndlagerMorsleben	2002	5	<0,15	3	<0,05	
	2003	5	<0,13	2	<0,03	
	2004	3	<0,13 (<0,11 - <0,15)	2	<0,14 (0,01 - 0,27)	
Schleswig-Holstein						
Kernkraftwerk Krümmel	2002	a)	a)	a)		
	2003	2	<0,03	2	0,06	
	2004	2	<0,03 (<0,02 - <0,05)	2	0,05 (0,04 - 0,06)	

- a) Daten lagen nicht vor
b) Weicht die Anzahl einzelner Messungen vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt
c) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Gegen diesen Beschluss wurden mehrere Klagen eingereicht. Die Schachanlage befindet sich bis zur gerichtlichen Entscheidung im Offenhaltungsbetrieb

Tabelle 1.5.6-4 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln
(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: potatoes)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg			Cs-137		Sr-90
FZ Karlsruhe	2002	4	<0,05	1	0,01
	2003	3	<0,04	2	0,04
	2004	2	<0,03 (0,03 - <0,04)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
Kernkraftwerk Obrigheim	2002	2	<0,06	2	0,04
	2003	2	<0,08	2	0,05
	2004	a)		a)	
Kernkraftwerk Neckarwestheim	2002	3	<0,06	3	0,03
	2003	3	<0,06	3	0,05
	2004	a)		a)	
Kernkraftwerk Philippsburg	2002	1	<0,03	1	0,03
	2003	1	<0,09	1	0,03
	2004	2	<0,04 (<0,03 - <0,06)	1	0,02

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	2002 2003 2004	4 4 2	<0,06 <0,06 <0,05 (<0,05 - <0,05)	4 4 2	0,04 0,04 0,03 (0,02 - 0,04)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	2002 2003 2004	2 3 2	<0,10 <0,08 <0,09 (<0,08 - <0,09)	2 2 2	0,05 0,03 0,02 (0,009 - 0,02)
Bayern					
Kernkraftwerk Gundremmingen	2002 2003 2004	a) a) a)		a) a) a)	
Berlin					
Forschungsreaktor BERII	2002 2003 2004	1 1 2	0,19 0,17 <0,20 (<0,11 - 0,28)	a) a) a)	
Brandenburg					
Kernkraftwerk Rheinsberg	2002 2003 2004	a) 1 a)	<0,14	a) 1 a)	0,02
Hessen					
Kernkraftwerk Biblis	2002 2003 2004	2 4 a)	<0,05 <0,07	2 4 a)	0,04 0,03
Mecklenburg-Vorp.					
Kernkraftwerk Greifswald	2002 2003 2004	2 1 1	<0,07 <0,07 <0,08	2 1 a)	0,02 0,01
Niedersachsen					
Kernkraftwerk Grohnde	2002 2003 2004	1 1 1	0,05 0,07 0,07	1 1 1	0,05 0,03 0,06
Kernkraftwerk Unterweser	2002 2003 2004	a) 1 1	a) 0,24 0,21	a) 1 1	
Kernkraftwerk Stade	2002 2003 2004	1 1 1	<0,14 <0,09 0,09	1 1 1	0,06 0,03 0,04
Kernkraftwerk Emsland	2002 2003 2004	1 a) a)	0,2	1 a) a)	0,03

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Nordrhein-Westfalen			Cs137		Sr-90
KFA Jülich	2002	a)		a)	
	2003	1	<0,12	1	0,02
	2004	a)		a)	
Rheinland-Pfalz					
Kernkraftwerk	2002	1	<0,04	1	0,03
Mülheim-Kärlich	2003	4	<0,05	4	0,06
	2004	1	<0,03	a)	

a) Daten lagen nicht vor

2. Radioaktive Stoffe aus Uranbergbauanlagen *(Radioactive substances from uranium mining facilities)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin

2.1 Allgemeine Angaben über die Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH und die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe *(General data on the remediation facilities of the Wismut GmbH and the monitoring of discharges of radioactive substances)*

Nach Wiederherstellung der deutschen Einheit und Stilllegung der bis 1990 noch aktiven Uranerzbergbau- und Aufbereitungsbetriebe der SDAG Wismut wurde der Wismut GmbH die Verwahrung und Sanierung der bergbaulichen Hinterlassenschaften übertragen. Die Wismut GmbH besteht gegenwärtig aus

- der Niederlassung (NL) Aue mit den Standorten Schlema - Alberoda und Pöhla sowie der NL Königstein mit den Standorten Königstein und Gittersee im Freistaat Sachsen und
- der NL Ronneburg, zu der die Standorte Ronneburg und Seelingstädt (im Freistaat Thüringen) und Crossen (im Freistaat Sachsen) gehören.

In der übertägigen Sanierungstätigkeit konzentrierte sich die Wismut GmbH auch im Jahre 2004 auf die Haldenumlagerung in den ehemaligen Tagebau Lichtenberg, auf die Haldensanierung (z. B. Abtrag und Umlagerung der Absetzerhalde, der Halde 377 und der Spitzkegelhalde Reust sowie der In-situ-Verwahrung der Halde 381 in der NL Ronneburg und an der Halde 38neu/208, 366, 66/207, 382 in der NL Aue), auf den Abbruch von Gebäuden, die Demontage von Anlagen und auf die Sanierung von kontaminierten Betriebsflächen. Die Sanierung der Betriebsflächen der ehemaligen Aufbereitungsstandorte Crossen und Seelingstädt wurde fortgesetzt.

Die Verwahrung ehemaliger industrieller Absetzanlagen der Erzaufbereitung (Zwischenabdeckung, Konturierung) wurden kontinuierlich fortgeführt. Die subaquatischen Arbeiten auf der ehemaligen industriellen Absetzanlage (IAA) Culmitzsch wurden im Oktober 2004 beendet. Ein weiterer Schwerpunkt war die Einsatzbereitschaft der biologischen Wasserbehandlungsanlage (Constructed Wetland) am Standort Pöhla.

Das Jahr 2004 war geprägt durch den Abschluss, aber auch den Beginn wesentlicher untertägiger Sanierungsvorhaben. So endeten beispielsweise die Arbeiten auf der 60 m-Sohle am Standort Schlema-Alberoda. Die Flutung der Grubenfelder in Thüringen und der Gruben in Königstein sowie in Schlema-Alberoda wurde fortgesetzt.

Bezogen auf den Gesamtumfang der Sanierungsarbeiten (veränderte Planungsgrundlage gegenüber 2003) sind mit den im Jahr 2004 erreichten Fortschritten nunmehr:

- 98% der Grubenbaue abgeworfen,
- 97% der Schächte und Tagesöffnungen verwahrt,
- 91% der tagesnahen Grubenbaue verfüllt,
- 86% der Anlagen/Gebäude abgebrochen,
- 75% der Halden abgelagert/umgelagert,
- 72% der Halden abgedeckt,
- 82% des Tagebaus Lichtenberg verfüllt,
- 91% der Absetzanlagen zwischenabgedeckt,
- 56% der Flächen saniert und
- 20% der Absetzanlagen konturiert.

Bei den Sanierungsarbeiten werden mit Genehmigung der zuständigen Behörden vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe mit der Abluft oder den Abwettern bzw. mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt abgeleitet. Die Genehmigungen enthalten sowohl Festlegungen über die bei den Ableitungen einzuhaltenen jährlichen Abgabemengen als auch einzuhaltende Maximalkonzentrationen für einzelne Radionuklide.

Die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern / Abluft und 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 Immissionsüberwa-

chung der Wismut GmbH wird von unabhängigen Messstellen vorgenommen, die von den zuständigen Landesbehörden beauftragt werden.

Über die Emissions- und Immissionsüberwachung hinaus führt die Wismut GmbH ein umfangreiches Monitoring durch, das an den jeweiligen Stand der Sanierungsarbeiten angepasst wird. Aufgabe dieses Monitorings ist sowohl die Überwachung der Schutzgüter Boden, Wasser und Luft als auch die Überwachung geotechnischer, bergschadenskundlicher und seismischer Besonderheiten in den betroffenen Regionen.

2.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern / Abluft 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 - Emissions)

Bei den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwettern und der Abluft wurden die Genehmigungswerte auch 2004 nicht überschritten. In Tabelle 2.2-1 wurden die aus den Betrieben im Jahr 2004 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Im Vergleich mit den Vorjahren haben sich die Ableitungen mit Abwetter- bzw. Abluft weiter verringert.

Tabelle 2.2-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern / Abluft in die Atmosphäre 2004
(Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air 2004 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	Anzahl der Abwetter- schächte und Wetterbohr- löcher	Abwetter- bzw. Abluftmengen in 10 ⁹ m ³ /a *		Ableitung radioaktiver Stoffe			
				Rn-222 in TBq/a *		Langlebige α-Strahler in MBq/a *	
Schlema/Alberoda	1	1,46	(-)	100	(100)	3,9	(10)
Pöhl	1	0,395	(-)	0,2	(0,5)	0**	(0,8)
Dresden-Gittersee	1	0,12	(-)	0,07	(1,6)	0,09	(1,6)
Königstein	6	6,3	(-)	47	(166)	10	(70,5)
Ronneburg	-	-	(-)	-	(-)	-	(-)
Seelingstädt	-	-	(-)	-	(-)	-	(-)

* Genehmigungswerte in Klammern

** Emissionen mit Konzentrationen unter der Nachweisgrenze wurden nicht bilanziert

Die im Jahr 2004 insgesamt in die Vorfluter abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe wurden in Tabelle 2.2-2 zusammengestellt. Die Jahresgenehmigungswerte wurden ausnahmslos eingehalten. Im Vergleich zum Vorjahr wurde die Menge des abgeleiteten Urans etwa um ein Viertel und die Menge des abgeleiteten Radium-226 um etwa ein Zehntel gesenkt.

Tabelle 2.2-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer 2004
 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters for the year 2004 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	Abwassermenge ¹⁾		Ableitung radioaktiver Stoffe			
	in 10 ⁶ m ³ /a*		Uran in t/a *		Ra-226 in Gbq/a *	
Einleitung in Zwickauer Mulde,	8,72	(-)	2,5804	(5,659)	0,125	(3,833)
davon: Schlema/Alberoda	6,83	(-)	2,076	(5,484)	0,111	(3,57)
Crossen ²⁾	1,748	(-)	0,502	(-)	0,0048	(-)
Pöhla	0,142	(-)	0,0024	(0,175)	0,0092	(0,263)
Einleitung in Elbe,	3,46	(5,885)	0,02	(1,713)	0,092	(2,284)
davon: Dresden-Gittersee	-	(-)	-	(-)	-	(-)
Königstein	3,46	(5,885)	0,02	(1,713)	0,092	(2,284)
Einleitung in Pleiße	0,0661	(0,25)	0,0088	(0,075)	0,0002	(0,038)
Ronneburg	0,0661	(0,25)	0,0088	(0,075)	0,0002	(0,038)
Einleitung in Weiße Elster,	1,653	(2,638)	0,194	(0,803)	0	(0,558)
Davon: Ronneburg (WBA-Probe- betrieb) ³⁾	0,03	(0,538) ⁴⁾	0	(0,173)	0	(0,138) ⁵⁾
Seelingstädt	1,623	(2,1)	0,194	(0,63)	0	(0,42)

* Genehmigungswerte in Klammern

- 1) Die angegebenen Werte für die Abwassermenge sind Richtwerte. Eine Modifizierung dieser Werte ist nach Abstimmung mit der zuständigen Behörde möglich
- 2) Die deutliche Erhöhung der Gesamtwasserabgabe resultiert aus dem durchgängigen Betrieb der Wasserbehandlungsanlage (WBA) Crossen unter maximal zulässiger Einleitmenge zwecks forcierter Leerung des Absetzbeckens, was wiederum die signifikant erhöhten Ableitungen für Uran und Radium-226 im Vergleich zum Vorjahr begründet
- 3) Die neu erbaute WBA Ronneburg nahm im Januar 2002 den Probebetrieb auf
- 4) Genehmigter Maximaldurchsatz der WBA von 700 m³/h als Summe aus behandeltem Grund- und Verdünnungswasser in 32 Betriebstagen
- 5) Der Wert wurde rechnerisch, aus der genehmigten Wassermenge pro Tag, multipliziert mit der Maximalkonzentration und den 32 Betriebstagen, ermittelt

2.3 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 - Immissions)

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

2.3.1 Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft

(Radon-222 concentrations in air close to ground level)

Zur Überwachung der Luft werden Messstellen zur Ermittlung der Radon-222-Konzentration der bodennahen Atmosphäre betrieben. Die Messnetze gewährleisten nicht nur eine Kontrolle der Auswirkungen von Ableitungen; sie dienen auch zur Erfassung der aus Freisetzungen resultierenden Umweltkontamination und zur Kontrolle der Auswirkungen der Sanierungsarbeiten.

Für die Beurteilung der Gesamtstrahlenexposition in der Umgebung der Bergbauanlagen sind nicht nur die genehmigten Ableitungen von Radon (Rn-222) zu betrachten, sondern auch das aus den deponierten Materialien freigesetzte Radon. Die aus den bergbaulichen Außenanlagen (vor allem industrielle Absetzanlagen und Halden) freigesetzte Radonmenge kann aus der bekannten Radium-226-Konzentration der Materialien abgeschätzt werden.

Unter Zugrundelegung einer normierten Freisetzungsrates (1 Bq Rn-222/m²·sec pro Bq Ra-226/g Material) ergibt sich eine theoretisch mögliche Radonfreisetzung von ca. 2 · 10¹⁵ Bq pro Jahr. Es ist dabei zu beachten, dass diese

Radonfreisetzung für die Situation vor Beginn der Sanierungstätigkeiten abgeschätzt wurde. Die tatsächliche Freisetzung ist geringer.

Die Langzeitmessungen zur Überwachung der Radonkonzentration in der bodennahen Atmosphäre wurden in den Bergbaugebieten auch im Jahr 2004 fortgeführt. In Tabelle 2.3.1-1 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die hier aufgeführten teilweise hohen Maximalwerte der Rn-222-Konzentration sind auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich einige Messpunkte auf oder in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächten) und Betriebsflächen befinden.

Tabelle 2.3.1-1 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2003/2004 und Sommer 2004; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - Winter 2003/2004 and summer 2004; Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messstellen	Anzahl der Messstellen mit Werten			Maximum in Bq/m ³
		≤ 30 Bq/m ³	31 - 80 Bq/m ³	> 80 Bq/m ³	
Winter 2003/2004					
Schlema/Alberoda	71	17	49	5	180
Pöhl	15	14	1	0	57
Seelingstädt	25	18	7	0	59
Crossen	36	13	23	0	69
Königstein	16	16	0	0	25
Gittersee	19	18	1	0	58
Ronneburg	43	32	11	0	44
Sommer 2004					
Schlema/Alberoda	74	14	42	18	310
Pöhl	15	11	3	1	140
Seelingstädt	25	3	21	1	110
Crossen	35	5	27	3	100
Königstein	16	13	3	0	44
Gittersee	20	17	3	0	71
Ronneburg	43	9	34	0	53

In Tabelle 2.3.1-2 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung der 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 zur Beurteilung des Sanierungserfolges herangezogen werden.

Tabelle 2.3.1-2 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2004 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 - 2004 and range of variation of the mean values for the individual years; Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Winter (Bq/m ³)			Sommer (Bq/m ³)		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2004	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2004
Schlema/Alberoda	21	40	29	27	48	35
Pöhl	14	35	20	18	29	24
Seelingstädt	11	39	24	19	37	26
Crossen	16	35	25	17	37	24
Königstein	11	31	20	17	36	26
Gittersee	18	33	26	24	43	33
Ronneburg	14	40	25	20	37	28

Für die Untersuchung der Strahlenexposition durch Radon-222 werden seit 1991 vom Bundesamt für Strahlenschutz Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung der Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Freiluft durchgeführt. Mit den Messungen sollen Aussagen darüber gewonnen werden, inwieweit die bergbauli-

chen Objekte durch Radon-222-Freisetzung das natürliche Konzentrationsniveau des Gebietes beeinflussen und zur Strahlenexposition der in der Umgebung lebenden Bevölkerung beitragen. In der Tabelle 2.3.1-3 sind die Ergebnisse der vom BfS durchgeführten Untersuchungen dargestellt. Berücksichtigt wurden hier nur die Messpunkte, die sich in ständig bewohnten Gebieten befinden. In diesen Gebieten sind auf Grund der geologischen Bedingungen (oberflächennah anstehende geologische Formationen mit einer höheren spezifischen Aktivität der Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe) und wegen der orographischen Gliederung des Geländes (Tallagen) natürlicherweise über dem Landesdurchschnitt liegende Radonkonzentrationen in der bodennahen Luft zu erwarten. Die in den Gebieten Aue/Schlema, Freital, Johanngeorgenstadt und Lengenfeld gemessenen Maximalwerte stammen von Messpunkten, die sich in unmittelbarer Nähe bergbaulicher Anlagen befinden.

Tabelle 2.3.1-3 Halbjahreswerte der Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Siedlungsgebieten (Winter 2003/2004 und Sommer 2004)
(Half-yearly values for radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level in residential areas - in the winter of 2003/2004 and summer of 2004)

Gebiet	Winter 2003/2004 in Bq/m ³			Sommer 2004 in Bq/m ³		
	Minimum	Maximum	Median	Minimum	Maximum	Median
Aue/Schlema	10	84	20	8	42	14
Crossen	11	42	15	8	31	12
Freital	19	92	66	20	110	96
Johanngeorgenstadt	8	650	44	8	2100	58
Lengenfeld	10	130	21	12	150	24
Mechelgrün-Zobes	10	17	12	8	19	14
Ronneburg	11	28	15	7	27	14
Seelingstädt	11	41	16	8	41	16

Um den natürlichen Radonkonzentrationspegel in den Bergbaugebieten zu ermitteln und auf diese Weise den Einfluss der Radonfreisetzungen aus den bergbaulichen Anlagen auf die Strahlenexpositionssituation in den Bergbaugebieten besser abschätzen zu können, wurde in Gebieten, in denen der Einfluss des Bergbaus auf den Radongehalt in der bodennahen Luft ausgeschlossen werden kann und in denen oberflächennah sehr ähnliche geologische Formationen vorkommen, eine Bestimmung der natürlichen Radonkonzentrationen in der bodennahen Luft durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen führen zu dem Schluss, dass die natürlichen Konzentrationen in derartigen Gebieten im Jahresmittel einen Wert von 80 Bq/m³ nicht überschreiten.

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 Aktivitätswerten von 10 bis 15 Bq/m³ liegen, die aber auch in den Gebieten ohne bergbaulichen Einfluss in ähnlicher Höhe festgestellt wurden und deshalb offensichtlich z. T. natürlichen Ursprungs sind. Bergbaubedingt erhöhte Konzentrationen treten in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, an großen Halden oder an Absetzanlagen der Erzaufbereitung auf. Durch Messungen wurde bestätigt, dass die Radonkonzentration in der bodennahen Luft mit zunehmender Entfernung von bergbaulichen Anlagen, aus denen Radon freigesetzt wird, rasch abnimmt. Über dem regionalen natürlichen Niveau liegende Radonkonzentrationen treten nur in einem eng begrenzten Gebiet um die bergbaulichen Anlagen auf.

Aus den in der Umgebung gemessenen Radonkonzentrationen ergibt sich eine Strahlenexposition, bei der nicht zwischen Beiträgen von bergbaulichen Anlagen und von natürlicherweise aus Böden und Gesteinen freigesetztem Radon unterschieden werden kann. Da die natürlicherweise auftretenden Konzentrationen vor Inbetriebnahme der Bergbaubetriebe nicht gemessen worden sind, kann der Nachweis, dass die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte der Strahlenexposition eingehalten worden sind, nur durch Berechnung aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe erbracht werden. Diese Berechnungen ergaben, dass durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern nur Strahlenexpositionen unterhalb des zulässigen Grenzwertes resultieren.

2.3.2 Überwachung der Urankonzentrationen und Radium-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern *(Monitoring of uranium and radium-226 activity concentrations in surface waters)*

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

In wichtigen Vorflutern wurden die in Tabelle 2.3.2-1 angegebenen Werte bestimmt. In den übrigen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe betroffenen Vorflutern liegen die Uran- und Radiumkonzentrationen in den gleichen Konzentrationsbereichen.

Tabelle 2.3.2-1 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbaugebiete 2004 (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 year 2004 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenahmestelle	Messpunkt	Uran mg/l	Radium-226 mBq/l
Sächsische Bergbaugebiete				
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,022	31
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	0,044	31
	Elbe Rathen	k-0028	0,002	10
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,016	17
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,055	16
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,002	11
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,01	15
Pöhla	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	0,001	10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165	0,022	30
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,012	12
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,017	12
	Helmsdorfer Bach	M-204	0,2	18
	Zinnborn	M-232	0,455	94
Thüringer Bergbaugebiete				
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,002	< 10
	Weißer Elster nach Einmündung Pöltschbach	E-314	0,006	< 10
	Lerchenbach	E-369	0,18	< 10
	Fuchsbach unterhalb IAA	E-383	0,048	< 10
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,006	< 10
Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,046	13
	Sprotte	s-609	0,006	10
	Wipse	e-437	0,032	10
	Weißer Elster	e-419	0,005	10

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

Im Oberlauf von Wismut-Einleitungen wurden an drei Messpunkten (m-131, m-115 und E-312, siehe Tab. 2.3.2-1) Urankonzentrationen bis zu einer Höhe von 2 µg/l und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 11 µBq/l für Radium-226 ermittelt. Diese Werte liegen im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus, das in Oberflächengewässern der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurde¹. Die ebenfalls im Oberlauf von Wismut-Einleitungen an den Messpunkten g-0076 und M-201 ermittelten Urankonzentrationen spiegeln den Einfluss lokaler geologischer Besonderheiten oder des Altbergbaus (M-201) wider.

Im Unterlauf von Wismut-Einleitungen wurden in den o. a. großen Vorflutern an den Messpunkten k-0028, m-111, E-314, E-321, M-205 und e-419 Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber diesem allgemeinen geogenen Niveau um bis zu eine Größenordnung erhöht sind (2 - 17 µg/l). Mit Werten unter der Nachweisgrenze (< 10 mBq/l) und bis zu 15 mBq/l liegen die Radium-226-Aktivitätskonzentrationen dagegen ebenfalls im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus. Im Unterlauf kleinerer Bäche, die eine wesentlich geringere Wasserführung aufweisen, wird das allgemeine geogene Niveau etwa bis zum Faktor 3 (Radium-226: von Werten unter der Nachweisgrenze von <10 mBq/l bis zu 94 mBq/l) oder zwei Größenordnungen (Uran: Werte zwischen 6 und 455 µg/l) überschritten (vgl. Messpunkte k-0018, k-0024, g-0077, m-165, M-204, M-232, E-369, E-383, e-416, s-609 und e-437). Daraus resultiert jedoch keine Gefährdung, da weder das Wasser der Bäche noch der genannten Vorfluter für Trinkwasserzwecke genutzt wird.

¹ 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.

TEIL III

BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

1. Personendosismessungen *(Personal dose measurements)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim

1.1 Vorbemerkungen *(Preliminary remarks)*

Personen, die mit radioaktiven Stoffen umgehen, Röntgenstrahlen anwenden oder an sonstigen Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen tätig sind und sich dabei in Kontrollbereichen aufhalten, unterliegen der physikalischen Strahlenschutzüberwachung nach § 40 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und § 35 Röntgenverordnung (RöV). Soweit bei diesen Personen nur die Möglichkeit der Strahlenexposition von außen besteht, also nicht durch Inkorporation radioaktiver Stoffe, erfolgt die Strahlenschutzüberwachung überwiegend mit Hilfe von Personendosismessungen. Dazu werden Personendosimeter von den sechs in den Bundesländern nach Landesrecht zuständigen Personendosismessstellen ausgegeben und ausgewertet. Die amtlichen Personendosimeter sind in der Regel Filmplaketten. Für die Überwachung nach StrlSchV werden in geringer Anzahl auch Radiophotolumineszenz-Dosimeter (Glasdosimeter) und Albedo-Dosimeter ausgegeben.

Das folgende Kapitel 1.2 bezieht sich auf die Personendosisüberwachung und gibt die effektive Dosis durch äußere Strahlung an. In einigen Fällen sind zusätzliche Messungen, z. B. an besonders exponierten Körperstellen (z. B. den Fingern) erforderlich. Spezielle Berufsgruppen in ausgewählten kerntechnischen Anlagen werden in Kapitel 1.3 näher betrachtet.

Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurde die Überwachung auch auf Personen ausgedehnt, die einer erhöhten Strahlenexposition durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe am Arbeitsplatz (Kapitel 1.4) oder der kosmischen Strahlung beim Fliegen ausgesetzt sind (Kapitel 1.5).

1.2 Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen *(Overview of data for all occupationally exposed persons)*

Die Zahlenangaben in den Tabellen 1.2-1 bis 1.2-4 beruhen auf den Auswertungen des Strahlenschutzregisters im Bundesamt für Strahlenschutz. Im Strahlenschutzregister werden u. a. die monatlichen Dosisfeststellungen der behördlich bestimmten Messstellen in einer zentralen Datenbank personenbezogenen zusammengeführt. Die Gesamtzahl der überwachten Personen und der Betriebe, in denen beruflich strahlenexponierte Personen arbeiten, kann aus Tabelle 1.2-1 entnommen werden. Da 77% der überwachten Personen im Bereich der Medizin tätig sind, ist in dieser Tabelle der Anteil des Arbeitsbereiches Medizin gesondert ausgewiesen.

Bis einschließlich dem Jahr 1998 basieren die Statistiken auf den aggregierten Daten der Messstellen. Bis dahin entspricht der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen, da es bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz zu Mehrfachzählungen gekommen ist. Ab dem Jahr 1999 werden durch die personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen vermieden. Deshalb sind im Vergleich zu den Vorjahren die Personenzahlen niedriger.

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 überwachten Personen zu kontrollieren. Für die Mehrzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen ist der Grenzwert der effektiven Dosis auf 20 mSv im Jahr festgelegt. Die Gesamtzahl der Personendosisfeststellungen (Tabelle 1.2-2) oberhalb dieses Wertes liegt - bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten - bei 0,004% im Jahr 2004.

Da mit den Personendosimetern die Körperdosis nicht unmittelbar gemessen werden kann, bedeutet die Feststellung einer Personendosis, die größer ist als ein Grenzwert der Körperdosis, nicht zwangsläufig bereits eine Überschreitung dieses Grenzwertes, z. B. wenn das Dosimeter während der Exposition nicht am Körper getragen wurde. Dennoch soll ein solches Ereignis den Strahlenschutzverantwortlichen oder -beauftragten im Betrieb veranlassen, unter Aufsicht der zuständigen Behörde die Ursache des Expositionsfalles zu klären und eine Wiederholung zu verhindern. Soweit die Ergebnisse nachfolgender Ermittlungen bekannt geworden sind, wurden sie in der Tabelle 1.2-2 berücksichtigt.

Die Zusammenstellung der Fälle mit erhöhter Personendosis (Tabelle 1.2-2) gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. Ein quantitatives Bild der Strahlenexposition vermitteln die Häufigkeitsverteilungen der Jahrespersonendosen. Die Jahrespersonendosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister mitgeteilten, gültigen Personendosiswerte einer Person im Kalender-

jahr. Die Dosisanteile durch natürliche Strahlenexposition sind bereits subtrahiert. In der Tabelle 1.2-3 ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die Anzahl von Personen angegeben, für die während des ganzen Jahres keine Personendosis bzw. Jahrespersonendosen zwischen 0,1 und 0,2 mSv, zwischen 0,2 und 0,4 mSv usw. registriert wurden. Wurde während des ganzen Jahres die untere Erkennungsgrenze der verwendeten Ganzkörperdosimeter von 0,05 mSv unterschritten, dann wird für die überwachte Person eine Jahrespersonendosis von 0 mSv festgelegt. Demnach wurde für den größten Teil der überwachten Personen keine Personendosis festgestellt. Die gesamte erfasste berufliche Strahlenexposition verteilte sich auf nur rund 16% aller mit Personendosimetern überwachten Personen.

Tabelle 1.2-4 enthält Angaben aus den letzten beiden Jahren über die mittlere Jahrespersonendosis pro überwachter Person und die Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis im Jahr 2004 betrug 0,13 mSv. Die gegenüber dem nichtmedizinischen Bereich niedrigeren Mittelwerte des medizinischen Bereichs sind im Wesentlichen auf den höheren Anteil an Personen zurückzuführen, die zwar einer regelmäßigen Überwachung unterliegen, jedoch praktisch keine Strahlenexposition erhalten. Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister gemeldeten gültigen Personendosiswerte im Kalenderjahr. Im Jahr 2004 betrug sie 42 Personen-Sv.

Tabelle 1.2-1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2004
Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich
(Monitoring with official personal doseimeters in the year 2004
Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

Bundesland	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Baden-Württemberg	44.642	31.456	3.412	2.702
Bayern	57.264	42.803	4.379	3.702
Berlin	15.958	11.863	976	762
Brandenburg	5.981	4.871	446	337
Bremen	3.025	2.576	243	192
Hamburg	10.427	5.937	620	490
Hessen	25.342	17.807	1.781	1.436
Mecklenburg-Vorpommern	5.385	3.729	320	256
Niedersachsen	28.124	21.645	2.367	1.938
Nordrhein-Westfalen	66.143	53.889	5.473	4.630
Rheinland-Pfalz	14.229	11.995	1.035	878
Saarland	4.440	4.039	421	369
Sachsen	11.779	9.531	850	618
Sachsen-Anhalt	7.437	6.355	487	362
Schleswig-Holstein	10.439	8.021	836	697
Thüringen	5.724	5.454	362	310
Sonstige	1.497	1.260	60	44
Gesamtzahl 2004*	313.442	240.922	24.042	19.711
Anteil Medizin		76,9%		82,0%
Gesamtzahl 2003	315.055	242.339	24.706	20.301
Anteil Medizin		76,9%		82,2%
Änderung gegenüber 2003	-0,5%	-0,6%	-2,7%	-2,9%

* Die Summen über die einzelnen Bundesländer sind größer als die Gesamtzahl der überwachten Personen bzw. Betriebe, da eine Person in mehreren Bundesländern arbeiten kann.

Tabelle 1.2-2 Jahrespersonendosen oberhalb von 20 mSv im Jahr 2004
(Number of annual personal doses above 20 mSv in the year 2004)

Bundesland	Anzahl der Personendosisfeststellungen >20 mSv/Jahr		
	Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nichtmedizin
Baden-Württemberg	4	3	1
Bayern	2	1	1
Berlin			
Brandenburg			
Bremen			
Hamburg			
Hessen			
Mecklenburg-Vorpommern	3	3	
Niedersachsen			
Nordrhein-Westfalen	4		4
Rheinland-Pfalz			
Saarland			
Sachsen			
Sachsen-Anhalt	1	1	
Schleswig-Holstein			
Thüringen			
Gesamtzahl 2004	14	8	6
Gesamtzahl 2003	7	5	2

Tabelle 1.2-3 Verteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 2004
(Distribution of the annual personal doses in the year 2004)

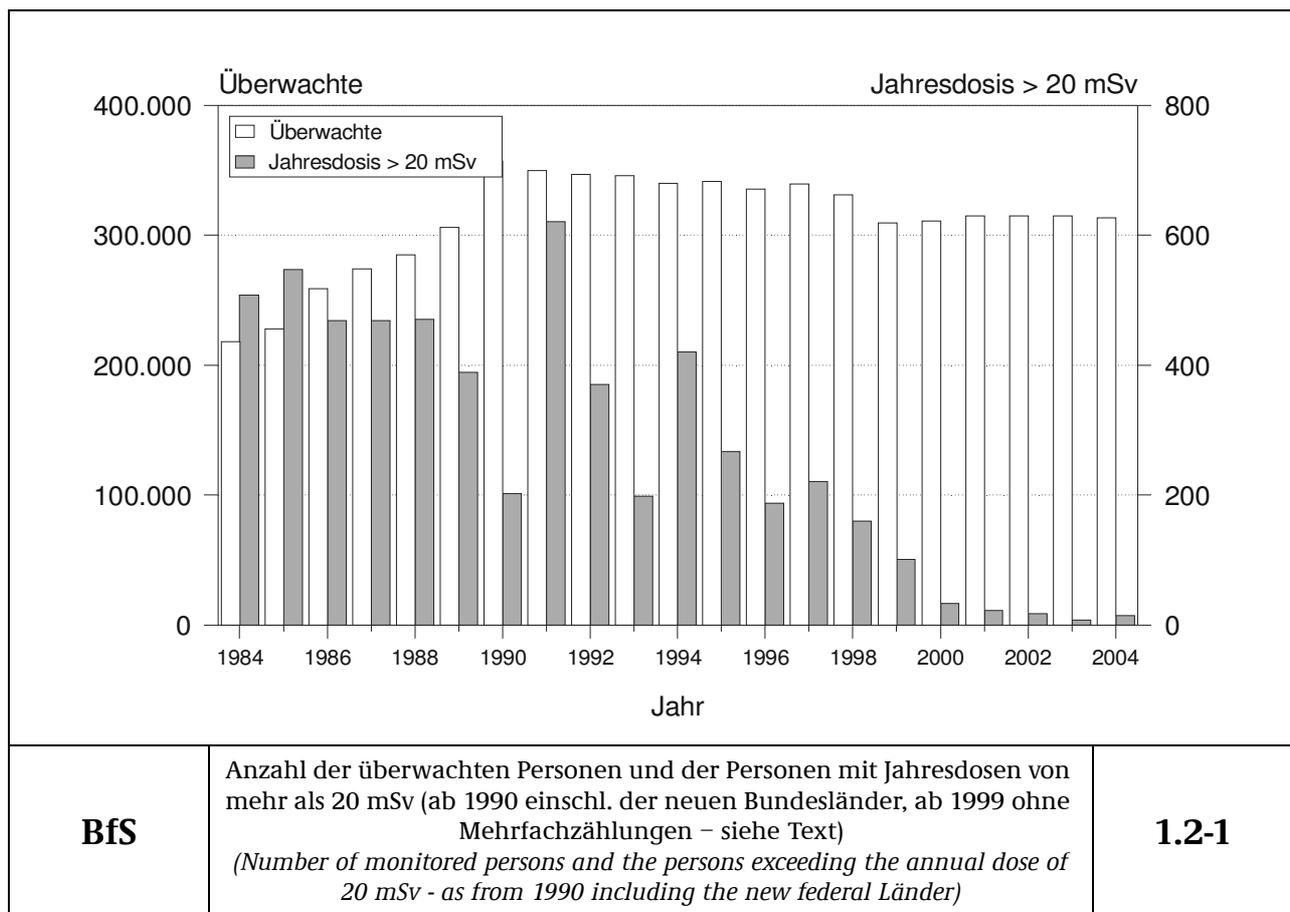
Dosis H in mSv	Gesamt*		Medizin		Nichtmedizin	
	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %
H=0	261.908	83,56%	207.804	86,25%	54.577	74,67%
0<H≤0,2	24.577	91,40%	18.225	93,82%	6.405	83,43%
0,2<H≤0,4	8.197	94,01%	5.624	96,15%	2.594	86,98%
0,4<H≤0,6	4.277	95,38%	2.752	97,29%	1.531	89,07%
0,6<H≤0,8	2.821	96,28%	1.769	98,03%	1.059	90,52%
0,8<H≤1,0	2.100	96,95%	1.188	98,52%	916	91,78%
1<H≤2	4.695	98,45%	2.343	99,49%	2.357	95,00%
2<H≤4	2.798	99,34%	906	99,87%	1.894	97,59%
4<H≤6	959	99,65%	181	99,95%	779	98,66%
6<H≤8	529	99,81%	62	99,97%	468	99,30%
8<H≤10	274	99,90%	27	99,98%	247	99,64%
10<H≤15	260	99,99%	24	99,99%	236	99,96%
15<H≤20	33	100,00%	9	100,00%	24	99,99%
H>20	14	100,00%	8	100,00%	6	100,00%
Gesamt*	313.442		240.922		73.093	

* Die Summe aus Medizin und Nichtmedizin ist größer als die Gesamtanzahl, da eine Personen in beiden Bereichen arbeiten kann.

Tabelle 1.2-4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(Mean annual individual dose and annual collective dose of the persons monitored by personal dosimeters)

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
1994	0,30	102	0,10	23	0,75	79
1995	0,28	95	0,11	27	0,69	69
1996	0,27	92	0,12	28	0,66	64
1997	0,24	83	0,10	23	0,61	59
1998	0,19	62	0,09	23	0,45	40
1999	0,17	53	0,08	19	0,45	34
2000	0,15	47	0,07	18	0,40	30
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	16	0,39	28
2004	0,13	42	0,07	16	0,35	26

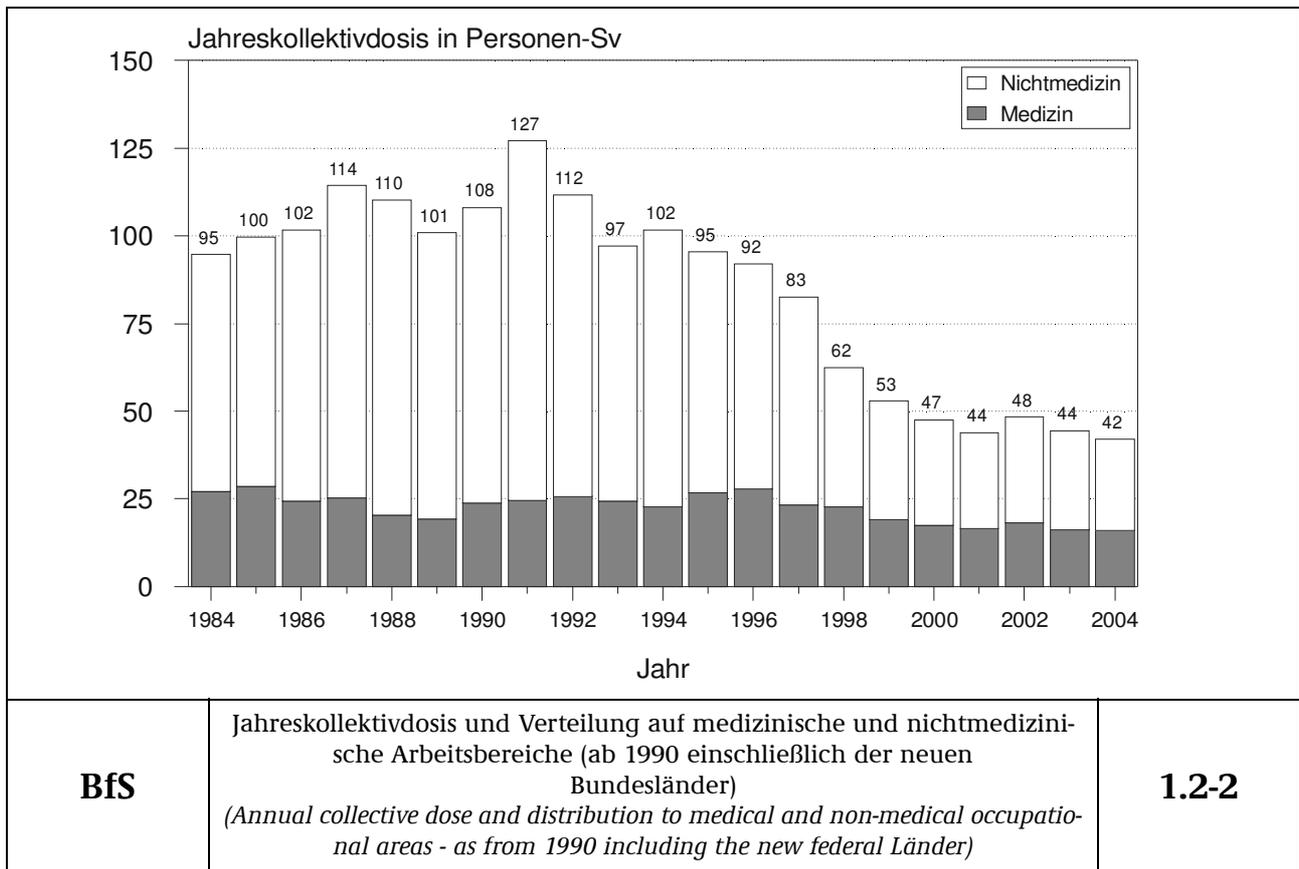
Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen seit 1984 ist in Abbildung 1.2-1 dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Zahlen der festgestellten Personendosen oberhalb von 20 mSv pro Jahr eingetragen. Abbildung 1.2-2 zeigt die Beiträge zur Kollektivdosis aus den Arbeitsbereichen Medizin und Nichtmedizin über den Zeitraum von 1984 - 2004.



Bfs

Anzahl der überwachten Personen und der Personen mit Jahresdosen von mehr als 20 mSv (ab 1990 einschl. der neuen Bundesländer, ab 1999 ohne Mehrfachzählungen – siehe Text)
(Number of monitored persons and the persons exceeding the annual dose of 20 mSv - as from 1990 including the new federal Länder)

1.2-1



1.3 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen (Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)

Dieser Übersicht liegen Ergebnisse der regelmäßigen Erhebung über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen durch das BMU und die zuständigen obersten Länderbehörden zu Grunde. Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung), für die Forschungsreaktoren sowie für die Brennelementfertigung und Wiederaufarbeitung (einschließlich Rückbau der Anlagen) geben die Tabellen 1.3-1 bis 1.3-3 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie deren Jahreskollektivdosis.

**Tabelle 1.3-1 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation of light water reactors)**

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		Gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1994	20	35.068	29.002	48	42
1995	20	31.525	25.489	38	32
1996	19	31.937	25.785	32	28
1997	19	29.780	23.771	29	25
1998	19	30.207	24.306	28	24
1999	19	28.790	22.066	25	21
2000	19	30.386	23.239	21	18
2001	19	28.105	21.861	20	17
2002	19	28.626	21.738	21	18
2003	19	29.115	22.362	19	17
2004	18	30.159	23.700	23	21

Tabelle 1.3-2 Berufliche Strahlenexposition bei Betrieb und Stilllegung von Forschungsreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation and decommissioning of research reactors)

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremd-personal	gesamt	davon Fremd-personal
1994	9	1.399	760	0,7	0,3
1995	8	2.192	1.175	0,6	0,3
1996	9	2.188	1.252	0,5	0,2
1997	10	2.247	1.284	0,7	0,4
1998	8	2.082	1.159	1,2	0,6
1999	10	2.366	1.347	1,1	0,6
2000	10	2.104	1.150	1,2	0,6
2001	10	2.234	1.270	0,9	0,5
2002	9	1.746	907	0,4	0,3
2003	10*	1.986	1.043	0,3	0,3
2004	10	2.215	1.278	0,3	0,2

* Neu hinzugekommen: FRM II (Forschungsneutronenquelle Garching bei München)

Tabelle 1.3-3 Berufliche Strahlenexposition bei der Brennelementherstellung und Wiederaufarbeitung einschließlich Rückbau der Anlagen
(Occupational radiation exposure during the production of fuel elements and reprocessing including decommissioning of the plants)

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremd-personal	gesamt	davon Fremd-personal
1994	7	3.965	2.011	1,0	0,4
1995	8	2.783	1.508	0,5	0,2
1996	6	1.873	853	0,4	0,1
1997	6	1.989	1.066	0,5	0,2
1998	6	1.991	1.173	0,8	0,5
1999	6	1.338	773	0,3	0,1
2000	6	2.524	1.582	1,0	0,5
2001	6	2.392	1.501	1,2	0,7
2002	7	2.968	1.932	1,2	0,8
2003	7	2.965	1.947	1,0	0,7
2004	7	2.657	1.777	1,1	0,8

1.4 Berufliche Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen *(Occupational radiation exposures from natural radiation sources)*

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 Strahlenexposition 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. In den nachfolgenden Aufstellungen werden auch Personen berücksichtigt, die in Betrieben mit erhöhter natürlicher Radioaktivität und in Heilbädern tätig sind und mit Dosimetern überwacht werden oder der Inkorporationsüberwachung unterliegen.

Für Beschäftigte der Wismut GmbH wird die durch Inhalation von Radionukliden der Uranzerfallsreihe und die durch Gammastrahlung verursachte Körperdosis ermittelt. Dazu werden Messungen mit personengetragenen Geräten durchgeführt. Diese Messgeräte mit Probenahmepumpe, Filter, Kernspur- und Thermolumineszenzdetektoren erfassen die Strahlenexpositionen durch Radonzerfallsprodukte, durch langlebige Alphastrahler und durch externe Gammastrahlung. Für Beschäftigte, die Arbeiten nach Anlage XI der StrlSchV ausführen, wird die durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten verursachte Körperdosis ermittelt. Dazu wurden 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.

Im Jahr 2004 wurden dem Strahlenschutzregister im Bundesamt für Strahlenschutz insgesamt für 744 Personen Dosiswerte auf Grund dieser Regelungen übermittelt, davon führten ca. 86% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH aus. Die Kollektivdosis der 744 Beschäftigten betrug 0,5 Personen-Sv, die mittlere Jahresdosis 0,62 mSv. 73 Beschäftigte wiesen eine Jahresdosis von 0 mSv auf.

Im Jahr 2004 gab es keine Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv. Für 15 Beschäftigte wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Die höchste jährliche effektive Dosis wurde mit 12,4 mSv für einen Beschäftigten in einer Schauhöhle ermittelt. Für Beschäftigte in der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis im Jahr 2004 0,48 mSv, der höchste Jahreswert betrug 4,66 mSv.

1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung *(Air crew radiation exposure due to cosmic radiation)*

Eine Komponente der natürlichen Strahlenexposition ist die Höhenstrahlung. Höhenstrahlung besteht zum einen aus der primären kosmischen Strahlung und zum anderen aus Sekundärstrahlung infolge der Wechselwirkung mit der Atmosphäre. Der Beitrag der Höhenstrahlung zur gesamten natürlichen Strahlenexposition von im Mittel 2,1 mSv pro Jahr beträgt in Meereshöhe etwa 0,3 mSv pro Jahr und nimmt mit steigender Höhe zu. Flugpersonal und Passagiere sind daher während eines Fluges einer höheren natürlichen Strahlenexposition ausgesetzt als Personen am Boden. Die genaue Höhe der Strahlenexposition hängt ab von der Reise Flughöhe und der Flugdauer sowie von der geomagnetischen Breite und der Sonnenaktivität.

Für die durch kosmische Strahlung verursachte Strahlenexposition des Flugpersonals ist das komplex zusammengesetzte Strahlungsfeld in Höhen zwischen etwa 10 km und 14 km wichtig. Es besteht zu einem geringen Anteil aus der primären Komponente der kosmischen Strahlung, die aus dem Weltraum auf die Erde trifft. Den größeren Anteil bilden sekundäre Teilchen, die in Wechselwirkungen der primären Teilchen mit den Atomen der Lufthülle erzeugt werden. Während die primäre Komponente im Wesentlichen aus hochenergetischen Wasserstoff- und Heliumkernen besteht, setzt sich die sekundäre Komponente hauptsächlich aus Elektronen, Photonen, Neutronen, Mesonen, Myonen und sekundären Protonen zusammen. Während der Dauer eines Fluges kann das Strahlungsfeld insgesamt, von selten auftretenden solaren Teilchenereignissen abgesehen, als konstant angesehen werden. In Abhängigkeit von der Sonnenaktivität verändert sich die Strahlenexposition je nach Höhe bis zu einem Faktor 2 innerhalb des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus.

Die Abschätzung der Strahlenexposition des fliegenden Personals beruht auf Stichproben mit ortsdosimetrischen Messungen beim Flugbetrieb und Annahmen über die jährlichen Flugzeiten und Flugrouten. Von 0° bis 50° geomagnetischer Breite nimmt die Strahlenexposition bei gleicher Höhe kontinuierlich zu und ist dann in höheren Breiten konstant. Flüge auf der Nordatlantik-Route finden fast ausschließlich in Breiten nördlich von 50° statt und führen damit zur höchsten Strahlenexposition. Als obere Abschätzung für die Jahresdosis des fliegenden Personals kann ein Wert von etwa 8 mSv errechnet werden, wenn man annimmt, dass die Flüge ausschließlich auf der Nordatlantik-Route zurzeit eines Sonnenfleckenminimums, in der die höchste Strahlenexposition auftritt, stattfinden und die maximal zulässige jährliche Arbeitszeit von 1000 Flugstunden voll ausgenutzt wird. Bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel sind unter sonst gleichen Annahmen die Jahresdosen um den Faktor 2 bis 3 geringer. Die Ergebnisse deuten - je nach zu Grunde gelegten Annahmen - auf mittlere jährliche Dosen in der Umgebung von 3 mSv hin. Die genannten Abschätzungen beinhalten nicht die Strahlenexposition durch solare Teilchenereignisse, deren Anteil gemittelt über mehrere Jahre gegenüber der ständigen Exposition durch galaktische kosmische Strahlung jedoch gering ist. Im Prinzip kann diese Strahlenexposition über Messstationen und Satelliten erfasst und berücksichtigt werden.

Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung 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 die Dosiswerte und geben diese über das Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. In

Deutschland wurden im Jahr 2004 29.830 Personen überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis beträgt 1,94 mSv (1.1.2004 - 31.12.2004). Dieser Wert unterschreitet die bisherige obige Abschätzung von 3 mSv um ca. 30%. Die höchsten Jahresdosiswerte liegen zwischen 5 und 6 mSv. Dieser Wert ist in Einklang mit der obigen Abschätzung. Die Verteilung ist in Tabelle 1.5-81 wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2004 beträgt 58 Personen-Sv. Damit bildet das fliegende Personal sowohl bezüglich der mittleren Dosis als auch in Bezug auf der Kollektivdosis eine der am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen in Deutschland. Ein Vergleich mit dem Vorjahr ist nicht möglich, da die Überwachung des fliegenden Personals termingerecht am 1. August 2003 begann und deshalb für 2003 keine Daten für ein gesamtes Jahr zur Auswertung vorliegen. Eine detaillierte Auswertung für fliegendes Personal wird zurzeit im Strahlenschutzregister durchgeführt und wird als separater Bericht des BfS erscheinen.

Tabelle 1.5-1 Verteilung der Jahrespersonendosen für fliegendes Personal im Jahr 2004
(*Distribution of the annual personal doses for air crews in the year 2004*)

Dosis H in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
H = 0	118	0,39%
0 <H<= 0,5	2.225	7,85%
0,5 <H<= 1,0	3.015	17,96%
1,0 <H<= 2,0	10.128	51,91%
2,0 <H<= 3,0	10.008	85,46%
3,0 <H<= 4,0	3.731	97,97%
4,0 <H<= 5,0	579	99,91%
5,0 <H<= 6,0	28	100,00%
6,0 <H<= 10,0	0	100,00%
H > 10,0	0	100,00%
Gesamt	29.830	

2. Inkorporationsüberwachung (Incorporation monitoring)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit,
Oberschleißheim

Bei Personen, die radioaktive Stoffe in offener Form handhaben, kann gemäß §§ 40 und 41 StrlSchV eine Inkorporationsüberwachung erforderlich sein. Erfordernis und Verfahren dieser Inkorporationsüberwachung werden in der "Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle" geregelt, die zurzeit an die neue Strahlenschutzverordnung angepasst wird.

Die Inkorporationskontrolle geschieht in der Regel durch direkte Messung der Körperaktivität oder durch Messung der Aktivität der Ausscheidungen. In der Richtlinie wird zwischen regelmäßigen Inkorporationsmessungen und solchen aus besonderem Anlass unterschieden.

Ganzkörpermessungen

Bei der Inkorporationsüberwachung durch Ganzkörpermessung wird die zum Zeitpunkt der Messung im Körper vorhandene Aktivität eines radioaktiven Stoffes ermittelt. Die Aktivitätszufuhr ist daraus unter Beachtung des Zufuhrweges und des biologischen Verhaltens der chemischen Verbindung, in der der radioaktive Stoff vorliegt, zum Zeitpunkt der Inkorporation zu berechnen. Solange das Messergebnis der Ganzkörpermessung im Prozentbereich des Jahresaktivitätszufuhr-Wertes für das Radionuklid oder darunter liegt, kann zur Bewertung das Messergebnis der Ganzkörpermessung mit dem Jahresaktivitätszufuhr-Wert verglichen werden.

Ausscheidungsmessungen

Ausscheidungsmessungen werden durchgeführt, wenn die Bestimmung der Körperaktivität durch Ganzkörpermessungen aus physikalischen Gründen nicht möglich ist. Dies ist der Fall bei der Inkorporation β - und α -strahlender Nuklide, die keine oder nur eine geringe begleitende γ -Strahlung aufweisen. Hierzu gehören β -Strahler wie Tritium, Kohlenstoff-14, Phosphor-32, Schwefel-35, Kalzium-45, Strontium-90, Promethium-147 sowie α -Strahler wie natürliches Thorium und Uran, Uran-233, Uran-235, Plutonium-238 und Plutonium-239.

Aus dem von der Inkorporationsmessstelle in Ausscheidungen bestimmten Gehalt an radioaktiven Stoffen kann die Körperaktivität zum Zeitpunkt der Messung und in vielen Fällen daraus die zugeführte Aktivität bestimmt werden. Voraussetzung für die Abschätzung der zugeführten Aktivität sind geeignet gewählte Untersuchungsintervalle. Bei der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung sind für die Festlegung der Untersuchungsintervalle die in der Strahlenschutzverordnung angegebenen Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr für Inhalation und Ingestion, die physiologische Transportierbarkeit der inkorporierten Nuklidverbindungen und die Nachweisgrenzen der angewandten analytischen Verfahren zu berücksichtigen. Bei der Überwachung aus besonderem Anlass, die nur im Bedarfsfall erfolgt, wird das Untersuchungsprogramm dem Einzelfall so angepasst, dass Höhe und Verlauf der Körperaktivität abgeschätzt werden können.

Das Rechenverfahren zur Bestimmung der aus einer Inkorporation radioaktiver Stoffe resultierenden Strahlendosis ist in der Richtlinie für die Ermittlung der Körperdosen bei innerer Strahlenexposition (Berechnungsgrundlage) angegeben.

Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung werden bei den Messstellen gemäß § 42 StrlSchV mindestens 30 Jahre aufbewahrt. Gemäß § 112 StrlSchV sind sie dem Strahlenschutzregister des BfS zu übermitteln. Das Strahlenschutzregister hat zum Ende des Jahres 2001 die Vorgaben für die Übermittlung der Überwachungsdaten verbindlich festgesetzt. Ab dem Jahr 2002 haben die Inkorporationsmessstellen damit begonnen, Überwachungsergebnisse an das Strahlenschutzregister zu übermitteln. Auf Grund der übermittelten Daten konnten Jahrespersonendosen durch Inkorporation für 1.284 Personen mit einer Personenkollektivdosis von 0,07 Personen-Sv (nur Anteil Inkorporation) für das Überwachungsjahr 2004 berechnet werden. Es liegen keine Überschreitungen vor. In der folgenden Tabelle ist die Verteilung der Jahrespersonendosis (nur Anteil Inkorporation) zusammengestellt. Insgesamt liegen dem Strahlenschutzregister mittlerweile mehr als 45.000 Inkorporationsmeldungen der zuständigen Inkorporationsmessstellen vor.

Tabelle 2-1 Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2004
(Distribution of the annual personal doses due to incorporation in the year 2004)

Dosis H durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
H = 0	1.050	81,78%
0 <H≤ 0,1	144	92,99%
0,1 <H≤ 0,2	28	95,17%
0,2 <H≤ 1,0	47	98,83%
1,0 <H≤ 6,0	13	99,84%
6,0 <H≤20,0	2	100,00%
H > 20,0	0	100,00%
Gesamt	1.284	

3. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse (Unusual events subject to reporting)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Berlin

Tabelle 3.1 enthält eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2004. Die Übersicht dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffs (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden.

Tabelle 3-1 Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgengeräten (Unusual events in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and during the transport of radioactive material and in the operating of X-ray gadgets)

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
08.01.04	Fund eines Strahlers (Am-241, 1,65 GBq) in der Lieferung einer Messeinrichtung bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rückgabe des Strahlers an den Hersteller
08.01.04	Kontamination (P-32, max.3,3 kBq) an der Außenseite eines Versandstücks bei Anlieferung in einem Klinikum	Unbekannt	Keine Exposition und keine Kontamination von Personen	Keine
19.01.04	Fund von radioaktiv kontaminierten CrNi-Metallblöcken (Fe-55; Co-60; Ni-63; Am-241; Eu-152; Eu-154; Cs-137; Nb-95) bei einer Metallhandelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rücklieferung in das Herkunftsland zur ordnungsgemäßen Entsorgung
20.01.04	Fund von zwei mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Ra-226) kontaminierten Rohren in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.01.04	Fund von aktiviertem Bandstahl (Co-60) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen und ordnungsgemäße Entsorgung
27.01.04	Fehlbestrahlung einer Patientin in einer radiologischen Praxis mit einem Elektronenbeschleuniger	Fehlerhafte Bestrahlungsplanung nach mangelhafter Rücksprache bei Teamwechsel, Einsatz von Azubis anstelle von Fachpersonal	Deterministische Strahlenschäden (Hautreaktionen, fibrotische Veränderungen der Lunge), geschätzte zusätzliche Dosis höchstens 90 Gy im Targetbereich	Gewährleistung einer korrekten Informationsübergabe nach Teamwechsel, Kennzeichnung der Isozentren, stichprobenartige Überprüfungen, Erfordernis mindestens einer fachkundigen MTRA bei den Bestrahlungen
27.01.04	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Ra-226; Ac-228) kontaminierten Rohren im Stahlschrott bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
09.02.04	Fund eines Strahlers (Cs-137, 20 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Hersteller ermittelt, ordnungsgemäße Entsorgung
10.02.04	Fund eines Strahlers (Ra-226, 10 kBq) in einer Schule	Wiederauffinden nach Lagerung (mangelnde Kontrolle)	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
10.02.04	Verlust eines Schulstrahlenquellensatzes (Kr-85; Cs-137; Co-60; Na-22) in einer Schule	Diebstahl aus einem un abgeschlossenen Bereich	Keine	Polizeiliche Ermittlungen, selbstständige Rückgabe nach mehreren Wochen, Belehrung und Verwarnung der betroffenen Personen, Entsorgung der Strahler
17.02.04	Inhalation von radioaktivem Gas (Tc-99m, 160 kBq) durch eine medizinisch-technische Assistentin bei der Arbeit mit einem Technetium-Generator	Unkenntnis oder mangelnde Aufklärung	Effektive Folgedosis: ca. 3 µSv; Dosis der Luftwege: ca. 60 µSv	Untersuchungsbericht der Herstellerfirma, zusätzliche Strahlenschutzmaßnahmen (Tragen eines Mundschutzes, Abstandsvergrößerung zum Generator)
27.02.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (Ra-226, 0,7 µSv/h) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rücktransport zum Abfallerzeuger, ordnungsgemäße Entsorgung
März 2004	Verlust von zwei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 555 kBq) bei Umbauarbeiten in einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Nachforschungen erfolglos
03.03.04	Verlust eines Strahlers (Ni-63, 555 MBq) durch Verschrottung eines Gaschromatographen bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Erneute Unterweisung der Mitarbeiter, Änderung der Umgangsvorschriften, Anbringung von Entsorgungshinweisen auf den Geräten
22.03.04	Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 135 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
07.04.04	Fund eines Radium-Trinkbechers (Radium, < 200 kBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.04.04	Verkleben des Strahlers in einem Afterloadinggerät in einem Klinikum	Verbindungsschlauch zum Applikator abgerissen und verbogen	Handdosis der 2 beteiligten Personen kleiner als 0,26 mSv, Personendosis der 2 beteiligten Personen ca. 0,1 mSv, Patientendosis durch großen Abstand vernachlässigbar	Temporäre Sicherstellung des havarierten Schlauches und Sperrung des Raumes, Reparatur durch Fachfirma
19.04.04	Unerlaubte Ausfuhr von mit Tritium (H-3, 8,2 GBq) markierten Kompassen durch eine Firma	Unzulässige Entsorgung durch Versand in die Schweiz	Keine	Ermahnung und Belehrung des früheren Strahlenschutzbevollmächtigten
07.05.04	Fund eines Strahlers (Ra-226, 74 MBq) in einer Kupferschrottlieferung bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
07.05.04	Fehlbestrahlung einer Patientin mit einem Linearbeschleuniger in einem Krankenhaus	Verwechslung mit einem anderen Patienten	Zusätzliche Patientendosis ca. 2,5 Sv Organdosis Ganzhirnbestrahlung, spätere Linsentrübung möglich	Änderung des Aufbaus der Patientenakte, Verifizierung des Patienten vor der Behandlung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
14.05.04	Verlust eines Ionisationsrauchmelders Typ BR7/F7 (Am-241, 29,6 kBq) in einem Wohnheim für psychisch Kranke	Menschliches Versagen	Keine	Erschwerung des Zugriffs auf Ionisationsrauchmelder, Prüfung eines zukünftigen Einsatzes von optoelektronischen Rauchmeldern
03.06.04	Fund von drei Metallzylindern aus abgereichertem Uran (U-238, 19,5 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
03.06.04	Fund eines Detektorbauteils mit einem Strahler (H-3) in einer Kiste im Posteingang einer Bundesbehörde	Unbekannt	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.06.04	Fund eines Strahlers (Ra-226; 6 µSv/h in 10 cm Abstand) im Schrott bei einer Metallverarbeitungs-firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, Unterweisung der Mitarbeiter der Metallverarbeitungs-firma
16.06.04	Fund eines mit kontaminierter Flüssigkeit (In-111, 3,8 MBq) gefüllten Behälters eines Klinikums bei einer Entsorgungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, gezielte Unterweisung der Mitarbeiter des Klinikums
24.06.04	Verlust von 106 Ionisationsrauchmeldern Typ 1055 (Am-241, je 2,22 kBq) bei Bauarbeiten in einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
24.06.04	Fund eines mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Uran, Thorium; 150 µSv/h) kontaminierten Elektrokabels auf öffentlichem Gelände	Unzulässige Entsorgung	Gering	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.06.04	Verlust eines Elektroneneinfang-Detektors mit Strahler (Ni-63) während des Transports	Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Polizeiliche Ermittlungen, Erstellung von Arbeitsanweisungen, Schulung der beteiligten Personen
01.07.04	Fund von 120 Ampullen mit leicht radioaktivem Kontrastmittel (Radium; 1 µSv/h) auf öffentlichem Gelände	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
07.07.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, 2,6 µSv/h) in einer Lieferung bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen
14.07.04	Fund von vier Metallbehältern mit radioaktivem Inhalt (Radium, <1 µSv/h) auf einem Privatgrundstück	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliche Ermittlungen
19.07.04	Fund von drei Strahlern (Ra-226, je 350 kBq) in einem Container bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.04	Fund eines Strahlers (Ra-226, 36 MBq) in einer Messingschrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen; ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.04	Abgabe von zwei Schulstrahlenquellen (Cs-137, Kr-85; 1,1 µSv/h) an eine Polizeidienststelle	Nicht ordnungsgemäße Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.07.04	Verlust eines Ionisationsrauchmelders des Typs F712 (Am-241, 29,6 kBq) bei Bauarbeiten in einer Universität	Unzulässige Entsorgung	Keine	Nachforschungen erfolglos

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
10.08.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131) in einem Container bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.08.04	Fund einer Neutronen-Tiefensonde (Am-241/Be, 3 GBq) beim Deutschen Wetterdienst	Wiederauffinden nach Lagerung (mangelnde Kontrolle)	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.08.04	Fund eines radioaktiven Stoffes (Cs-137, 190 kBq) bei einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.08.04	Exposition einer Person in einer LKW-Röntgenkontrollanlage bei einer Zollbehörde	Illegaler Aufenthalt einer Person im Laderaum	Keine, Effektive Dosis kleiner als 1 µSv	Keine
21.08.04	Fund eines Messgerätes mit einem Prüfstrahler (Cs-137, 370 kBq) im Schrott bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
25.08.04	Fund einer radioaktiv verunreinigten Stahlschnalle (Co-60, 13 kBq) an einer Thermoskanne in einem Kernkraftwerk	Unbekannt	Dosisleistung ca. 5 µSv/h an der Oberfläche; keine Kontamination festgestellt	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.08.04	Fund eines Radium-Emanationsapparates (Ra-226, 110 kBq) in einer Privatwohnung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung durch Feuerwehr, ordnungsgemäße Entsorgung
30.08.04	Fund eines Strahlers (Cs-137, 330 kBq) in Holland in einer Metallschrottlieferung aus Deutschland	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sichere Zwischenlagerung, polizeiliche Ermittlungen
30.08.04	Einleitung kontaminierten Wassers (I-131, 4 Bq/l) in die öffentliche Kanalisation in einem Krankenhaus	Kontamination von Hausabwässern durch Spülung des Aktivkohlefilters einer Abluftanlage auf Grund eines fehlerhaften Anschlusses an das Abluftrohr	Keine Gefährdungen der Umwelt	Kennzeichnung der Abluftrohre zur Vermeidung einer erneuten Verwechslung
01.09.04	Fund eines Radium-Emanationsapparates (Ra-226, 56 MBq) in einer Aluminiumschrottlieferung bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
04.09.04	Weitergabe eines auf einem Flohmarkt angebotenen Radium-Emanationsapparates (Ra-226, 110 kBq) an eine Privatperson	Unkenntnis über die radioaktive Gefährdung des Apparates	Hautdosis des Verkäufers ca. 4 µSv, Gonadendosis des Verkäufers ca. 15 µSv	Käufer und Verbleib des Apparates trotz Ermittlungen der Polizei bislang unbekannt, keine weiteren Maßnahmen gegen den Verkäufer
09.09.04	Fund von aktiviertem Bandstahl (Co-60) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen und ordnungsgemäße Entsorgung
15.09.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (I-131, 16 µSv/h) in einem Container bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.09.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (I-131, 2 µSv/h) in einem Container bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
16.09.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, 2,6 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
16.09.04	Fund von natürlichen radioaktiven Stoffen (Ra-226, 350 µSv/h an Sackoberfläche) in einer Malachit-Lieferung	Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Sichere Zwischenlagerung, Organisation eines gefahrgutrechtlich ordnungsgemäßen Weitertransports
23.09.04	Verkleben eines Strahlers (Co-60, 111 MBq) in der Halterung eines Füllstandsmessgerätes	Eingefallenes Material in der Halterung	Keine	Ausbau des Strahlers und ordnungsgemäße Entsorgung durch eine Fachfirma
24.09.04	Verlust eines Strahlers (Co-60, 7,4 MBq) einer Füllstandsmessanlage in einer Firma	Unterlassene Kontrolle des Strahlerbestandes	Geringe Exposition möglichst bei Missbrauch des Strahlers	Verbleib des Strahlers bislang ungeklärt, Überprüfung der Einleitung eines Ordnungswidrigkeitsverfahrens
25.09.04	Fund eines Schulstrahlenquellensatzes (Cs-137, 185 kBq; Kr-85, 185 kBq) an einem öffentlichen Platz	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung, Feststellung des Besitzers, Einleitung eines Strafverfahrens
28.09.04	Fund eines mit Leuchtfarbe (Ra-226, 20 µSv/h) bemalten Zifferblattes in einer Messingschrottlieferung bei einer Metallhandelsgesellschaft	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.09.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131) auf einem LKW bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.10.04	Fund von zwei Dichtemessgeräten mit Strahlern (Cs-137, 185 MBq; K-40, 160 kBq) im Metallschrott einer Schiffsladung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
20.10.04	Verkleben eines Strahlers (Ir-192, 2,3 TBq) in einem Radiographie-Gerät bei Durchstrahlungsprüfungen in einer Firma	Mechanischer Defekt	Effektive Dosis von zwei beruflich strahlenexponierten Personen < 1 mSv	Bergung und sichere Lagerung des Strahlers
23.10.04	Verlust von vier Ionisationsrauchmeldern des Typs F7 (Am-241, je 29,6 kBq) bei Umbauarbeiten in einem Einkaufszentrum	Versehentliche Entsorgung in einer Verbrennungsanlage	Keine	Keine
27.10.04	Fund eines Strahlers (Cs-137, 333 kBq) in einer Berufsschule	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.11.04	Fund von aktiviertem Bandstahl (Ir-192) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen und ordnungsgemäße Entsorgung
24.11.04	Fund von 25 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 37 kBq) auf einem öffentlichen Parkplatz	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, polizeiliche Ermittlungen
26.11.04	Fund von 16 Schulstrahlenquellen (Co-60, 18 kBq; Kr-85, 200 kBq; Na-22, 180 Bq; Po-210, abgeklungen) in einem Schrottcontainer bei einem Metallhandelsunternehmen	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
14.12.04	Fund einer mit Leuchtfarbe (bis 1000 Bq/cm ²) versehenen Skala in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
16.12.04	Exposition von zwei ausländischen Fahrern in einer LKW-Röntgenkontrollanlage bei einer Zollbehörde	Verständigungsprobleme zwischen Personal und Fahrzeugbesatzung	Gering, effektive Dosis kleiner als 1 μ Sv	Veränderung der Arbeitsabläufe
29.12.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131; 5 μ Sv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung

TEIL IV

STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN

(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim

1.1 Röntgendiagnostik *(X-ray diagnostics)*

Sowohl hinsichtlich der Indikationsstellung von Röntgenuntersuchungen als auch der Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. Nach den Strahlenschutzgrundsätzen der Röntgenverordnung (RöV) muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte medizinische Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist weiterhin im Rahmen der rechtfertigenden Indikation zu prüfen, ob durch diagnostische Maßnahmen ohne Anwendung von Röntgenstrahlung die medizinische Fragestellung nicht ebenso beantwortet werden kann.

Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit von Personen hat es die Europäische Union in der Richtlinie über den Gesundheitsschutz von Personen gegen Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition 97/43/EURATOM den Mitgliedsstaaten zur Pflicht gemacht, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen zu erfassen. Die Röntgenverordnung, die zur Umsetzung des Europarechts in deutsches Recht novelliert wurde, überträgt diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Dadurch wird eine wichtige Möglichkeit geschaffen, um sowohl den Status quo als auch zeitliche Veränderungen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung zu erfassen.

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. Dabei wird ein kurzer "Röntgenblitz" von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium sichtbar gemacht.

Wertebereiche der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die weiter unten besprochenen komplexeren Verfahren sind in Tabelle 1.1-1 zusammengestellt. Sie basieren sowohl auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen als auch auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom Bundesumweltministerium gefördert wurden, sowie auf Literaturangaben. Es handelt sich dabei um Dosisangaben, die aus Messwerten von an Patientinnen und Patienten durchgeführten Untersuchungen errechnet wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten "Normalpatienten".

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt eine schwache Röntgenstrahlung den Körper und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Monitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehören auch die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letztere ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtung Kontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass oftmals risikoreiche Operationen – insbesondere bei älteren Patientinnen und Patienten – vermieden werden können.

Die Computertomographie (CT), bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper der Patientin bzw. des Patienten fährt, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Die neueste Generation von Computertomographen, sogenannte Mehrschicht-Computertomographen (MS-CT), erfasst gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit weiter verkürzt wird. Dies ist für die Patientin bzw. den Patienten weniger belastend und erlaubt es zusätzlich, nicht nur morphologische, sondern auch funktionelle Fragestellungen zu beantworten. Die mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene CT hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die außer mit der Magnetresonanztomographie mit keinem anderen radiologischen Diagnoseverfahren erreicht wird. Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, dass bei einer klinisch induzierten CT-Untersuchung ein daraus resultierendes Risiko gegenüber dem Nutzen für die Patientin bzw. den Patienten in den Hintergrund tritt.

Tabelle 1.1-1 Bereiche mittlerer Dosiswerte für häufige Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik an Standardpatientinnen und Standardpatienten (70 ± 5 kg Körpergewicht) (*Ranges of mean values for the dose from frequently applied x-ray diagnostic procedures in relation to standard patients: body weight of 70 kg \pm 5 kg*)

Untersuchungsart	effektive Dosis [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	$\leq 0,01$
Extremitäten (Gliedermaßen)	0,01 - 0,1
Schädelaufnahme	0,03 - 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 - 0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 - 0,08
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2 - 0,6
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,5 - 0,8
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,8 - 1,8
Beckenübersicht	0,5 - 1,0
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,6 - 1,1
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	6 - 12
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	10 - 18
Galle	1 - 8
Harntrakt	2 - 5
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 - 2
Arteriographie und Interventionen	10 - 30
CT*-Untersuchungen	
Kopf	2 - 4
Wirbelsäule / Skelett	2 - 11
Brustkorb (Thorax)	6 - 10
Bauchraum (Abdomen)	10 - 25

* typische CT (Computertomographie)-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittelgabe

Methodische Aspekte zur Datenerhebung

Das BFS erhebt bereits seit Anfang der 90er Jahre Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich die gesetzlichen Krankenkassen (GKV) und privaten Krankenversicherungen (PKV), da bei ihnen die ärztlichen Leistungen über sogenannte Leistungspositionen abgerechnet werden, die die ärztlichen Maßnahmen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschreiben. Um eine Standardisierung zu erzielen, wurden die Verfahren der Röntgendiagnostik nach Untersuchungsart und -region geordnet und in insgesamt 19 Kategorien zusammengefasst (Untersuchung des Schädels, der Zähne / des Kiefers, des Schultergürtels, des Thorax, des Abdomens, des Beckengürtels, der Extremitäten, der Wirbelsäule, des oberen Verdauungstraktes, des unteren Verdauungstraktes, des Harntraktes, des Gallentraktes, Mammographien, Knochendichtemessungen, Arteriographien, Venographien, interventionelle Maßnahmen, CT, sonstige oder nicht zuzuordnende Untersuchungen). Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer eingespielt.

Für die Datenerfassung ergeben sich dabei die folgenden Probleme:

- Bei stationären Leistungen für gesetzlich Krankenversicherte werden keine Einzelleistungen mit den Kostenträgern abgerechnet, so dass die stationären Röntgen-Leistungen aus den Daten für die ambulanten Leistungen abgeschätzt werden müssen.
- In die aktuelle Analyse fließen die Resultate eines vom BMU geförderter Forschungsvorhabens ein (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002). Hochgerechnet entfallen etwa 20% (GKV: etwa 16%) 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 für das Jahr 2002 etwa 15% der insgesamt in Deutschland erbrachten Röntgenleistungen auf die PKV.

- Eine eindeutige Zuordnung der Leistungspositionen zu den in der Röntgendiagnostik üblicherweise verwendeten Verfahren bzw. den untersuchten Körperregionen oder Organsystemen ist nicht in jedem Fall möglich, da es sich bei einigen Leistungspositionen um "Sammelpositionen" handelt, die Röntgenleistungen sehr verschiedener Körperregionen zusammenfassen. Beispielsweise bezieht sich eine einzige Leistungsziffer auf Röntgenleistungen der Extremitäten, des Schultergürtels und des Beckengürtels. In die aktuelle Analyse fließen die Ergebnisse eines UFOPLAN Forschungsvorhabens ein, in dem eine genauere Zuordnung der Regionen bei diesen Sammelpositionen für den stationären Bereich ermittelt wurde. Ein weiteres Forschungsvorhaben für den ambulanten Bereich ist geplant.

Die derzeit aktuellste Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2002. Im Vorfeld dieser Analyse wurde ein standardisiertes Verfahren entwickelt, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit eine Trendanalyse möglich ist. 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. Auf der Basis des nun entwickelten Konzepts soll die Evaluierung der medizinischen Strahlenexposition auch in Zukunft erfolgen.

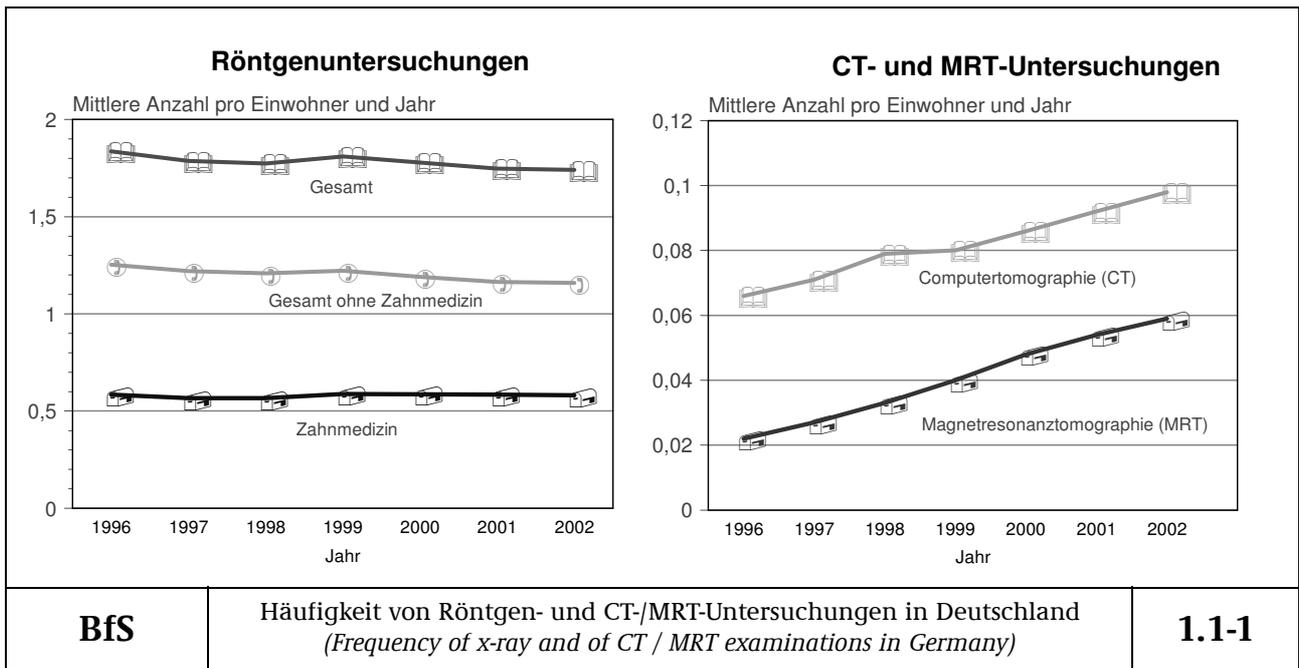
Für die vorliegende Auswertung wurden aktuelle Erhebungen zur Computertomographie-Untersuchungspraxis sowie die Ergebnisse neuerer UFOPLAN Forschungsvorhaben (s.o. sowie Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich) sowie die aktuelle Literatur berücksichtigt.

Erstmals wurden im Berichtszeitraum auch Häufigkeiten und Werte der kollektiven Dosen von Röntgenuntersuchungen abgeschätzt, die durch Unfallversicherungsträger abgerechnet oder im Auftrag der Bundeswehr durchgeführt wurden. Die Daten, die sich auf die Jahre 2002 bzw. 2000 beziehen, wurden bei den aktuell präsentierten Gesamtzahlen zur Häufigkeit und effektiven Dosis berücksichtigt.

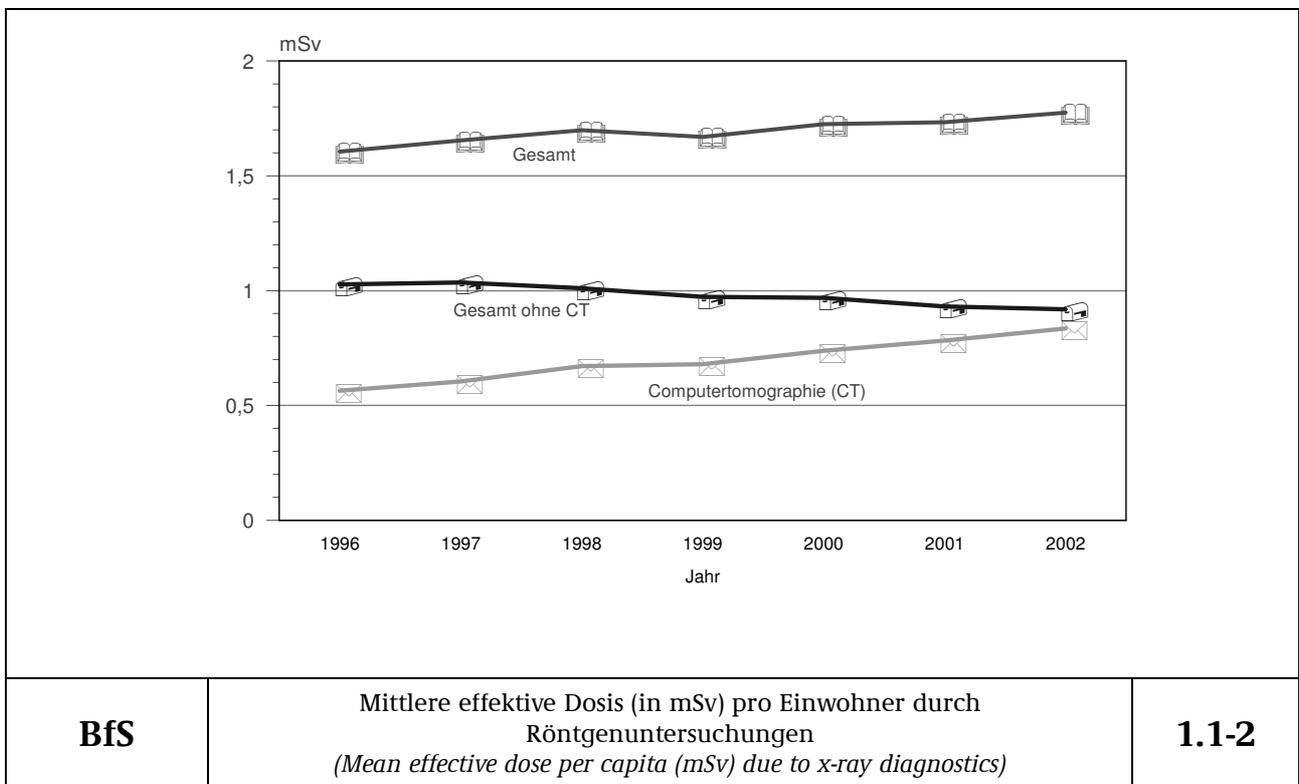
Auswertung der Jahre 1996 bis 2002 – Untersuchungshäufigkeit

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

Für das Jahr 2002 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 144 Millionen Röntgenuntersuchungen abgeschätzt. Während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2002 sind die Werte für die Häufigkeit in Deutschland mit etwa 1,8 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr relativ konstant geblieben (siehe Abbildung 1.1-1). Auch die Häufigkeit der verschiedenen Untersuchungsverfahren variiert nur wenig, wobei die zahnmedizinische Röntgendiagnostik (Zähne und Kiefer) konstant etwa ein Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen ausmacht. 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 1.1-3).



In der Trendanalyse am auffälligsten ist die stetige Zunahme der CT-Untersuchungen – insgesamt um nahezu 50% über den beobachteten Zeitraum (siehe Abbildung 1.1-2). Dieser Trend spiegelt – zumindest zum Teil – den zunehmenden Einsatz neuer Techniken, wie z. B. der MS-CT, im klinischen Bereich wider. Ein erheblicher Anstieg ist auch bei den “alternativen” bildgebenden Untersuchungsverfahren zu verzeichnen, die keine ionisierende Strahlung verwenden, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie MRT (siehe Abbildung 1.1-1). Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts abgenommen.



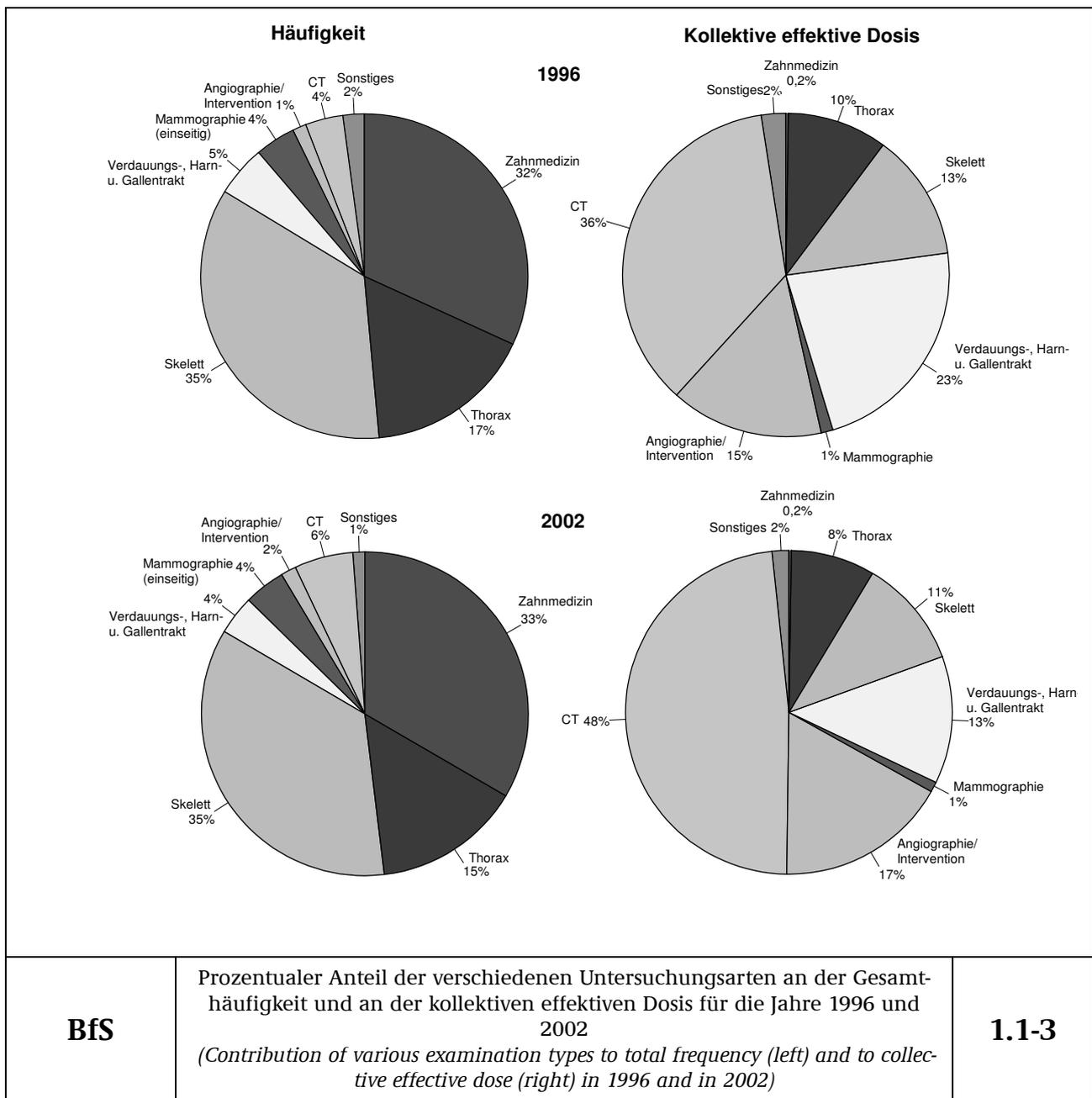
Auswertung der Jahre 1996 bis 2002 – Kollektive effektive Dosis

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wurde jeweils das Produkt von Häufigkeit und Dosis für die verschiedenen Untersuchungen nach Art und Körperregion ermittelt. Über den gesamten Zeitraum 1996 bis 2002 wurde dabei jeweils pro Untersuchung eine konstante Dosis angenommen.

Die – rein rechnerische – effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland stieg kontinuierlich von ca. 1,6 mSv im Jahr 1996 auf ca. 1,8 mSv im Jahr 2002 – um ca. 11% über den Beobachtungszeitraum – an (siehe Abbildung 1.1-2).

Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Demgegenüber zeigt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren einen nahezu konstanten – tendenziell sogar leicht abnehmenden – Verlauf (siehe Abbildung 1.1-2).

Zur kollektiven effektiven Dosis trugen im Jahre 2002 die CT sowie die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich der interventionellen Maßnahmen) mehr als zwei Drittel bei, ihr Anteil an der Gesamthäufigkeit war dagegen gering (siehe Abbildung 1.1-3).



1.2 Nuklearmedizinische 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 anreichern. Sie sind auf Grund ihrer Radioaktivität mit geeigneten Messgeräten, z. B. einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten nachweisbar und bildlich 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 Isotop Technetium-99m in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Mit der Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Arzneimitteln, wie z. B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers in hoher räumlicher Auflösung bildgebend in-vivo darzustellen. Die PET ist ein innovatives, eingeführtes Bildgebungsverfahren, das – ggf. in Kombination mit der Computertomographie (PET/CT) – die Leistungsfähigkeit der Diagnostik in der Neurologie, Kardiologie und vor allem in der Onkologie deutlich verbessert hat.

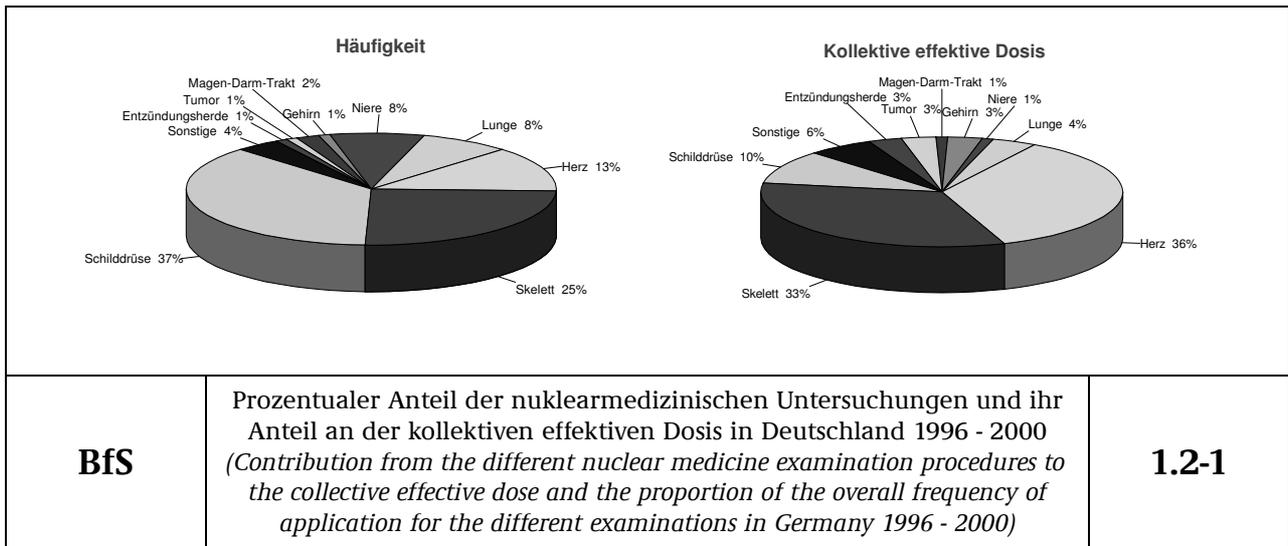
Für die Beurteilung der Strahlenexposition von Patienten durch die nuklearmedizinische Diagnostik wurde die Häufigkeit von Radionuklidapplikationen in den Jahren 1996 - 2002 und die daraus resultierenden effektiven Dosen bei ambulanten und stationären Patienten in Deutschland ermittelt.

In den Jahren 1996 bis 2002 wurden in Deutschland im Mittel ca. 3,8 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 47 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Eine systematische Veränderung der Untersuchungshäufigkeit konnte in dem betrachteten Zeitraum nicht festgestellt werden. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (s. Abbildung 1.2-1).

Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 10.200 PersonenSv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,12 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich vier nuklearmedizinische Untersuchungen sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich, nämlich die Skelett-, Myokard-, Tumor- und Schilddrüsenszintigraphie (s. Abbildung 1.2-1)

Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungsuntersuchungen mit 8,2 mSv am höchsten, gefolgt von Herzsztintigraphien mit 7,4 mSv und Tumorszintigraphien mit 6,5 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von 0,7 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,5 mSv). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,7 mSv.

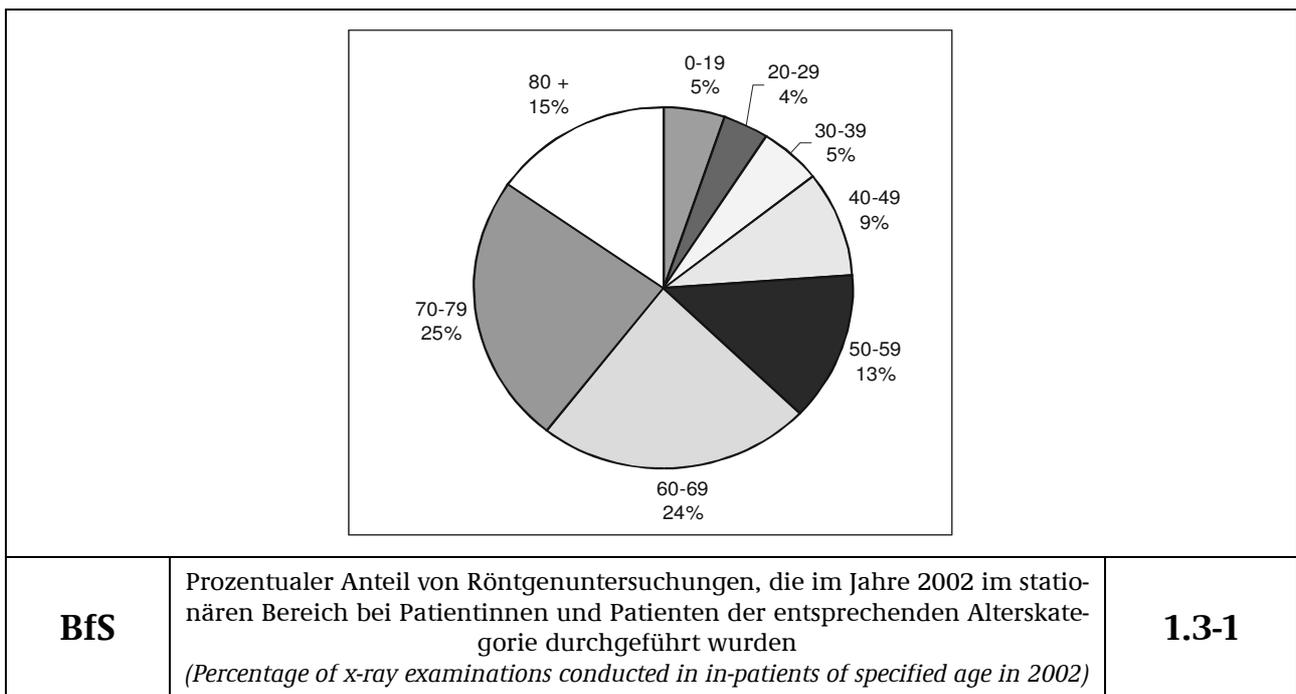
Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (1,8 mSv pro Person im Jahr 2002) ist die Exposition durch die nuklearmedizinischen Diagnostik relativ gering. Unabhängig davon sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte und die Verwendung neuer Radiopharmaka. So führt z. B. der Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI zur Verringerung der Strahlenexposition bei der Myokardszintigraphie.



1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen
(Evaluation in terms of radiation hygiene of radiation exposure due to medical methods)

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen betrug im Jahre 2002 etwa 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr.

Eine strahlenhygienische Bewertung dieses Dosiswertes muss vor allem 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. Zudem handelt es sich bei Patientinnen und Patienten typischerweise häufig um ältere Menschen, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. So werden mehr als 60% der Röntgenaufnahmen im Krankenhausbereich für Patientinnen und Patienten veranlasst, die 60 Jahre oder älter sind (siehe Abbildung 1.3-1). Weiterhin ist im Vergleich zur Normalbevölkerung die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patientinnen und Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patientinnen und Patienten werden aber auf Grund ihrer Erkrankung häufig mehrfach untersucht. In die strahlenhygienische Bewertung muss somit insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Eine Machbarkeitsstudie zur Konkretisierung der Datenbasis in diesem Bereich wurde initiiert.



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 in den verschiedenen Ländern sehr verschieden und zum Teil auch nicht hinreichend transparent sind. In Ländern mit vergleichbaren Gesundheitssystemen, wie der Schweiz, Luxemburg oder Belgien, sind Anzahl und Dosis medizinischer Strahlenexpositionen von ähnlicher Größenordnung wie in Deutschland.

Nach aktuellen Daten aus der Literatur lag in den USA und in Japan im Jahre 2000 allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis für *alle* in Deutschland durchgeführten Röntgenleistungen (vergleiche Tabelle 1.3-1). 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 eine mit EU-Mitteln geförderte Arbeitsgruppe mit Vertragspartnern aus sieben europäischen Ländern gebildet, wobei Deutschland durch das BfS vertreten wird. Ziel des EU-Vorhabens ist es, die Methoden zur Datenerfassung und -auswertung in den teilnehmenden Ländern zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der Heilkunde auf radiologische Untersuchungen nicht verzichtet werden kann, dass allerdings nur bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen das Strahlenrisiko für die einzelne Patientin und den einzelnen Patienten gegenüber dem Nutzen in den Hintergrund tritt.

Tabelle 1.3-1 Häufigkeit und effektive Dosis von CT-Untersuchungen 2000
(*Frequency and effective dose of CT examinations in 2000*)

Land	Anzahl der CT-Untersuchungen pro Einwohner	Mittlere Dosis pro CT-Untersuchung (mSv)	CT-bedingte Dosis pro Einwohner (mSv)
Deutschland	0,09	8,1	0,7
USA ^{a)}	0,20	8 ^{c)}	1,6
Japan ^{b)}	0,29	7,9	2,3

^{a)} Linton OW et al. National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients. Am J Roentgenol. 2003,181: 321-329

^{b)} Nishizawa K et al. Survey of CT practice in Japan and collective effective dose estimation. Nippon Acta Radiologica 2004, 64: 151-158

^{c)} Schätzung basierend auf den übereinstimmenden mittleren Dosiswerten aus Deutschland und Japan

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren (*Alternative examination procedures*)

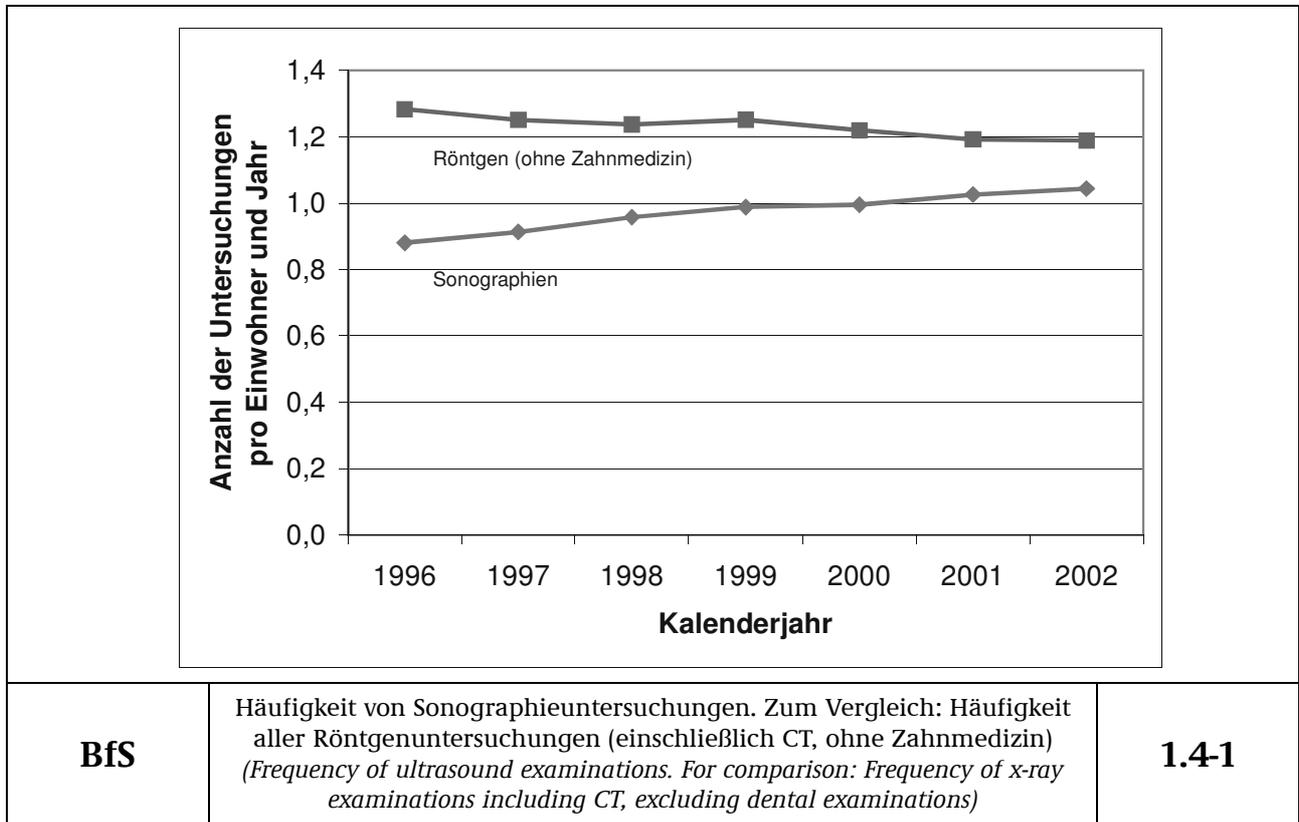
Bei den sogenannten alternativen Untersuchungen – Untersuchungen ohne Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung – steht neben der Endoskopie die Sonographie und die Magnetresonanztomographie (MRT) im Vordergrund.

Grundvoraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder bis zu einigen Tesla. Durch die Einstrahlung von Hochfrequenz-Pulsen 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. Ein weiterer Vorteil gegenüber der CT ist, dass die Krankheitsherde in freiwählbaren Schnittrichtungen dargestellt werden können. 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, über die Morphologie hinaus auch funktionelle Informationen über das Gewebe zu erhalten, wie z. B. über Angiogenese 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 MS-CT.

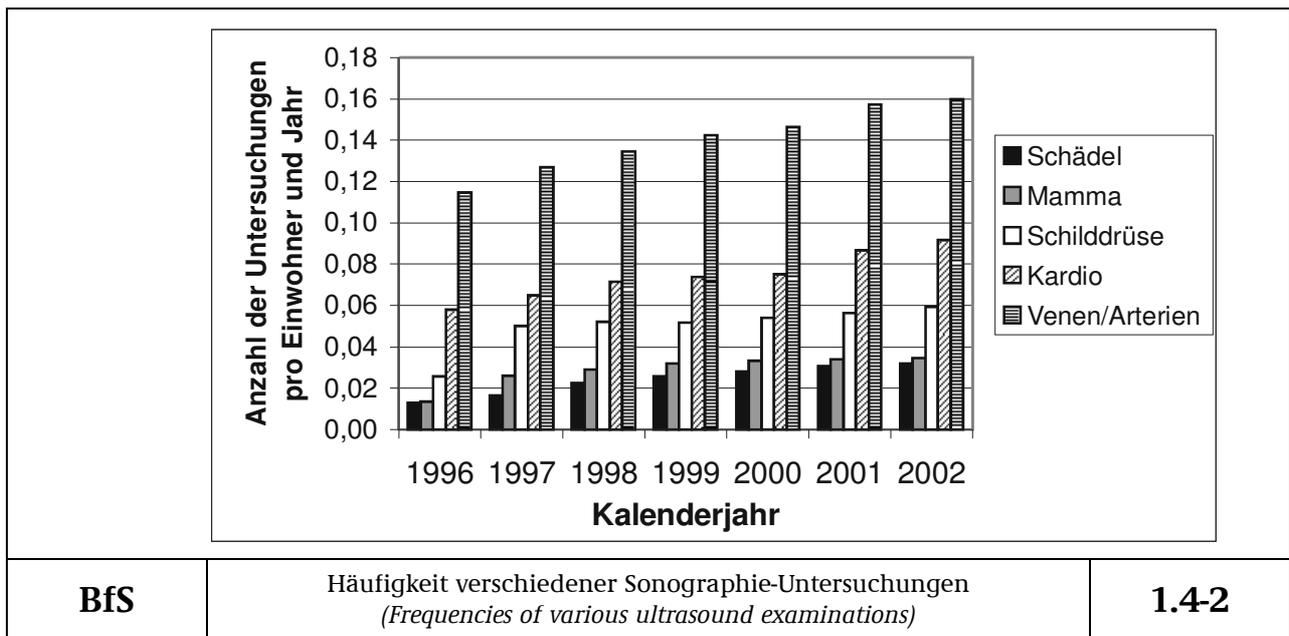
Im Berichtszeitraum wurde eine Abschätzung der Häufigkeit der alternativen bildgebenden Diagnoseverfahren Sonographie und MRT in Deutschland für die Jahre 1996 bis 2002 einschließlich einer Trendanalyse durchge-

führt. Wie für die Häufigkeiten der röntgen- oder nuklearmedizinischen diagnostischen Verfahren wurden die Daten der Kassenärztlichen Bundesvereinigung sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen verwendet. Da durch dieses Verfahren nur Untersuchungen in die Abschätzung eingehen können, die tatsächlich abgerechnet wurden, ist bei Sonographien allerdings nicht auszuschließen, dass die tatsächliche Anzahl unterschätzt wird.

Im betrachteten Zeitraum ist sowohl für Sonographie-Untersuchungen (siehe Abbildung 1.4-1) als auch für MRT-Untersuchungen (siehe Abbildung 1.1-2) eine stetige Zunahme der Häufigkeit zu verzeichnen. Besonders auffallend ist der Anstieg der MRT-Untersuchungshäufigkeit um etwa 170% während des betrachteten Zeitraumes (CT: Zunahme um 48%).



Demgegenüber ist die Zunahme von Ultraschall-Untersuchungen moderat (etwa 19% über den gesamten betrachteten Zeitraum). Der größte Teil (mehr als 80%) aller Sonographien werden im Bereich des Beckens/Abdomens durchgeführt. Für diesen Bereich deuten die Daten auf einen allenfalls leichten Anstieg der Häufigkeit über den Zeitraum 1996 bis 2002 hin. Für Ultraschalluntersuchungen des Schädels, der weiblichen Brust, der Schilddrüse, des Herzens und der Arterien/Venen wurde hingegen ein teilweise deutlicher Anstieg über den betrachteten Zeitraum verzeichnet (siehe Abb. 1.4-2).



Bemerkenswert ist die parallele Zunahme von MRT-, Ultraschall- und CT-Untersuchungen. Die Zunahme alternativer Untersuchungsverfahren ohne Anwendung von Röntgenstrahlen führt somit entgegen der ursprünglichen Erwartungen nicht zu einer Abnahme der Untersuchungsfrequenz von CT-Anwendungen.

1.5 Qualitätssicherung (Quality assurance)

Die Röntgen- und Strahlenschutzverordnung tragen in ihrer jeweils novellierten Form zur Reduzierung der medizinischen Strahlenexposition bei. Die Pflicht zur Befragung der Patientinnen und Patienten nach früheren radiologischen Untersuchungen einerseits, wobei der Röntgenpass als Gedächtnisstütze dient, und die Pflicht zur leihweisen Weitergabe von radiologischen Bildern an nachbehandelnde Ärzte andererseits, führen zu einer Vermeidung von Wiederholungsuntersuchungen. Auch die konsequente Praktizierung und Verbesserung der Qualitätskontrolle und -sicherung in der Radiologie tragen dazu bei, dass die Strahlenexposition des Einzelnen im Rahmen der medizinischen Diagnostik niedrig gehalten wird.

Die Einführung dosisparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material ("Seltene-Erden-Folien"), Hochfrequenzgeneratoren, Belichtungsautomatik und gepulster Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. CT und interventionelle Radiologie sind zwar dosisintensive radiologische Verfahren, stellen aber durch eine wesentlich genauere und umfangreichere Diagnosestellung bzw. durch den Ersatz risikoreicher alternativer Therapieformen einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die einzelne Patientin bzw. den 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 nach § 17 a RöV überwachen deren Einhaltung und geben Hinweise zur Herabsetzung der Dosis und Verbesserung der Bildqualität. Aus den Jahresberichten mehrerer ärztlicher Stellen ist zu ersehen, dass leichte und insbesondere schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung und der Beratung durch die ärztlichen Stellen kontinuierlich seltener geworden sind.

Mit Inkrafttreten der novellierten Strahlenschutz- und Röntgenverordnung ist weiterhin die Entscheidung darüber, ob und ggf. wie radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung am Menschen angewendet wird, mit dem Begriff der rechtfertigenden Indikation in einem eigenen Paragraphen deutlicher als zuvor festgelegt. Auch wurden die Anforderungen an Fachkunde und Kenntnisse der Personen, die Röntgenstrahlen anwenden, erhöht. Darüber hinaus sind – als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik – jetzt diagnostische Referenzwerte zu beachten. Ziel ist es, im Rahmen der Überwachung durch die ärztlichen Stellen Anwender zu finden, bei denen die Dosiswerte ständig ungerechtfertigt über den diagnostischen Referenzwerten liegen, und die ggf. vorhandenen systematischen Fehler aufzeigen und

beseitigen zu können. Die Überwachung der Einhaltung diagnostischer Referenzwerte erfolgt durch die ärztlichen Stellen, die Erstellung und Aktualisierung durch das BfS. Die digitale Radiographie bringt bei Standardstellungen keine Dosisersparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch die mögliche Korrektur von Fehlbelichtungen oder durch die strahlungsfreie Situationskontrolle bei Durchleuchtungen mittels "Last Image Hold". Auch bei der CT zeichnet sich – zumindest bei Standarduntersuchungen – ein Trend zu niedrigeren Dosiswerten ab. Andererseits ermöglichen neue, insbesondere schnellere CT-Untersuchungstechniken (Mehrschicht-Computertomographie) neue Anwendungsarten mit einer diagnostischen Aussagekraft, die bisher nicht zu erzielen war. Jedoch sind diese Anwendungen meist auch mit höheren Dosen verbunden.

Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder mittels Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Teleradiologie. Jedoch muss auch in der Teleradiologie weiterhin der Grundsatz gelten, dass sowohl Indikationsstellung als auch Durchführung bzw. Überwachung von Röntgenuntersuchungen Ärzten vorbehalten sind, die die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz besitzen.

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

Weiterhin sind zwei neuere Röntgenverfahren von strahlenhygienischem Interesse, die digitale Volumentomographie zur Darstellung der Ober- und/oder Unterkieferregion in der Zahnmedizin sowie die 3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C-3D). Ähnlich der Computertomographie besitzen beide Techniken die Möglichkeit, Schichtaufnahmen zu erstellen und durch entsprechende Rekonstruktionsverfahren weiterzuverarbeiten. Die digitale Volumentomographie liegt mit einer effektiven Dosis von etwa 0,1 mSv zwischen der konventionellen Panoramaschichtaufnahme und der Dental-CT. Die applizierte Dosis bei dem ISO-C-3D-Verfahren ist sehr stark abhängig von der OP-Situation, aber auch von der radiologischen Erfahrung des Chirurgen. Aus strahlenhygienischer Sicht ist dieser Punkt problematisch, da dem Chirurgen hier ein Gerät an die Hand gegeben wird, für das er einerseits radiologisches Wissen wie bei der CT besitzen sollte, um die benötigte Bildqualität mit einer möglichst geringen Dosis zu erzielen, für das aber andererseits die Zuordnung zur CT nicht eindeutig gegeben ist. Ähnlich ist die strahlenhygienische Bewertung bei der digitalen Volumentomographie im Bereich der Zahnmedizin zu sehen. Um bezüglich dieser beiden Verfahren die rechtlichen Grundlagen für eine Qualitätssicherung zu schaffen, ist es notwendig, sie in die bestehenden Richt- und Leitlinien für die Röntgendiagnostik sowie insbesondere auch in die Grundlagen zur Sachverständigenprüfung einzubeziehen. Ähnliches gilt auch für die bereits oben angesprochene digitale Radiologie.

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

2.1 Strahlentherapie *(Radiotherapy)*

Im Vergleich zur radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik findet die Strahlentherapie nur bei einem relativ kleinen, aber schwer erkrankten Teil der Bevölkerung Anwendung. Sie ist durch eine hohe Strahlenexposition in einem kleinen Zielvolumen des Körpers charakterisiert. Ziel der Strahlentherapie ist es, die zur Zerstörung der krankhaft veränderten Zellen erforderliche Strahlendosis im Tumor zu applizieren, gleichzeitig aber das benachbarte gesunde Gewebe weitgehend zu schonen.

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen der klinischen Strahlentherapie im Verbund mit diagnostischen Verfahren, Medizinischer Strahlenphysik, Strahlenbiologie und Informatik. Die Integration der Strahlentherapie in komplexe Therapieschemata, z. B. kombinierte Radiochemotherapieansätze, erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene. Wichtige Entwicklungen in den letzten Jahren beinhalten insbesondere die weitere Verbesserung der Bestrahlungsplanung, die eine optimierte, individuelle, dreidimensionale, tumorkonforme Bestrahlung auch irregulär geformter Tumore in anatomisch schwieriger Umgebung ermöglicht. Dazu gehören die Stereotaxie, eine hochdosierte Bestrahlung des Tumors, entweder einzeitig oder in wenigen hochdosierten Fraktionen, wie auch die IMRT (intensitätsmodulierte Radiotherapie), die es ermöglicht, die Strahlendosis innerhalb eines Bestrahlungsfeldes zu verändern (modulieren). Für die Patienten bedeutet das, dass sich die Heilungschance erhöht, während unerwünschte Nebenwirkungen der Bestrahlung am gesunden Gewebe seltener sind. Dabei ist eine ständige Qualitätskontrolle in der Strahlentherapie von zentraler Bedeutung.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen, sog. ultraharte Röntgenstrahlung, oder schnelle Elektronen im Megaelektronenvoltbereich erzeugt werden. Derzeit werden in Deutschland jährlich etwa 220.000 Patientinnen und Patienten mit ionisierender Strahlung behandelt.

Röntgentherapieanlagen bis zu einer Energie von ca. 500 keV werden vorzugsweise für die Oberflächentherapie eingesetzt, d. h. zur Behandlung von Hauttumoren sowie zur Behandlung von entzündlichen oder degenerativen Erkrankungen an Gelenken und Bandapparat. Für die Strahlenbehandlung tiefliegender bösartiger Tumore sind sie nicht geeignet.

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordinierung der Nachsorge. Da in der Strahlentherapie hohe 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. In der "Interdisziplinären Leitlinie der Deutschen Krebsgesellschaft" unter Federführung der Arbeitsgemeinschaft Radiologische Onkologie (ARO) der Deutschen Krebsgesellschaft wird auf die Prinzipien der modernen Strahlentherapie (Radioonkologie) im Einzelnen sowie zu den Indikationen für eine Strahlentherapie eingegangen [1].

2.2 Nuklearmedizinische Therapie *(Therapeutic nuclear medicine applications)*

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. Tumorzellen vernichtet. Jährlich werden in Deutschland etwa 60.000 Radiojodtherapien bösartiger und gutartiger Schilddrüsenerkrankungen mit I-131 durchgeführt. 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 rezidivierenden Gelenkergüssen) sowie
- die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen.

Zunehmendes Interesse gewinnt die Radioimmuntherapie, bei der spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert werden, um die Tumorzellen insbesondere gezielt durch Strahlung zu zerstören.

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 [2].

Literatur

- [1] Kurzgefasste Interdisziplinäre Leitlinien 2003, 3. Auflage: "Prinzipien der modernen Strahlentherapie (Radioonkologie)" (<http://www.uni-duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/032-003.htm>)
- [2] Schober, G. Lottes (Hrsg.): Empfehlungen zur klinischen Qualitätskontrolle in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie, Nuklearmedizin/Nuclear Medicine, 38. Jg. Heft 6a/99, Schattauer Verlag, Stuttgart, New York

3. Herzschrittmacher *(Pacemakers)*

Im Jahr 2004 wurden - wie bereits seit 1977 - 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.

Tabelle 3-1 enthält die Anzahl der seit 1971 gemeldeten Implantationen und Explantationen für Herzschrittmacher mit Plutonium-238. Alle Herzschrittmacher mit Promethium-147 sind bereits explantiert. Die bisher bekannten übrigen Daten (Altersgruppe, Tragedauer und Explantationsursache) sind im Jahresbericht 1989 aufgeführt.

Tabelle 3-1 Gemeldete Implantationen und Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen
(Registered implantations and explantations of pacemakers with radionuclide sources)

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1971	3	0
1972	72	2
1973	122	7
1974	47	11
1975	31	22
1976	9	12 a)
1977	0	22
1978	0	15
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	13
1983	0	11
1984	0	15
1985	0	18
1986	0	8
1987	0	10
1988	0	4

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1989	0	9
1990	0	8
1991	0	3
1992	0	5
1993	0	1
1994	0	3
1995	0	1
1996	0	3
1997	0	1
1998	0	3
1999	0	0
2000	0	2
2001	0	2
2002	0	0
2003	0	4
2004	0	1
Gesamt	284	265

a) 1 HSM in Kambodscha verschollen

4. 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 radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in der zum 1. August 2001 in Kraft getretenen novellierten StrlSchV neu geregelt (§§ 23 und 24 in Verbindung mit den §§ 87 - 92 StrlSchV). Die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in der Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung vom 18. Juni 2002 neu geregelt (§ 28 a-g RöV).

Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) schützen Probanden, bei denen im Rahmen der medizinischen Forschung radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) angewendet werden, in besonderer Weise durch die Genehmigungspflicht.

Die Genehmigungspflicht besteht

- bei der biomedizinischen Forschung mit rein wissenschaftlicher Fragestellung, die nicht der Heilung (Diagnose, Therapie) eines bestimmten 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 zur etablierten Krankenversorgung (Heilbehandlung) bzw. Heilversuch der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn zur Wirksamkeit bestimmter Mittel oder Methoden im Vordergrund steht.

Da sich im Rahmen der Antragstellung bzw. des Genehmigungsverfahrens zunehmend offene Fragen bezüglich der Genehmigungsbedürftigkeit der Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung im Rahmen geplanter Studien ergaben, wurde vom BfS ein "Voranfrageverfahren" zur Genehmigungsbedürftigkeit nach StrlSchV bzw. RöV geplanter Forschungsvorhaben etabliert, das auf breite Resonanz gestoßen ist. Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die vom BfS erteilten Genehmigungen und über die bearbeiteten Voranfragen im Jahre 2004.

Tabelle 4-1 Vom BfS gemäß § 23 StrlSchV und § 28 a RöV erteilte Genehmigungen zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) am Menschen in der medizinischen Forschung im Jahr 2004
(Licenses granted by BfS for the use of radioactive substances or ionising radiation - including X-rays - applied on humans in medical research, in the year 2004)

	Anzahl der erteilten Genehmigungen	Anzahl der bearbeiteten Voranfragen
RöV	91	29
StrlSchV	109	13
Gesamt	200	42

4.1 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung gemäß § 23 StrlSchV an gesunden Probandinnen und Probanden in der medizinischen Forschung
(Application of radioactive substances or ionising radiation on healthy subjects in medical research)

Eine Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung an gesunden Probandinnen und Probanden erfolgt in der Regel im Rahmen der klinischen Prüfung vor Zulassung eines Arzneimittels. Hierbei wird das zu prüfende Arzneimittel radioaktiv markiert und an freiwillige gesunde Probanden verabreicht, um im Interesse einer möglichst hohen Arzneimittelsicherheit abschließende Ergebnisse über die Wechselwirkung des Arzneimittels mit dem menschlichen Organismus zu gewinnen.

Wichtig sind u. a. Untersuchungen zu Biokinetik bzw. Metabolismus des Arzneimittels im menschlichen Organismus, d. h. es sind folgende Fragen zu beantworten:

- In welche Körperregionen oder Organe gelangt das Arzneimittel?
- Wo und wie wird das Arzneimittel im Organismus abgebaut?
- Welche Umwandlungsprodukte (Metabolite) entstehen dabei?
- Wo und wie wird das Arzneimittel ausgeschieden?
- Wie vollständig und in welcher Zeit geschieht dies?

In vielen Fällen erlaubt die Messung radioaktiver Substanzen die Erfassung wesentlich geringerer Substanzmengen, als dies bei nichtradioaktiven Stoffen selbst mit modernen Analysemethoden der Fall wäre. Es ist daher bei Untersuchungen zur Biokinetik eines Arzneimittels oft notwendig, dieses Arzneimittel radioaktiv markiert zu verabreichen.

Im Rahmen der klinischen Prüfung von Arzneimitteln können sich auch Fragestellungen ergeben, die nur unter Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung zu beantworten sind, wobei das zu prüfende Arzneimittel selbst nicht radioaktiv ist. Daneben unterliegen auch radioaktive Arzneimittel einer klinischen Prüfung. Um Normalwerte bzw. Normalbefunde zu erhalten, kann es notwendig sein, die beiden zuletzt genannten Arten der Untersuchung ebenfalls an gesunden Probandinnen und Probanden vorzunehmen.

4.2 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung gemäß § 23 StrlSchV an Patientinnen und Patienten in der medizinischen Forschung
(Application of radioactive substances or ionising radiation on patients in medical research)

Häufig ist die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen zur Klärung pathophysiologischer-/ biochemischer Fragestellungen bzw. im Rahmen der klinischen Prüfung von Arzneimitteln (Phase I - IV) an Patientinnen und Patienten notwendig, wobei entweder ein radioaktives Arzneimittel geprüft wird oder zur Prüfung eines nicht radioaktiven Arzneimittels radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlen angewandt werden müssen.

4.3 Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung *(Application of x-rays on humans in medical research)*

Seit Inkrafttreten der Röntgenverordnung im Jahr 1988 bedarf die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung einer besonderen Genehmigung. Mit Inkrafttreten der novellierten Röntgenverordnung am 1. Juli 2002 wurden die diesbezüglichen Genehmigungsvoraussetzungen konkretisiert und teilweise auch verschärft. Dies betrifft u. a. insbesondere die Regelungen zur Probandenversicherung.

Eine Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der Forschung ist dann gegeben, wenn eine Probandin oder ein Proband einer nur durch das Forschungsvorhaben bedingten Strahlenexposition ausgesetzt wird. Röntgenuntersuchungen, die im Rahmen der medizinischen Krankenversorgung (gerechtfertigte Indikation) durchgeführt und zusätzlich wissenschaftlich ausgewertet werden, sind nicht genehmigungsbedürftig.

TEIL 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)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter und vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Eschborn

1.1 Einleitung *(Introduction)*

Nach § 3 Atomgesetz (AtG) bedarf derjenige, der Kernbrennstoffe ein- oder ausführt, einer Genehmigung. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung bzw. die Anwendbarkeit des Anzeigeverfahrens bei der Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe sind in den §§ 19-22 der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714) (StrlSchV) festgelegt. Zuständige Behörde (§ 22 AtG) für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhrgenehmigungen und die Entgegennahme der Anzeigen nach zollamtlicher Bearbeitung (Nicht-EU-Staaten) bzw. direkt (bei Verbringung innerhalb der EU) ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

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 der umschlossenen Strahlenquellen einschließlich der radioaktiven Abfälle berichten.

1.2 Rechtsgrundlagen und Verfahren *(Legal basis and procedures)*

Kernbrennstoffe

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) nach der Einfuhr erstmals an Personen/Institutionen abgegeben, denen eine Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG erteilt ist. In diesen Fällen besteht lediglich eine Anzeigepflicht (vgl. § 20 Abs.3 StrlSchV).

Sonstige radioaktive Stoffe, radioaktive Abfälle

Der Regelungsbereich des § 19 StrlSchV beschränkt sich auf die Einfuhr radioaktiver Stoffe in den Geltungsbereich dieser Verordnung aus einem Nicht-EU-Staat und die Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus dem Geltungsbereich dieser Verordnung in einen Nicht-EU-Staat.

Die Einfuhr ist nach § 20 StrlSchV, Abs. 1 nur anzeigepflichtig - nicht genehmigungspflichtig -, sofern der Empfänger in der Bundesrepublik Deutschland eine Umgangsgenehmigung für sonstige radioaktive Stoffe entsprechend § 7 StrlSchV besitzt. Die Ausfuhr ist bis zum 10^8 -fachen der Freigrenze je Beförderungs- oder Versandstück anzeigepflichtig (§ 20 Abs. 2 StrlSchV), oberhalb dieser Grenze ist sie genehmigungspflichtig.

Die dargestellten Genehmigungs- und Anzeigevorbehalte gelten gemäß § 21 StrlSchV nicht für Stoffe, die in der Anlage I (genehmigungsfreie Tätigkeit) Teil B Nr. 1 bis 6 genannt sind.

Anzeigeverfahren

Die Anzeige, deren Inhalt und Form vom Bundesministerium der Finanzen vorgeschrieben ist, wird der zuständigen Zolldienststelle vorgelegt, dort mit den Frachtpapieren verglichen und bestätigt, sofern die Angaben übereinstimmend sind. Werden grobe Unregelmäßigkeiten festgestellt, wird die Sendung zurückgewiesen. In allen Fällen werden Unregelmäßigkeiten auf der Anzeige vermerkt, die dem BAFA übersandt wird. Mit Einführung des europäischen Binnenmarktes am 1. Januar 1993 entfiel bei der Verbringung radioaktiver Stoffe innerhalb der Mitgliedsstaaten die zollamtliche Abfertigung; daher ist die entsprechende Ein- bzw. Ausfuhranzeige innerhalb einer Woche nach Verbringung direkt dem BAFA zu übersenden.

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.

Auch hier ist seit 1. Januar 1993 die zollamtliche Abfertigung im Bereich des Binnenmarktes entfallen. Die Genehmigungen werden daher mit der Auflage versehen, dem BAFA den Vollzug der Verbringung innerhalb bestimmter Fristen mitzuteilen.

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 Ausdrucke mit den wesentlichen Angaben zu allen radioaktiven Stoffen an die zuständigen Gewerbeaufsichtsämter bzw. an die sonst von den Bundesländern bestimmten atomrechtlichen Aufsichtsbehörden.

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

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht:

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

Zuständiges Ressort ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit ; 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 Mitgliedsstaaten zu verbessern. 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 erfasst werden.

Die Regelungen der Verordnung sind nicht so strikt wie die der Richtlinie 92/3/EURATOM mit ihrem lückenlosen Konsultationsverfahren. Der Besitzer von umschlossenen und anderen Strahlenquellen, der diese in einen anderen Mitgliedstaat verbracht hat, macht den zuständigen Behörden des Bestimmungsmitgliedstaates binnen 21 Tagen nach jedem Quartalsende eine Anzeige. Eine Verbringung von umschlossenen Strahlenquellen muss 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.

Um eine bessere Kontrolle u. a. auch bei der Weitergabe von hoch radioaktiven Strahlenquellen zu erreichen, hat der Rat der Europäischen Union am 22. Dezember 2003 die Richtlinie zur Kontrolle hoch radioaktiver 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.

Diese Richtlinie des Rates ist zunächst nicht direkt in den Mitgliedstaaten geltendes Recht; sie muss erst von den Mitgliedstaaten in nationales Recht umgesetzt werden (Umsetzungsfrist bis 31.12.2005).

Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedsstaat in einen anderen, in die Gemeinschaft und aus der Gemeinschaft (ABl. L 35 vom 12. Februar 1992)

Das Europäische Parlament hat 1988 aus konkretem Anlass eine umfassende Gemeinschaftsregelung gefordert, um grenzüberschreitende Transporte nuklearer Abfälle von ihrer Entstehung bis zur Lagerung einem System

strenger Kontrolle und Genehmigungen zu unterwerfen. In der Bundesrepublik Deutschland ist gemäß § 9 a AtG die inländische Endlagerung vorgeschrieben.

Der Rat hat die Richtlinie 92/3/EURATOM erlassen, weil weder die Richtlinie über die in der Gemeinschaft vorzunehmende Überwachung und Kontrolle gefährlicher Abfälle, noch die Grundnormen für den Gesundheitsschutz Regelungen für radioaktive Abfälle enthalten.

Verbringung im Sinne der Richtlinie bedeutet die "Vorgänge zur Beförderung radioaktiver Abfälle vom Ausgangs- zum Bestimmungsort, einschließlich Be- und Entladung". Diese Definition ist missverständlich, da sich die Richtlinie nicht auf die tatsächliche Durchführung einer Beförderung bezieht. Die Richtlinie regelt lediglich die formelle Ein-, Aus- und Durchfuhr radioaktiver Abfälle, sie entspricht den deutschen Ein- und Ausfuhrregelungen im Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung. Sie soll diese letztlich ersetzen.

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

Die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung setzt 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.

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

Durch den Beitritt der 10 neuen Mitgliedstaaten zum 01. Mai 2004 sind diese in den Tabellen zwar noch aufgeführt; die Datenerfassung bezüglich dieser Länder endete jedoch zum 30. April 2004. Dadurch ergibt sich ein weiterer Rückgang.

Es wurden im Berichtszeitraum vom BAFA 48 Einfuhr- und 93 Ausfuhrgenehmigungen gemäß § 3 AtG sowie 48 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; diese sind vielmehr den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Im Jahr 2004 gingen 5.018 Einfuhranzeigen nach § 20 Abs. 1 und 3 StrlSchV sowie 8.176 Ausfuhranzeigen nach § 20 Abs. 2 StrlSchV (bezogen auf die Anzahl der gelieferten Einheiten) ein. Die Zahl der bearbeiteten Belege ist damit im Vergleich zum Vorjahr aus den o.g. Gründen deutlich zurückgegangen (vgl. hierzu 1.4). Ein direkter Vergleich der vorliegenden Statistik mit jener für 2003 ist bezüglich der sonstigen radioaktiven Stoffe somit nur bedingt sinnvoll.

Die **Gesamteinfuhr** an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) hat sich auf weniger als die Hälfte reduziert (Tabelle 1.3-1). Dies liegt im Wesentlichen am Rückgang bei den umschlossenen Strahlenquellen ab 1.850 GBq und auch daran, dass in 2003 über 77% der Gesamteinfuhr an offenen und umschlossenen Radionukliden ohne Strahlenquellen ab 1.850 GBq als Pm-147 und weitere 21% als H-3 (hier fast ausschließlich in Form von Tritiumgaslichtquellen) bezogen wurden. Diese beiden Posten fehlen in 2004 und treten erfahrungsgemäß auch nicht jährlich auf.

Bei der Einfuhr von Kernbrennstoffen ist eine Abnahme auf etwa die Niveaus der Vorjahre zu verzeichnen. Bestrahltes Material war 2004 nicht eingeführt worden.

Aktivierungsprodukte ("Bestrahlungssproben") wie aktivierte Anlagenteile wurden nur in geringen Mengen eingeführt.

Die **Gesamtausfuhr** von Radionukliden in GBq nahm im Jahr 2004 wieder sehr deutlich ab wegen der Abnahme bei den umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq (Tabelle 1.3-2). Auf Grund der eingangs erläuterten Umstände sind diese Zahlen aber nur bedingt mit jenen für 2003 vergleichbar.

Aktivierungsprodukte ("Bestrahlungsproben") wie aktivierte Anlagenteile wurden 2004 wieder nur in unbedeutenden Mengen ausgeführt.

Bei den Kernbrennstoffen (unbestrahlt) und Ausgangsstoffen ist seit 1997 erstmals wieder ein deutlicher Rückgang festzustellen. Bestrahltes Material ist auch in relevanten Mengen ausgeführt worden.

Tabelle 1.3-1 Einfuhr radioaktiver Stoffe in die Bundesrepublik Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(*Import of radioactive materials into the Federal Republic of Germany - without radioactive waste*)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1.850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1.850 GBq (GBq)	Gesamteinfuhr (ohne radioakt. Abfälle) 1) (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) (kg)
1986	6.898.702	482.006	75.665.995	83.046.703	2.550.506
1987	2.819.826	9.415	22.601.222	25.430.463	3.164.497
1988	3.847.911	65.858	60.575.600	64.489.369	2.139.796
1989	2.399.272	103.372	90.816.100	93.318.744	1.508.501
1990	2.682.529	319.142	61.850.900	64.852.571	2.206.300
1991	3.040.547	72.469	102.929.300	106.042.316	1.461.661
1992	4.470.768	1.470.922	31.326.500	37.268.190	1.742.521
1993	3.227.143	2.546.470	23.330.800	29.104.413	2.306.737
1994	1.911.797	1.072.513	71.315.900	74.300.210	1.999.972
1995	4.686.926	73.629	38.600.400	43.360.955	2.049.273
1996	10.447.635	511.014	59.959.336	70.917.985	2.226.240
1997	1.541.873	51.048	79.215.145	80.808.066	2.490.191
1998	3.254.186	26.300	63.455.965	66.736.451	2.685.212
1999	2.149.973	237	49.894.030	52.044.519	2.540.221
2000	2.070.200	299.203	59.094.344	61.465.318	2.446.259
2001	1.621.780	39.392	25.840.589	27.547.253	3.211.796
2002	2.154.465	34	25.656.390	27.814.225	3.070.944
2003	9.871.929	1	45.034.300	54.906.251	4.565.497
2004	634.604	1.220	25.150.300	25.786.133	2.558.317

1) seit 1998 inklusive radioaktive Gemische; z. B. kontaminierte Werkzeuge

Tabelle 1.3-2 **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 1.850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1.850 GBq (GBq)	Gesamtausfuhr (ohne radioakt. Abfälle) 1) (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) (kg)
1986	2.889.014	0	4.405.200	7.294.214	5.665.746
1987	1.536.731	228.910	3.692.900	5.458.541	2.090.991
1988	3.001.859	11	3.372.000	6.373.870	2.457.445
1989	765.723	97	2.548.600	3.314.420	5.024.837
1990	1.511.312	17.808	2.499.700	4.028.820	2.800.495
1991	651.462	244	12.399.100	13.050.806	8.164.086
1992	2.015.066	27	5.994.200	8.009.293	2.990.557
1993	2.365.740	0	3.063.200	5.428.940	2.983.893
1994	1.447.018	98	2.137.812	3.584.928	2.078.477
1995	1.088.060	22.201	5.702.702	6.812.963	1.657.725
1996	960.351	1.335	3.009.100	3.970.786	2.146.830
1997	392.404	22	2.146.212	2.538.638	3.550.137
1998	550.637	25.044	2.333.673	2.909.354	3.133.196
1999	711.403	81	1.705.422	2.424.966	3.257.216
2000	828.677	94	3.001.795	3.838.040	2.719.502
2001	548.627	23	1.122.457	1.671.185	3.228.135
2002	484.827	0	2.057.005	2.541.842	3.387.520
2003	603.203	14	4.223.996	4.833.831	3.691.535
2004	553.012	7	1.323.180	1.876.208	1.971.109

1) seit 1998 inklusive radioaktive Gemische; z. B. kontaminierte Werkzeuge

1.4 Einfuhrstatistik *(Import statistics)*

Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Tabelle 1.4-1 gibt die Aktivität der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab 1.850 GBq und Aktivierungsprodukte sowie sonstige radioaktive Gemische.

Es ist augenscheinlich, dass durch den Wegfall der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht für innergemeinschaftliche Verbringungen der größte Teil des ursprünglichen Meldevolumens fehlt. Der Entfall der Spalte für Mo-99 zeigt dies deutlich: Deutschland bezieht dieses Radionuklid als Tc-99m-Generatoren im Wesentlichen aus Frankreich, Belgien und den Niederlanden (vgl. Tab. 1.4-1 der Jahresstatistiken 2001 und davor). I-131 ist aus demselben Grund ebenfalls nicht mehr vertreten.

Die Einfuhr von Tritium-Gaslichtquellen ist nach den Großlieferungen im Jahr 2003 aus der Schweiz wieder auf ein etwa durchschnittliches Maß von 37.298 GBq in 2004 zurückgegangen.

H-3-Leuchtmasse (ohne Leuchtfarbe auf Zeigern und Zifferblättern) wurde in 2004 deutlich weniger eingeführt; nämlich 4.400 GBq gegenüber 19.100 GBq im Vorjahr ebenfalls aus der Schweiz.

Aus diesen Daten geht hervor, dass ca. 86% des in Tabelle 1.4-1 aufgeführten Tritiums in Form von Gaslichtquellen und Leuchtfarbe eingeführt worden ist.

Tabelle 1.4-1 Aktivität der 2004 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2004 - without sources at levels of above 1850 GBq)

Versender- land	Aktivität in GBq																	
	H-3	C-14	P-32	Fe-55	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	I-125	Cs-137	Pm-147	Gd-153	Tm-170	Ir-192	Am-241	Sonstige	Summe
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	(2 - 18)
Norwegen	4.477	0	0	0	0	0	0	4	13	0	0	0	0	0	865	0	0	5.359
Schweiz	20.767	1	0	0	178	35	1.017	0	9	83	72	9.501	12	0	555	10	115	32.355
USA	1.502	455	2.177	995	8	309	1	977	3.254	9.269	1.422	8	390	0	11.255	2.209	761	34.992
Kanada	399	0	0	0	441.300	59	0	0	0	417	0	0	0	0	0	0	60	442.235
Japan	0	0	0	0	0	1	0	71	0	0	1	13	0	0	6.674	0	0	6.760
Türkei	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	983	0	0	989
Russland	49	2.523	0	9	0	8	0	14.500	56	8.883	41.240	0	187	2.897	247	7.869	415	78.883
Belarus	0	0	0	0	846	0	0	0	0	0	0	0	333	0	0	0	0	1.179
Usbekistan	0	0	11	0	0	0	0	0	0	2.220	0	0	0	0	404	0	61	2.696
Tschechien	0	0	0	0	0	1	0	283	1	42	352	0	0	0	666	2.106	246	3.697
Polen	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1.619	0	25	1.645
Kuwait	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	848	0	0	848
Südkorea	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1.129	0	0	1.132
Singapur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	888	0	0	888
Taiwan	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	4	0	0	0	825	0	0	834
Israel	16.191	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.193
Sonstige	0	0	59	0	17	88	0	33	2	7	15	0	0	0	3.428	63	207	3.919
Summe	43.385	2.979	2.247	1.004	442.349	509	1.018	15.870	3.342	20.921	43.106	9.522	922	2.897	30.386	12.257	1.890	634.604

Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Tabelle 1.4-2 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75, Cs-137 und Ir-192.

Die Einfuhr ist 2004 im Vergleich zum Vorjahr wieder deutlich gefallen und liegt jetzt wieder auf dem Niveau von 2001 und 2002. Der größte Posten in dieser Rubrik ist wie immer bei Co-60 angesiedelt. Se-75 fehlt 2004 bei den "Großquellen"; von diesem Nuklid wurden insgesamt nur 1.018 GBq bezogen (vgl. Tab. 1.4-1).

Tabelle 1.4-2 Aktivität der 2004 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2004 with levels of above 1850 GBq)

Versenderland	Aktivität in GBq			
	Co-60	Cs-137	Ir-192	Summe
1	2	3	4	(2-4)
USA	0	0	7.800	7.800
Kanada	10.944.700	94.100	0	11.038.800
Russland	12.207.200	574.000	0	12.781.200
Belarus	1.086.900	0	0	1.086.900
Schweiz	90.800	19.200	0	110.000
Brasilien	125.600	0	0	125.600
Summe GBq	24.455.200	687.300	7.800	25.150.300
Stückzahl	84	23	1	108

Einfuhr von Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffe

Tabelle 1-4-3 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2004 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier wieder ein Rückgang auf etwa das Niveau der Jahre vor 2001 festzustellen. Mengenmäßige Schwerpunkte liegen wie üblich bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10% U-235. Der Hauptanteil der Mehrmenge im Vorjahr war als Natururan eingeführt worden. Bestrahlte Kernbrennstoffe wurden in 2004 nicht eingeführt.

Tabelle 1.4-3 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen im Jahr 2004
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in the year 2004)

Versenderland	abger. Uran	Natururan	Mit U-235 angereichertes Uran				Plutonium	Summe
			bis 3% U-235	>3 - 10% U-235	>10 - <20% U-235	>85-100% U-235		
in kg								
1	2	3	4	5	6	7	8	(2-8)
Frankreich	0	108.647	0	191.091	55	37	0	299.830
Belgien	56.091	8.070	3.399	9.980	0	0	4.377	81.917
Niederlande	0	0	0	89.807	0	0	0	89.807
Großbritannien	0	164.370	0	26.204	0	0	0	190.574
Schweden	0	1.013	0	136.695	0	0	0	137.708
Spanien	0	885	0	22.654	0	0	0	23.539
USA	197	930.426	762	7.811	6	0	0	939.202
Kanada	0	436.393	0	0	0	0	0	436.393
Russland	1.297	178.943	0	178.007	0	0	0	358.247
Sonstige	1.100	0	0	0	0	0	0	1.100
Summe	58.685	1.828.747	4.161	662.249	61	37	4.377	2.558.317

Keine Einfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe

1.5 Ausfuhr (*Export statistics*)

Offene und umschlossene Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq

Die Gesamtausfuhr lt. Tabelle 1.5-1 nahm von 603.203 GBq (2003) nur leicht ab auf 553.012 GBq (2004). Der mächtigste Einzelposten ist diesmal Co-60 mit beinahe der Hälfte der Gesamtaktivität, während bei H-3, Se-75, Mo-99 und Ir-192 deutliche Rückgänge zu verzeichnen sind. Mit Ausnahme der Zunahme bei Cs-137 auf mehr als das 5-fache ist die restliche Verteilung der Aktivitäten auf die Nuklide ähnlich geblieben.

2004 ist deutlich weniger Tritium in Form von Gaslichtquellen ausgeführt worden, nämlich mit 91.769 GBq eine Menge vergleichbar derjenigen im Jahr 2002, wobei der größte Anteil mit 62.300 GBq wieder nach Südafrika geliefert worden ist. Genau diese Menge findet sich in Tabelle 1-5-1 wieder; es hat sich dabei somit ausschließlich um Gaslichtquellen gehandelt. Dies gilt für nahezu das gesamte ausgeführte Tritium.

Leuchtmasse ist im Berichtszeitraum nicht ausgeführt worden.

Tabelle 1.5-1 **Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2004**
(Export of sealed and unsealed radionuclides without radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2004)

Verbraucher- land	Aktivität in GBq																	
	H-3	C-14	F-18	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-90	Mo-99	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Ir-192	Am-241	Sonstige	Summe
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	(2-18)
Schweiz	15.722	2	10.090	7	36	1.600	907	10	56	0	137	0	9	1	925	7	96	29.605
Norwegen	30	0	0	6	3	0	3	7	0	0	49	0	86	37	1.602	28	8	1.859
USA	11.921	2.837	0	271	2.386	50	13.716	1.463	11	0	246	0	41.916	2.452	4.420	4.157	1.228	87.074
Kanada	1.889	0	0	206.428	4	0	0	2	0	0	220	0	18	19	0	18	4	208.602
Australien	107	0	0	4	6	0	0	2	848	0	47	0	115	0	0	7	10	1.146
Neuseeland	28	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	900	4	0	939
Türkei	0	0	0	5	9	0	1.133	1	0	0	77	11	963	0	1.303	114	23	3.639
Japan	1	0	0	152	5	0	1.018	6	3	0	1	0	221	810	20.917	155	16	23.305
Tschechien	0	0	0	0	2	0	849	0	4	2.111	0	1.574	110	0	2.355	558	29	7.592
Slowakei	0	0	0	0	1	0	195	0	3	812	0	357	0	0	0	2	2	1.372
Polen	0	0	0	0	4	0	7	2	1	0	53	1.582	0	0	3.790	2	29	5.470
Ungarn	0	0	0	58.770	1	0	10	1	0	0	10	0	0	0	2.664	0	0	61.456
Russland	0	0	0	2	3	0	52	0	0	0	54	0	210	0	1.765	0	2	2.088
Kuwait	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.990	2	0	16.992
Südkorea	0	0	0	80	34	0	137	8	0	0	1	0	15	44	4.562	222	24	5.127
Slowenien	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	888	0	0	890
Mexico	0	0	0	15	0	0	0	1	0	0	0	0	26	25	428	12	0	507
Brasilien	0	0	0	8	0	0	12	0	0	0	0	0	115	57	2.841	7	3	3.043
Kolumbien	0	0	0	11	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	786	0	0	800
Singapur	7	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	2.682	0	6	2.705
Philippinen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	829	5	0	834
Thailand	0	0	0	0	1	0	2.255	1	0	0	0	0	34	0	444	5	0	2.740
China	0	0	0	210	62	0	152	2	0	0	0	0	362	293	0	1.669	8	2.758
Taiwan	0	0	0	56	2	0	15	0	0	0	0	0	23	50	892	0	10	1.048
Indien	0	0	0	50	7	0	191	8	0	0	0	0	446	0	6.875	2.905	17	10.499
Iran	0	0	0	59	0	0	0	1	0	0	0	0	927	0	0	469	0	1.456
Südafrika	62.300	0	0	82	8	0	0	4	0	0	163	0	0	25	837	121	10	63.550
Kasachstan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	2.109	0	2.118
Usbekistan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	371	0	0	371
Sonstige	4	0	0	170	47	0	134	5	0	60	213	0	1.034	219	1.002	496	43	3.427
Summe	92.009	2.839	10.090	266.392	2.627	1.650	20.789	1.525	926	2.983	1.271	3.524	46.645	4.032	81.068	13.074	1.568	553.012

Umschlossene Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen ab 1.850 GBq (Tabelle 1.5-2) hat sich in erster Linie wegen des starken Rückgangs bei Co-60 auf knapp 1/3 des Vorjahres reduziert.

Dies liegt an der Tatsache, dass in 2004 nur verhältnismäßig wenige Co-60-Quellen an den Hersteller nach Kanada zurückgeliefert wurden.

Tabelle 1.5-2 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2004
(Export of sealed radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2004)

Verbraucherland	Aktivität in GBq			
	Co-60	Cs-137	Ir-192	Summe
1	2	3	4	(2 - 4)
Australien	0	81.400	0	81.400
Kanada	539.700	0	0	539.700
Belarus	84.700	0	0	84.700
Ägypten	0	0	10.250	10.250
Südafrika	0	1.850	0	1.850
Südkorea	0	3.700	0	3.700
Kuwait	0	0	9.230	9.230
China	0	327.450	0	327.450
Slowenien	0	0	3.800	3.800
Malaysia	0	0	11.100	11.100
Brasilien	250.000	0	0	250.000
Summe GBq	874.400	414.400	34.380	1.323.180
Stückzahl	24	9	14	47

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.5-3 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Die Ausfuhrmenge ist mit 1.861.112 kg (2004) gegenüber 3.322.717 kg (2003) deutlich zurückgegangen.

Der mengenmäßig mit Abstand größte Anteil liegt wieder bei abgereicherem Uran, aber auch bei angereicherterem Uran mit 3-10%igem Anteil an U-235 ist ein größerer Posten festzustellen.

Uran mit höheren Anreicherungsgraden sowie Thorium ist im Berichtszeitraum überhaupt nicht ausgeführt worden.

Plutonium (Spalte 6) ist nicht in abgetrennter Form, sondern ausschließlich im Rahmen der Restabwicklung des SNR-300-Projektes nach Frankreich verbracht worden und zwar enthalten in den unbestrahlten Brennelementen, die seinerzeit für den Erstkern dieser Anlage vorgesehen waren. Durch diese Maßnahme kann das Material doch noch einer sinnvollen Verwendung zugeführt werden.

Tabelle 1.5-3 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe im Jahr 2004
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in the year 2004)

Verbraucherland	abger. Uran	Natururan	Mit U-235 angereichertes Uran		Plutonium	Summe
			bis 3% U-235	>3-10% U-235		
in kg						
1	2	3	4	5	6	(2 - 6)
Frankreich	656	189	21.106	36.796	222	58.969
Belgien	0	0	0	106.378	0	106.378
Niederlande	0	33.418	0	9.027	0	42.445
Großbritannien	12	152	849	60.423	0	61.436
Spanien	0	7	0	19.122	0	19.129
Schweden	0	0	4.284	152.109	0	156.393
Finnland	0	0	0	19.763	0	19.763
USA	237	139	0	183.447	0	183.823
Russland	1.204.919	1	0	116	0	1.205.036
Brasilien	0	0	0	6.039	0	6.039
Sonstige	1.697	0	3	1	0	1.701
Summe	1.207.521	33.906	26.242	593.221	222	1.861.112

Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 1.5-4 sind die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt.

Die insgesamt ausgeführte Menge von 109.997 kg stellt fast ausschließlich den Inhalt bestrahlter Brennelemente aus zivilen Leistungsreaktoren dar und ist gegenüber dem Jahr 2003 auf weniger als 1/3 gefallen. Es handelt sich um die üblichen Lieferungen zur vertragsgemäßen Wiederaufarbeitung nach Frankreich und Großbritannien.

Vergleicht man die Zahlen der Spalten 2, 3 und 8, wird unmittelbar klar, dass es sich bei dem ausgeführten Plutonium nicht um abgetrenntes Material handelt. Vielmehr ist es in den bestrahlten Kernbrennstoffen als Aktivierungsprodukt enthalten und kann somit auch erst nach dem Rezyklieren in den üblichen Wiederaufarbeitungsprozessen erneut, z. B. über die Verwendung in Mischoxid ("MOX")-Brennelementen, zur Stromerzeugung eingesetzt werden.

In die USA wurden kleinere Mengen bestrahlter Kernbrennstoffe in Form von MTR ("Material Testing Reactor")-Brennelementen nach deren Nutzung zurückgeliefert, die Eigentum der Vereinigten Staaten sind.

Das in Spalte 7 aufgeführte hochangereicherte Uran war in mehreren kurzzeitig bestrahlten Targets enthalten, deren wissenschaftliche Auswertung regelmäßig in Belgien durchgeführt wird.

Tabelle 1.5-4 Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe im Jahr 2004
(*Export of irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2004*)

Empfängerland	abger. Uran	bis 3% U-235	>3-10% U-235	>10 - <20% U-235	>20 - <85% U-235	>85 - <100% U-235	Plutonium	Summe
	in kg							
1	2	3	4	5	6	7	8	(2 - 8)
Frankreich	65.134	38.726	0	0	0	0	1.214	105.074
Belgien	0	0	0	0	0	1	0	1
Großbritannien	4.756	0	0	0	0	0	55	4.811
USA	0	0	45	58	7	0	1	111
Summe	69.890	38.726	45	58	7	1	1.270	109.997

2. Beförderung radioaktiver Stoffe (*Transportation of radioactive materials*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung, Salzgitter

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 ein vertretbares Maß zu reduzieren.

Im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses standen im Jahre 2004 die Beförderung von bestrahlten Brennelementen und hochradioaktiven Abfällen (HAW-Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente) sowie der beantragte Abtransport von bestrahlten Brennelementen aus dem Forschungsreaktor Rossendorf nach Ahaus, die Beförderungsgenehmigungen nach § 4 Atomgesetz durch das BfS bedürfen.

Der im November 2004 durchgeführte Rücktransport von 12 Behältern mit verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung La Hague / Frankreich in das Zwischenlager Gorleben wurde wiederum von Protesten begleitet, verlief aber dennoch weitgehend planmäßig.

Ebenfalls im November 2004 wurden die ersten 26 Behälter (von insgesamt 228) mit unbestrahlten Brennelementen, die ursprünglich für den Schnellen Brüter Kalkar gefertigt wurden, aus der staatlichen Verwahrung Hahnau zur COGEMA abtransportiert.

Mit 11 Transporten wurden insgesamt 30 Behälter mit bestrahlten Brennelementen von verschiedenen Kernkraftwerksstandorten zu den Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich (COGEMA) und Großbritannien (BNFL) verbracht. Die in den diesbezüglichen BfS-Beförderungsgenehmigungen festgelegten Maßnahmen zur Kontaminationsvermeidung und -kontrolle sowie die Festlegungen zu Meldepflichten und zur Transportdokumentation haben sich bewährt. Bei allen Transporten wurden die Grenzwerte für die nichtfesthaftende Oberflächenkontamination am Transportbehälter und am Transportmittel eingehalten.

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2004 vom BfS insgesamt 34 Zulassungen für Transportbehälter und 12 deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen sowie 15 Beförderungsgenehmigungen erteilt.

2.1 Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe (Overview of transport licences and the transportation of radioactive material)

Gemäß § 23 AtG ist das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig für die Erteilung von Beförderungsgenehmigungen (§ 4 AtG) für Kernbrennstoffe und Beförderungsgenehmigungen (§ 16 StrlSchV) für Großquellen. Im Jahr 2004 wurden zusammen 147 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach-, und allgemeine Genehmigungen) erteilt. 2004 wurden insgesamt 450 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle 2.1-1) und 17 Transporte mit Großquellen durchgeführt.

Tabelle 2.1-1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte im Jahr 2004
(Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of indicated shipments of nuclear fuels in the year 2004 - with differentiation between means and type of transport)

Inlandtransporte		Grenzüberschreitende Transporte	
Schiene / unbestrahltes Material	0	Luft / unbestrahltes Material	1
Schiene / bestrahltes Material	0	Luft / bestrahltes Material	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	Luft / Reststoffe und Abfall	0
Straße / unbestrahltes Material	51	See / unbestrahltes Material	110
Straße / bestrahltes Material	1	See / bestrahltes Material	1
Straße / Reststoffe und Abfall	0	See / Reststoffe und Abfall	25
		Schiene / unbestrahltes Material	0
		Schiene / bestrahltes Material	11
		Schiene / Reststoffe und Abfall	1
		Straße / unbestrahltes Material	207
		Straße / bestrahltes Material	42
		Straße / Reststoffe und Abfall	0
Insgesamt	52	Insgesamt	398

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen (Transportation of radioactive material in the rail- and shipping traffic of the railways)

Daten des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA), Bonn

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 folgenden Angaben für das Jahr 2004 wurden vom EBA für den Jahresbericht 2004 erstellt.

Tabelle 2.2-1 Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen, Stückgutsendungen und Expressgutversandstücke mit radioaktiven Stoffen
(Number of yearly transported truck-loads, general cargoes, and express packages containing radioactive material)

Jahr	Wagenladungen	Stückgut	Expressgut
1990	558	2.100	10.000
1991	744	2.300	8.000
1992	562	2.700	6.000
1993	662	a)	a)
1994	745	a)	a)
1995	654	a)	b)
1996	780	a)	b)
1997	678	a)	b)
1998	415	a)	b)
1999	204 c)	a)	b)
2000	258 c)	a)	b)
2001	336	a)	b)
2003	552	a)	b)
2004	509	a)	b)

a) Annahmebeschränkung der DB AG

b) ab dem 26. Mai 1995 wurde Expressgut für radioaktive Stoffe eingestellt

c) rückläufig, überwiegend wegen Aussetzung von Brennelementetransporten

Tabelle 2.2-2 Wagenladungssendungen 2004
(Truck-loads in 2004)

Art der Sendung	Anzahl der Wagen	
	2004	2003
Kernbrennstoffe		
Bestrahlte Brennelemente und verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	42	99
Sonstige radioaktive Stoffe		
Uranium der natürl. Isotopenzusammensetzung in Form von Uraniumhexafluorid (UF ₆) *)	112	160
Uraniumerze, Uraniumerzkonzentrate	153	56
Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z. B. in 200 l - Metallfässer	172	138
Leere Verpackungen, innen kontaminiert	-	4
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente	30	95
Summe	509	552

*) als sonstige radioaktive Stoffe gem. AtG § 2, Abs. 1

Unbestrahlte Brennelemente, bestrahlte Brennstoffproben, angereichertes Uranium in Form von Uraniumhexafluorid (UF₆), angereichertes Uranium in Form von UF₆-Konversionsprodukten oder Wiederaufarbeitungsprodukten wie z. B. Uranylнитrat (UNH), konditionierte Rückstände z. B. in 200 l-Metallfässern mit Zusatzabschirmung, Rückstände aus UF₆-Ausheizungen (Heels), Uranium der natürlichen Isotopen-

zusammensetzung in Form von UF₆ Konversionsprodukten oder Wiederaufarbeitungsprodukten wie z. B. Uranylнитrat (UNH), abgereichertes Uranium in Form von z. B. Uraniumhexafluorid (UF₆) und Strahlenquellen (Co-60, Cs-137, Am-241) sowie Geräte einschließlich Strahlenquellen, Niobium-Konzentrate wurden im Berichtsjahr nicht transportiert.

Im Jahr 2004 erreichte die beförderte Gesamtaktivität im Wagenladungsverkehr 10.136,512 PetaBq.

Tabelle 2.2-3 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported)

Art der Sendung	Beförderte Gesamtaktivität (Werte zum Teil geschätzt) (PBq)
Kernbrennstoffe	
Bestrahlte Brennelemente und verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	10.133,229
Sonstige radioaktive Stoffe und genehmigungsfreie Kernbrennstoffe	
Uranium der natürl. Isotopenzusammensetzung oder in Form von Uraniumhexafluorid (UF ₆ *)	0,073
Uraniumerze, Uraniumerzkonzentrate	0,103
Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z. B. in 200 l – Metallfässern	2,891
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente	0,215
Summe	10.136,512

*) als sonstige radioaktive Stoffe gem. AtG § 2, Abs. 1

3. Umgang mit offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen *(The handling of sealed and unsealed radioactive sources)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit,
Berlin

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 Allgemeine Angaben *(General data)*

In Tabelle 3.1-1 ist die Entwicklung der Anzahl der Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1998 bis 2004 wiedergegeben. Die Zahl der Verwender ist auf vier Bereiche aufgeschlüsselt:

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

Die Gesamtzahl der Verwender radioaktiver Stoffe ist gegenüber dem Vorjahr wieder leicht angestiegen. Der höchste Anteil von 56,4% ist auch im Jahr 2004 dem Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft zuzuordnen. In den Bereich Medizin lassen sich 24,6% der Gesamtzahl der Verwender einordnen.

In Tabelle 3.1-2 ist in einer Übersicht die Zahl der Verwender radioaktiver Stoffe in den vier Bereichen im Jahr 2004 den Angaben des Jahres 2003 für die Bundesländer gegenübergestellt. Im hinteren Teil dieser Tabelle beziehen sich die Angaben ausschließlich auf Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe. Wie erwartet liegt die Zahl der Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe im Bereich Industrie/gewerbliche Wirtschaft auch 2004 deutlich höher (Faktor 8 bzw. 13) als in den anderen Bereichen. Im Vergleich zum Jahr 2003 ist die Gesamtzahl in diesem Bereich nahezu gleich geblieben.

Eine Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2004 gibt Tabelle 3.1-3. Auch hier sind zum Vergleich die Zahlen vom Vorjahr angegeben. Die Gesamtzahl der Verwender ist gegenüber dem Vorjahr leicht angestiegen.

Tabelle 3.1-4 gibt einen Einblick in die Entwicklung der gültigen Genehmigungen in den einzelnen Bundesländern für 2003 und 2004. Die Gesamtzahl der gültigen Genehmigungen zeigt für den Betrachtungszeitraum eine fallende Tendenz. Analog zum Vorjahr verteilen sich 2004 die Genehmigungen im Wesentlichen zu 79,3% auf Umgang nach § 7 StrlSchV, zu 2,8% auf Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (§ 11 StrlSchV), zu 2,6% auf Beförderung (§ 16 StrlSchV) und zu 15% auf Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 15 StrlSchV). Nur ca. 0,3% der Genehmigungen wurden gemäß § 9 AtG erteilt.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2004 kann einer Übersicht in Tabelle 3.1-9 entnommen werden. Von den insgesamt 11.357 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 24 Präparate (ca. 0,2%) als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. 8 Americium-241-Quellen, 2 Strontium-90-Quellen, 1 Promethium-147-Quelle, 2 Natrium-22-Quellen, und 5 Nickel-63-Quellen. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 3.1-9 zu entnehmen.

Tabelle 3.1-1 Anzahl der Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1999 - 2004
(Number of users of radioactive sources in the Federal Republic of Germany from 1999 to 2004)

Bundesland	Verwender	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Baden-Württemberg	Verwender radioaktiver Stoffe	1.700	1.552	1.798	1.985	1.932	1.954
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	462	493	508	527	539	554
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	240	247	251	263	280	280
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	956	768	992	1.017	1.054	1.064
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	42	44	47	178	59	56
Bayern	Verwender radioaktiver Stoffe	1.639	1.595	1.551	1.517	1.516	1.531
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	365	364	354	343	305	302
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	222	220	210	225	219	242
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	1.009	975	954	911	872	853
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	43	36	33	38	120	134
Berlin	Verwender radioaktiver Stoffe	1.021	993	1.008	1.029	1.035	1.012
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	434	437	444	455	458	456
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	402	366	365	371	369	355
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	185	189	198	201	205	197
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	0	1	1	2	3	4
Brandenburg	Verwender radioaktiver Stoffe	259	280	290	285	292	219
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	28	30	31	29	30	20
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	27	25	27	28	27	13
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	196	215	221	214	218	180
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	8	10	11	14	17	6
Bremen	Verwender radioaktiver Stoffe	112	112	111	102	104	111
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	25	25	22	20	20	22
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	6	6	6	7	6	7
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	70	70	71	64	67	69
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	11	11	12	11	11	13
Hamburg	Verwender radioaktiver Stoffe	309	288	269	270	243	242
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	63	51	43	51	69	58
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	37	36	29	32	8	29
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	191	181	179	169	147	132
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	18	20	18	18	19	23
Hessen	Verwender radioaktiver Stoffe	725	740	713	697	662	648
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	189	198	195	190	174	176
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	94	99	90	83	79	93
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	401	403	390	388	375	347
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	41	40	38	36	34	32
Mecklenburg-Vorpommern	Verwender radioaktiver Stoffe	220	222	237	198	215	217
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	43	46	77	45	47	43
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	38	38	34	34	40	42
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	132	130	122	117	123	127
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	7	8	4	2	5	5
Niedersachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	1.095	954	918	930	911	959
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	295	220	211	218	212	214
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	119	109	113	97	97	96
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	648	591	561	588	573	610
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	33	34	33	27	29	39

Bundesland	Verwender	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Nordrhein-Westfalen	Verwender radioaktiver Stoffe	2.337	2.377	1.796	2.284	2.250	2.596
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	633	641	479	533	511	642
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	97	95	85	79	109	136
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	1.585	1.565	1.192	1.586	1.547	1.745
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	22	76	40	86	83	73
Rheinland-Pfalz	Verwender radioaktiver Stoffe	559	515	542	577	578	488
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	180	134	151	156	148	110
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	30	41	63	77	81	69
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	284	275	296	304	307	267
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	65	65	32	40	42	42
Saarland	Verwender radioaktiver Stoffe	77	86	83	80	77	72
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	28	32	31	27	26	25
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	2	2	2	2	2	2
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	44	48	46	45	44	41
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	3	4	4	6	5	4
Sachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	608	591	561	566	570	561
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	111	109	101	100	100	93
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	168	166	169	167	170	154
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	170	178	158	169	293	278
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	159	138	133	130	7	36
Sachsen-Anhalt	Verwender radioaktiver Stoffe	395	415	406	404	410	389
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	53	53	54	55	52	51
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	51	45	45	46	46	47
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	261	290	284	276	282	263
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	30	27	23	27	30	28
Schleswig-Holstein	Verwender radioaktiver Stoffe	436	361	364	329	330	346
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	119	74	78	84	85	89
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	34	18	17	16	17	16
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	256	254	254	211	209	219
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	27	15	15	18	19	22
Thüringen	Verwender radioaktiver Stoffe	254	255	252	261	313	358
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	28	30	29	30	30	30
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	10	9	10	10	10	10
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	205	205	201	205	202	205
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	11	11	12	16	71	113
	Verwender radioaktiver Stoffe	11.746	11.336	10.899	11.514	11.438	11.703
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre das entspricht	3.056 26,0%	2.937 25,9%	2.808 25,8%	2.863 24,9%	2.806 24,5%	2.885 24,6%
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin das entspricht	1.577 13,4%	1.522 13,4%	1.516 13,9%	1.537 13,3%	1.560 13,6%	1.591 13,6%
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft das entspricht	6.593 56,1%	6.337 55,9%	6.119 56,1%	6.465 56,1%	6.518 57,0%	6.597 56,4%
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden) das entspricht	520 4,4%	540 4,8%	456 4,2%	649 5,6%	554 4,9%	630 5,4%

Tabelle 3.1-2 Übersicht über die Zahl der Verwender von radioaktiven Stoffen sowie die Art der einzelnen Verwendungsbereiche 2003 und 2004
(Survey on the number of users of radioactive sources and the type of the individual areas of application from 2003 to 2004)

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von radioaktiven Stoffen		Von Spalte 2 entfallen auf								Von Spalte 3 bis 6 entfallen Verwender ausschl. umschlossener radioaktiver Stoffe auf									
			Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		Forschung u. Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbliche Wirtschaft		Sonstige		Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		Forschung u. Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbliche Wirtschaft		In Spalte 9 enth. zerstörungsfreie ortsverändl. Werkstoffprüfung		Sonstige	
1	2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Baden-Württemberg	1.932	1.954	539	554	280	280	1.054	1.064	59	56	128	130	70	66	824	721	47	59	28	28
Bayern	1.516	1.531	305	302	219	242	872	853	120	134	36	40	71	68	821	800	12	10	112	127
Berlin	1.035	1.012	458	456	369	355	205	197	3	4	124	125	18	18	126	124	11	11	0	0
Brandenburg	292	219	30	20	27	13	218	180	17	6	13	20	10	13	198	180	9	10	5	6
Bremen	104	111	20	22	6	7	67	69	11	13	9	10	5	6	47	50	2	0	7	8
Hamburg	243	242	69	58	8	29	147	132	19	23	4	1	10	11	121	104	4	4	8	9
Hessen	662	648	174	176	79	93	375	347	34	32	17	19	6	6	241	245	5	4	7	10
Mecklenburg-Vorpommern	215	217	47	43	40	42	123	127	5	5	25	25	18	25	92	96	4	4	3	3
Niedersachsen	911	959	212	214	97	96	573	610	29	39	49	49	23	19	535	541	25	25	21	12
Nordrhein-Westfalen	2.250	2.596	511	642	109	136	1.547	1.745	83	73	62	73	54	58	1.312	1.521	72	77	65	61
Rheinland-Pfalz	578	488	148	110	81	69	307	267	42	42	107	78	43	40	206	193	10	12	27	27
Saarland	77	72	26	25	2	2	44	41	5	4	0	0	1	1	36	29	6	5	3	2
Sachsen	570	561	100	93	170	154	293	278	7	36	35	30	56	54	273	261	13	13	5	23
Sachsen-Anhalt	410	389	52	51	46	47	282	263	30	28	9	12	11	11	241	244	22	16	21	21
Schleswig-Holstein	330	346	85	89	17	16	209	219	19	22	26	15	8	8	149	142	4	4	12	5
Thüringen	313	358	30	30	10	10	202	205	71	113	7	7	3	3	165	167	13	13	64	106
Summe	11.438	11.703	2.806	2.885	1.560	1.591	6.518	6.597	554	630	651	634	407	407	5.387	5.418	259	267	388	448

Tabelle 3.1-3 Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen 2003 und 2004 (§ 11 StrlSchV)
(Survey on the number of users of facilities for the generation of ionising radiation in 2003 and 2004 - § 11 StrlSchV)

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen		Von Spalte 2 entfallen auf:							
			Medizin einschließl. medizinische Forschung und Lehre		Forschung und Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbliche Wirtschaft		Sonstige (z. B. Behörden)	
			2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
1	2		3		4		5		6	
Baden-Württemberg	56	62	36	37	15	17	5	8	0	0
Bayern	60	61	39	40	11	9	10	12	0	0
Berlin	46	46	28	28	18	18	0	0	0	0
Brandenburg	7	7	6	6	1	1	0	0	0	0
Bremen	2	3	2	2	0	0	0	0	0	1
Hamburg	9	8	5	5	1	1	2	1	1	1
Hessen	23	23	17	18	4	3	2	2	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	6	5	5	4	1	1	0	0	0	0
Niedersachsen	31	32	23	24	4	4	3	4	1	0
Nordrhein-Westfalen	83	87	66	67	9	11	8	9	0	0
Rheinland-Pfalz	16	15	15	14	1	1	0	0	0	0
Saarland	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
Sachsen	31	29	18	18	9	9	2	2	2	0
Sachsen-Anhalt	9	10	6	6	0	0	3	4	0	0
Schleswig-Holstein	21	21	20	20	0	0	0	0	1	1
Thüringen	8	8	6	6	1	1	1	1	0	0
Summe	412	421	296	299	75	76	36	43	5	3

Tabelle 3.1-4 Übersicht über die Entwicklung der gültigen Genehmigungen
(Survey on the development of the current licenses)

Bundesland	§ 7 StrlSchV (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)		§ 11 StrlSchV (Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ion. Strahlen)		§ 15 StrlSchV (Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen)		§ 16 StrlSchV (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)		§ 106 StrlSchV (Zusatz radioakt. Stoffe zu Konsumgütern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrennstoffen)		gültige Genehmigungen (Gesamt)	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2004	2003	2004	2003	2004
	Baden-Württemberg	2.313	2.647	92	103	498	551	68	78	1	15	15	2.986
Bayern	1.609	1641	61	61	316	332	17	13	4	15	13	2.018	2.064
Berlin	1.035	1012	46	51	224	234	16	18	2	0	2	1.321	1.319
Brandenburg	238	286	9	9	43	61	8	11	0	0	0	298	367
Bremen	138	143	3	4	25	27	14	17	0	1	1	181	192
Hamburg	307	324	15	14	68	56	16	8	0	0	0	406	402
Hessen	1.028	969	45	47	229	202	7	8	0	7	5	1.316	1.231
Mecklenburg-Vorpommern	222	224	6	5	85	80	3	2	0	0	0	316	311
Niedersachsen	2.211	1.461	51	43	279	265	119	107	0	0	0	2.660	1.876
Nordrhein-Westfalen	928	3.806	157	115	616	632	90	75	0	11	11	4.802	4.639
Rheinland-Pfalz	598	521	18	17	145	138	32	29	0	2	2	795	707
Saarland	151	146	7	7	17	19	12	6	0	0	0	187	178
Sachsen	568	579	31	28	189	182	14	14	2	8	8	810	813
Sachsen-Anhalt	439	441	15	17	52	55	15	15	0	0	0	521	528
Schleswig-Holst.	562	563	32	7	99	30	7	103	0	0	0	700	703
Thüringen	370	584	14	15	25	28	2	2	0	0	0	411	629
Summe	15.717	15.347	602	543	2.910	2.892	440	506	9	59	57	19.728	18.823

Tabelle 3.1-5 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin im Jahr 2004
(Survey on the granted and registered X-ray installations (RöE) in human medicine in 2004)

Bundesland	Behandlung	Untersuchung		
	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 i. V. m. § 4 Abs. 4 Nr. 2 RöV genehmigten Röntgeneinrichtungen (RöE) für die Behandlung von Menschen	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 RöV genehmigten RöE	von Spalte 3 entfallen auf RöE zur Teleradiologie nach § 3 Abs. 1 und § 4 i. V. m. § 4 Abs. 4 Nr. 3 RöV	Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 Nr. 2 angezeigten RöE
1	2	3	4	5
Baden-Württemb.	62	650	7	3.650
Bayern	60	850	45	6.038
Berlin	19	86	1	1.506
Brandenburg	4	62	8	817
Bremen	0	136	0	436
Hamburg	0	3	0	40
Hessen	27	14	12	2.503
Mecklenburg-Vorpommern	1	36	4	708
Niedersachsen	16	94	6	552
Nordrhein-Westf.	156	4.477	21	8.210
Rheinland-Pf.	16	127	11	1.860
Saarland	8	70 ^{*)}	0	639
Sachsen	11	127	17	1.712
Sachsen-Anhalt	8	78	3	1.093
Schleswig-Holst.	18	114	8	1.286
Thüringen	9	27	5	961

^{*)} Schätzwerte

Tabelle 3.1-6 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Zahnmedizin im Jahr 2004
(Survey on the granted and registered X-ray installations (RöE) in dentistry in 2004)

Bundesland	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 Nr. 2 angezeigten RöE
Baden-Württemberg	685	9.200
Bayern	940	13.098
Berlin	47	3.342
Brandenburg	10	2.068
Bremen	11	652
Hamburg	0	69
Hessen	243	5.980
Mecklenburg-Vorpommern	4	1.882
Niedersachsen	74	1.019
Nordrhein-Westfalen	1.305	14.564
Rheinland-Pfalz	73	3.520
Saarland	20 ^{*)}	889
Sachsen	64	4.552
Sachsen-Anhalt	8	2.556
Schleswig-Holstein	193	2.977
Thüringen	4	2.556

^{*)} Schätzwerte

Tabelle 3.1-7 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Tiermedizin im Jahr 2004
(Survey on the granted and registered X-ray installations (RöE) in animal health in 2004)

Bundesland	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 RöV genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 RöV angezeigten RöE
Baden-Württemberg	215	476
Bayern	323	830
Berlin	36	306
Brandenburg	47	192
Bremen	10	35
Hamburg	8	6
Hessen	124	451
Mecklenburg-Vorpommern	12	121
Niedersachsen	25	88
Nordrhein-Westfalen	229	838
Rheinland-Pfalz	53	289
Saarland	15	66
Sachsen	42	268
Sachsen-Anhalt	13	155
Schleswig-Holstein	82	245
Thüringen	12	145

Tabelle 3.1-8 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler im Jahr in Technik / Nichtmedizin im Jahr 2004
Survey on the granted and registered X-ray installations and granted sources of interference generators in technological / non-medical areas in 2004)

Bundesland	Gesamtzahl der nach § 3 genehmigten Röntgeneinrichtungen (RöE)		Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 RöV angezeigten Röntgeneinrichtungen (RöE)		Gesamtzahl der nach § 5 Abs. 1 RöV genehmigten Störstrahler
	RöE nach § 3 Abs. 1 i. V. m. § 4 Abs. 4 Nr. 1 RöV in der technischen Radiographie zur Grobstrukturanalyse	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 nach § 4 Abs. 1 Nr. 1 i. V. m. Anlage 2 Nr. 2 bis 4 RöV (Hochschutz- und Vollschutzgeräte sowie Schulröntgeneinrichtungen)	
Baden- Württemb.	95	210	620	480	175
Bayern	375	437	557	648	303
Berlin	66	212	217	194	87
Brandenburg	81	39	61	63	14
Bremen	10	18	8	38	19
Hamburg	6	14	2	0	3
Hessen	82	596	323	369	141
Mecklenburg-Vorp.	21	19	31	14	8
Niedersachsen	41	33	69	44	7
Nordrhein- Westf.	810	730	1.000	692	259
Rheinland- Pfalz	71	135	116	160	45
Saarland	9	23	136	20*)	41
Sachsen	148	130	149	76	59
Sachsen- Anh.	87	43	94	47	46
Schleswig- Holst.	32	20	70	119	4
Thüringen	33	24	86	68	13

*) Schätzwerte

Tabelle 3.1-9 Übersicht über den Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2004
(Survey on the scope and the results of monitoring of sealed radioactive sources in the year 2004)

BUNDESLAND	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	Von Spalte 2 entfallen auf::									Anz. der bei den Prüfungen lt. Spalte 2 als undicht ermittelten Präparate	Von der Anzahl der Prüfungen entfallen auf:								
		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronenquellen	Sonstige Nuklide		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronenquellen	Sonstige Nuklide
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Baden-Württemberg	1.936	79	663	488	18	2	26	245	86	329	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2 Na-22; 1 C-14
Bayern	2.138	158	406	419	37	2	67	291	141	617	6	0	0	0	0	0	1	0	0	5 Ni-63
Berlin	138	7	72	39	1	0	1	6	2	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Brandenburg	670	129	21	312	1	0	7	66	46	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bremen	69	15	10	14	0	0	1	19	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Hamburg	268	28	82	52	1	0	5	35	9	56	8	0	0	0	0	0	0	8	0	
Hessen	373	32	61	104	9	0	8	31	27	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mecklenburg-orpommern	259	32	58	101	1	0	3	39	4	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Niedersachsen	1.930	189	259	541	20	0	63	273	94	491	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2 (H-3)
Nordrhein-Westfalen	150	77	0	52	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rheinland-Pfalz	525	22	191	111	13	0	5	108	1	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Saarland	40	2	13	12	0	0	0	12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sachsen	1.820	701	220	608	9	1	4	104	60	113	4	0	2	0	0	0	0	0	1	1 Cm-242
Sachsen-Anhalt einschl. ERAM	631	37	8	424	1	0	0	26	36	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Schleswig-Holstein	231	17	47	83	5	0	11	36	17	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Thüringen	179	9	17	101	2	0	0	22	6	22	1	0	0	0	1	0	0	0	0	
Summe	11.357	1.534	2.128	3.461	118	5	201	1.334	535	2.013	24	0	2	0	1	0	1	8	1	11

3.2 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen

(Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit,
Berlin

Zum Schutz des Verbrauchers ist nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) bei einigen Produkten der Zusatz radioaktiver Stoffe oder die Aktivierung unzulässig. 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 Umhüllung radioaktiver Stoffe oder der Dosisleistung an der Oberfläche des Produkts. Bauartzugelassene Vorrichtungen sind keine Konsumgüter. Typische Fälle für eine genehmigungsfreie Verwendung sind z. B.:

- Geräte oder andere Vorrichtungen, die umschlossene radioaktive Stoffe enthalten, und deren Bauart das Bundesamt für Strahlenschutz nach Prüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt und durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung zugelassen hat (z. B. Ionisationsrauchmelder) und
- bestimmte Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen.

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 nicht zu ersetzende 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 ein ordentliches Funktionieren lebensrettender Warnvorrichtungen garantieren.

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtenmessungen

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 Iridium-192 das weitaus am häufigsten verwendete Radionuklid. Es ist besonders geeignet für Prüfungen an 1 bis 7 cm dicken Eisenteilen und besitzt eine sehr hohe spezifische Aktivität, so dass die Strahlenquelle in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden kann. Das am zweithäufigsten verwendete Kobalt-60 wird vorzugsweise bei Eisenteilen mit Dicken zwischen 5 und 15 cm eingesetzt. Die heute üblicherweise eingesetzten spezifischen Aktivitäten liegen im Bereich von 0,1 bis 5 Tera-Becquerel.

Füllstandmessgeräte arbeiten in der Regel mit Gammastrahlern (Kobalt-60 und Cäsium-137) mit einer Aktivität bis zu 20 Giga-Becquerel. 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 Krypton-85, Strontium-90 und Promethium-147 als Betastrahler und Kobalt-60 und Cäsium-137 als Gammastrahler benutzt. Die Aktivitäten können bis zu 50 Giga-Becquerel 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 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 ge-

genehmigungsfreier Umgang ermöglicht. Dies gilt u. a. für Geräte oder andere Vorrichtungen mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Bauart von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) geprüft ist und die vom Bundesamt für Strahlenschutz zugelassen worden sind.

Neben den gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen ist der Grundsatz zu beachten, dass mit der Anwendung ein gerechtfertigter Vorteil verbunden sein muss. Andere Quellen ionisierender Strahlung sind die sogenannten Störstrahler. Dies sind Anlagen, Geräte oder Vorrichtungen, in denen Röntgenstrahlung erzeugt wird, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden.

Zu den genehmigungsfreien Störstrahlern gehören heute Kathodenstrahlröhren zur Wiedergabe von Bildern, z. B. in Fernseh- und Datensichtgeräten. In der Vergangenheit wurde bei den meisten der von der PTB gemäß der früheren Röntgenverordnung überprüften Geräten dieser Art die vorgeschriebene höchstzulässige Ortsdosisleistung von 1 Mikrosievert pro Stunde in 10 cm Abstand von der Oberfläche beträchtlich unterschritten. Obwohl bei Datensichtgeräten die Betrachtungsabstände 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.

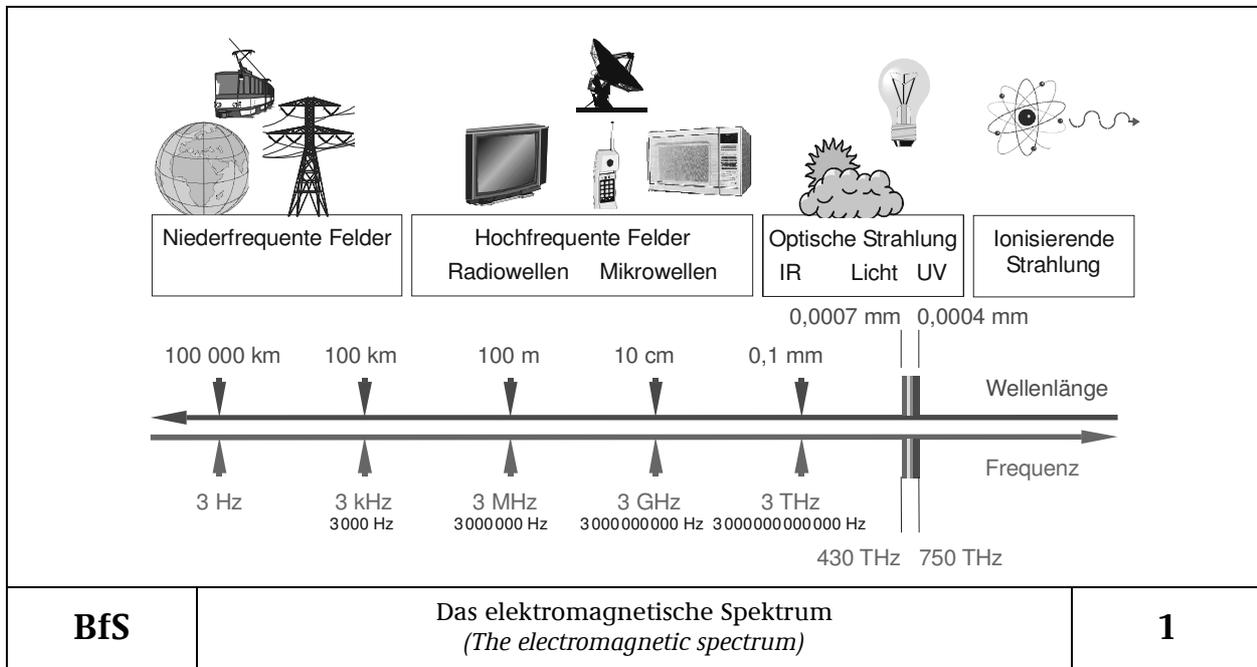
Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyratrons, Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernseheinrichtungen, sofern diese Geräte mit einer Spannung zur Beschleunigung der Elektronen über 30 kV arbeiten und keine Bauartzulassung besitzen.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

ABSCHNITT B
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

EINLEITUNG (INTRODUCTION)

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden niederfrequente elektrische und magnetische bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette Strahlung (UV) gehört, mit Wellenlängen von 100 nm und darüber (Abb. 1). Die physikalischen Grundlagen der elektromagnetischen Felder, Quellen und mögliche Expositionen, biophysikalische Wirkungsmechanismen und nachgewiesene sowie mögliche gesundheitliche Wirkungen wurden im Jahresbericht 2003 ausführlich dargestellt. Im Folgenden wird über aktuelle Themen aus dem Jahr 2004 berichtet.



1. Optische Strahlung (Optical radiation)

1.1 Monitoring (Monitoring)

Im Jahr 1993 haben BfS und UBA den Betrieb an den 4 Stationen des UV-Messnetzes in Zingst (Ostseeküste), Langen (Rheingraben bei Frankfurt), Schauinsland (Südschwarzwald) und Neuherberg (Stadtrand von München) aufgenommen. In den Folgejahren wurde das Messnetz zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und weiteren assoziierten Institutionen 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 das Niedersächsische Landesamt für Ökologie mit den Messstationen in Hannover und auf der Insel Norderney (NLOE). 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 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 bewölkten Tagen ausreichend genau erfasst werden. Die Gesamtglobalstrahlung (UV-IR) wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

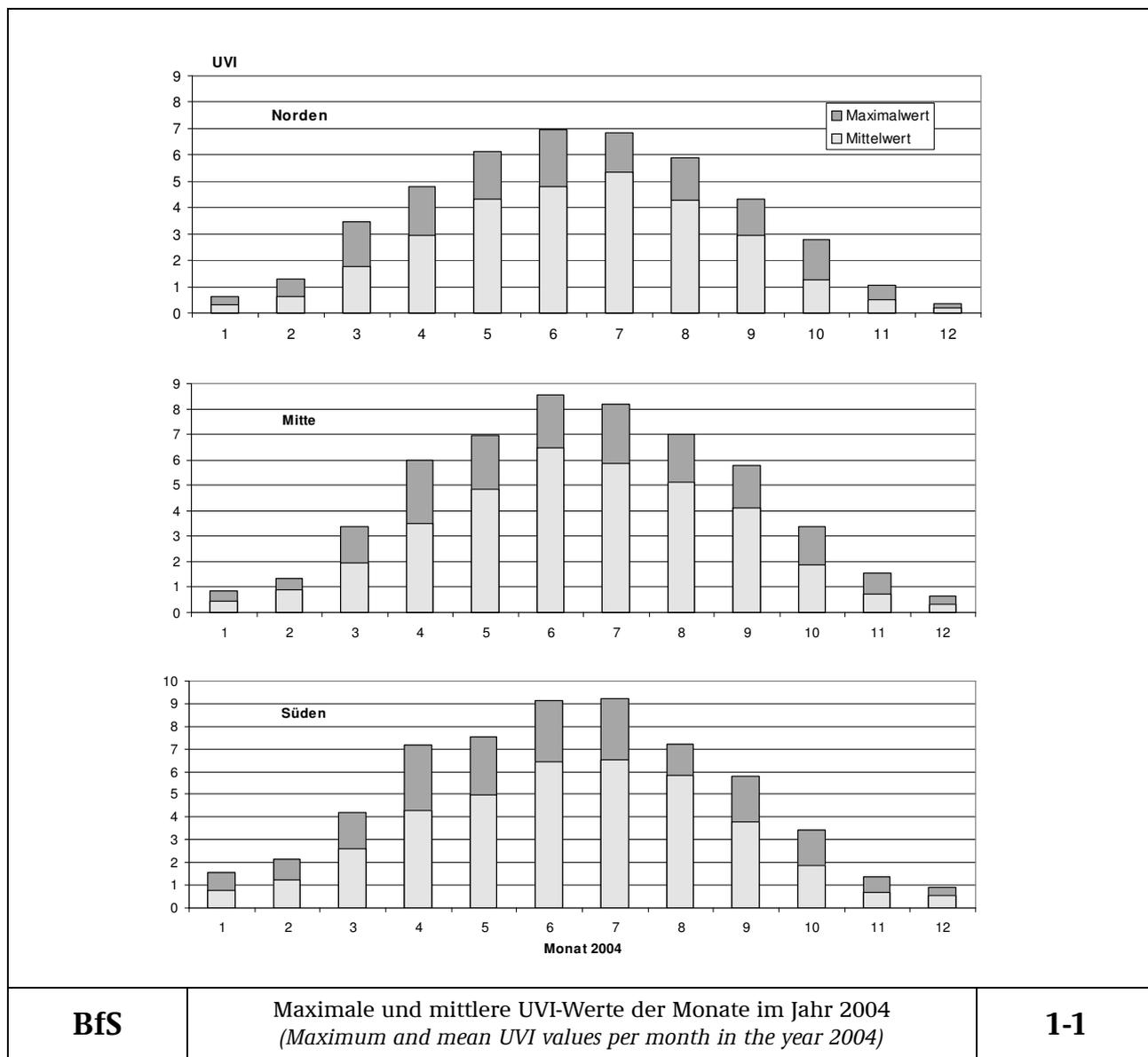
Für die tägliche Berichterstattung ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit zur Verfügung (<http://www.bfs.de/uv>). Von April bis September werden darüber hinaus für das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

Jedes Jahr werden die UV-Daten in Form von Jahresberichten im Internet veröffentlicht, aber auch aktuelle Messwerte und in den Sommerhalbjahren 3-Tagesprognosen in Form von Pressemitteilungen weitergegeben. Eine wichtige Kenngröße für die Öffentlichkeitsarbeit ist der UV-Index.

Sowohl die täglichen Messwerte aller Stationen als auch die 3-Tages-Prognose in den Sommermonaten werden als UVI-Werte veröffentlicht. In Abbildung 1.1 wurden für das Jahr 2004 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstation Zingst), die Mitte (Messstation Langen) und den Süden (Messstation München) der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt zum einen die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt sind. Andererseits ist zu beobachten, dass zumindest schon im April in der Mitte Deutschlands UV-I-Werte von 6 auftraten, d. h., dass Schutzmaßnahmen für die Haut ab dieser Zeit empfehlenswert waren.

Eine statistische Auswertung der bisherigen Messdaten lässt einen leichten Anstieg der UV-Strahlung erkennen. Ein durch Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.



BfS

Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2004
(Maximum and mean UVI values per month in the year 2004)

1-1

1.2 Forschung optische Strahlung (*Research optical radiation*)

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung führt zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen der Haut. Auch im Jahr 2004 wurden deshalb Forschungsvorhaben im Bereich UV durch das BfS betreut, die die unterschiedlichen Entstehungsmechanismen von Hautkrebs auf Grund erhöhter UV-Bestrahlung näher beleuchten (Tab. 1.2-1).

Tabelle 1.2-1 Forschungsvorhaben zum Thema UV
(*Research projects dealing with the topic UV*)

Thema
Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebse
Untersuchung der Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses - Entwicklung von biologischen Indikatoren für die bereits erfolgte Schädigung der Haut durch UV-Strahlung und für das individuelle Hautkrebsrisiko
Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebse - Teilprojekt 1: "Körperflächenbezogene UV-Dosimetrie"

Im Rahmen des Projektes "Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebse; Teilprojekt 2, „Molekularbiologische Prozesse bei UV-induzierten Hautkrebsen“ wurden Erkenntnisse über die Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses erweitert. Unter anderem wurden Faktoren für die unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Personen gegenüber UV-induziertem Hautkrebs wie z. B. die Pigmentierung der Haut, unterschiedliche Reparaturkapazitäten der Zellen und immunologische Parameter näher charakterisiert. Das Vorhaben ist abgeschlossen, mit einer Veröffentlichung des Abschlussberichts ist im Laufe des Jahres 2005 zu rechnen.

Das Projekt "Untersuchung der Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses - Entwicklung von biologischen Indikatoren für die bereits erfolgte Schädigung der Haut durch UV-Strahlung und für das individuelle Hautkrebsrisiko" hat zum Ziel, weitere Einsichten in die Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses zu erlangen. Es soll untersucht werden, welchem Zelltyp die sogenannten schwer geschädigten Zellen (SGZ), die sowohl nach akuter Bestrahlung mit höheren Dosen als auch nach chronischer Bestrahlung mit suberythematogenen Dosen in der Haut auftreten, zuzuordnen sind. Außerdem sollen die Reparaturkapazität der Zellen und das individuelle Hautkrebsrisiko zu verschiedenen Rahmenbedingungen (vorausgehende Sonnenbrände, Freizeitverhalten, Hauttyp, Immunsystem etc.) in Beziehung gesetzt werden. Ein Marker für die vorliegende UV-Schädigung der Haut und für das individuelle Hautkrebsrisiko soll charakterisiert werden. Abschließende Ergebnisse werden für 2005 erwartet.

Das Forschungsvorhaben "Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebse - Teilprojekt 1: Körperflächenbezogene UV-Dosimetrie" diene dazu, Daten zu erheben und Erkenntnisse zu gewinnen, die es ermöglichen, aus den Messergebnissen des solaren UV-Messnetzes die tatsächlich auf den Menschen auftreffende UV-Belastung abzuschätzen und Korrelationen zwischen der gemessenen bodennahen UV-Strahlung und den personenbezogenen Bestrahlungsdosen herzustellen.

1.3 Zertifizierung von Solarienbetrieben (*Certification of solarium*)

In den letzten Jahren ist eine zunehmende Nutzung künstlicher Strahlung zu kosmetischen Zwecken (z. B. Bräunung) zu beobachten. In Deutschland gibt es ca. 7500 Solarienbetriebe. Infolge der damit verbundenen Zunahme der UV-Exposition der Bevölkerung wird eine Zunahme der UV-bedingten Gesundheitsschäden erwartet.

Im Januar 2002 wurde daher vom BfS ein "Runder Tisch Solarien" (RTS) gegründet mit Teilnehmern wissenschaftlicher und staatlicher Institutionen sowie Vertretern von Solarienbetrieben und Solarienherstellern. Der RTS hatte das Ziel, auf Basis der SSK-Empfehlung vom 8.6.2001 einheitliche Kriterien für einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden von Solarienbetrieben festzulegen und eine freiwillige Zertifizierung für die Betriebe anzubieten, die diesen Mindeststandard erfüllen.

Im Mai 2003 konnte Einigkeit über einen Kriterienkatalog und das Verfahren für die Zertifizierung der Solarien erzielt werden. Das BfS ist Akkreditierungsstelle für die Institutionen, die Solarienbetriebe nach den Kriterien des RTS zertifizieren wollen. Die Zertifizierung gilt für 3 Jahre. Als Qualitätssicherungsmaßnahme kann das BfS während der Zeitdauer der Zertifizierung durch stichprobenartige Prüfungen die Einhaltung der Kriterien überwachen.

Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung von Sonnenstudios sind:

- definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung,
- Prüfungsvorschriften,
- einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene und
- fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter.

In 2004 wurden durch das Bundesamt für Strahlenschutz fünf Betriebe als Zertifizierungsstelle für Solarien akkreditiert. In Folge wurden 2004 insgesamt 30 Solarienbetriebe zertifiziert.

2. Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder *(Electric, magnetic and electromagnetic fields)*

2.1 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder *(Low-frequency electric and magnetic fields)*

Im Jahr 2001 wurde eine im Auftrag des BMU vergebene epidemiologische Studie vorgestellt, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen einer erhöhten nächtlichen Magnetfeldexposition von $> 0,4 \mu\text{T}$ bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie zeigte. Um hierbei einen Ursache-Wirkungsmechanismus aufzuklären, wurde 2002 durch das BfS im Rahmen des Umweltforschungsplanes (UFO-Plan) ein Forschungsprojekt mit dem Thema "Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR - Mäusen durch niederfrequente Magnetfelder" vergeben. Die AKR - Mäuse wurden lebenslang mit Magnetfeldern unterschiedlicher Flussdichte (1, 100 und $1000 \mu\text{T}$) ausgesetzt. Das inzwischen abgeschlossene Projekt konnte keinen Feldeinfluss auf die Überlebensrate, das Körpergewicht, sowie auf hämatologische und histologische Parameter feststellen.

Ein Forschungsprojekt aus dem Bereich niederfrequente Magnetfelder mit dem Titel "Verifizierung des veränderten Wachstumsverhaltens von verschiedenen Brustkrebszelltypen in vitro unter Magnetfeldeinfluss mit verschiedenen Onkostatika", beschäftigte sich mit der Hypothese, dass niederfrequente Magnetfelder mit Intensitäten, die weit unter den gesetzlichen Grenzwerten liegen, den Verlauf einer Brustkrebserkrankung negativ beeinflussen könnten. Als Wirkungsmechanismus wird die Hemmung der onkostatischen Wirkung von Melatonin (einem Hormon, das tageszeitabhängig von der Pinealdrüse produziert wird) bzw. des Brustkrebsmedikaments Tamoxifen durch niederfrequente Magnetfelder diskutiert. Die Untersuchungen wurden an Brustkrebszelllinien und an primären Brustkrebszellen durchgeführt. Das Vorhaben ist abgeschlossen, mit der Veröffentlichung des Abschlussberichts ist im Laufe des Jahres 2005 zu rechnen.

Die wichtigsten Ergebnisse des Vorhabens waren: Melatonin bewirkte bei verschiedenen Zelllinien eine – wenn auch nicht sehr ausgeprägte - Reduzierung der Zellteilungsaktivität. Wurden die Untersuchungen bei Magnetfeldern von $1,2 \mu\text{T}$, $10 \mu\text{T}$ oder $100 \mu\text{T}$ Flussdichte durchgeführt, wurde die Wirkung des Melatonins abgeschwächt. In ähnlicher Weise wurde die hemmende Wirkung des Tamoxifens, am deutlichsten bei $1,2 \mu\text{T}$, abgeschwächt. Zwischen den verschiedenen Zelllinien wurden erhebliche Empfindlichkeitsunterschiede gegenüber Melatonin, Tamoxifen und einer Magnetfeldexposition beobachtet.

Die Ergebnisse dieses Vorhabens werden zurzeit in einem weiteren Vorhaben mit dem Titel "Untersuchung des Wirkungsmechanismus für die Veränderung des Wachstums von Brustkrebszellen unter dem Einfluss von Onkostatika und niederfrequenten Magnetfeldern" vertieft. In diesem Vorhaben soll der zugrunde liegende Wirkungsmechanismus, der zu der Veränderung der onkostatischen Wirkung von Melatonin und Tamoxifen durch niederfrequente Magnetfelder führt, näher aufgeklärt werden. Zu diesem Zweck sollen die Veränderungen der Genexpression und der Signaltransduktion in Brustkrebszellen untersucht werden, die mit kontrollierten, definierten niederfrequenten Magnetfeldern exponiert wurden. Weiterhin soll untersucht werden, ob auch die Wirkung anderer Brustkrebsmedikamente durch niederfrequente Magnetfelder beeinträchtigt wird.

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

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder vor allem des Mobilfunks waren auch im Jahr 2004 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Grundlage der wissenschaftlichen Diskussion sind Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (<http://www.bfs.de/elektro/hff/grenzwerte.html>). Aus diesen Hinweisen lässt sich kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung ableiten. Sie sind jedoch Grund genug, entsprechende Vorsorge walten zu lassen. Zu diesen Vorsorgemaßnahmen gehört neben der Sicherstellung

einer möglichst geringen Exposition u. a. auch die Intensivierung und Koordinierung der Forschung. Das BfS initiiert und koordiniert im Auftrag des BMU nationale Forschungsvorhaben, um den Hinweisen auf mögliche biologische Effekte von Mobilfunkfeldern nachzugehen. Weitere Forschungsvorhaben, die die technische Weiterentwicklung und eine als Vorsorgemaßnahme gebotene Minimierung der Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunkfelder zum Inhalt haben, werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) vergeben.

Eine Gesamtauflistung der Forschungsprojekte der Bundesregierung im Bereich Mobilfunk und die dazugehörigen Erläuterungen können in der Bundestagsdrucksache 15/4604 "Bericht der Bundesregierung über die Forschungsergebnisse in Bezug auf Emissionsminderungsmöglichkeiten der gesamten Mobilfunktechnologie und in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen" nachgelesen werden. Die folgende Tabelle 3-2 gibt einen Überblick über die Forschungsvorhaben der Bundesregierung zum Mobilfunk. Eine Aktualisierung des Berichts erfolgt 2006.

Tabelle 2.2-1 Liste der Forschungsprojekte des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms
(List of the research projects of the German Mobile Telecommunication Research Project)

Biologische Wirkungen
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. A. Demodulation / Kommunikation
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. B. Pinealdrüse
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. C. Funktionen
Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder
<i>in vivo</i> -Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen
<i>in vivo</i> -Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. B. Kanzerogenese
Biologische Wirkungen
<i>in vitro</i> -Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. C. Blut-Hirn-Schranke
Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen
Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
Untersuchung der altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (<i>in vivo</i>)
Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. A. Genotoxizität
Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differenzielle Genexpression
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem
Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. B. Das visuelle System
Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen
Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen
Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien
Untersuchung des Phänomens Elektrosensibilität mittels einer epidemiologischen Studie an elektrosensiblen Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen

Erfassung der Exposition
Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren
Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen
Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes "Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen" untersucht werden
Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro
Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological relevanter Parameter
Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt
Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten
Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen
Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien
Erhebung und Auswertung von tatsächlichen, personenbezogenen HF-Expositionsdaten in einer repräsentativen Bevölkerungsgruppe
Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich
Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen
Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk und Fernsehsendern
Epidemiologie
Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hoch exponierter (Berufs-)Gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisikos durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erfassen
Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen
Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)
Beteiligung an einer Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)
Epidemiologie
Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen
Prospektive Kohortenstudie unter Handynutzern
Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie
Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern
Risikokommunikation
Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate
Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen
Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information
Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen
Ergänzende Informationen über Elektrosensible
Untersuchung der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk und Ermittlung weiterer Ansatzpunkte zur Verbesserung der Information verschiedener Bevölkerungsgruppen
Unterstützung der Kooperation der Mobilfunkakteure durch die lokale Agenda 21
Reserveliste
Kurz- und mittelfristige Effekte durch GSM- und UMTS- Signale auf Gehirnfunktion und kognitive Leistungsfähigkeit
Wirkungsmechanismen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf molekularer, subzellulärer und zellulärer Ebene
Brustkrebs und HF-EMF
Handynutzung und funktionelle Störungen

Repräsentative Umfrage zum Thema "Mobilfunk"

Das BfS hat die Durchführung zweier zentraler Umfragen zur Wahrnehmung des Mobilfunks und zum Informationsverhalten in der Bevölkerung in Auftrag gegeben. Die Umfrage zur "Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks" wurde erstmals im Jahr 2001 durchgeführt. In den Jahren 2003 bis 2006 wird diese Befragung jährlich wiederholt, um mögliche Veränderungen in der Wahrnehmung des Mobilfunks bzw. in der berichteten Besorgnis oder Beeinträchtigung durch die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zu erfassen.

Die Ergebnisse der letzten Befragung im Jahr 2004 zeigen, dass sich die Stimmungslage in der Bevölkerung hinsichtlich der Besorgnis und Beeinträchtigung durch elektromagnetische Felder, die von Mobilfunksendeanlagen, Handys oder schnurlosen Festnetztelefonen ausgehen, in den letzten drei Jahren nicht wesentlich verändert hat: Die Anteile der Besorgten sind mit 30% im Jahr 2004 (gegenüber 31% in 2003 bzw. 35% in 2001) leicht gesunken. Beeinträchtigt bezeichnen sich 9% im Jahr 2004 (gegenüber 8% in 2003 bzw. 6% in 2001). Mehr Informationen darüber, ob es sich bei diesen geringfügigen Veränderungen um einen Trend handelt, wird die Befragung im Jahr 2005 liefern.

Weitere Ergebnisse der Befragung, wie z. B. mobilfunkspezifischer Wissensstand, ebenso wie Zusammenhänge zwischen soziodemografischen Merkmalen und Merkmalen der Handynutzung sowie der Wahrscheinlichkeit, der Gruppe der Besorgten anzugehören, können in den Ergebnisberichten nachgelesen werden, die im Internet unter http://www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021.html veröffentlicht sind.

Im Rahmen einer weiteren Umfrage im Jahr 2004 wurde untersucht, ob zentrale Zielgruppen für Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk in der Bevölkerung identifiziert werden können und wie sie sich charakterisieren. Anhand einer repräsentativen Befragung konnten 5 Zielgruppen identifiziert werden, die sich durch mehrere Merkmale (wie z. B. durch Mobilfunknutzung, Informationsverhalten, Persönlichkeitsstruktur, allgemeine und mobilfunkspezifische Risikoeinstellung, Vertrauen in den Staat und Soziodemografie) beschreiben lassen. Anhand der Ausprägung dieser Merkmale lassen sich die Zielgruppen voneinander abgrenzen. Die Ergebnisse dieser Studie bieten eine gute Grundlage, Informations- und Kommunikationsmaßnahmen zielgruppenspezifisch unter Berücksichtigung mobilfunkrelevanter Merkmale auszurichten.

Umweltzeichen "Blauer Engel"

Um besonders strahlungsarme Handys, die nach dem GSM-, GPRS- oder UMTS-Standard arbeiten, für den Verbraucher sichtbar zu kennzeichnen, wurden die Vergabekriterien für das Umweltzeichen "Blauer Engel" durch die Jury "Umweltzeichen" 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 wurden.

Mit der Vergabe des Umweltzeichens ist der RAL e.V. (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., gegründet 1925) beauftragt.

Auch im Jahr 2004 weigerten sich die Hersteller, das Umweltzeichen anzunehmen, so dass kein "Blauer Engel" vergeben wurde.

Vom BfS gemessene SAR-Werte für zahlreiche handelsübliche Handys finden sich unter <http://www.bfs.de/elektro/hff/oekolabel.html>.

ANHANG

(ANNEX)

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

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). Eine alte Einheit dafür ist das Röntgen (R).

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

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

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

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

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

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

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

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

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

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der novellierten Strahlenschutzverordnung entsprechend Tabelle 1.1-1 festgelegt.

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

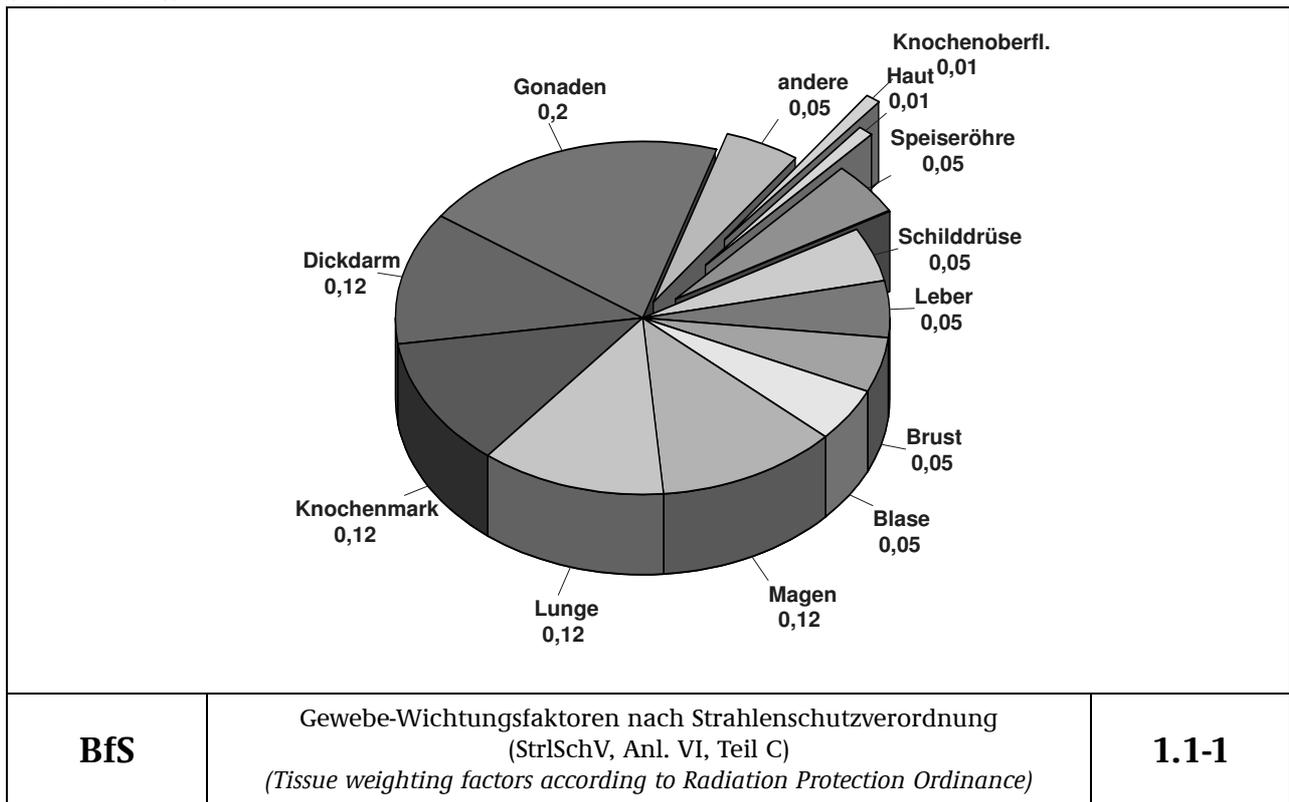
Strahlenart und Energiebereich	w_R
Photonen, alle Energien	1
Elektronen, Myonen, alle Energien	1
Neutronen	
< 10 keV	5
10 KeV bis 100 keV	10
> 100 keV bis 30 MeV	20
> 2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

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

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

$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in der folgenden Abbildung dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert eins.



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

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

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

1.2 Die Messung der Strahlendosen (*Measurement of radiation doses*)

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 Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

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

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

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

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

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

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

Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann in Risikobetrachtungen einzubeziehen, wenn sie mit der Nahrung (Ingestion), dem Trinkwasser oder durch Atmung (Inhalation) dem Körper zugeführt werden oder durch Wunden in den Körper aufgenommen. 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.

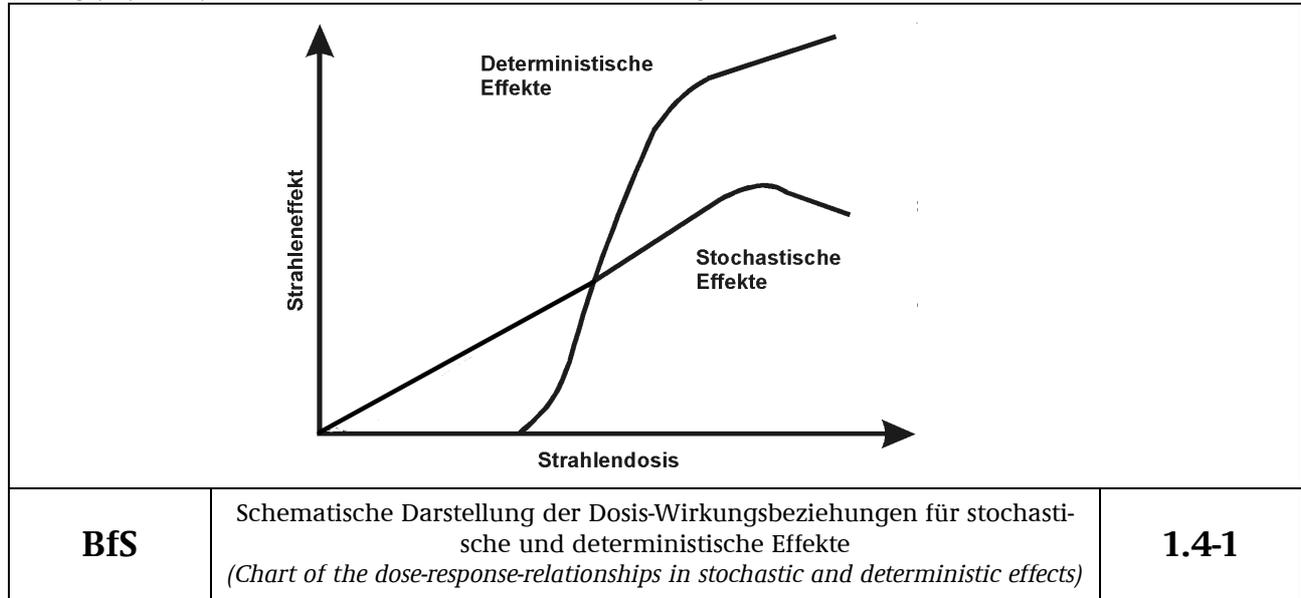
Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor,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

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 Erniedrigung 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 steigt die Zahl der Defekte und der Schweregrad des Effektes mit steigender Dosis an. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zugrunde. 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)

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

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich bei den stochastischen Strahlenwirkungen um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung 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 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

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

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 (u. a. Bergarbeiter),
- 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 nicht erhöht 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 ab etwa 50 mSv. 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 Letzteres sich 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 Lungeneithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko 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 eine Senkung der Radonkonzentration um 1000 Bq pro m³ Raumluft zu einer Halbierung des Lungenkrebsrisikos führt.

1.6 Risikoabschätzung (*Risk assessment*)

Weltweit liegen zahlreiche epidemiologische Studien bei Personengruppen vor, die einer erhöhten Exposition durch ionisierenden 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.

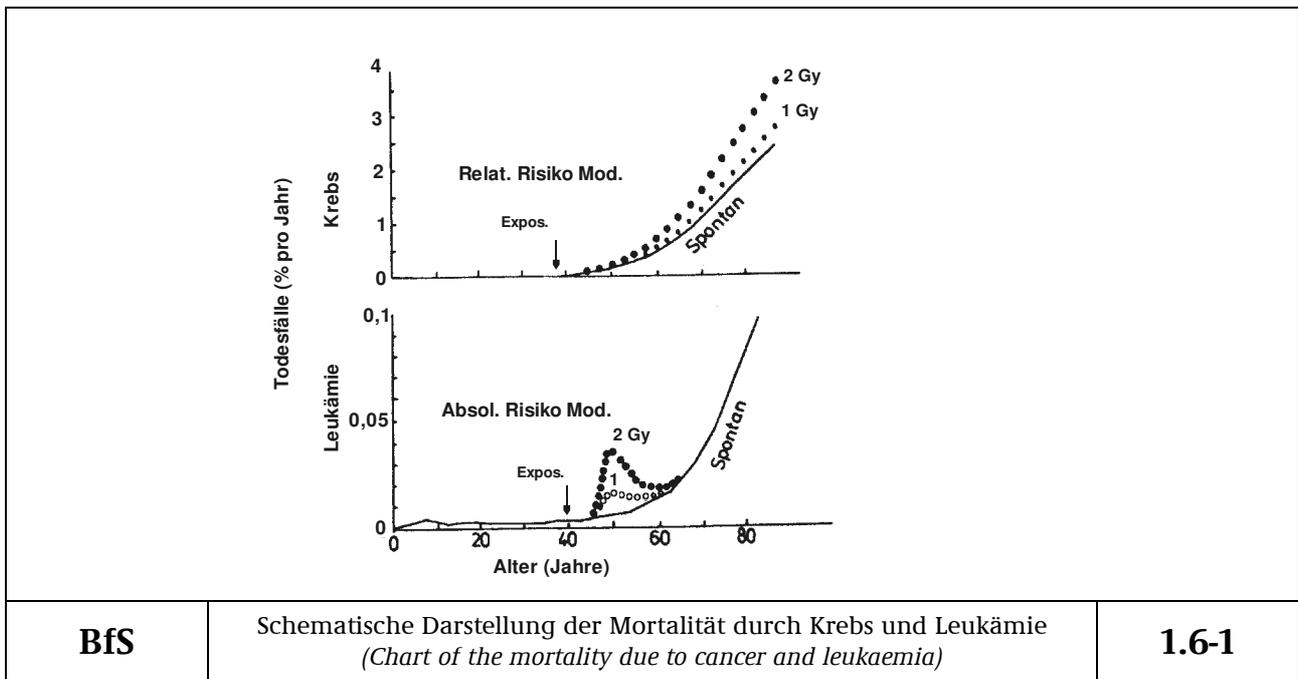
Abschätzungen zum Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen beruhen auf Auswertungen dieser epidemiologischen Studien, die von nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien, wie von der japanischen Radiation Effects Research Foundation (RERF), dem wissenschaftlichen Komitee 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 der Risiken vom mittleren bis hohen Dosisbereich der Studien (z. B. bei Atombomben-Überlebenden) auf den Bereich niedriger Dosen sowie von akuten Bestrahlungssituationen 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 Elektronenspur 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 (z. B. Lungenkrebs und Bystander-Effekt), 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 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.



Ausgehend von den epidemiologischen Daten für relativ hohen Strahlendosen bei den japanischen Atombomben-Überlebenden sowie unter der Annahme eines relativen Risikomodells ergeben die Risikoabschätzungen von UNSCEAR¹ ein Lebenszeitrisko strahlenbedingter Todesfälle für solide Tumoren von 9% für Männer, 13% für Frauen und (Mittelwert für beide Geschlechter 11%) 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 Prozent aller Todesfälle Krebs als Ursache, d.h. von einer Million Menschen werden etwa 250.000 an einer Krebserkrankung sterben.

1.7 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 StrlSchV begrenzt die Strahlenexposition der Bevölkerung wie folgt:

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

1. United Nations, Sources, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume II: Effects, S. 361

- 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 I S. 1459), zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869)

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 · 10 ¹⁰ Bq * 1 Bq = 2,7 · 10 ⁻¹¹ Ci = 27 pCi
Energiedosis	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy * 1 Gy = 100 rd *
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv * 1 Sv = 100 rem *
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = 2,58 · 10 ⁻⁴ C/kg * = 0,258 mC/kg * 1 C/kg = 3876 R
Energiedosisleistung	Gray pro Sekunde (Gy/s)	Rad pro Sekunde (rd/s)	1 rd/s = 0,01 Gy/s * 1 Gy/s = 100 rd/s *
Ionendosisleistung	Ampere pro Kilogramm (A/kg)	Röntgen pro Sekunde (R/s)	1 R/s = 2,58 · 10 ⁻⁴ A/kg * = 0,258 mA/kg *

Bei Werten mit * ist der Umrechnungsfaktor genau angegeben, bei den anderen ist er abgerundet.

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2-3 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

Tabelle 2-3 Präfixe
(Prefixes)

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10 ¹⁸
Peta	P	10 ¹⁵
Tera	T	10 ¹²
Giga	G	10 ⁹
Mega	M	10 ⁶
Kilo	k	10 ³
Hekto	h	10 ²
Deka	da	10 ¹

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Dezi	d	10 ⁻¹
Zenti	c	10 ⁻²
Milli	m	10 ⁻³
Mikro	μ	10 ⁻⁶
Nano	n	10 ⁻⁹
Piko	p	10 ⁻¹²
Femto	f	10 ⁻¹⁵
Atto	a	10 ⁻¹⁸

Tabelle 2-4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung
(Physical quantities in non-ionising radiation)

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	B	Vs/m² (Voltsekunde pro Quadratmeter); T (Tesla) 1 Vs/m ² = 1 T gebräuchlich: 1 μT Veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ ¹⁾ für Luft und organische Materialien gilt: $B (\mu T) = 1,256 \cdot H (A/m)$ 1 G = 10 ⁻⁴ T = 100 μT
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 Ω (Ohm) = 376,7 V/A
Magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
Leistungsflussdichte	S	W/m² (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	SAR	W/kg (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	

1) dabei ist μ die Permeabilitätskonstante,
 μ_0 die Permeabilitätskonstante im Vakuum und
 μ_r die Permeabilitätszahl eines Mediums

3. Glossar (Glossary)

Absorption	Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z. B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis
Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität (Radioaktivität)	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Kernumwandlungen eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i. A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu
AKR-Mäuse	Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Anthropogen	durch den Menschen beeinflusst, verursacht
Äquivalentdosis	Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 μ Sv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert
Athermische Effekte	Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
Biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper aufgelegte Strahlenquellen
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)
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
Dosimetrie (nichtionisierende Strahlung)	Quantitative Erfassung der Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosimeter	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch ionisierende Strahlung
Dosimeter (nichtionisierende Strahlung)	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosis	Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, effektive Dosis, Organdosis, Kollektivdosis, Ortsdosis, Personendosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt
Effektive Dosis	Summe der gewichteten mittleren Organdosen in den einzelnen Organen und Geweben des Körpers. Der Wichtungsfaktor bestimmt sich aus den relativen Beiträgen der einzelnen Organe und Gewebe zum gesamten Strahlenrisiko des Menschen bei Ganzkörperbestrahlung
Elektrisches Feld	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
Elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m)
Elektrische Ladung	Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist Coulomb (C)
Elektrostatistisches Feld	Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
Elektrische Spannung	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V)
Elektrischer Strom	Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A)
Elektrosensibilität	Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden
Elektrosensitivität	Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z.B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung

Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy)
Epidemiologie	Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten
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
Gammastrahlung	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers
Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf eine horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
Gray	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
Hall-Sonde	Die Sonde beruht auf dem Hall-Effekt und dient zur Ausmessung statischer Magnetfelder
Hochfrequenz	Hochfrequente elektromagnetische Felder. Hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)
Hot spots	Räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder
Induktion	Vorgang, bei dem durch Änderung des von einem Leiter umschlossenen magnetischen Flusses elektrischer Strom (Wirbelstrom) in diesem Leiter erzeugt wird
Influenz	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsverteilung stattfindet, so dass an seiner Oberfläche lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten
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
LET	Der Lineare Energietransfer 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
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
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 Strahlung 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
Personendosimeter (nichtionisierende Strahlung)	Messgerät zur Bestimmung der Höhe der Exposition durch niederfrequente oder hochfrequente elektromagnetische Felder einer einzelnen Person
Personendosis	Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm.
Perzentil	Statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z. B. 95% Perzentil ist der Wert, der von nur 5% der Stichprobe überschritten wird)
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
Querschnittsstudie	Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlen spontan aussenden
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Retina	Netzhaut des Auges; hier werden optische Signale in Nervensignale umgewandelt
Risiko	Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung
Risikokommunikation	Interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.)
Risikowahrnehmung	Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommener Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen
Sendeleistung	Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
Si-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv)
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). 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 Strahlen auf den menschlichen Körper oder Körperteile
Teletherapie	Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
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
Wirbelstrom	Durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom

4. Liste der verwendeten Abkürzungen (List of abbreviations)

A	Ampere (Ampere)
AMG	Arzneimittelgesetz (Medical Preparations Act)
AtG	Atomgesetz (Atomic Energy Act)
AVR	Atomversuchsreaktor (Nuclear test reactor)
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift (General Administrative Provisions)
B	Magnetische Flussdichte (Magnetic flux density)
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (Federal Institute for Drugs and Medical Devices)
BFEL	Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel (Federal Research Centre for Nutrition and Food)
BFAFi	Bundesforschungsanstalt für Fischerei (Federal Research Centre for Fisheries)
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde (Federal Institute of Hydrology)
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz (Federal Office for Radiation Protection)
BGBI	Bundesgesetzblatt (Federal Law Gazette)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography)
/d×p	Pro Tag und Person (Per day and person)
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm (German Mobile Telecommunication Research Programme)
DNS	Desoxiribonukleinäure (Deoxyribonucleic acid)
DRW	Diagnostische Referenzwerte (Diagnostic reference levels)
DWD	Deutscher Wetterdienst (German Meteorological Service)
DWR	Druckwasserreaktor (Pressurized Water Reactor)
E	Elektrische Feldstärke (Electric field strength)
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft (European Atomic Energy Community)
FFS	Fischereiforschungsschiff (Fisheries Research Vessel)
FM	Feuchtmasse (Wet weight)

GSF	Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit <i>(Research Centre for Environment and Health)</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>
h _{ED}	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>
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>
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr <i>(Annual Intake of Activity)</i>
KFA	Kernforschungsanlage <i>(Nuclear Research Facility)</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
MED	Minimale erythematogene Dosis (Hautrötung) <i>(Minimal dose for erythema induction)</i>
MRT	Magnetresonanztomographie <i>(Nuclear magnetic resonance – NMR)</i>
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor <i>(Multipurpose research reactor)</i>
NIR	Nichtionisierende Strahlung <i>(Non ionising radiation)</i>
NWG	Nachweisgrenze <i>(Detection limit)</i>

ODL	Ortsdosisleistung (Ambient Dose Rate)
PET	Positronen-Emissions-Tomographie (Positron Emission Tomography)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Federal Institute of Physics and Metrology)
R β	Rest-Beta-Aktivität (Residual beta activity)
Reg TP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, seit dem 13. Juli 2005 umbenannt in „Bundesnetzagentur“ (Regulatory Authority for Telecommunications and Posts)
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities)
RMP	Routinemessprogramm (Routine Measuring Program)
RöV	Röntgenverordnung (X-ray Ordinance)
S	Leistungsflussdichte (Power flux density)
SAR	Spezifische Absorptionsrate (Specific absorption rate)
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie (Single Photon Emission Computed Tomography)
SSK	Strahlenschutzkommission (German Commission on Radiological Protection)
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung (Radiation Protection Ordinance)
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz (Precautionary Radiation Protection Act)
SWR	Siedewasserreaktor (Boiling Water Reactor)
Sv	Sievert (Sievert)
T	Tesla (Tesla)
TM	Trockenmasse (Dry weight)
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung (United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)
UV	Ultraviolette Strahlung (Wellenlänge 100 - 400 nm) (Ultraviolet Radiation (wavelength 100 - 400 nm))
V	Volt (Volt)
VO	Verordnung (Ordinance)
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (Ordinance on the Guarantee of Nuclear Safety and Radiation Protection)
W	Watt (Watt)
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage (Reprocessing Plant)

WHO	Weltgesundheitsorganisation (<i>World Health Organization</i>)
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart (<i>Russian Type Light Water Pressurized Water Reactor</i>)
Z ₀	Feldwellenwiderstand des leeren Raums (<i>Field characteristic impedance</i>)
ZdB	Zentralstelle des Bundes (<i>Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity</i>)

Tabellenabkürzungen
(*abbreviation in tables*)

	Angaben nicht sinnvoll (<i>data not relevant</i>)
a)	Daten lagen nicht vor (<i>data not available</i>)
N	Zahl der Einzelmessungen (<i>number of individual measurements</i>)
nn	nicht nachgewiesen / nachweisbar (<i>not detected / detectable</i>)
-	Messung / Angabe nicht erforderlich (<i>measurement / data not required</i>)

5. Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Auswahl

(Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory texts and other regulations concerning radiation protection - selection)

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 Gesetz vom 9. September 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 47)
2. Arzneimittelgesetz (AMG) in der Fassung vom 11. Dezember 1998 (BGBl. I 1999, Nr. 80), zuletzt geändert durch Artikel 8 § 1 des Gesetzes vom 6. August 2002 (BGBl. I S. 3082)
3. Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 261), zuletzt geändert durch Artikel 43 der Verordnung vom 25. November 2003 (BGBl. I S. 2304)
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz vom 9. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 3. Mai 2000 (BGBl. I 2000, Nr. 20, S. 636)
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes vom 28. Februar 1992 (BGBl. I S. 376)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - ENeuOG) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378)
7. Gesetz über Krebsregister vom 4. November 1994 (BGBl. I Nr. 79)
8. Gesetz zur Neugestaltung des Umweltinformationsgesetzes und zur Änderung der Rechtsgrundlagen zum Emissionshandel vom 22. Dezember 2004 (BGBl. I 2004, Nr. 73)
9. 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 vom 31. August 1990 in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag vom 23. September 1990 (BGBl. II S. 885, 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind:
 - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (VOAS) vom 11. Oktober 1984 und Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBl (DDR) I 1984 Nr. 30, berichtigt GBl (DDR) I 1987 Nr. 18)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien vom 17. November 1990 (GBl (DDR) 1990 Nr. 34)
10. 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)
11. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869)
12. Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. September 2003 (BGBl. I S. 1913, 2139), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 17. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3711)
13. Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensordnung - AtVfV) vom 18. Februar 1977, Neufassung vom 3. Februar 1995 (BGBl. I Nr. 8a)
14. Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - AtDeckV) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch Gesetz vom 9. September 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 47)
15. Kostenverordnung zum Atomgesetz (AtKostV) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), zuletzt geändert durch Gesetz vom 9. September 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 47)
16. Verordnung über Vorausleistungen für die Einrichtung von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (Endlagervorausleistungsverordnung - EndlagerVLV) vom 28. April 1982 (BGBl. I S. 562), zuletzt geändert durch das 6. Überleitungsgesetz vom 25. September 1990 (BGBl. I S. 2106)
17. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittel-Bestrahlungsverordnung) vom 14. Dezember 2000, (BGBl. I S. 1730), geändert durch Artikel 312 der Verordnung vom 29. Oktober 2001 (BGBl. I S. 2785)

18. Verordnung über radioaktive oder mit ionisierenden Strahlen behandelte Arzneimittel - AMRadV - vom 28. Januar 1987 (BGBl. S. 502), zuletzt geändert durch das 12. Änderungsgesetz des Arzneimittelgesetzes vom 30. Juli 2004 (BGBl. I S. 2031, 2052)
19. Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldungen von Störfällen und sonstigen Ereignissen (atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - AtSMV) vom 14. Oktober 1992 (BGBl. Nr. 48) (Wortlaut in Abteilung 3, Punkt 3.52.1)
20. Verordnung zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 3. August 1989 (BGBl. I S. 1582), zuletzt geändert durch das 6. Überleitungsgesetz vom 25. September 1990 (BGBl. I S. 2106)
21. Verordnung zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 31. Juli 1991 (BGBl. I S. 1768)
22. Verordnung zur Errichtung eines Strahlenschutzregisters vom 3. April 1990 (BGBl. I S. 607)
23. 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV vom 20. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1966)
24. Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) vom 31. Juli 1998 (BGBl. I S. 1918)
25. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung (alt): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990 (BAnz. Nr. 64a vom 31. März 1990)
26. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27. September 1995 (BAnz. Nr. 200a vom 24. Oktober 1995)
27. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - AVV-StrahlLe) vom 28. Juni 2000 (BGBl. 2000, Nr. 25, S. 490)
28. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen (§§ 62, 63, 63a StrlSchV; §§ 35, 35a RöV) vom 20. Dezember 1993 (GMBL. 1994, S. 286)
29. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandsetzungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil I: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vor-sorge vom 10. Juli 1978 (GMBL. 1978, S. 418)
30. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil II: Die Strahlenschutzmaßnahmen während der Inbetrieb-setzung und des Betriebs der Anlage vom 4. August 1981 (GMBL. 1981, S. 363)
31. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom (GMBL. 1992, Nr. 8, S. 150 - 155)
32. Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 12. Juni 1996 (GMBL. 1996, S. 698)
33. Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin vom 14. Juni 2002 (GMBL. 2003, S. 227)
34. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 30. Juni 1993 (GMBL. 1993, S. 502)
35. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Anhang B und C, vom 20. Dezember 1995 (GMBL. 1996, Nr. 9/10, S. 195)
36. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvor-sorgegesetz, Teil I: Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) vom 28. Juli 1994 (GMBL. 1994, S. 930)
37. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvor-sorgegesetz, Teil II: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm) vom 19. Januar 1995 (GMBL. 1995, S. 261)
38. Richtlinie über die Fachkunde im Strahlenschutz vom 17. September 1982 (GMBL. 1982, S. 592)
39. Richtlinie zur Durchführung von Prüfungen zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik nach § 16 RöV, 1. Bekanntmachung des BMA vom 1. Mai 1990 (BArbBl 9/90, S. 66)
40. Richtlinie Strahlenschutz in der Tierheilkunde vom 2. Februar 2005 (GMBL. 2005, S. 666)

41. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und fachliche Eignung bei der Erzeugung von Röntgenstrahlen im Zusammenhang mit dem Betrieb nicht-medizinischer Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftiger Störstrahler sowie Prüfung, Erprobung, Wartung und Instandsetzung von Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern (Fachkunde-Richtlinie Technik) vom 13. Januar 1988, 4. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 1. Februar 1988 (BArbBl 3/88, S. 89)
42. Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 76 StrlSchV vom 4. Dezember 1980 (GMBL 1981, S. 26)
43. Richtlinie 96/29/EURATOM 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. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 159/1, 39. Jahrgang, 29. Juni 1996
44. Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 040 vom 11. Februar 1989, S. 0012 - 0026
45. 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 . Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 41/26 vom 14.02.2003
46. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition gem. §§ 63 und 63a StrlSchV (BAnz Nr. 122a vom 15. Juli 1997)
47. Richtlinie „Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte“ vom 18. Dezember 2003 (GMBL 2004, S. 350)
48. Richtlinie über Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung vom 10. Dezember 2001; Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) (GMBL 2002, S. 136)
49. 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)
50. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb, KTA-Regel 1503.1 (Fassung 6/93), Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1993)
51. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser, KTA-Regel 1504, (Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1995)
52. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren, KTA-Regel 1507, BAnz Nr. 172a vom 15. September 1998
53. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre, KTA Regel 1508, BAnz. Nr. 37 a vom 22. Februar 1989
54. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken, GMBL 19 (1978), S. 313 und GMBL 9/10 (1996) S. 247
55. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBL 1980, S. 577)
56. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBL 1981, S. 322)
57. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBL 1981, S. 511)
58. Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung) (GMBL 1982, S. 61)
59. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 20. Januar 1983 (GMBL 1983, S. 146)
60. Rundschreiben vom 21. März 1983, Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes (GMBL 1983, S. 176)

61. KTA-Regel Nr. 1507 "Überwachung der Ableitung gasförmiger, aerosolgebundener und flüssiger radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren" (BAnz. Nr. 125 vom 5. Juli 1984, Beilage 36/84, zuletzt bestätigt am 27. Juni 1989)
62. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (GMBL 1989, S. 71)
63. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 11. Mai 1989 (GMBL 1989, S. 94)
64. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBl 2/90, S. 137)
65. Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juli 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. L 148/1)
66. 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. L 82)
67. Durchführung der Strahlenschutzverordnung: Merkposten zu Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 Abs. 1 und 2 StrlSchV (GMBL 2004 S. 9)

6. Nuklidliste der im Text erwähnten Radionuklide
(List of radionuclides referred to in the text)

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
1	Wasserstoff	H-3	12,3 a	β^-
4	Beryllium	Be-7	53,3 d	ϵ, γ
6	Kohlenstoff	C-14	5730 a	β^-
9	Fluor	F-18	1,83 h	β^+
11	Natrium	Na-22	2,6 a	β^+, γ
14	Silizium	Si-32	172 a	β^-
15	Phosphor	P-32	14,3 d	β^-
16	Schwefel	S-35	87,5 d	β^-
18	Argon	Ar-41	1,83 h	β^-, γ
19	Kalium	K-40	$1,3 \times 10^9$ a	β^-, γ
20	Calcium	Ca-45	163 d	β^-
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	245 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
34	Selen	Se-75	120 d	ϵ, γ
36	Krypton	Kr-85	10,7 a	β^-, γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^-, γ
		Kr-87	76,3 min	β^-, γ
		Kr-88	2,84 h	β^-, γ
		Kr-89	3,16 min	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 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	β^-, γ
41	Niob	Nb-95	35 d	β^-, γ
42	Molybdän	Mo-99	65,9 h	β^-, γ
43	Technetium	Tc-99	$2,1 \times 10^5$ a	β^-
		Tc-99m	6,01 h	R
44	Ruthenium	Ru-103	39 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-, γ
46	Palladium	Pd-103	16,96 d	ϵ, γ
47	Silber	Ag-108m	2,4 min	ϵ, γ
		Ag-110m	250 d	β^-, γ
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ϵ
49	Indium	In-111	2,8 d	ϵ, R
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ
		Sb-125	2,77 a	β^-, γ

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart		
52	Tellur	Te-123m	120 d	R		
53	Jod	I-123	13,1 h	ϵ , R		
		I-125	59,4 d	ϵ , R		
		I-129	$1,6 \times 10^7$ a	β^- , γ		
		I-131	8,02 d	β^- , γ		
		Xenon	Xe-131m	11,9 d	R	
54	Xenon	Xe-133	5,25 d	β^- , R		
		Xe-133m	2,19 d	R		
		Xe-135	9,1 h	β^- , γ		
54	Xenon	Xe-135m	15,3 min	R		
		Xe-137	3,84 min	β^- , γ		
		Xe-138	14,1 min	β^- , γ		
		55	Cäsium	Cs-134	2,06 a	β^- , γ
				Cs-137	30,2 a	β^- , γ
56	Barium	Ba-140	12,8 d	β^- , γ		
57	Lanthan	La-140	40,3 h	β^- , γ		
58	Cer	Ce-141	32,5 d	β^- , γ		
		Ce-144	285 d	β^- , γ		
		Promethium	Pm-147	2,6 a	β^- , γ	
63	Europium	Eu-152	13,3 a	ϵ , β^+ , β^- , γ		
		Eu-154	8,8 a	β^- , γ		
64	Gadolinium	Gd-153	239 d	ϵ , R		
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^- , γ		
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	β^- , R		
81	Thallium	Tl-201	73 h	ϵ , R		
82	Blei	Pb-210	22 a	β^-		
		Pb-214	27 min	β^- , γ		
		Wismut	Bi-214	19,9 min	α	
84	Polonium	Po-210	138 d	α		
		Po-214	164 μ sec	α		
		Po-218	3,05 min	α		
		Radon	Rn-219	3,96 sec	α , γ	
86	Radon	Rn-220	55,6 sec	α		
		Rn-222	3,8 d	α		
		Radium	Ra-224	3,66 d	α , γ	
		Ra-226	1600 a	α , γ		
88	Radium	Ra-228	5,75 a	β^-		
		Thorium	Th-228	1,91 a	α , γ	
		Th-230	$7,5 \times 10^4$ a	α		
		Th-232	$1,4 \times 10^{10}$ a	α		
90	Thorium	Th-234	24,1 d	β^- , R		
		Protactinium	Pa-234	6,7 h	β^- , γ	
92	Uran	U-233	$1,6 \times 10^5$ a	α		
		U-234	$2,45 \times 10^5$ a	α		
		U-235	$7,0 \times 10^8$ a	α , R		
		U-238	$4,5 \times 10^9$ a	α		

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
93	Neptunium	Np-239	2,3 ⁵ d	β^- , γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α , R
		Pu-239	2,4 x 10 ⁴ a	α , R
		Pu-240	6563 a	α , R
		Pu-241	14,4 a	β^-
95	Americium	Am-241	432 a	α , R
96	Curium	Cm-242	163 d	α , R
		Cm-244	18,1 a	α , R

h: Stunden, d: Tage, a: Jahre

α = Helium-Kerne

β^- = Elektronen

ϵ = Elektroneneinfang

γ = Gammastrahlung

R = Röntgenstrahlung

β^+ = Positronen